

# KUIVAMÄDÄTYS ORGAANISTEN JÄTTEIDEN KÄSITTELYMENETELMÄNÄ

Case: Kymenlaakson Jäte Oy



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Biotalousliiketoiminnan kehittäminen

kevät, 2017

Aki Koivula

Biotalouden liiketoiminnan kehittäminen (YAMK)  
Visamäki

---

<b>Tekijä</b>	Aki Koivula	<b>Vuosi</b> 2017
<b>Työn nimi</b> <b>Työn ohjaajat</b>	Kuivamädätys orgaanisten jätteiden käsittelymenetelmänä Antti Peltola, Maritta Kymäläinen	

---

## TIIVISTELMÄ

Jätteiden käsittelyn toimintaympäristö elää murroksessa erityisesti alaan vaikuttavan lainsäädännön muutosten myötä. Alan yritysten on varauduttava muutoksiin liiketoimintansa jatkuvuuden turvaamiseksi. Varautuminen tarkoittaa investointeja ja palvelutarjoaman kehittämistä muuttuvan toimintaympäristön vaatimuksia vastaaviksi. Uusien teknologioiden ja palveluiden käyttöönoton tulee perustua todelliseen tarpeeseen, ja vastata yrityksen strategisia tavoitteita ja tahtotiloja.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kuivamädätystekniikkaan perustuvan biokaasulaitoksen soveltuvuutta jätteitä käsittelevän yrityksen liiketoimintastrategiaan ja toimintaympäristöön. Työn päätavoitteena oli selvittää Kymenlaakson Jäte Oy:n toimintaan soveltuvin kuivamädätystekniikka, määrittellä kuivamädätykseen sopivat syötteet yhtiön käsittelemistä jätteistä ja löytää uusia potentiaalisia käsiteltäviä jakeita. Lisäksi työssä konseptoitiin kuivamädätyspalvelua ideoimalla palvelun keskeinen sisältö, tunnistettiin palvelun tärkeimmät sidosryhmät ja analysoitiin palvelun arvontuotto yrityksen asiakkuuksille.

Työn tuloksena Kymenlaakson Jäte Oy:lle löydettiin sen liiketoimintastrategiaa tukeva käsittelymenetelmä orgaanisille jätteille mesofiilisesta pannesperusteisesta suotopetiprosessista. Yhtiön käsittelemistä jätteistä puutarhajätteet ja rasvakaivojäte todettiin kuivamädätykseen soveltuviksi syötteiksi, joiden mädätyskäsittelyä voidaan täydentää maatalouden ja eläintenpidon sivutuotteilla tai jätteillä. Kuivamädätyspalvelun tuotteistaminen todettiin olevan parhaimmillaan jatkuva prosessi, jolla kehitetään yrityksen palvelutarjoamaa. Konseptoinnin tuloksia voidaan hyödyntää kuivamädätyspalvelun varsinaisessa tuotteistamisessa ja konseptoinnissa pohjamateriaalina ja kehitystyön tukena.

**Avainsanat** Kuivamädätys, jätteenkäsittely, biokaasuprosessi, anaerobinen hajoaminen, biokaasuprosessin raaka-aine, palvelukonsepti

**Sivut** 120 sivua, joista liitteitä 6 sivua

Degree Programme in Bioeconomy Business Development  
Visamäki

---

<b>Author</b>	Aki Koivula	<b>Year</b> 2017
<b>Subject</b>	Dry fermentation as organic waste processing method	
<b>Supervisors</b>	Antti Peltola, Maritta Kymäläinen	

---

#### ABSTRACT

The operating environment of waste management lives in a transition, especially because changes in legislation are affecting the sector. Businesses in the industry must be prepared to anticipate changes in order to safeguard their business continuity. This means investing and developing service offering to meet the requirements of a changing operating environment. The introduction of new technologies and services needs to be based on real needs and meet the company's strategic goals and intentions.

This thesis investigated the suitability of a biogas plant based on dry-fermentation for waste treatment company's business strategy and its operating environment. The main aim of the thesis was to find out the most suitable dry fermentation technology for Kymenlaakson Jäte Oy, to define suitable feeds for dry fermentation from the waste handled by the company and to find new potentially treatable fractions. In addition, a dry fermentation service was conceptualized by designing the core content of the service, identifying key stakeholders in the service, and analyzing the value of service to corporate customers.

As a result of the work, a suitable solution for organic waste processing for Kymenlaakson Jäte Oy was found from mesophilic batch based percolation process. Feeds suitable for dry fermentation were found from gardening waste and grease well waste. Waste fermentation can be supplemented by by-products or waste from agriculture and animal husbandry. Productization of the dry fermentation service is at its best a continuous process that develops the company's service offering. The results of the work can be utilized in the actual productization and conceptualization of the dry fermentation service as a base material and as a support for development work.

**Keywords** Dry fermentation, waste treatment, Biogas process, Anaerobic digestion, feedstock of biogas process, Service concept

**Pages** 120 pages including appendices 6 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TYÖN TARKOITUS JA SISÄLTÖ .....	2
2.1	Tutkimuskysymykset .....	2
3	KYMENLAAKSON JÄTE OY .....	4
3.1	Yhtiön toimintapolitiikka .....	7
3.2	Yhtiön liiketoimintastrategia.....	7
4	JÄTTEIDEN KÄSITTELYN TOIMINTAYMPÄRISTÖ .....	10
4.1	Lainsäädäntö toimintaympäristössä .....	10
4.2	Viranomaiset toimintaympäristössä .....	11
4.3	Asiakkaat toimintaympäristössä .....	13
4.4	Palvelutoimittajat toimintaympäristössä.....	14
5	LAINSÄÄDÄNTÖ TOIMINTAYMPÄRISTÖN MUUTOSTEKIJÄNÄ.....	15
5.1	EU:n kiertotalouspaketti .....	15
5.1.1	Kaatopaikoista annetun direktiivin muuttamisen perusteluja.....	17
5.2	Kansallinen Jätelaki ja Jäteasetus.....	18
5.3	Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista .....	19
5.3.1	Jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden arviointi.....	19
5.3.2	Kaatopaikoille hyväksyttävien jätteiden kelpoisuusvaatimukset .....	21
5.3.3	Poikkeukset kelpoisuusvaatimuksista .....	21
5.3.4	Eräiden raja-arvojen korottaminen ja poikkeuslupamenettely .....	22
6	BIOKAASUTUOTANNON MIKROBIOLOGINEN PERUSTA.....	23
6.1	Hydrolyysi .....	24
6.2	Asidogeneesi .....	25
6.3	Asetogeneesi .....	25
6.4	Metanogeneesi.....	26
6.5	Optimiolosuhteet anaerobiselle hajoamiselle .....	26
6.5.1	Lämpötila .....	27
6.5.2	Happamuus ja alkaliniteetti.....	28
6.5.3	Ravinteet ja hivenaineet.....	29
6.5.4	Ammoniakin muodostuminen.....	29
6.5.5	Metanogeenien kilpailijat.....	30
7	BIOKAASUPROSESSIT .....	31
7.1	Mesofiilinen ja termofiilinen prosessi.....	31
7.2	Märkä- ja kuivaprosessit .....	32
7.3	Panos- ja jatkuvatoimiset prosessit.....	33
7.3.1	Jatkuvatoiminen märkäprosessi .....	34
7.3.2	Jatkuvatoiminen kuivaprosessi.....	35
7.3.3	Panostoiminen kuivaprosessi .....	36

7.4	Yksi- ja kaksivaiheiset prosessit.....	38
7.5	Prosessien kuormitus ja optimaalinen viipymäaika.....	39
7.5.1	Orgaaninen kuormitus, OLR .....	39
7.5.2	Viipymäaika, HRT ja SRT .....	40
7.6	Hygienisoituminen biokaasuprosesseissa.....	43
7.7	Biokaasuprosesseja inhibioivia tekijöitä .....	45
7.7.1	Ammoniakki.....	45
7.7.2	Rikkiyhdisteet .....	47
7.7.3	Rasvahapot .....	48
7.7.4	Metallit .....	48
7.7.5	Muut inhiboivat tekijät.....	49
8	BIOKAASUPROSESSIEN RAAKA-AINEET .....	50
8.1	Raaka-aineiden yleiset ominaisuudet .....	50
8.1.1	Kuiva-aine (TS) ja orgaaninen aines (VS) .....	51
8.1.2	Ravinteet ja hivenaineet.....	52
8.1.3	Metaanituottopotentiaali.....	53
8.2	Yksilöidyt raaka-ainelähteet ja raaka-aineiden ominaisuudet.....	55
8.2.1	Lannat .....	56
8.2.2	Hevoselanta.....	58
8.2.3	Kasvibiomassat .....	60
8.2.4	Yhdyskuntajätteet .....	61
8.2.5	Teollisuuden sivutuotteet.....	62
8.3	Raaka-aineiden yhteiskäsittely.....	62
8.4	Raaka-aineiden esikäsittely.....	64
8.4.1	Fysikaaliset menetelmät.....	65
8.4.2	Kemialliset ja biologiset menetelmät .....	66
9	BIOKAASUN HYÖDYNTÄMINEN .....	67
9.1	Biokaasun puhdistus .....	67
9.2	Biokaasun hyödyntämismuodot .....	67
10	MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN HYÖDYNTÄMINEN .....	70
11	AINEISTOT JA MENETELMÄT LABORATORIOTUTKIMUKSISSA .....	71
11.1	Jätejakeiden metaanituottopotentiaalien ja koostumuksien määrittäminen.....	71
11.1.1	Tutkitut jätejakeet .....	72
11.1.2	VS ja TS -pitoisuusmäärittäytysten tulokset.....	73
11.1.3	Metaanintuottopotentiaalien määrittäytksen tulokset .....	74
11.2	Panostoitimisen kuivamädätysprosessin koeajot .....	77
11.2.1	Panosten muodostaminen kokeeseen.....	79
11.2.2	Panoskokeen kaasuntuotannon tulokset.....	81
12	AINEISTOT JA MENETELMÄT PALVELUKONSEPTOINNISSA .....	84
12.1	Palvelukonseptin ideointi.....	85
12.1.1	Uuden palvelukonseptin tarve ja tavoite .....	86
12.1.2	Palvelukonseptin toteuttamisen resursointi ja yhteistyö .....	86
12.1.3	Palvelukonseptin toteuttamisen vaatimat toimenpiteet.....	87

12.1.4 Toteutetun palvelukokonaisuuden oletetut tulokset .....	88
12.2 Palvelukonseptin sidosryhmäverkosto .....	88
12.2.1 Materiaalien toimittajat keskeisessä roolissa .....	89
12.2.2 Viranomaiset liiketoiminnan mahdollistajina ja valvojina .....	90
12.2.3 Laitostoimittaja prosessin tukipilarina .....	90
12.2.4 Uusia palveluja ja tuotteita markkinoille.....	91
12.3 Palvelukonseptin arvontuotto asiakkaille .....	91
12.3.1 Taloudellisen arvon tuottaminen .....	93
12.3.2 Toiminnallisen arvon tuottaminen .....	94
12.3.3 Emotionaalisen arvon tuottaminen .....	95
12.3.4 Symbolisen arvon tuottaminen .....	95
13 TULOSTEN ARVIOINTI JA PÄÄTELMÄT .....	97
13.1 Kuivamädätystekniikka ja sen soveltuvuus yhtiön tarpeisiin.....	97
13.1.1 Päätelmät soveltuvasta tekniikasta.....	98
13.2 Jätejakeiden soveltuvuus kuivamädätykseen ja potentiaaliset uudet jakeet	100
13.2.1 Jätejakeiden soveltuvuus kuivamädätykseen .....	100
13.2.2 Muita kuivamädätykseen soveltuvia syötteitä.....	102
13.2.3 Päätelmät kuivamädätyslaitokseen soveltuvista syötteistä .....	104
13.3 Palvelun konseptointi liiketoiminnan kehittäjänä ja strategian toteuttajana	105
13.4 Jatkotutkimustarpeet ja tulosten käyttäminen kehitystyöhön .....	105
13.5 Tulosten reliabiliteetti ja validiteetti.....	107
LÄHTEET .....	109

## Liitteet

Liite 1	Ympäristöluvan varaiset toiminnot jätteen ammattimaisessa tai laitospöytätyössä
Liite 2	Perusmäärittelylomake kaatopaikkakelpoisuuden arviointia varten
Liite 3	Jätejakeiden TS- ja VS – pitoisuuksien määrittely kuivamädätyskokeessa
Liite 4	Palvelukonseptin ideoinnin täytetty työpohja
Liite 5	Sidosryhmäanalyysin täytetty työpohja

## 1 JOHDANTO

Valtioneuvoston asetus (Vna) kaatopaikoista (331/2013) rajoitti 1.1.2016 alkaen kaatopaikoille sijoitettavan jätteen ominaisuuksia merkittävästi. Tavanomaisen jätteen kaatopaikan pintarakenteen tiivistyskerroksen alla olevaan jätetäyttöön tai rakenteeseen hyväksytään pääasiassa vain sellaista tavanomaista jätettä, jonka biohajoavan ja muun orgaanisen aineksen pitoisuus määritettynä orgaanisen hiilen kokonaismääränä tai hehkutushäviönä on enintään 10 prosenttia.

Kaatopaikan ylläpitäjien ja jätteenkäsittelijöiden on kehitettävä uusia korvaavia ratkaisuja biohajoavaa ja orgaanista ainesta sisältäville jätteille. Jätelain (641/2011) 8§ mukaisesti kaikessa toiminnassa, myös jätteiden käsittelyssä, on mahdollisuuksien mukaan noudatettava seuraavaa *etusija-järjestystä*: Ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jätteen haltijan on valmisteltava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jätteen haltijan on hyödynnettävä jäte muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, jäte on loppukäsiteltävä.

Kymenlaakson Jäte Oy alueellisena jäteyhtiönä vastaa Kymenlaakson ja muutaman muun ympäröivän alueella jätelain (641/2011) 32§ mukaisesta kuntien vastuulle kuuluvasta jätehuollosta. Yhtiö on viime vuosina kehittänyt toimintaansa jätelain vaatimuksia sekä orgaanisen ja biohajoavan jätteen loppusijoittamisen rajoitusta vastaavaksi erilaisin investoinnein ja palvelutoiminnan kehitystyöllä.

Kymenlaakson Jäte Oy vastaanottaa käsiteltäväksi yhdyskuntajätteiksi luokiteltavia puutarha- ja puisto-jätteitä, ruokaöljy- ja ravintorasvajätteitä sekä hulevesiviemäreiden puhdistuksessa syntyviä jätteitä. Tällä hetkellä mainitut jätteet aumakompostoidaan ja lopputuotteena syntynyt komposti on hyödynnetty kaatopaikan pintaverhoilussa. Jatkossa myös tämän kaltaisten tuotteiden käyttö kaatopaikan tiivistyskerroksen alapuolisissa rakenteissa on rajoitettua, joten yhtiön on löydettävä korvaava käsittelymenetelmä kyseisille jätteille. Korvaavan käsittelymenetelmän toivotaan myös mahdollistavan uusien jätejakeiden vastaanottamisen ja liiketoiminnan laajentamisen erilaisten tuki- ja lisäpalveluiden myötä.

Orgaanisen aineksen anaerobiseen hajoamiseen perustuva kuivamädätys on Keski-Euroopassa yleisesti käytetty käsittelymenetelmä orgaanisille jätteille. Eritoten maatalouden tuottamia kuivalantoja, puutarhatalouden jätteitä, energiakasveja ja biojätteitä käsitellään erilaisilla kuivamädätysprosesseilla. Kuivamädätys tukee biotalouden perusideaa tuottamalla energiaa ja raaka-aineita markkinoille hyödynnettävien biokaasun ja lannoitevalmisteiden muodossa.

## 2 TYÖN TARKOITUS JA SISÄLTÖ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kuivämädätystekniikkaan perustuvan biokaasulaitoksen käyttöönoton soveltuvuus Kymenlaakson Jäte Oy:n tarpeisiin, strategiaan ja toimintaympäristöön.

Työssä on kuvattu Kymenlaakson Jäte Oy:n toimintapolitiikkaan perustuvan liiketoimintastrategian rakenne ja yleinen toimintaympäristö, nykyisen jätteiden käsittelyä ohjaavan lainsäädännön vaikutus orgaanisten jätteiden käsittelyyn, biokaasuteknologian mikrobiologiset ja tekniset perusteet sekä biokaasuprosesseihin yleisesti soveltuvia syötteitä.

Laboratoriotutkimuksien avulla selvittiin yhtiölle vastaanotettavien jätteiden ja jätekeskuksen prosesseissa syntyvien jakeiden soveltuvuus biokaasuprosessiin. Laboratorio-olosuhteissa suoritettujen metaanituottopotentiaalin määritykset ja materiaalien mädätyskokeet antoivat tietoa yhtiön toimista käsiteltävien jakeiden hyödyntämismahdollisuuksista kuivämädätykseen perustuvassa biokaasuprosessissa. Biokaasulaitoksen hankinnassa on olennaista varmistaa riittävä ja sopiva raaka-ainepohja prosessille sekä mitoittaa laitoksen käsittelykapasiteetti vastaamaan raaka-ainepohjaa.

Lisäksi työssä määriteltiin orgaanisten jätteiden käsittelyyn perustuvan palvelukonseptin perusteita. Sidosryhmäanalyysillä tunnistettiin palvelukonseptin tärkeimmät sidosryhmät ja arvontuottoanalyysillä määriteltiin palvelukonseptin potentiaalinen arvontuotto yrityksen asiakkuuksille. Työn tuloksia voidaan hyödyntää kuivämädätyslaitoksen ympärille rakennettavan palvelukonseptin jatkokehityksessä ja palvelun tuotteistamisessa.

Mädätysprosessista syntyvän mädätysjäännöksen ja biokaasun ominaisuudet ja jatkohyödyntämismahdollisuudet ovat olennainen osa mädätyslaitoksen kokonaisprosessia. Tutkimus rajattiin mädätystekniikan kuvaukseen, potentiaalisten syötteiden määrittelyyn ja palvelukonseptin analysointiin. Kymenlaakson Jäte Oy:llä on vuosien kokemus märkämädätysprosessista syntyvän mädätysjäännöksen käsittelystä ja hyödyntämisestä lannoitevalmisteena ja kompostimullan raaka-aineena. Mädätysjäännöksen hyödyntämiselle on käynnissä useita eri hankkeita, joihin voidaan sisällyttää myös kuivämädätyslaitoksen tuottamat jakeet. Kuivämädätyksen tuottama biokaasu tulee omalta osaltaan varmistamaan yhtiön käytössä olevan mikroturbiinilaitoksen toimintaa.

### 2.1 Tutkimuskysymykset

Varsinaiset työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Soveltuuko kuivämädätysprosessi tekniikkana orgaanisten jätteiden käsittelyyn Kymenlaakson Jäte Oy:lle?



2. Voidaanko jo nyt vastaanotettavia jätejakeita hyödyntää kuivämädätysprosessissa ja mitä uusia jakeita olisi mahdollista vastaanottaa?
3. Kuinka kuivämädätys palvelukonseptina voisi vastata yhtiön toimintaympäristön asettamiin haasteisiin ja liiketoimintastrategian tavoitteisiin?

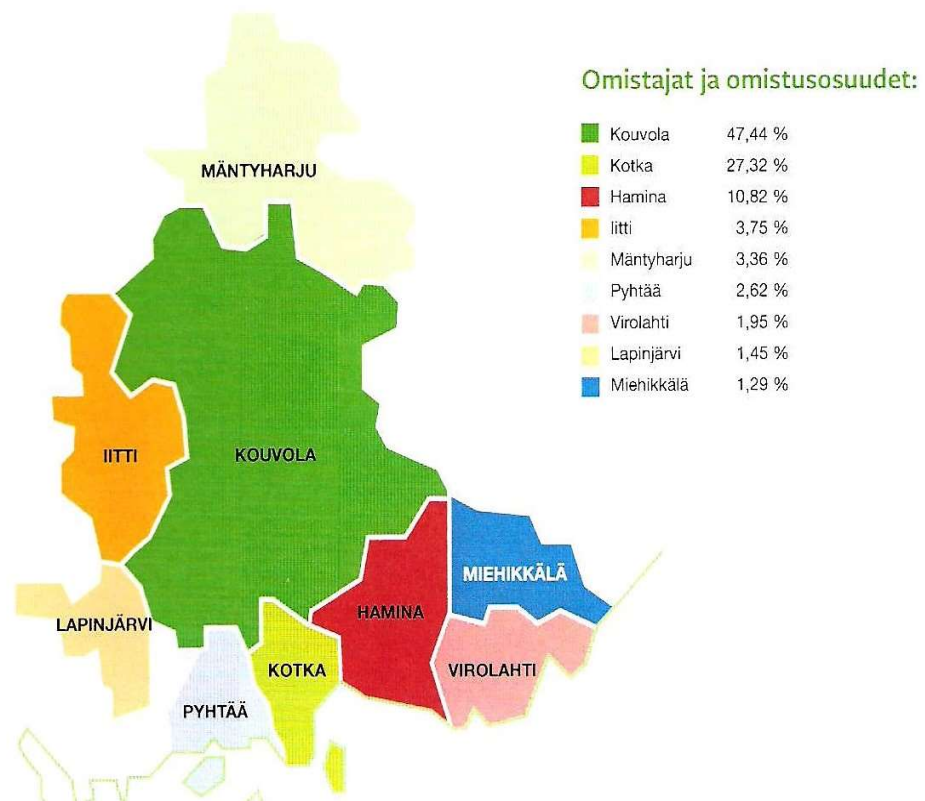
Kuivämädätysprosessitekniikan soveltuvuuteen Kymenlaakson Jäte Oy:n toiminnassa haettiin vastausta kirjallisuudesta kuvaamalla erilaisten biokaasuprosessien perusteita. Prosessikuvauksien perusteella voitiin tehdä päätelmät toimeksiantajalle parhaiten soveltuvasta biokaasuprosessista.

Uusien jakeiden vastaanottomahdollisuuteen haettiin vastausta kirjallisuudesta ja tehdyistä tutkimuksista. Kerätyn tiedon perusteella voitiin tehdä päätelmät biokaasuprosesseihin ja toimeksiantajalle soveltuvista raaka-aineista. Vastaanotettavien jätejakeiden osalta vastaukset selvitettiin omalla tutkimuksella. Laboratorio-olosuhteissa suoritettujen metaanituotto- ja mädätyskokeiden perusteella voitiin tehdä päätelmät jakeiden soveltuvuudesta biokaasuprosessiin.

Viimeiseen kysymykseen haettiin vastauksia ideoimalla kuivämädätyksen palvelukonseptin perusteet, tunnistamalla palvelukonseptin eri osapuolet sidosryhmäanalyysillä sekä analysoimalla palvelun arvontuotto yrityksen asiakkaille. Analyysien perusteella voitiin tehdä päätelmät palvelukonseptin vastaavuudesta yhtiön toimintaympäristön asettamiin haasteisiin ja yhtiön strategiaan.

### 3 KYMENLAAKSON JÄTE OY

Kymenlaakson Jäte Oy on vuonna 1997 perustettu 9 kunnan omistama alueellinen jäteyhtiö. Osakeyhtiön omistajia ovat Kouvolan, Kotkan, Haminan, Iitin, Pyhtään, Virolahden, Miehikkälän, Mäntyharjun ja Lapinjärven kunnat (kuva 1). Toiminta-alueella asui vuoden 2015 lopussa noin 188 000 asukasta. Yhtiön pääasiallisena tehtävänä on hoitaa omistajakuntiensa lakisääteiset jätehuollon palvelutehtävät, mikäli nämä tehtävät ovat omistajakunnan toimesta yhtiölle siirretty. (Kymenlaakson Jäte Oy 2015, 30.)



Kuva 1. Kymenlaakson Jäte Oy:n omistajat ja omistusosuudet (Kymenlaakson Jäte Oy 2015, 3).

Omistajakunnista Kouvola, Kotka, Iitti ja Mäntyharju ovat siirtäneet jätelain (646/2011) 43§ mukaisesti palvelutehtävät täysimääräisesti yhtiön hoidettavaksi. Muissa osakaskunnissa kyseiset palvelut on siirretty osittain yhtiön vastuulle. (Kymenlaakson Jäte Oy 2015, 3.)

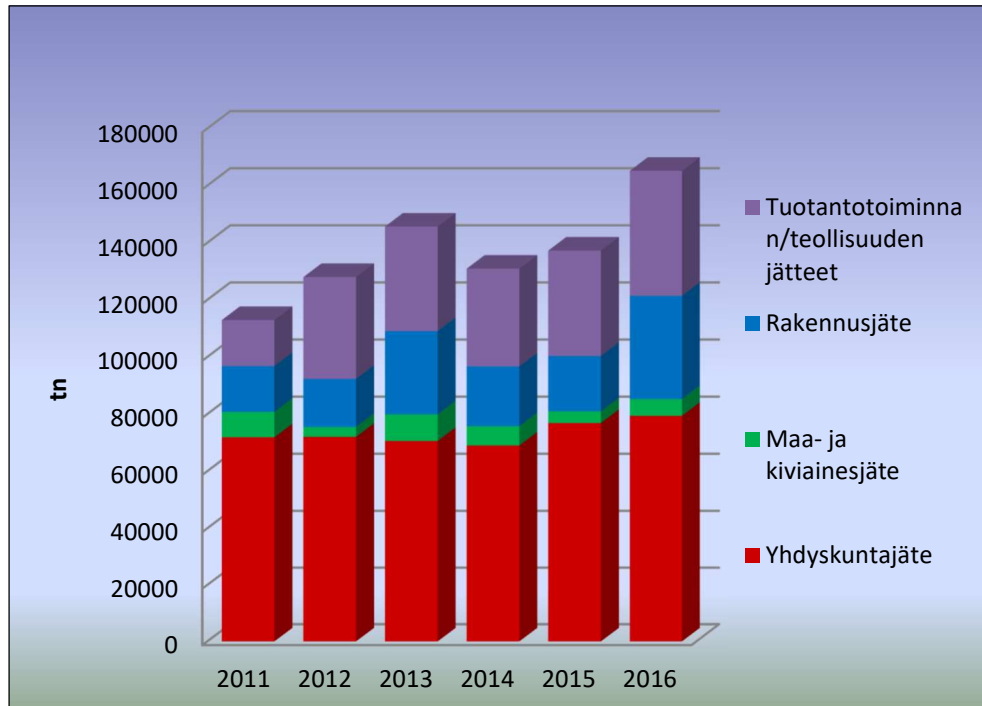
Kymenlaakson Jäte Oy:n jätteen keräyspalvelut koostuvat asukkaille ja omistajakunnille suunnatuista kiinteistökohtaisesta jätteenkuljetuksesta, miehitetystä jäteasemaverkostosta, ekopisteverkostosta sekä kiertävistä keräyspalveluista. Asumisessa syntyvien jätteen kiinteistökohtainen jätteenkuljetus on järjestetty Kouvola, Kotka, Iitti ja Mäntyharjulla. Omistajakuntien hallinnoimien kiinteistöjen jätteenkuljetus on järjestetty

Kouvolassa, Kotkassa ja Haminassa. Miehitettyjä asukkaille jätteen vastaanottopalveluja tarjoavia jäteasemia on Kouvolassa 6 kappaletta ja Kotkassa, Mäntyharjulla ja Lapinjärvellä yksi. Miehitämätön ekopisteverkosto kattaa Kotkan, Kouvolan, Iitin, Mäntyharjun, Pyhtään ja Lapinjärven 75 keräyspisteellä. Kiertäviä keräyspalveluja järjestetään koko toiminta-alueen haja-asutusalueilla ja Kotkan saaristossa muutamia kertoja vuodessa. (Kymenlaakson Jäte Oy 2015, 3-31.)

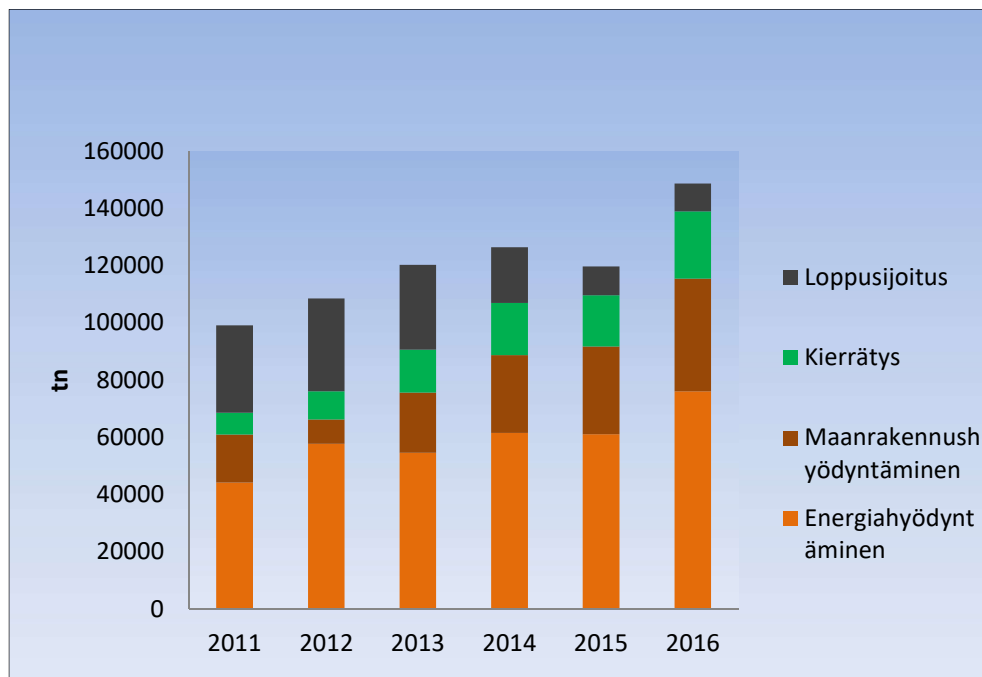
Yhtiön jätteiden käsittelypalvelut keskittyvät Kouvolaan Keltakankaan jätekeskukseen. Jätekeskuksen toiminnot kattavat monipuolisesti erilaisten kiinteiden ja nestemäisten jätteiden vastaanottopalvelut. Keskeisimpiä toimintoja ovat jätteiden lajittelu- ja varastointiterminaali, sekalaisten jätteiden mekaaninen lajittelulaitos ja energiajätteen käsittelylaitos, jätteenpolton kuonien ja tuhkien käsittely, nestemäisten jätteiden allastus, öljyisten maiden ja vesien käsittely ja tavanomaisen jätteen loppusijoitusalue. (Kymenlaakson Jäte Oy 2015, 3-31.)

Vuonna 2016 Kymenlaakson Jäte Oy:n jätteiden keräys- ja käsittelypalvelut kattoivat noin 165 000 tonnin jätteiden käsittelyn. Käsitelty jättemäärä kasvoi noin 20 % edellisestä vuodesta, johtuen pääsääntöisesti kaatopaikka-asetuksen (331/2017) 1.1.2016 voimaan tulleesta orgaanisen jätteen loppusijoittamisen rajoituksesta sekä jätteiden varastoinnin terminaali- ja kaatopaikka-asetuksen voimaantulusta. Kaatopaikka-asetuksen voimaantulusta useat eri jätteenalan toimijat tarvitsevat ympäristöluvan omaavia ja asianmukaisia jätteiden käsittelyvaihtoehtoja toiminnassaan syntyville lajittelurejekteille ja/tai hallinnoimilleen jätteille. Eritoten tämä tarve heijastui vuonna 2016 Kymenlaakson Jäte Oy:n vastaanottamiin ja käsittelemiin jättemääriin (kuva 2). (Kymenlaakson Jäte Oy, 2016a)

Yhtiön toiminta tähtää vahvasti jätteiden energia- ja materiaalihyödyntämiseen. Vuonna 2016 enää vain noin 6,5 % yhtiön kokonaiskäsittelmäärästä loppusijoitettiin kaatopaikoille. Energia- ja maanrakennushyödyntämiseen jätteistä materiaaleja ohjautui noin 78 %, kierrätykseen 15,5 % vastaanotetuista, kuljetetuista ja käsitellyistä jätteistä (kuva 3). (Kymenlaakson Jäte Oy 2016a.)



Kuva 2. Kymenlaakson Jäte Oy, käsitellyt jätemäärät luokitettuina 2011-2016 (Kymenlaakson Jäte Oy 2016a).



Kuva 3. Kymenlaakson Jäte Oy, jätetoimitukset käsittelymenetelmittäin 2011-2016 (Kymenlaakson Jäte Oy 2016a).

### 3.1 Yhtiön toimintapolitiikka

Toimintapolitiikkansa mukaisesti Kymenlaakson Jäte Oy alueellisena jäteyhtiönä huolehtii jätehuollon asianmukaisesta toteuttamisesta asiakasvaatimukset sekä ympäristö- ja terveysnäkökohdat huomioiden. Yhtiö on lähellä asiakasta ja toimii toimialueensa jätehuollon asiantuntijana ja kehittäjänä. Tiedotus ja vuorovaikutus asiakkaille ja sidosryhmille on avointa. Laadukkaat jätehuoltopalvelut tuotetaan monipuolisesti, kustannustehokkaasti ja ne ovat helposti saavutettavissa. Palvelut turvataan kaikille asiakkaille myös tulevaisuudessa. Käsiteltävät jätteet ohjataan kierrätykseen ja hyötykäyttöön sekä loppusijoitetaan riskittömästi. (Kymenlaakson Jäte Oy 2016b.)

Yhtiö uudistaa toimintatapojansa jatkuvasti tehokkaammiksi ja vähemmän ympäristöä kuormittaviksi parhaita käyttökelpoisia tekniikoita soveltaen. Ympäristövastuun kantaminen, resurssiviisaus ja ilmastonmuutoksen hillitseminen ovat toiminnan kulmakivenä. Jätteen määrää ja haitallisuutta vähennetään ympäristökasvatuksen avulla ja kaikessa toiminnassa sitoudutaan haitallisten ympäristövaikutusten jatkuvaan pienentämiseen. (Kymenlaakson Jäte Oy 2016b.)

Toiminnassa panostetaan työturvallisuuteen ja henkilöstön hyvinvoinnin edistämiseen. Toiminta on suunnitelmallista ja päämäärätietoista ja asetettujen tavoitteiden toteutumista seurataan säännöllisesti. Tavoitteiden saavuttamiseksi yhtiössä toteutetaan ISO 9001 ja ISO 14001 -standardien mukaista laadunhallinta- ja ympäristöjärjestelmää. (Kymenlaakson Jäte Oy 2016b.)

Toiminnan tavoitteena on parantaa alueen elinkeinoelämän toimintaedellytyksiä tarjoamalla monipuolisia jätehuoltopalveluja, työmahdollisuuksia ja materiaalivirtoja uusien käsittelypalvelujen kehittämiseksi. Yhtiön johto ja henkilökunta ovat sitoutuneet yhtiön toimintapolitiikkaan ja toiminnan jatkuvaan parantamiseen. (Kymenlaakson Jäte Oy 2016b.)

### 3.2 Yhtiön liiketoimintastrategia

Kymenlaakson Jäte Oy:n liiketoimintastrategia pohjautuu yhtiön toimintapolitiikassa määritelyihin tapoihin toimia. Pitkän tähtäimen liiketoimintastrategia on laadittu ajanjaksolle 2015–2025 ja se toimii yhtiön vuosittaisen strategiatyön ohjenuorana. Pitkän tähtäimen strategian laadinnassa on määritelty yhtiön missio ”Jätehuoltoa aina asiakkaiden tarpeiden ja ajan vaatimusten mukaisesti”. Missiota toteuttavat yhtiön strategiassa määritellyt tehtävät sekä yhtiön arvot jotka ohjaavat tehtävien toteutusta (kuva 4). Tuotelinjakohtaiset visiot kuvaavat tilannetta, jossa yhtiö haluaa olla vuoteen 2025 mennessä (kuva 5). (Kymenlaakson Jäte Oy 2014.)



Kuva 4. Kymenlaakson Jäte Oy strategiset tehtävät ja arvot (Kymenlaakson Jäte Oy 2014).



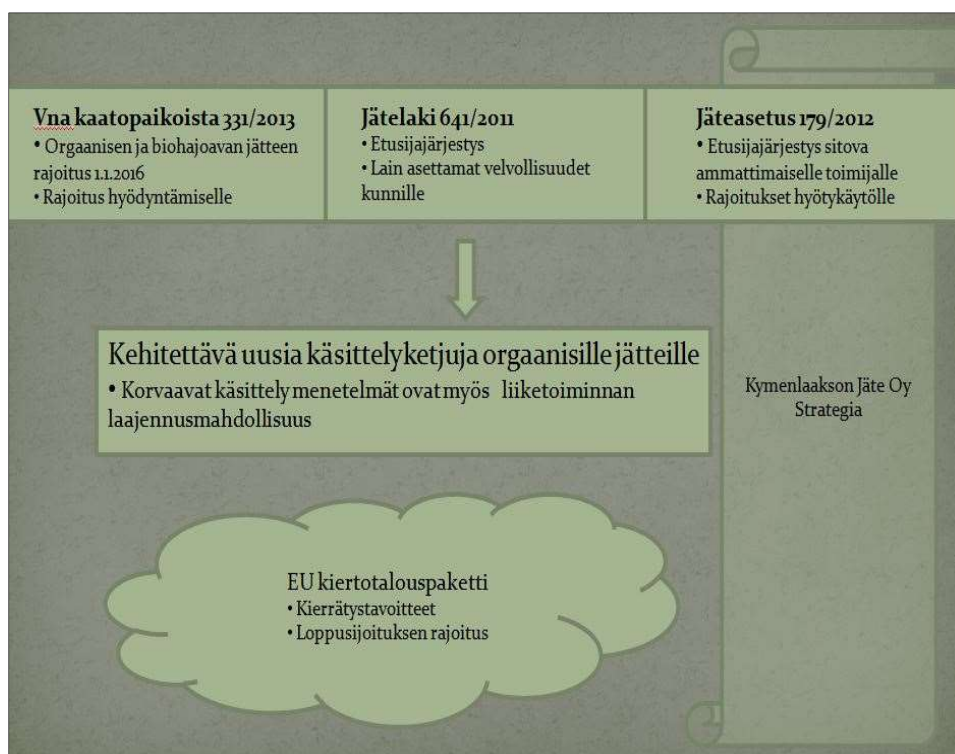
Kuva 5. Kymenlaakson Jäte Oy tuotelinjakohtaiset visiot (Kymenlaakson Jäte Oy 2014).

Yhtiön vuosittaisessa strategiatyössä noudatetaan punaista lankaa tuotelinjakohtaisen vision kautta missioon ja aina toimintapolitiikkaan saakka. Lyhyen tähtäimen strategia laaditaan tuotelinjakohtaisesti vuositason luoden painopistealueet, joilla kokonaisvaltaista strategiaa toteutetaan. Valituille painopistealueille määritetään konkreettiset hankkeet ja hankkeille mitattavat parametrit ja tavoitetaso. (Kymenlaakson Jäte Oy 2014.)

## 4 JÄTTEIDEN KÄSITTELYN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

### 4.1 Lainsäädäntö toimintaympäristössä

Kymenlaakson Jäte Oy:n toiminnan tulee vastata toimintaympäristön jatkuvassa muutoksessa etenkin lainsäädännön asettamiin vaatimuksiin. Yhtiön operatiivista toimintaa ohjaavat erityisesti jätelaki (641/2011) ja valtioneuvoston asetus jätteistä (179/2012), valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013), jäteverolaki (1126/2010), ympäristönsuojelulaki (527/2014), Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista (1397/2016) sekä EU:n uuden kiertotalouspaketin asettamat yleiset tavoitteet mm. jätteiden kierrätys- ja hyödyntämistä varten. Yhtiön on strategiasaana huomioitava jatkuva lainsäädännön kehitys ja varauduttava sen mukaan tuomiin muutoksiin (Kuva 6).



Kuva 6. Havainnekuva lainsäädännön aiheuttamasta toimintaympäristön muutoksesta ja vaikutuksesta yhtiön strategiatyöhön.

Jätelain (641/2011) 32§ mukaan kuntien on järjestettävä kaikessa asumisessa syntyvän jätteen (ml. vaarallinen jäte), sako- ja umpikaivolietteen, julkisoikeudellisten yhteisöjen (valtio, kunnat, seurakunnat) yhdyskuntajätteen, sosiaali- ja terveyspalveluissa sekä koulutustoiminnassa syntyvän yhdyskuntajätteen jätehuolto. Jätehuollon järjestämisvelvollisuuden kuullaessa jätelain 46 § mukaisesti tuottajan tai jakelijan vastuulle, kunnalla ei jätehuollon järjestämisvelvollisuutta ole jätelain 48 § mukaisille jätteille. Myös muiden jätteiden jätehuolto on kuntien toissijaisen järjestämisvelvollisuuden piirissä jätteen haltijan pyytäessä tätä muun palveluntarjonnan puutteen vuoksi. Jätteen on tällöin sovellettava laadultaan ja määrältään



kuljetettavaksi ja/tai käsiteltäväksi kunnan jätehuoltojärjestelmässä. (Jätelaki 641/2011, 33 §.)

Kunnan on jätehuollon järjestämisen yhteydessä varmistuttava siitä, että jätteen tuottajalla on käytettävissä tarpeen mukaan kiinteistökohtainen jätteenkeräys, vaarallisen ja muun jätteen vastaanottoapaikat ovat vaivattomasti saavutettavissa ja niitä on riittävästi, jätteiden erilliskeräys on mahdollista etusijajärjestyksen mukaisesti, jätteiden keräys ja kuljetus on järjestetty ja mitoitettu vastaamaan syntyvän jätteen määrää ja laatua sekä jätteenkuljetuksen ja alueellisen vastaanoton järjestelyistä tiedotetaan riittävän usein. (Jätelaki 641/2011, 34 §.)

Kunta voi päätöksellään siirtää jätelaissa sille määrätyt tehtävät tätä varten perustetulle yhtiölle julkisen vallan käyttöä koskevia tehtäviä lukuun ottamatta. Kunta vastaa edelleen, että jätelain mukaiset palvelutehtävät tulevat näin hoidetuksi. Perustetun yhtiön on toiminnassaan noudatettava viranomaisten toimintaan sovellettavia lakeja sekä palveluhankinnoissaan julkisista hankinnoista annettua lakia. (Jätelaki 641/2011, 43 §.)

Ympäristönsuojelulakia sovelletaan ympäristön pilaantumista aiheuttavan teollisen toiminnan ohella toimintaan, jossa syntyy jätettä tai jätettä käsitellään (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 2 §). Toiminnanharjoittajan on lain mukaan järjestettävä toimintansa niin, että ympäristön vahingoittuminen voidaan ehkäistä ennakolta tai ainakin rajoitettava vaikutus mahdollisimman vähäiseksi. Toiminnanharjoittajan on oltava selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista sekä ympäristöriskeistä ja niiden hallinta ja haitallisuuden vähentäminen on tunnistettava. Luvanvaraisen toimijan on tämän lisäksi käytettävä toiminnassaan parasta käyttökelpoista tekniikkaa (BAT), toiminnan on oltava energiatehokasta, toiminnan päästöjä ja niiden vaikutuksia tarkkaillaan ja toiminnanharjoittajalla on oltava riittävä asiantuntemus toiminnan laatuun ja laajuuteen nähden. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 7-8 §.)

Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan on oltava ympäristölupa. Jätteiden ammattimaisen tai laitospäivän käsittelyn lupatarpeesta määrätään ympäristönsuojelulain (527/2014) liitteessä 1 (liite 1). Ympäristölupa vaaditaan myös toiminnoilta, joka saattaa aiheuttaa vesistön pilaantumista tai kohtuutonta räsitystä naapurustolle. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 27§.)

#### 4.2 Viranomaiset toimintaympäristössä

Useat eri toimivaltaiset viranomaiset ohjaavat, edistävät ja valvovat Kymenlaakson Jäte Oy:n toimintaa. Operatiivisen toiminnan keskeiset viranomaisyhteydet toimintaympäristössä ovat Kaakkois-Suomen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Etelä-Suomen aluehallintovirasto, Suomen ympäristökeskus, Elintarviketurvallisuusvirasto, Verohallinnon valmisteveroyksikkö sekä kilpailu- ja kuluttajavirasto.

Aluehallintovirasto (AVI) toimii valtion ympäristölupaviranomaisena ja tukee kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen toimintaa toimialaansa kuuluvissa asioissa. AVI valvoo myös toimialueellaan laki eläimistä saatavien sivutuotteiden (517/2015) säännösten ja määräysten toteuttamista elintarvikeviraston valvontasuunnitelman mukaisesti ja arvioi kuntien sivutuotevalvonnan järjestämistä ja toteutumista. Aluehallintoviranomaisten toimintaa säädetään erikseen aluehallintoviranomaista annetussa laissa (896/2009). (Jätelaki 641/2011, 22 §; ympäristönsuojelulaki 527/2014, 21 §; Laki eläimistä saatavista sivutuotteista 517/2015, 44 §.)

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY) ohjaa ja edistää jätelain (641/2011) ja ympäristönsuojelulain (527/2014) säännöksissä tarkoitettujen tehtävien hoitamista toimialueellaan ja valvoo näiden säännösten toteuttamista. Lisäksi ELY käyttää osaltaan ympäristönsuojelun yleisen edun puhevaltaa ympäristönsuojelulain mukaisessa päätöksenteossa ja tukee kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen toimintaa toimialaansa kuuluvissa asioissa. (Jätelaki 641/2011, 22 §; ympäristönsuojelulaki 527/2014, 21 §.)

Kuntien jätelaissa (641/2011) määräytyistä jätehuollon viranomaistehtävistä huolehtii erikseen kunnan määräämä, kuntalaissa (410/2015) tarkoitettu jätehuoltoviranomainen. Mikäli kunta on siirtänyt palvelutehtävänsä hoidettavaksi kuntien omistamassa yhtiössä, kunnan jätehuoltoviranomaisena toimii yhteistoiminta-alueen kuntien yhteinen toimielin tai näiden perustama kuntayhtymä. Ympäristönsuojeluviranomaistehtävistä huolehtii kuntien ympäristönsuojelun hallinnosta annetussa laissa (64/1986) tarkoitettu kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Ympäristönsuojeluviranomainen huolehtii ympäristönsuojelulain (527/2014) lupa- ja valvontatehtävistä ja käyttää osaltaan ympäristönsuojelun yleisen edun puhevaltaa lain mukaisessa päätöksenteossa. Jätelain (641/2011) osalta ympäristönsuojeluviranomainen valvoo lain säännösten ja määräysten toteuttamista yhdessä ELY-keskusten kanssa. (Jätelaki 641/2011, 23 §; Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 22 §.)

Suomen Ympäristökeskus (SYKE) ylläpitää ja kehittää parhaan käyttökelpoisen tekniikan tiedonvaihtoa, seuraa sen kehittymistä ja tiedottaa siitä. Lisäksi SYKE toimii jätteen kansainvälisten siirtojen toimivaltaisena viranomaisena Suomessa, vastaa yhteistyöstä muiden maiden toimivaltaisten viranomaisten kanssa jätesierrojen valvonnassa ja toimii jättesierroasetuksen (EY N:o 1013/2006) mukaisena kansallisena yhteyshenkilönä. (jätelaki 641/2011, 22 §; ympäristönsuojelulaki 527/2014, 21 §.)

Elintarviketurvallisuusviraston (EVIRA) tehtävänä on valvoa laki eläimistä saatavien sivutuotteiden (517/2015) sekä varsinaisen sivutuoteasetuksen (EY N:o 1069/2009) ja sitä täydentävän täytäntöönpanoasetuksen (EU 142/2011) määräyksien ja säädösten noudattamista. EVIRA valvoo hyväksymiään ja rekisteröimiään sivutuotealan toimijoita, laitoksia ja laboratorioita ja vastaa EU:n sivuoteasetuksessa ja sen täytäntöönpanoasetuksessa

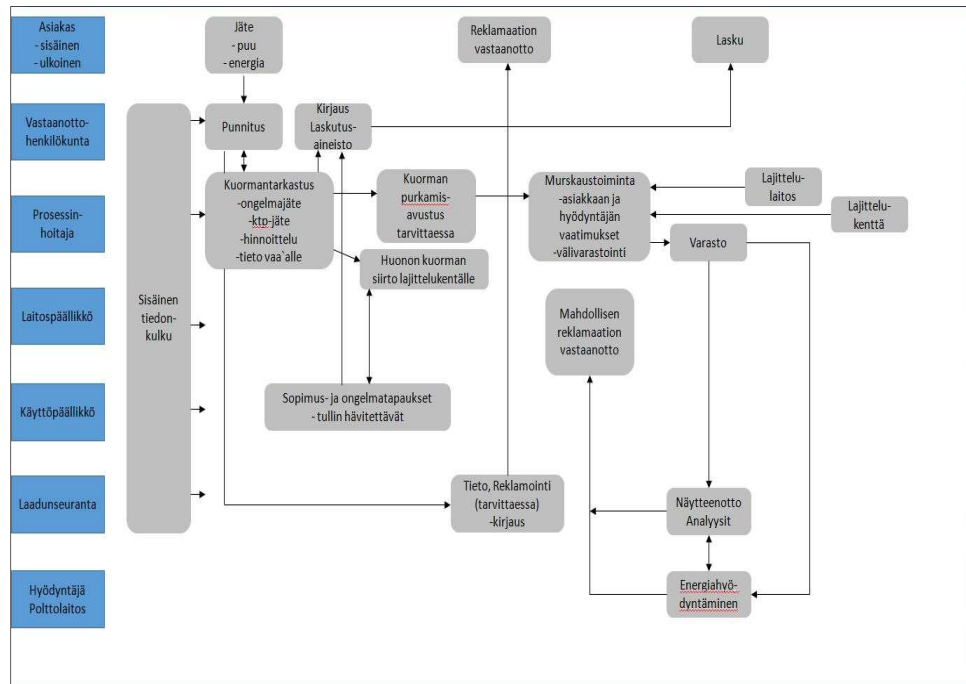
määrätyistä toimivaltaiselle viranomaiselle säädetyistä tehtävistä. Lannoitevalmisteiden osalta EVIRA vastaa lannoitevalmistelain (539/2006) täytäntöönpanosta sekä lain ja lannoiteasetuksen (EY N:o 2003/2003) sivutuoteasetuksen (EY N:o 1069/2009) säännösten ja määräysten toteuttamisesta, valvonnasta ja valvonnan järjestämisestä. (Laki eläimistä saatavista sivutuotteista 517/2015, 43 §; Lannoitevalmistelaki 539/2006, 17 §.)

Verohallinnon valmisteveroyksikkö valvoo 1.1.2017 alkaen aiemmin tullilaitokselle kuulunutta jäteverolain (1126/2010) säädösten ja määräysten toteutumista ja huolehtii verotuksen toimittamisesta. Kilpailu- ja kuluttajavirasto valvoo julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista säädetyin lain (1397/2016) noudattamista. (Jäteverolaki 1126/2010, 2 §; laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 1397/2016, 139 §.)

#### 4.3 Asiakkaat toimintaympäristössä

Kymenlaakson Jäte Oy:n asiakkuudet ovat eri tuotantoprosessien sisäisiä ja ulkoisia asiakkuuksia. Sisäiset ja ulkoiset asiakkuudet jakautuvat edelleen toimittaja-asiakkuuksiin ja loppukäyttäjäasiakkuuksiin. (Kymenlaakson Jäte 2016c.)

Yhtiön sisäiset asiakkuudet tuottavat toisilleen tuotteita käsiteltävien jätteiden tai hyödynnettävien materiaalien muodossa sekä erilaisten palvelujen muodossa. Eri jätteiden keräys- ja käsittelyjärjestelmät tarvitsevat ja täydentävät toisiaan tuotantoprosessien osana ja toimivat toistensa sisäisinä asiakkaina niin toimittaja-asiakkuuksina kuin loppukäyttäjäasiakkuuksina. Ulkoiset toimittaja-asiakkaat ostavat yhtiön tarjoamia jätteiden vastaanotto- ja käsittelypalveluja toimittaen jätteensä yhtiön tuotantoprosesseihin. Loppukäyttäjä asiakkaat taas toimivat jätteiden ja materiaalien hyödyntäjinä sekä jatkokäsittelijöinä, kuljetus- ja keräyspalveluiden tai aineettomien palveluiden, kuten neuvonta, ostajina. Kuvassa 7 on esitetty tyypillinen Kymenlaakson Jäte Oy:n tuotantoprosessi eri asiakkuuksineen. Sisäiset ja ulkoiset asiakkaat toimittavat jätettä käsittelyprosessiin ja prosessin loppukäyttäjäasiakas on ulkoinen asiakas. (Kymenlaakson Jäte Oy 2016c.)



Kuva 7. Esimerkki tuotantoprosessista, jossa toimittaja-asiakkaana sisäinen ja ulkoinen asiakkuus ja loppukäyttäjänä ulkoinen asiakkuus (Kymenlaakson Jäte Oy 2016c).

#### 4.4 Palvelutoimittajat toimintaympäristössä

Kymenlaakson Jäte Oy:n tuotantoprosessit tarvitsevat tuekseen kattavan palveluntuottajien verkoston toimiakseen. Tärkeimmät operatiivisen toiminnan palvelutoimittajaryhmät ovat seuraavat. (Kymenlaakson Jäte Oy 2016c.):

- Kunnossapito- ja huoltopalvelut
- Teknisen suunnittelun palvelut
- Varaosatoimittajat
- Laboratorioanalyysipalvelut
- Kuljetuspalvelut
- Järjestelmätoimittajat (ATK)
- Laitetoimittajat
- Murskaus-, seulonta- ja koneurakointipalvelut

## 5 LAINSÄÄDÄNTÖ TOIMINTAYMPÄRISTÖN MUUTOSTEKIJÄNÄ

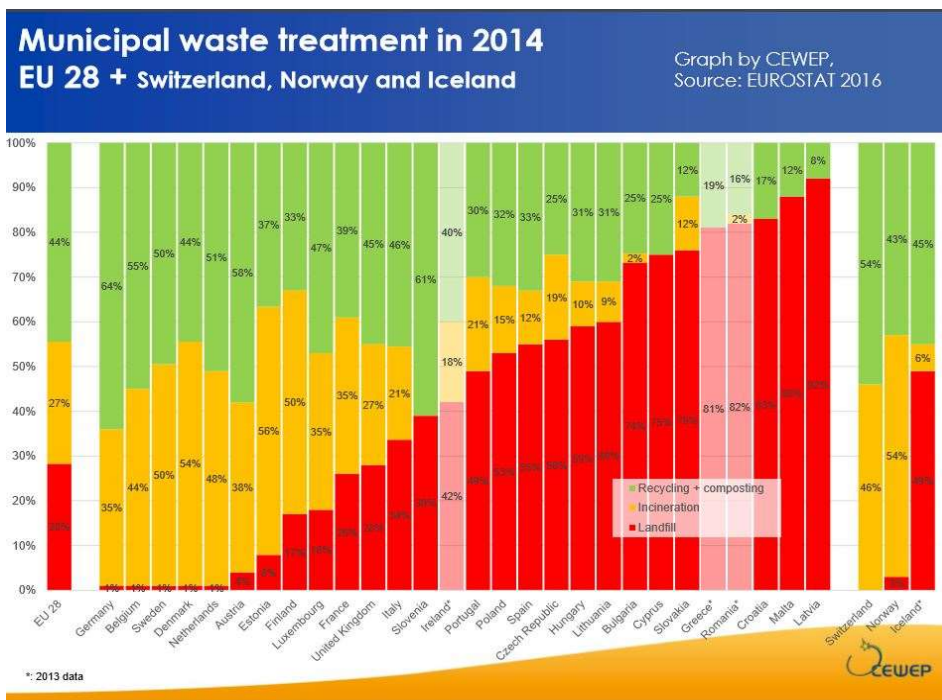
### 5.1 EU:n kiertotalouspaketti

Euroopan komissio antoi 2.12.2015 ehdotukset Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiveiksi jätteistä annetun direktiivin (2008/98/EY) sekä kaatopaikoista annetun direktiivin (1993/31/EY) muuttamisesta. Ehdotukset vastaavat direktiiveissä asetettuun velvoitteeseen tarkastella uudelleen niissä mainittuja jätehuoltotavoitteita ja ovat osa komission samanaikaisesti julkaisemaa niin sanottua kiertotalouspakettia. (Valtioneuvoston kirjelmä U 27/2015vp 2016.)

Ehdotusten tavoitteena on unionin jätehuoltoa parantamalla edistää ympäristön ja ihmisen terveydensuojelua, varmistaa luonnonvarojen harkittu ja järkevä käyttö sekä edistää kiertotaloutta. Ehdotusten tarkoituksena on varmistaa jätehierarkian täysimääräinen toimeenpano kaikissa jäsenmaissa, vähentää syntyvän jätteen määrää ja varmistaa korkealaatuinen kierrätys sekä se, että kierrätettyä jätettä käytetään merkittävänä ja luotettavana raaka-aineiden lähteenä unionissa. Ehdotuksilla pyritään parantamaan jätehuoltokäytäntöjä, edistämään kierrätysinnovaatioita, rajoittamaan jätteen sijoittamista kaatopaikalle ja kannustamaan kuluttajia muuttamaan tottumuksia. Ehdotetuilla toimilla arvioidaan saavutettavan merkittäviä hyötyjä, kuten kestävä kasvu ja uudet työpaikat, kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen, paremmista jätehuoltokäytännöistä saatavat suorat säästöt ja ympäristön parempi laatu. Ehdotuksilla myös vähennetään hallinnollista kuormaa yksinkertaistamalla direktiiveihin sisältyviä raportointivaatimuksia. (Valtioneuvoston kirjelmä U 27/2015vp 2016.)

Unionin talous menettää tällä hetkellä merkittäviä määriä jätevirrassa olevia potentiaalisia uusiöraaka-aineita. Euroopan Unionissa syntyi vuonna 2013 noin 2,5 miljardia tonnia jätettä. Tästä määrästä 1,6 miljardia tonnia ei käytetty uudelleen tai kierrätetty. Arvioiden mukaan vuonna 2013 olisi voitu kierrättää tai käyttää uudelleen vielä 600 miljoonaa tonnia. (COM(2015) 595 final.)

Jätehuollossa on unionin jäsenvaltioiden välillä suuria eroja. Vuonna 2011 kuusi unionin jäsenvaltioista sijoitti vain alle kolme prosenttia yhdyskuntajätteestään kaatopaikoille. Sen sijaan 18 jäsenvaltiota sijoitti yli puolet ja osa jopa yli 90 prosenttia yhdyskuntajätteestään kaatopaikoille (kuva 8). Tätä epäsuhtaista tilannetta on käsiteltävä Euroopan Komission mukaan kiireellisesti. (COM(2015) 595 final.)



Kuva 8. Yhdyskuntajätteen käsittely vuonna 2014 Euroopan Unionin jäsenvaltioissa (CEWEP 2016).

Ehdotuksen keskeisimmät asiat orgaanisten jätteen käsittelyn kannalta ovat yhdyskuntajätteen uudelleenkäytön valmistelun ja kierrätyksen tavoitteiden kiristäminen. (Valtioneuvoston kirjelmä U 27/2015vp 2016.):

- Vuoteen 2025 mennessä yhdyskuntajätteen kierrätetään 60 %
- Vuoteen 2030 mennessä yhdyskuntajätteen kierrätetään 65 %
- Vuoteen 2030 mennessä enintään 10 % yhdyskuntajätteen siirretään kaatopaikalle

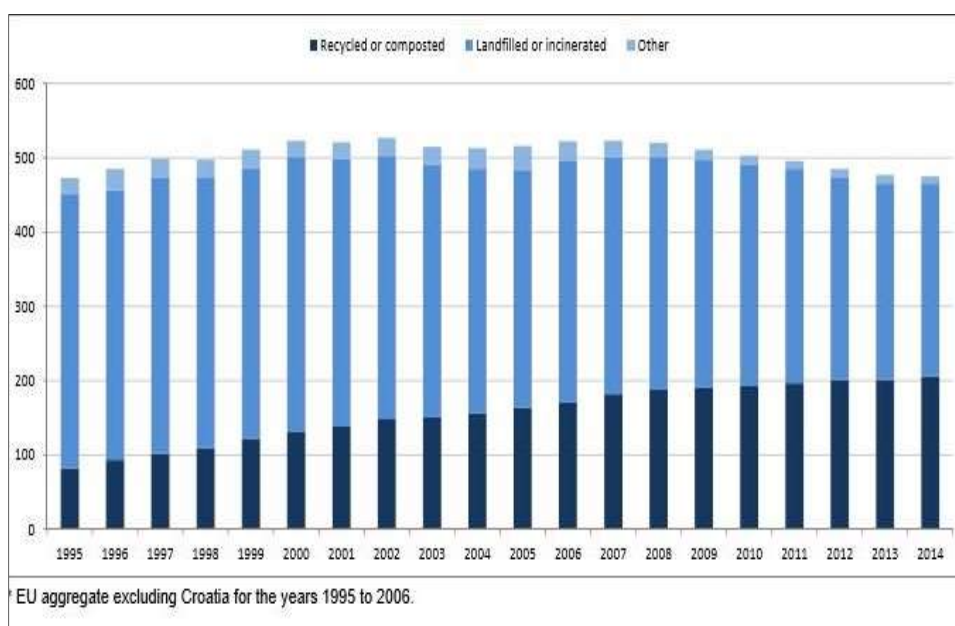
Kierrätyksellä tarkoitettaisiin prosessia, joka alkaa, kun muuta mekaanista lajittelua ei enää tarvita ja jätemateriaali siirretään tuotantoprosessiin ja käsitellään uudelleen tehokkaasti tuotteiksi, materiaaleiksi tai aineiksi. Yhdyskuntajätteenä katsottaisiin kotitalousjäte ja siihen luonteeltaan, koostumukseltaan ja määrältään rinnastettava muussa toiminnassa syntyvä jäte, torikaupan ja katujen puhdistuksessa syntyvä jäte, roska-astioiden jäte sekä puistojen ja puutarhojen hoidosta syntyvä jäte. (Valtioneuvoston kirjelmä U 27/2015vp 2016.)

Kotitalouksien sekajäte ja erilliskerätty jäte sisältäisi ehdotuksen mukaan myös seuraavat yksilöidyt jätejakeet (COM(2015) 595 final):

- Paperi ja kartonki, lasi, metallit, muovit, biojäte, puu, tekstiilit, sähkö- ja elektroniikkaromu sekä käytöstä poistetut paristot ja akut
- Karkea jäte, mukaan lukien kodinkoneet, patjat ja huonekalut
- Puutarhajäte, mukaan lukien lehdet ja nurmikonleikkujäte

Jokainen henkilö Euroopan Unionin jäsenvaltioissa on tuottanut vuonna 2014 yhdyskuntajätettä 475 kg. Vuodesta 2007 alkaen tuotetun yhdyskuntajätteen määrä on laskenut Euroopan Unionissa jatkuvasti, ollen tänä päivänä alle 1990 luvun puolivälin lukemien. (Eurostat 2016.)

Kaikesta Euroopan Unionin alueella tuotetusta yhdyskuntajätteestä käsiteltiin vuonna 2014 noin 98 %. Kierrätykseen tai kompostointiin jätteistä ohjautui 44 %, jätteenpolttoon 27 % ja loppusijoitukseen 28 % (Kuva 9). Kierrätyksen ja kompostoinnin osuus jätteiden käsittelystä on kasvanut merkittävästi vuonna 1995 käsitellystä 17 %:sta vuoden 2014 44 %:iin. (Eurostat 2016.)



Kuva 9. Yhdyskuntajätteen tuottaminen ja käsittely EU:ssa (kg/henkilö) 1995-2014 (Eurostat 2016).

### 5.1.1 Kaatopaikoista annetun direktiivin muuttamisen perusteluja

Biohajoava yhdyskuntajäte muodostaa suuren osan yhdyskuntajätteestä. Käsittelemättömän biohajoavan jätteen sijoittamisella kaatopaikalle on huomattavia kielteisiä ympäristövaikutuksia kasvihuonepäästöjen sekä pinta- ja pohjavesien, maaperän ja ilman pilaantumisen muodossa. (COM(2015) 594 final.)

Rajoittamalla edelleen kaatopaikkasijoitusta erilliskerättävien yhdyskuntajätejakeiden osalta, saataisiin selviä ympäristöetuja sekä taloudellisia ja sosiaalisia etuja. Pantaessa näitä rajoituksia täytäntöön olisi kuitenkin huomioitava, miten erilliskerätyn jakeen kierrätys tai siitä jäävän jäännösjätteen muu hyödyntäminen teknisesti, ympäristön kannalta ja taloudellisesti on toteutettavissa. (COM(2015) 594 final.)

Kaatopaikalle sijoittamisen asteittainen vähentäminen on tarpeen paitsi haitallisten vaikutusten estämiseksi, myös arvokkaiden jätemateriaalien tehokkaan hyödyntämisen varmistamiseksi jätehieron mukaisesti. Vähentämisellä olisi myös estettävä liiallisen kapasiteetin kehittyminen jäännösjätettä käsitteleviin laitoksiin, kuten käsittelemättömän yhdyskuntajätteen energiahyödyntämiseen ja mekaanis-biologiseen käsittelyyn. Tämä voisi haitata yhdyskuntajätteen valmistelua uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen. Vaikka jäsenvaltioiden tulisi toteuttaa kaikki tarvittavat toimenpiteet, että kaatopaikoille sijoitetaan ainoastaan esikäsiteltyjä jätteitä, ei se saisi johtaa ylikapasiteetin syntymiseen jäännösjätteen käsittelyyn. (COM(2015) 594 final.)

## 5.2 Kansallinen Jätelaki ja Jäteasetus

Jätelain tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, edistää luonnonvarojen kestävästä käyttöä, varmistaa toimiva jätehuolto ja ehkäistä roskaantumista (Jätelaki 1 §).

Jätelain (646/2011) 8§:n mukaan kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan noudatettava etusijajärjestystä:

- Ensimmäisjärjestyksessä on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta.
- Jos jätettä syntyy, on jätteen haltijan valmistettava jäte uudelleenkäyttöä varten tai kierrätettävä se
- Jos kierrätys ei ole mahdollista, on jätteen haltijan hyödynnettävä se muulla tavoin
- Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, on jäte loppukäsiteltävä

Toiminnanharjoittajan, jonka tuotannossa syntyy jätettä tai joka ammattimaisesti kerää tai ammatti- tai laitospäiväisesti käsittelee jätteitä, on noudatettava etusijajärjestystä sitovana velvoitteena. (Jätelaki 8 §.)

Valtioneuvoston asetuksessa jätteistä (179/2012) 12 §:ssä painotetaan jätteitä ammatti- tai laitospäiväisesti lajittelevan ja käsittelevän toiminnanharjoittajan velvollisuutta noudattaa etusijajärjestystä niin, että mahdollisimman pieni osa jätteestä päätyy loppukäsiteltäväksi. Lisäksi sen, joka hyödyntää jätettä sijoittamalla tai levittämällä sitä maahan, on käytettävä jätettä vain maarakenteen tasauksen, kantavuuden ja kestävyuden kannalta tarpeellinen määrä. Hyödyntäjän on myös huolehdittava, että jätteen käyttö vastaa mahdollisimman tarkasti tarvetta.



### 5.3 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista

Valtioneuvoston asetuksen kaatopaikoista (331/2013) tarkoituksena on ohjata kaatopaikkojen perustamiseen, käyttöön ja jälkihoitoon liittyviä toimia pinta- ja pohjavesien, maaperän ja ilman pilaantumisen ehkäisemiseksi ja torjumiseksi. Asetusta sovelletaan vain kaatopaikkoihin ja jätteiden sijoittamiseen niille. Pilaantumattoman maa-ainesjätteen sijoituspaikkaan, kaivannaisjätteisiin tai tavanomaiseksi jätteeksi luokiteltujen ruoppausmassojen sijoitukseen asetusta ei sovelleta. (VNa kaatopaikoista 331/2013 1-2 §.)

Kaatopaikat luokitellaan vaarallisen jätteen, tavanomaisen jätteen tai pysyvän jätteen kaatopaikoiksi. Niille hyväksytään vain luokituksen mukaista esikäsiteltyä jätettä (VNa 331/313 15 §). Poikkeuksina tästä ovat pysyvän tavanomaisen jätteen hyödyntäminen kaatopaikan rakenteissa tai muun soveltuvan tavanomaisen jätteen hyödyntäminen pysyvän tai vaarallisen jätteen kaatopaikan pintarakenteissa. (VNa kaatopaikoista 331/2013 13 §.)

Kaatopaikoille ei hyväksytä nestemäistä jätettä, vaaraominaisuuksiltaan räjähtävää, syövyttävää, hapettavaa tai syttyvää jätettä, tartuntavaarallista jätettä, tunnistamattomia tutkimus-, kehitys- tai opetustoiminnasta syntyviä kemiallisia aineita, renkaita tai asetuksen 5 luvussa säädettyjä kelpoisuusvaatimuksia täyttämättömiä jätteitä. (VNa kaatopaikoista 331/2013 14 §.)

#### 5.3.1 Jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden arviointi

Jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa on sovellettava kolmitasoista menettelyä, joka jakaantuu jätteen perusmäärittelyyn, jätteen vastuustestaukseen ja kaatopaikalla tehtävään tarkastukseen. Kaatopaikkakelpoisuuden arviointi on perustuttava luotettaviin tietoihin jätteen alkuperästä ja ominaisuuksista. Ominaisuuksia koskevat arviointiperusteet ovat jätteen koostumus, orgaanisen aineksen määrä ja hajoavuus, jätteen haitallisten aineiden määrä ja liukoisuus, jätteestä ja siitä muodostuvan kaatopaikkaveden ekotoksikologiset ominaisuudet. (VNa kaatopaikoista 331/2013 16 §.)

Kaikesta kaatopaikalle hyväksyttävästä jätteestä on tehtävä jäte-eräkohtainen perusmäärittely (Liite 2). Myös säännöllisesti syntyvästä jätteestä on tehtävä perusmäärittely ennen ensimmäisen jäte-erän hyväksymistä kaatopaikalle. Tämän jälkeen riittää perusmäärittelyyn perustuva vastavuustestaus. Perusmäärittelyssä jätteen tuottaja tai haltia hankkii ja koottaa merkitykselliset tiedot jätteestä ja sen muuttumisesta kaatopaikalla, selvittää jätteen esikäsitelyn tarpeen ja vaihtoehdot, arvioi jätteen kelpoisuusvaatimusten mukaisesti ja selvittää jätteen tyyppilliset ominaisuudet. (VNa kaatopaikoista 331/2013 17 §.)

Perusmäärittelyä varten jätteestä on oltava käytettävissä seuraavat tiedot (VNa kaatopaikoista 331/2013 18 §):

- Jätteen tuottajan nimi osoitetietoineen
- Kuvaus jätteen synnyn prosessista
- Selvitys toteutetusta jätteen esikäsittelystä
- Jätteen koostumus ja liukoisuusominaisuudet
- Jätteen haju, väri ja fysikaalinen olomuoto
- Jäteluettelon mukainen jätenimike
- Vaarallisesta jätteestä vaaraominaisuudet
- Tiedot, ettei jätteen sijoittaminen ole 14 ja 15 §:n vastaista
- Kaatopaikan luokka, jolle jäte voidaan hyväksyä
- Jätteen muuttuminen kaatopaikkaolosuhteissa
- Jätteen kierrätys- tai muut hyödyntämismahdollisuudet

Säännöllisesti syntyvästä jätteestä tehtävää perusmäärittelyä varten on oltava seuraavat lisätiedot (VNa kaatopaikoista 331/2013 18 §):

- Jätteen koostumuksen vaihtelut ja rajat
- Tyypillisten ominaisuuksien vaihtelut ja rajat
- Jätteen liukoisuusominaisuudet
- Avainmuuttujat vastaavuustestausta varten ja tiedot testauksen laajuuden ja toistamisen määrittelemiseksi

Säännöllisesti syntyvästä jätteestä on tehtävä vastaavuustestaus vähintään kerran vuodessa ja perusmäärittelyssä määritellyssä laajuudessa. Testaukseen on sisällytettävä perusmäärittelyssä määriteltyjen avainmuuttujien testaus, että jäte täyttää niille asetetut raja-arvot, yksi tai useampi ravistellutesti ja tarvittaessa muita testejä sen osoittamiseksi, että jäte vastaa perusmäärittelyn tietoja ja täyttää kaatopaikkakelpoisuus vaatimukset. (VNa kaatopaikoista 331/2013 20 §.)

Kaatopaikalle vastaanotettavat jäte-erät on tarkistettava vastaanoton yhteydessä vähintään aistinvaraisesti jätteen värin, hajun ja olomuodon perusteella. Tarvittaessa tarkastukset on tehtävä soveltuvin pikamääritysmenetelmin tarkistusta varten otetuista näytteistä. (VNa kaatopaikoista 331/2013 21 §.)

Perusmäärittelyn ja vastaavuustestauksen näytteenotosta ja testauksesta on vastattava riippumaton ja pätevä henkilö tai laitos. Tehtävästä vastavalla laboratoriolla on oltava kokemusta ja näyttöä jätejakeiden analysoinnista ja testauksesta. Jätteen tuottaja, haltija tai kaatopaikan pitäjä voi vastata näytteenotosta ja testauksesta, mikäli kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnin asianmukaisuus varmistetaan riippumattomien ja pätevien henkilöiden tai laitosten riittävällä valvonnalla tai asianmukaisella laadunvarmistusjärjestelmällä. (VNa kaatopaikoista 331/2013 22 §.)

### 5.3.2 Kaatopaikoille hyväksyttävien jätteiden kelpoisuusvaatimukset

Kaatopaikalle hyväksyttävän jätteen on täytettävä aina kyseessä olevan kaatopaikkaluokan mukaiset kelpoisuusvaatimukset. Jos raja-arvoja tai muita kelpoisuusvaatimuksia ei ole määriteltä, niistä on päätettävä tapauskohtaisesti perusmäärittelyn yhteydessä. (VNa kaatopaikoista 331/2013 24 §.)

Pysyvän jätteen kaatopaikalle hyväksyttävään jätteeseen sovelletaan Valtioneuvoston asetuksen kaatopaikoista (331/2013) liitteen 3 taulukon 2 mukaisia raja-arvoja (VNa kaatopaikoista 331/2013 26 §).

Tavanomaisen jätteen kaatopaikalle hyväksytään vain sellaista tavanomaista jätettä, jonka biohajoavan ja muun orgaanisen aineen pitoisuus on orgaanisen hiilen kokonaismääränä tai hehikutushäviönä määritettynä enintään 10%. (VNa 331/2013 28 §). Tavanomaiseksi jätteeksi luokiteltuja kipsipohjaisia jätteitä hyväksytään vain kaatopaikan sellaiseen osaan, johon ei sijoiteta biohajoavaa jätettä. Tavanomaiseen jätteeseen, joka sijoitetaan kaatopaikalle yhdessä kipsipohjaisten jätteiden kanssa, sovelletaan Valtioneuvoston asetuksen kaatopaikoista (331/2013) liitteen 3 taulukon 4 mukaisia raja-arvoja. (VNa kaatopaikoista 331/2013 29 §.)

Vakaata reagoimatonta vaarallista jätettä hyväksytään kaatopaikan sellaiseen osaan, johon ei sijoiteta biohajoavaa jätettä. Tavanomaiseen jätteeseen ja vakaaseen reagoimattomaan vaaralliseen jätteeseen, jotka sijoitetaan yhdessä kaatopaikalle, sovelletaan Valtioneuvoston asetuksen kaatopaikoista (331/2013) liitteen 3 taulukon 5 mukaisia liukoisuusraja-arvoja ja taulukon 6 mukaisia muita vaatimuksia. (VNa kaatopaikoista 313/2013 30§.)

Vaarallisen jätteen kaatopaikoille hyväksyttävään jätteeseen sovelletaan Valtioneuvoston asetuksen kaatopaikoista (331/2013) liitteen 3 taulukon 7 mukaisia liukoisuusominaisuuksien raja-arvoja ja taulukon 8 mukaisia vaatimuksia. (VNa kaatopaikoista 313/2013 32§.)

### 5.3.3 Poikkeukset kelpoisuusvaatimuksista

Pysyvän jätteen kaatopaikalle voidaan hyväksyä ilman testausta Valtioneuvoston asetuksen kaatopaikoista (331/2013) liite 3 taulukossa 1 määritellyjä jätteitä. Jätteen on oltava yhden jätelajin erillinen jätevirta ja peräisin yhdestä kohteesta. Taulukossa lueteltuja jätteitä voidaan hyväksyä myös yhdessä, mikäli ne ovat peräisin samasta kohteesta. Jäte on kuitenkin testattava ja määriteltävä, jos epäillään jätteen pilaantuneen tai ettei se täytä pysyvän jätteen kaatopaikalle sijoitettavan jätteen kelpoisuusvaatimuksia. Jätettä ei saa hyväksyä pysyvän jätteen kaatopaikalle, mikäli testaus osoittaa sen pilaantuneen metalleilla, asbestilla, muoveilla, kemikaaleilla tai muilla materiaaleilla niin, että niiden aiheuttama riskin lisääntymisen takia

on perusteltua sijoittaa jäte muun luokan kaatopaikalle. (VNa kaatopaikoista 331/2013 25 §.)

Jäteluettelon (VNa 179/2012) nimikeryhmässä 20 mainitut tavanomaisiksi jätteiksi luokitellut yhdyskuntajätteet voidaan hyväksyä suppean testauksen perusteella tavanomaisen jätteen kaatopaikalle, jos jäte on esikäsitelty VNa kaatopaikoista 331/2013 15 § mukaisesti, jäte ei ole pilaantunut ympäristöriskiä lisäävästi ja jätettä ei sijoiteta samaan kaatopaikan osaan mihin kipsipohjaista tai vakaata reagoimatonta vaarallista jätettä. Suppeassa testauksessa selvitetään jätteen sisältämän biohajoavan ja muun orgaanisen aineksen pitoisuus orgaanisen hiilen kokonaismääränä tai hehikutushäviönä. (VNa kaatopaikoista 331/2013 27 §.)

Orgaanisen hiilen kokonaismäärän tai hehikutushäviön rajoitusta ei sovelleta energiantuotannossa tai jätteenpolttamisessa syntyviin lento- ja pohjatuhkiin, mikäli niistä testiolosuhteissa liunneen orgaanisen hiilen pitoisuus on alle 800 milligrammaa kilogrammassa. Rajoitusta ei myöskään sovelleta pilaantuneisiin maa-aines- ja ruoppausjätteisiin tai asbestijätteisiin, mikäli ne sijoitetaan erilleen muista jätteistä. Tiettyjen sivutuoteasetuksessa määriteltyjen eläimistä peräisin olevien sivutuotteiden ja muidenkin jätteiden hautaaminen erityistilanteissa on sallittua, mikäli se on välttämättömyyttä eläintautien torjumiseksi. Metsäteollisuuden soodasakkoja ja keräyspaperin siistauksessa syntyvää lietettä rajoitus ei myöskään koske. (VNa kaatopaikoista 331/2013 28 §.)

#### 5.3.4 Eräiden raja-arvojen korottaminen ja poikkeuslupamenettely

Lupaviranomainen voi tapauskohtaisesti päättää yksilöidyn jätteen osalta, että asetetut raja-arvot voidaan korottaa enintään kolminkertaisiksi. Kaatopaikan ylläpitäjän on tällöin luotettavasti osoitettava, etteivät korkeammat raja-arvot lisää kaatopaikkavesien ja muiden päästöjen aiheuttamaa vaaraa ympäristölle ja terveydelle. (VNa kaatopaikoista 331/2013 34 §.)

Lupaviranomainen voi päättää, että biohajoavaa ja orgaanista ainesta sisältävän jätteen sijoittamisen 28 §:n mukaista rajoitusta ei sovelleta esikäsiteltyyn jätteeseen. Tällöin on luotettavasti osoitettava, että jäte ei ominaisuuksiensa vuoksi sovellu käsiteltäväksi muutoin kuin sijoittamalla kaatopaikalle. Vuoden määräaikainen poikkeus on mahdollista myöntää, mikäli luotettavasti osoitetaan, että jätteelle saadaan korvaava käsittelykapasiteetti käyttöön asetettavassa määräajassa. (VNa kaatopaikoista 331/2013 35 §.)

## 6 BIOKAASUTUOTANNON MIKROBIOLOGINEN PERUSTA

Biokaasutuotanto perustuu anaerobinen hajoamiseen eli orgaanisen aineksen hajoamiseen täysin hapettomissa olosuhteissa. Tässä mikrobiologisessa prosessissa orgaaninen aines muuntuu metaaniksi ja hiilidioksidiksi, hajottaen syötteen orgaanisesta aineksesta tyypillisesti noin 35 – 60 %. (Bitton 1999, 281.) Hajottamiseen osallistuu useita erityyppisiä mikro-organismeja, jotka työskentelevät yhdessä. Luonnossa tämän kaltaista hajoamista tapahtuu mm. soilla ja kaatopaikoilla, missä on orgaanista ainesta ja biologista aktiivisuutta. Vastaavia reaktioita tapahtuu myös eläinten ruuansulatuksessa. (Kymäläinen 2015a, 59 - 60.)

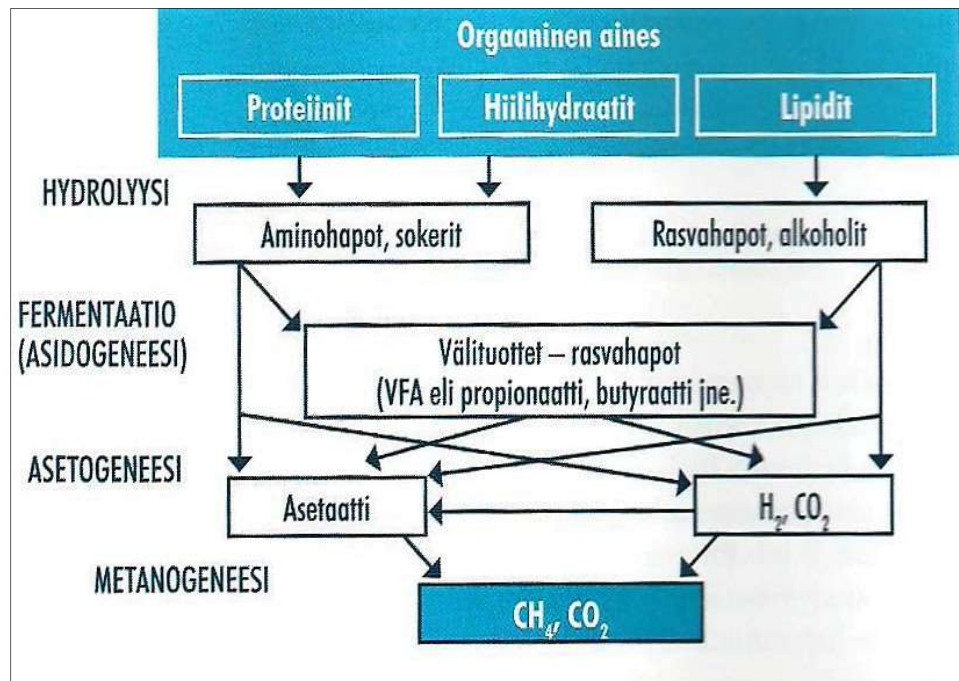
Aerobisia reaktioita tapahtuu niin kauan, kuin on happea saatavilla, ja vasta hapen loputtua alkavat anaerobiset bakteerit toimia. Anaerobisissa olosuhteissa toimivia bakteereja on kolmella eri lämpötila-alueella toimivia. Psykrofiiliset bakteerit toimivat lämpötilavälillä 0 - 15 °C, mesofiiliset bakteerit 30 - 35 °C ja termofiiliset lämpötilassa 55 °C. (Prokkola, Kuokkanen & Lassi 2012.)

Anaerobinen hajoaminen ja metaanin muodostus on monimutkainen prosessi, joka voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen (Kuva 10):

- hydrolyysiin
- asidogeneesiin
- asetogeneesiin
- metanogeneesiin

Jokainen edellä mainittu anaerobisen hajoamisen vaihe tapahtuu erityyppisten omissa optimiolosuhteissaan toimivien mikro-organismien avulla. Eri hajoamisen vaiheet liittyvät läheisesti toisiinsa ja toimivat myös osittain samanaikaisesti. (Deublein & Steinhauser 2008, 93.)

Edellisen vaiheen hajoamistuotteet ovat seuraavan vaiheen syötteitä. Ete-nevä ja toimiva hajoamisprosessi on tasapainossa, eikä eri hajoamisvaiheiden välituotteita pääse kertymään ja aiheuttamaan inhibitiota. (Kymäläinen 2015a, 60.)



Kuva 10. Anaerobisessa hajoamisessa tapahtuva orgaanisen aineen vaiheittainen hajoaminen biokaasuksi (Kymäläinen 2015, 60).

## 6.1 Hydrolyysi

Anaerobisen hajoamisen ensimmäisessä vaiheessa, eli hydrolyysissä, hydrolyyttisten bakteerien erittämät entsyymit hajottavat käsiteltävän materiaalin sisältämät yhdisteet. Hydrolyysissä liukenemattomat hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat hajoavat yksinkertaisiksi vesiliukoisiksi yhdisteiksi kuten sokereiksi, aminohapoiksi, rasvahapoiksi ja glyseroliksi. (Bitton 1999, 284.; Deublein & Steinhauser 2008, 94.)

Hydrolyysivaihe on verrattain hidas ja voi olla rajoittava tekijä koko prosessissa (Bitton 1999, 94). Hiilihydraattien hajoaminen alkaa muutamissa tunneissa, mutta proteiinien ja rasvojen vasta muutamassa päivässä. Vastavasti lignoselluloosa ja ligniini hajoavat vain hitaasti ja epätäydellisesti. (Deublein & Steinhauser 2008, 94.)

Hajotustyön hydrolyysissä hoitavat solujen tuottamat entsyymit. Hiilihydraatteja hajottavat amylaasi-entsyymit tuottavat sokereita, proteiineja hajottavat proteaasit tuottavat aminohappoja ja rasvoja hajottavat lipaasit tuottavat rasvahappoja ja glyserolia. Tyypillistä on, että monet hydrolyyttisistä bakteereista osallistuvat myös seuraavaan anaerobisen hajoamisen vaiheeseen, eli asidogeneesiin. (Kymäläinen 2015a, 61.)

## 6.2 Asidogeneesi

Anaerobisen toista vaihetta kutsutaan asidogeneesiksi. Sen tuloksena syntyy erilaisia orgaanisia happoja. Fermentoivat bakteerit käyttävät hydrolyysin tuottamia sokereita, aminohappoja, rasvahappoja ja alkoholeja haihtuviksi rasvahapoiksi ja alkoholeiksi. (Bitton 1999, 284.; Kymäläinen 2015a, 62.)

Asidogeneesissä muodostuvat haihtuvat rasvahapot ovat esimerkiksi etikkahappoa, propaanihappoa, voi-happoa ja maitohappoa. Asidogeneesin muita hajoamistuotteita ovat asetaatti, vety ja hiilidioksidi. (Bitton 1999, 284.; Deublein & Steinhauser 2008, 94.) Myös ammoniakkaa muodostuu prosessin aikana aminohapoista (Kymäläinen 2015a, 62).

Asidogeneesissa syntyvien tuotteiden koostumus vaihtelee suuresti olosuhteista ja vallitsevasta mikrobipopulaatiosta riippuen. Hajoamisprosessin vallitseva happamuuden taso vaikuttaa syntyvien tuotteiden ominaisuuksiin. Esimerkiksi hajoamisen välituotteena muodostuvat hapot esiintyvät negatiivisesti varautuneina anioneina, kun prosessin pH on yli 5. Negatiivisesti varautunut happo muodostaa helposti suoloja eri metallien kanssa, kuten natrium- tai kaliumasetaattia. (Kymäläinen 2015a, 62; Schnürer & Jarvis 2009, 16.)

## 6.3 Asetogeneesi

Asetogeneesi vaihe tuottaa edellisessä vaiheessa muodostuneista haihtuvista rasvahapoista asetaattia, vetyä ja hiilidioksidia (Taulukko 1). Vaikka vaihetta kutsutaan myös hapettumiseksi, kyse on anaerobisesta hapettumisesta. Anaerobisessa hapettumisessa reaktioihin osallistuu hapettuneita yhdisteitä, kuten nitraattia, sulfaattia ja karbonaattia. Asetogeenit käyttävät näitä yhdisteitä elektronien vastaanottajina, jolloin nämä pelkistyvät. Asetogeneesi on anaerobisen hajoamisen tärkein vaihe lopullisen metaanin muodostumisen (metanogeneesi) kannalta. (Kymäläinen 2015a, 62.)

Taulukko 1. Asetogeneesi vaiheen hajoaminen. Taulukko mukaeltu lähteestä Deublein & Steinhauser 2008, 96.

Asidogeneesin syöte	Reaktio
Propaanihappo	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}^- + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$
Voihappo	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Hiilidioksidi/Vety	$2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
Glyseroli	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Maitohappo	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Etanoli	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2$

Asetaatin muodostuminen on mahdollista vain matalassa vetypitoisuudessa. Osa asetogeenisistä bakteereista vähentää jatkuvasti vetykaasun ja

hiilidioksidin pitoisuutta prosessissa muodostamalla niistä etikkahappoa seuraavan kaavan mukaisesti. (Deublein & Steinhauser 2008, 96-97.):



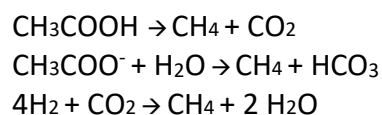
Asetogeenit ovat näin ollen sekä vedyn tuottajia ja kuluttajia. Korkea vety-pitoisuus haittaa prosessia, koska asetogeenit eivät saa tarpeeksi energiaa kasvaakseen ja elääkseen. Tämän vuoksi asetogeenien tulee toimia yhdessä metaania muodostavien metanogeenien kanssa, jotka muodostavat metaania vedystä ja hiilidioksidista, pitäen näin vety-pitoisuuden osaltaan aisoissa ja mahdollistavat asetogeenille sopivat olosuhteet elää. (Deublein & Steinhauser 2008, 96-97.)

#### 6.4 Metanogeneesi

Metanogeneesi on anaerobisen hajoamisen viimeinen vaihe. Siinä metanogeenit tuottavat metaania ja hiilidioksidia asetaatista, vedystä ja hiilidioksidista. Metanogeenit eivät pysty hajottamaan yhdisteitä, joissa on enemmän kuin kaksi hiiliatomia. Anaerobisen hajoamisen muiden vaiheiden ja bakteerien on siis hajotettava materiaali ensin asetaatiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi, jotta metaania muodostuisi. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 22.; Kymäläinen 2015a, 62-63.; Schnürer & Jarvis 2009, 19-20.)

Asetotrofiset metanogeenit muodostavat asetaatista metaania ja hiilidioksidia. Nämä metanogeenit kasvavat hitaasti, kahdentumisaajan ollessa useita päiviä. (Bitton 1999, 286.; Deublein & Steinhauser 2008, 99.) Hydrogenotrofiset metanogeenit puolestaan muodostavat metaania vedystä ja hiilidioksidista (Bitton 1999, 286.; Schnürer & Jarvis 2009, 20).

Metaania muodostuu seuraavien yhtälöiden mukaisesti metanogeenien toiminnan tuloksena etikkahaposta tai asetaatista, vedystä ja hiilidioksidista. Yleensä kolmasosa metaanista muodostuu vedystä sekä hiilidioksidista ja kaksi kolmasosaa asetaatista. (Madigan, Martinko & Parker 2000, 417 ja 555.)



#### 6.5 Optimiolosuhteet anaerobiselle hajoamiselle

Kaikissa biologisissa prosesseissa elinolosuhteiden muuttumattomuus on tärkeä tekijä niiden toimimiseksi (Deublein & Steinhauser 2008, 100). Anaerobiseen hajoamiseen vaikuttavat mm. lämpötila, vallitseva happamuus (pH), metanogeenien kanssa kilpailevat bakteerit, saatavilla olevat ravinteet, ja ammoniakkin muodostuminen. (Bitton 1999, 289-293.)



Deublein & Steinhauser (2008, 100.) esittävät anaerobiselle hajoamisen optimiolosuhteiksi taulukossa 2 esitetyjä arvoja.

Taulukko 2. Anaerobisen hajoamisen optimiolosuhteet (Deublein & Steinhauser 2008, 100).

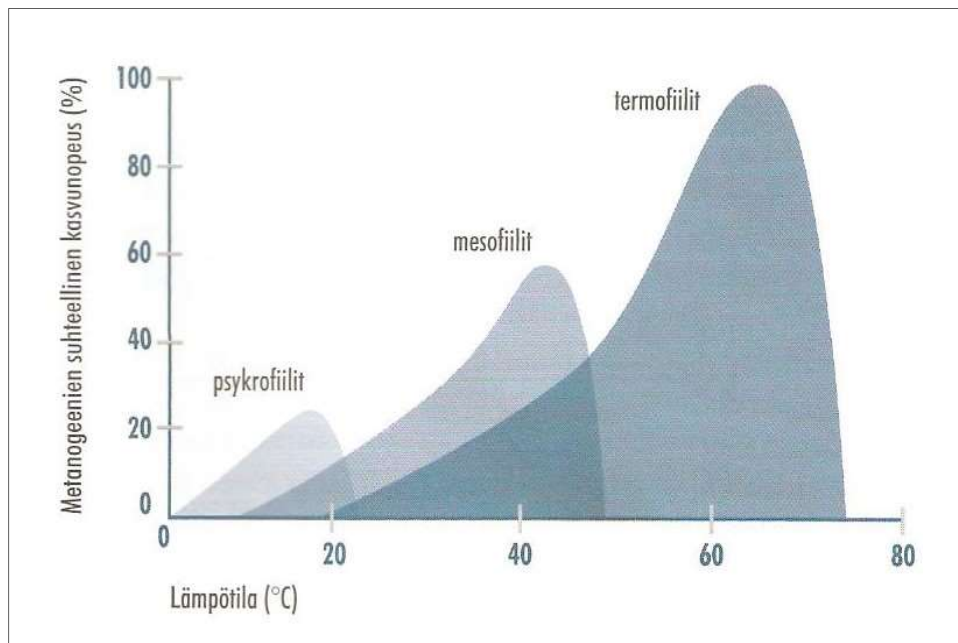
Parametri	Hydrolyysi/asidogeneesi	Metanogeneesi
Lämpötila	25 – 35 °C	Mesofiilinen 32 - 42 °C Termofiilinen 50 - 58 °C
pH	5,2 – 6,3	6,7 – 7,5
C:N suhdeluku	10 – 45	20 – 30
Kuiva-aine pitoisuus	< 40%	< 30%
Redox potentiaali	+400 300mV	< 250 mV
C:N:P:S suhdeluku	500:15:5:3	600:15:5:3
Hivenainevaatimukset	Ei vaatimuksia	Ni, Co, Mo, Se

Olosuhteiden tai yksittäisten tekijöiden selkeät muutokset voivat johtaa metaanin tuoton loppumiseen. Luonnossa voi kestää useita viikkoja, että ekologinen systeemi sopeutuu ympäristön muutokseen ja prosessi taas käynnistyy. (Deublein & Steinhauser 2008, 100.) Etenkin metanogeenit ovat erittäin herkkiä ympäristön muutoksille. Niiden hidas kasvu ja haavoittuvaisuus vaativat anaerobista hajoamista hyödyntäviltä teollisilta sovelluksilta huolellista ylläpitoa ja tarkkailua prosessien parametrien suhteen. (Khanal 2008b, 43.)

### 6.5.1 Lämpötila

Metaanin tuotantoa on tavattu luonnossa erittäin laajalla lämpötila alueella. Islannin kuumista lähteistä löydetty *Methanothermus fervidus* bakteeri kasvaa jopa 63 – 97°C:n lämpötilassa. (Bitton 1999, 289.)

Anaerobisessa hajoamisprosessissa on kolme optimaalista lämpötila-alueita metanogeneesille: psykofiilinen 5 - 15°C, mesofiilinen 35-40°C ja termofiilinen noin 55°C (Khanal 2008b, 43). Käytännössä optimaalista lämpötilaa tärkeämpi asia on lämpötilan tasaisuus. Sopiva lämpötila voi asettua melko laajallekin lämpötilavälille, mesofiilinen 35 - 43°C ja termofiilinen 50-55°C, kunhan lämpötilan vaihtelu pysyy +/- 0,5 - 2°C välillä (KuvA 11). (Kymäläinen 2015a, 64.)



Kuva 11. Metanogeenien suhteelliset kasvunopeudet lämpötilan suhteen (Kymäläinen 2015a, 64.)

#### 6.5.2 Happamuus ja alkaliniteetti

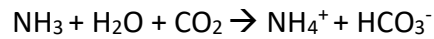
Anaerobisen hajoamisen alkuvaiheen, hydrolyysin ja asidogeenin, optimaalisen pH alue on välillä pH 4,5 – 6,5. Metanogeenit taas vaativat yli pH 6,7 olosuhdetta toimiakseen. Näin ollen kaikille anaerobisen hajoamisen vaiheille soveltuva pH on lähellä neutraalia, pH 6,8-7,4. Metanogeenit ovat herkempiä olosuhteiden pH-muutoksille kuin asidogeenit. (Kymäläinen 2015a, 65.)

Esimerkki alhaisen pH:n aiheuttamasta prosessihäiriöstä (Khanal 2008b, 47):

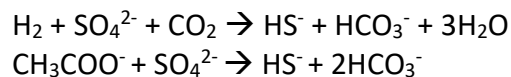
Matala pH hidastaa metanogeenien toimintaa ja aiheuttaa etikkahapon ja vetykaasun kertymistä prosessiin. Korkea vedyn osapaine taas osaltaan inhiboi propaani- ja voihappoa hajottavia bakteereita, jolloin haihtuvien rasvahappojen pitoisuus prosessissa kasvaa. Tämä puolestaan hidastaa etikkahapon prosessointia ja alentaa pH:ta entisestään. Pahimmillaan edellä kuvattu liiallinen happamoituminen voi pysäyttää anaerobisen hajoamisen prosessin kokonaan.

Tasapainoisen vakio-olosuhteissa toimivan anaerobisen hajomaisprosessin pH pysyy vakiotasolla. Tähän vaikuttaa hajoavan materiaalin puskurikyky, eli kyky neutraloida muodostuvia happoja. Tätä kykyä kutsutaan alkaliniteetiksi ja se perustuu valtaosin bikarbonaattien kykyyn neutraloida prosessissa syntyviä happoja. Mitä korkeampi alkaliniteetti, sen parempi puskurikyky ja pienempi riski pH:n vaihteluun. (Kymäläinen 2015a, 65.)

Anaerobinen hajoamisprosessi pyrkii siis itse kontrolloimaan happamuutta tuottamallaan alkaniteetilla. Proteiinien hajotessa syntyvä ammoniakki reagoi prosessissa syntyneen veteen liunneen hiilidioksidin kanssa tuottaen ammoniumbikarbonaattia seuraavan yhtälön mukaisesti. (Khanal, 2008b, 49.):



Myös korkea sulfaatti pitoisuus voi parantaa prosessin alkaniteettia sulfaattien pelkistymisreaktioiden seurauksena syntyvän bikarbonaatin myötä (Khanal 2008b, 49):



### 6.5.3 Ravinteet ja hivenaineet

Ravinteet ja hivenaineet ovat välttämättömiä solujen energian ja kasvun lähteinä. Pääravinteita anaerobiselle prosessille ovat hiili, typpi, fosfori ja rikki. Lisäksi prosessi tarvitsee hivenaineita ja vitamiineja, kuten rautaa, nikkeliä, kobolttia, molybdeeniä, seleeniä, sinkkiä, vitamiinia B<sub>12</sub>, välttämättömän entsyymitoiminnan ylläpitämiseksi ja solujen rakennusaineiksi. (Khanal 2008b, 55.; Kymäläinen 2015a, 66.)

Deublein & Steinhauser (2008, 116.) esittävät anaerobiselle hajoamiselle parhaaksi mahdolliseksi hiili/typpi suhteeksi 16:1 – 25:1 vaihteluväliä. Liian matala hiili/typpisuhde voi lisätä ammoniakin tuotantoa prosessissa ja tätä kautta aiheuttaa inhibiota. Liian korkea hiili/typpisuhde voi taas aiheuttaa typen puutoksen myötä ongelmia prosessin mikrobitoiminnalle. Kokonaisuudessaan ravinteiden tarve on kuitenkin varsin pieni, koska prosessissa muodostuu orgaanisista aineksista hyvin vähän biomassaa. Ravinteiden (C:N:P:S) suhdeluvuksi metaanituoton kannalta katsotaan riittäväksi 500:15:5:3.

Kaikkien biokaasuprosessien tarvitsemat ravinteet ja hivenaineet olisi hyvä tulla luonnostaan prosessin syötteiden mukana. Raaka-aineiden yhteiskäsittely on hyvä tapa säätää prosessit ravinnesuhteiltaan tasapainoisiksi. (Kymäläinen 2015b, 26.) Yksipuolisia syötteitä käsittelevät prosessit kärsivät hivenainepuutoksista useita eri jakeita käsitteleviä prosesseja useammin. Hivenaineiden lisäys voi olla tarpeen prosessin stabiiliuden ja tehon turvaamiseksi puutostilanteessa. (Kymäläinen 2015a, 67.)

### 6.5.4 Ammoniakin muodostuminen

Ammoniakki toimii mikrobeille tärkeänä typpiravinteen lähteenä ja aiemmin esitetyn mukaisesti myös prosessin pH:ta stabiloivasti muodostaen bikarbonaattia. Ammoniakkia esiintyy anaerobisessa prosessissa liunneena

vapaana ammoniakkinä ( $\text{NH}_3$ ) ja ammoniumioni ( $\text{NH}_4^+$ ) muodossa, joiden suhteellinen osuus riippuu liuoksen pH:sta ja lämpötilasta. (Kymäläinen 2015a, 67.)

Ammoniakki voi kuitenkin inhiboida prosessia korkeina pitoisuuksina varsinkin  $\text{NH}_3$  muodossa. Vapaa, varaukseton, ammoniakki tunkeutuu helposti solun sisään aiheuttaen ongelmia.  $\text{NH}_3$  pitoisuuden on havaittu aiheuttavan ongelmia jo 100 mg  $\text{NH}_3$  -N (litra) pitoisuuksissa, kun taas prosessien on todettu toimivan 7000 – 9000 mg  $\text{NH}_4$  -N (litra) pitoisuuksissa. (Khanal 2008b, 57.)

Typpipitoisia syötteitä sisältävät biokaasuprosessit ovat tyypillisesti herkempiä ammoniakkin aiheuttamalle inhibitiolle. Ongelmia esiintyy erityisesti silloin, kun syötteen typpipitoisuus kasvaa äkillisesti. Tähän on syynä prosessin hidastuminen korkeille ammoniakkipitoisuuksille. (Kymäläinen 2015a, 68.) Paras tapa hallita ammoniakkin aiheuttamaa inhibitiota on säätää syötekoostumusta mahdollisuuksien mukaan vähemmän typpipitoiseksi. Myös pH:n alennus ja lämpötilan muutos termofiilisestä mesofiiliseen voi auttaa hallitsemaan tilannetta. (Kymäläinen 2015a, 80.)

#### 6.5.5 Metanogeenien kilpailijat

Metanogeenit ja sulfaattia ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) pelkistävät bakteerit voivat kilpailla prosessissa samoista elektronien luovuttajista, asetaatista ja vedystä. Sulfaattia pelkistävät bakteerit yhdistyvät helpommin asetaatin kanssa kuin metanogeenit. Tämän vuoksi alhaisessa asetaattipitoisuuksissa sulfaattia pelkistävät bakteerit voivat syrjäyttää metanogeenit. (Bitton 1999, 290.)

Myös nitraattia ( $\text{NO}_3^-$ ) pelkistävät bakteerit voivat kilpailla metanogeenien kanssa elektronien luovuttajista (Khanal 2008c, 7.) Reaktioiden tuloksena sulfaatista syntyy rikkivetyä ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ja nitraatista typpioksiduulia ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Kymäläinen 2015a, 71).

Anaerobisessa prosessissa muodostuva rikkivety voi muodostua ongelmaksi rikkipitoisilla syötteillä. Keinot hallita tilannetta ovat vähentää rikkipitoisen syötteen osuutta syötekoostumuksessa tai lisätä syötteen mukana prosessiin rautaioneja (esim  $\text{FeCl}_2$  tai  $\text{FeCl}_3$ ), jotka saostavat rikkiä rautasulfidiksi. (Kymäläinen 2015a, 80.)

## 7 BIOKAASUPROSESSIT

Biokaasuteknologia perustuu edellä kuvatun biologisen toiminnan, anaerobisen hajoamisen, hyödyntämiseen teollisesti. Biokaasulaitokset tuottavat anaerobisessa hajoamisessa syntyvää, runsaasti metaania sisältävää biokaasua. Biokaasun tyypillinen koostumus on 55-70% metaania ja 30-45 % hiilidioksidia. Tämän lisäksi biokaasu voi sisältää sekä pieniä määriä rikkivetyä, ammoniakkaa, vetyä ja häkää. (Lehtomäki ym. 2007, 2.)

Biokaasulaitosten teknisiä ratkaisuja on erilaisia eri käyttötarkoituksiin ja vaihteleville syötemateriaaleille. Laitosten kokoonpano vaihtelee tapauskohtaisesti syötemateriaalien koostumuksen ja ominaisuuksien sekä laitoksen käsittelytavoitteiden mukaan. Kyse on kuitenkin aina ketjusta laitojen eri osia. Yleensä mitä suurempi laitos on käsittelykapasiteetiltaan, sitä monimutkaisempi on sen kokoonpano ja käytettävä tekniikka. (Luostarinen & Pyykkönen 2013, 15.)

### 7.1 Mesofiilinen ja termofiilinen prosessi

Biokaasuprosesseja operoidaan yleensä mesofiilisinä (25-40°C) tai termofiilisinä (50-55°C). Mesofiilisen prosessin etuna on sen vakaampi toiminta ja pieni lämmityksen tarve. Termofiilistä prosessia voidaan kuormittaa enemmän korkeamman mikrobiaktiivisuuden vuoksi, jolloin tarvittava viipymä käsiteltävälle materiaalille prosessissa on lyhyempi ja tarvittava reaktoritilavuus on pienempi. Korkeampi lämpötila tuhoaa myös prosessissa esiintyviä patogeenejä tehokkaammin. Toisaalta termofiilinen prosessi on myös herkempi prosessia inhiboiville tekijöille, jolloin sen tarkkailu ja prosessinohjaus on mesofiilistä prosessia tarkempaa. (Deublein & Steinhauser 2008, 112-113.; Luostarinen, Paavola, Ervasti, Sipilä & Rintala 2011, 13.)

Suurin osa metaania tuottavista metanogeenisistä bakteereista toimivat mesofiilisellä lämpötila-alueella ja vain muutamat termofiilisellä. Metanogeenit, etenkin termofiiliset, ovat erittäin herkkiä ympäristön lämpötilamuutoksille. Pienikin muutos lämpötilassa voi aiheuttaa niiden aktiivisuuden vähentymistä ja voi johtaa kaasuntuotannon putoamiseen jopa 30 %. (Deublein & Steinhauser 2008, 112-113.)

Mesofiilisen prosessin energiatasapainoa voidaan yleisellä tasolla pitää termofiilistä prosessia parempana. Kuitenkin termofiilisen prosessin etuina mesofiiliseen prosessiin verrattuna ovat orgaanisen aineksen hajoaminen tehokkaammin ja siten korkeampi biokaasun saanto. (Deublein & Steinhauser 2008, 113.)

Anaerobisten bakteerien biologisten reaktionopeuksien voidaan arvioida kaksinkertaistuvan jokaista 10°C lämpötilan nousua kohti. Termofiilisissä prosesseissa on yleisesti parempi metaanituoton taso mesofiiliseen prosessiin nähden nettosaannon jäädessä pienemmäksi mesofiilisen prosessin

tuotosta. Tähän on yleensä syynä termofiilisen prosessin hidas käynnistyvyys ja herkkyys syötemuutoksille, kuormitukselle ja inhiboiville tekijöille. (Khanal 2008b, 44-45.)

## 7.2 Märkä- ja kuivaprosessit

Biokaasulaitokset voivat toimia märkä- tai kuivaprosesseina, riippuen syötteen kuiva-ainepitoisuudesta (TS, total solids). Märkäprosessit käyttävät pääasiassa lietemäisiä syötteitä (TS < 15%) ja kuivaprosessit kuivia ja kasalla pysyviä syötteitä (TS n. 20-40%). (Luostarinen 2015a, 82.) Märkä- ja kuivaprosessien vertailua eri kriteerein on esitetty taulukossa 3.

Märkäprosessien syötteen alhainen kuiva-ainepitoisuus mahdollistaa niiden pumppaamisen prosessin eri vaiheiden välillä sekä reaktorimassan tehokkaan sekoittamisen prosessin aikana. Prosessiin voi myös lisätä kuivempia tai nestemäisiä syötemateriaaleja erilaisin syöttölaittein tai sekoittamalla ne syötteeseen ennen prosessia sopivan seossuhteen aikaan saamiseksi. (Luostarinen 2015a, 83.; Luostarinen ym. 2011, 13.) Yleisimmin märkäprosessit toimivat jatkuvatoimisina ja täyssekoitteisina, jolloin niihin lisätään syötettä ja prosessista poistetaan vastaava määrä käsittelyjäännöstä säännöllisesti (Latvala 2009, 30).

Kuivaprosessien syötteen ja rejektien käsittely tapahtuu pumppujen sijasta hydraulisesti, ruuveilla tai kuormaajilla. Korkean kuiva-ainepitoisuuden vuoksi niitä ei voida sekoittaa tai siirtää märkäprosessiin soveltuvilla laitteilla. Kuivaprosesseja voidaan toteuttaa jatkuvatoimisina tai panosprosteisina. (Latvala 2009, 32.)

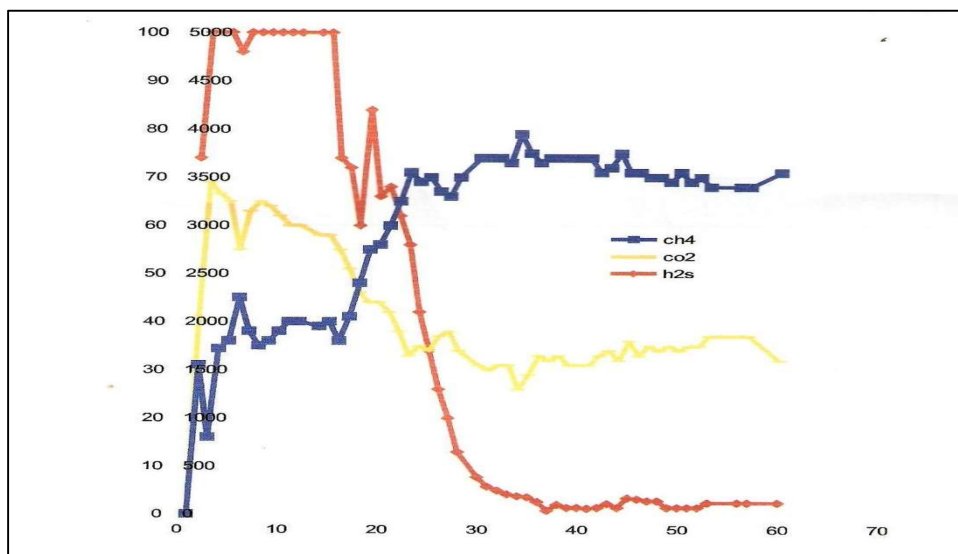
Taulukko 3. Märkä- ja kuivaprosessien vertailua (Latvala 2009, 33).

Kriteerit	Kuivaprosessi (jatkuvatoiminen)	Kuivaprosessi (panosprosessi)	Märkäprosessi
Raaka-aineen vaatimukset	Kuiva-ainepitoisuus (TS) 20 - 40 %	Kuiva-aine pitoisuus (TS) max. 50 %	Kuiva-ainepitoisuus (TS) max. 13 %
Syötteen käsittely	Homogenisointi	Esisekoitus, tihkutus- ja kiertotekniikka	Homogenisointi
Tyypilliset häiriöt	Murskaimen tukkeutuminen	Sprinklerin suiden sekä siivilöiden ja seulojen tukkeutuminen	Vaahoaminen, uppoava kerros, kelluva kerros
Laitos	Jatkuvatoiminen, voidaan laajentaa lisäämällä moduleja	Moduleista koostuva, panostoiminen	Yksi- tai monivaiheinen, jatkuvatoiminen
Käyttöhäiriön vaikutus	Ei suurta vaikutusta kokonaisuuteen	Vaiuttaa vain yhteen panokseen	Vaiuttaa koko prosessiin
Prosessiin vaadittu energia	Enemmän	Vähemmän (pumppu vain tihkutusvedelle)	Enemmän (homogenisointitarve)
Päästöt	Vähemmän	Vähemmän	Enemmän
Tyypilliset syötteet	Kiinteä biojäte, kuiva-lanta, energiakasvit	Kuivalanta, kiinteä biojäte, energiakasvit	Lietelanta, teollisuus- ja yhdyskuntalietteet
Hygieenisuus	Ei ongelmallinen	Ei ongelmallinen	Ongelmallisempi

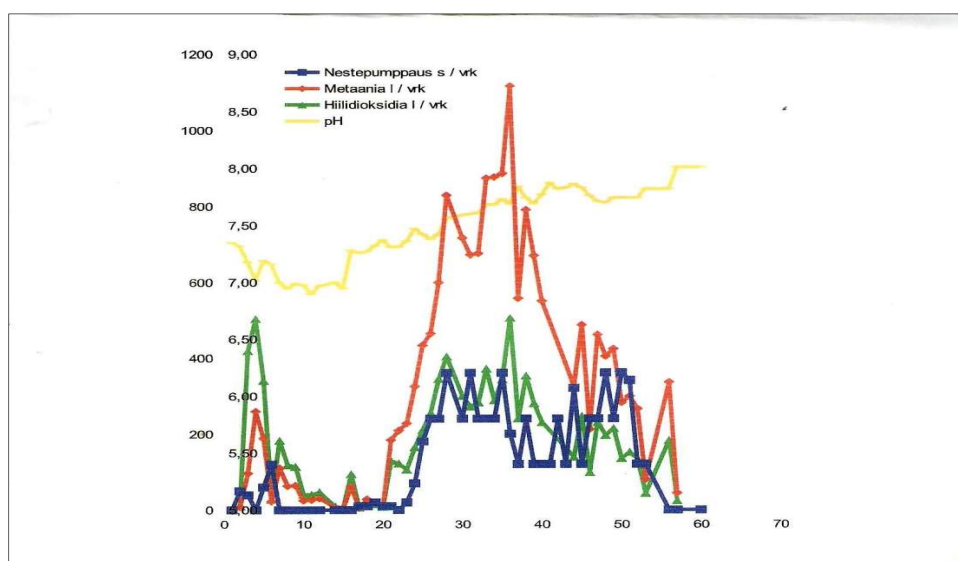
### 7.3 Panos- ja jatkuvatoimiset prosessit

Jatkuvatoimisella prosessilla tarkoitetaan prosessia, johon käytön aikana lisätään säännöllisesti syötettä ja poistetaan käsittelyjäännöstä. Jatkuvatoimisuus takaa tasaisen, tasalaatuisen ja jatkuvan biokaasutuotannon ilman katkoksia. (Luostarinen 2015a, 83.)

Panostoisissa prosesseissa reaktori täytetään kerralla, suljetaan ja annetaan hajota haluttu aika ja tyhjenetään. Biokaasua muodostuu prosessissa vähitellen lisääntyen ja muuttuen sisällöltään hiilidioksidipitoisesta kaasusta metaanipitoisemmaksi (kuva 12). Kaasuntuotanto vähenee määrällisesti loppua kohden (kuva 13). (Luostarinen 2015a, 83.)



Kuva 12. Esimerkki Metaani- hiilidioksidi- ja rikkivetytitoisuuden kehittämisestä panostoisissa kooreaktorissa (Metener Oy, 2015).



Kuva 13. Esimerkki tuotetun metaanin ja hiilidioksidin määrästä panostoisissa kooreaktorissa (Metener Oy, 2015).

### 7.3.1 Jatkuvatoiminen märkäprosessi

Märkäprosessit toimivat yleensä aina jatkuvatoimisina. Reaktori on tyypillisesti lieriömäinen pystysäiliö (kuva 14) ja sen sisältöä sekoitetaan mekaanisesti tai ns. kaasusekoittamalla, jolloin laitoksen tuottama kaasu puhalletaan reaktorissa olevan massan läpi reaktoriin alakautta. Sekoittamisella varmistetaan reaktorin sisältämän massan tasalaatuisuus, tasainen lämpötila sekä hyvä kontakti syötteiden ja mikrobien välillä. Syntyvä biokaasu otetaan talteen sen noustessa reaktorin yläosaan. (Latvala 2009, 30-31.; Luostarinen 2015a, 83-84.)

Reaktorin lämpötila pidetään tasaisena yleensä hyödyntämällä laitoksen itse tuottamaa energiaa. Tyypillisesti märkäprosessin lämmittämiseen kuuluu noin 10 – 40 % tuotetun biokaasun energiasta. Lämpöä voidaan tuottaa biokaasusta erillisellä kaasukattilalla, talteen ottamalla sähköntuotannon hukkalämpö ja/tai talteen ottamalla käsittelyjäännöksen lämpö. (Latvala 2009, 30.; Luostarinen 2015a, 85.)

Reaktoria syötetään ja käsittelyjännös poistetaan jatkuvatoimisesti tai tiettyin säännöllisin väliajoin. Lietemäisten materiaalien syöttö tapahtuu esitai vastaanottosäiliöstä pumpaten reaktoriin. Kuivempia materiaaleja voidaan lisätä suoraan reaktoriin tai ne sekoitetaan lietemäisiin ennen reaktoria. Käsittelyjännös poistetaan reaktorista painovoimaisesti tai pumpaamalla. Reaktorissa olevan käsiteltävän massan tilavuus pidetään vakiona syötteen määrän ja käsittelyjäännöksenä poistettavan määrän pidettäessä samana. (Luostarinen 2015a, 84.) Jatkuvatoimisesta märkäprosessista syntyvä käsittelyjännös on lietemäistä. Lietemäinen käsittelyjännös voidaan hyödyntää sellaisenaan tai separoida hyödynnettäväksi erillisinä kuiva- ja nestejakeina. (Luostarinen 2015a, 84-85.)



Kuva 14. Kouvolan Vesi Oy:n jatkuvatoiminen, täyssekoitteinen, kaksivaiheinen märkäprosessiin perustuva biokaasulaitos Kouvolassa (Kymenlaakson Jäte Oy, 2016).



### 7.3.2 Jatkuvatoiminen kuivaprosessi

Kuivaprosesseja voidaan operoida jatkuvatoimisina tulppavirtaukseen perustuvalla tekniikalla, jossa käsiteltävä materiaali kulkee syöttöjärjestyksessä prosessin läpi. Prosessin syöttö tapahtuu sylinterimäisen, vaakatasossa olevan reaktorin toisesta päästä ja käsittelyjäännös puretaan sen toisesta päästä. Materiaalia siirretään eteenpäin reaktorin sisällä esimerkiksi ruuvin tai lapasekoittajien avulla. Samalla massa sekoittuu paikallisesti ja syntyvä kaasu vapautuu otettavaksi talteen reaktorin yläosasta. Reaktoreita on mahdollisuus yhdistää modulaarisesti toimimaan rinnakkain (kuva 15). (Latvala 2009, 31-32.)

Tulppavirtausmenetelmässä reaktorin loppupäästä siirretään prosessin reaktiivettä tai käsittelyjäännöstä reaktorin alkupäähän. Tämän avulla saadaan kierrätettyä hajottamiseen tarvittavaa mikrobistoa ja säädettyä prosessin kuiva-ainepitoisuutta. Liiallinen nesteiden kierrätys voi kuitenkin nostaa prosessin typpipitoisuuden inhiboivalle tasolle, joten sitä tulee kontrolloida. (Latvala 2009, 32.; Luostarinen 2015a, 86.)

Tulppavirtausmenetelmän käsittelyjäännös voi olla hyvinkin lietemäistä, joten se tarvitsee yleensä separoida erillisiksi kuiva- ja nestejakeeksi jatkokohyötykäytön mahdollistamiseksi. Toinen vaihtoehto on sekoittaa käsittelyjäännös tukiaineeseen ja jälkikompostoida se tuorekompostiksi tai maanparannuskompostiksi. (Luostarinen 2015a, 86.)



Kuva 15. Haminan Energia Oy:n tulppavirtausmenetelmään perustuvan biokaasulaitoksen modulaarisesti rinnan toimivat reaktorit Virolahdella (BioGTS Oy, 2016).

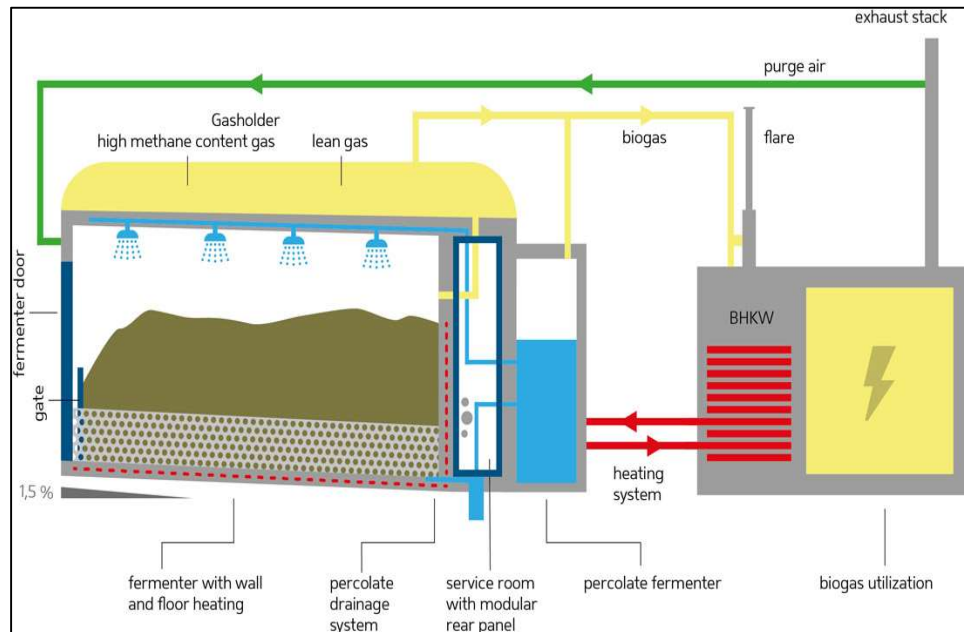
### 7.3.3 Panostoiminen kuivaprosessi

Panostoimisessa kuivämädätysprosessissa yleensä suorakulmainen reaktori täytetään kerralla koneellisesti ja suljetaan ilmatiiviiksi (kuva 16). Syötteeseen sekoitetaan prosessin aiempaa käsittelyjäännöstä mikrobitoiminnan käynnistämiseksi ennen panoksen lataamista. Syöte jätetään hajoamaan reaktoriin halutuksi ajaksi, jonka jälkeen panos puretaan kokonaisuudessaan. Syntyvä biokaasu kerätään talteen reaktorin yläosasta ja/tai erillisestä panoksesta suotautuvan nesteen keräilyssäiliöstä. Panosperusteisen prosessin epätasaista kaasuntuottoa voidaan tasata käyttämällä useita reaktoreita rinnan. Panoksia voi tällöin olla täytössä, kaasuntuotannossa sekä tyhjennyksessä samaan aikaan. (Latvala 2009, 33.; Luostarinen 2015a, 87.)



Kuva 16. Havainnekuva panostoimisesta suotopetireaktorilla varustetusta biokaasulaitoksesta (Metener Oy, 2016).

Prosessissa voidaan myös kierrättää käsiteltävän massan läpi suotautuvaa nestettä, perkolaationestettä, sumuttamalla sitä panosmassan päälle ja tätä kautta lisätä panoksen kaasuntuottoa. Perkolaationeste voidaan myös johtaa erilliseen reaktoriin, jossa biokaasu varsinaisesti muodostuu ja josta nestettä kierrätetään takaisin panosreaktoriin. Tätä reaktorisovellusta kutsutaan suotopetiprosessiksi tai perkolaatioprosessiksi (kuva 17). Perkolaationesteen kierrättämisellä varmistetaan mikrobien kiertäminen prosessissa, säädetään prosessin kosteustasapainoa, hajoamista ja kaasuntuottoa. (Deublein & Steinhauser 2008, 305-306, Luostarinen 2015a, 87-88.)

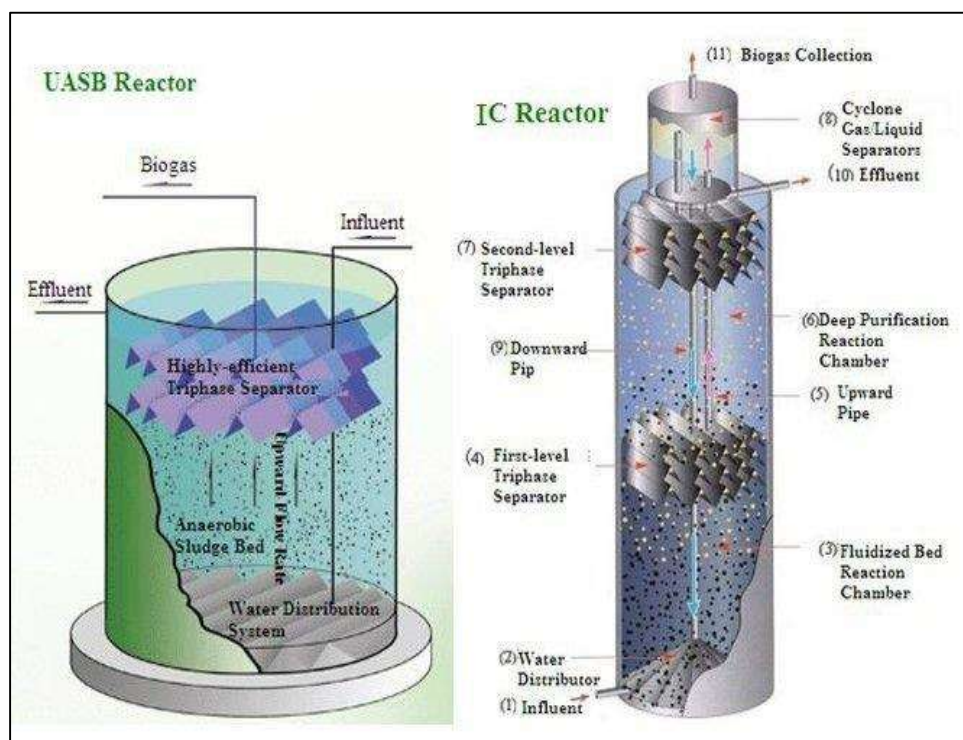


Kuva 17. Havainnekuva panosperusteisen suotopetiprosessin toiminnasta (Bekon GmbH, 2016).

Erillinen perkolaationesteen biokaasureaktori voi olla sovellus jäteveden anaerobiseen käsittelyyn käytettävistä reaktoriratkaisista. Esimerkiksi anaerobinen lietepatjareaktori, jonka erilaisia sovelluksia ovat anaerobinen ylösvirtauslietepatja (UASB, Upflow Anaerobic Sludge Bed) tai sisäisen kierroksen reaktori (IC, Internal Circuit). (Luostarinen 2015a, 88.)

UASB-reaktori on pystyssä oleva sylinterimäinen säiliö, jonka sisään rakennetut elementit mahdollistavat kaasun, nesteen ja kiintoaineksen erottumisen säiliössä. Syöte pumpataan säiliöön alakautta ja se kulkee kohti pintaa. Nesteen virtaus ja biokaasukuplien muodostuminen varmistavat säiliön sisällön sekoittumisen. Reaktorin yläosassa olevat elementit varmistavat kaasun, nesteen ja kiintoaineen erottumisen, jolloin kiintoaine erottuu säiliön pohjalle, välivesi viemäroidään tai kierrätetään prosessiin ja kaasu kerätään talteen säiliön yläosasta (kuva 18). (Deublein & Steinhauser 2008, 287-288.)

IC-reaktori on paranneltu sovellus UASB menetelmästä, jossa on käytännössä kaksi UASB reaktoria päällekkäin. Säiliön sekoittuminen tapahtuu kun kaasu kerätään reaktorista putkea (riser) pitkin reaktorin yläosaan ja sinne syntyy ylipaine. Osa kaasusta ohjataan takaisin reaktorin alaosaan toista putkea (downer) hyödyntäen tätä ylipainetta ja näin takaisin reaktoriin (kuva 5). (Deublein & Steinhauser 2008, 288-289.)



Kuva 18. UASB ja IC reaktoreiden toimintaperiaate (Qindao Haiyan Environmental Technical engineering Co., Ltd, 2016).

Panosperusteisen prosessin hajoamisen ollessa vaikeammin hallittavissa, on prosessin käsittelyjäännös usein heikommin hajonnutta ja epätasalaatuista. Jatkokäsittelyksi sopii tällöin jälkikompostointi tuorekompostiksi tai maanparannuskompostiksi. (Latvala 2009, 33.; Luostarinen 2015a, 89.)

#### 7.4 Yksi- ja kaksivaiheiset prosessit

Yksivaiheisella prosessilla tarkoitetaan laitosta, jossa on yksi biokaasureaktori materiaalien hajoamiselle ja biokaasun tuotannolle. Kaksivaiheisessa prosessissa on yleensä kyse kahdesta erillisestä hydrolyysi/asidogeneesi vaiheen ja asetogeneesi/metanogeneesi vaiheen reaktorista. Tavoitteena on luoda näin optimaaliset olosuhteet eri vaiheissa toimiville bakteereille. (Deublein & Steinhauser 2008, 100.; Luostarinen 2015a, 89.)

Deublein & Steinhauserin (2008, 101) mukaan operoitaessa yksivaiheisella prosessilla on olosuhteet ensisijaisesti säädettävä otollisiksi metanogeenille. Metanogeenien menestyminen prosessissa on varmistettava niiden ollessa hitaammin kasvavia ja herkempiä ympäristön muutoksille. Kuitenkin seuraavat erityispiirteet tulisi huomioida optimoitaessa yksivaiheista prosessia:

- Lignoselluloosa pitoisten syötteiden käsittelyssä prosessia rajoittava tekijä on hydrolyysi, jolloin prosessi tulisi säätää otolliseksi hydrolyysille

- Proteiinipitoisten syötteiden käsittelyssä yksivaiheinen prosessi on tehokkain, johtuen samasta optimaalisesta pH-alueesta hajoamisen eri vaiheissa
- Rasvapitoisten syötteiden käsittelyssä hydrolyysi etenee nopeasti asetogeneesin ollessa rajoittava tekijä, jolloin termofiilinen käsittely rasvoille olisi suotavaa

Kaksivaiheisessa prosessissa optimoidaan hajoamisen vaiheet niin, että haihtuvien rasvahappojen muodostuminen tapahtuu hydrolyysin ja asidogeneesin toimesta erillisessä reaktorissa ja metaanin muodostuminen metanogeneesillä toisessa. Tämä tarkoittaa kahta reaktoria sarjassa, lisää automatiikkaa, massojen siirtoa ja tarkempaa prosessinohjausta onnistuakseen. Materiaalien helpomman siirrettävyyden, sekoittamisen ja prosessin hallinnan vuoksi kaksivaiheisuus on helpommin toteutettavissa märkäprosessissa. Suotopetiprosessi on esimerkki kuivamädätyksessä sovellettavasta kaksivaiheisesta prosessista. (Luostarinen 2015a, 89.)

## 7.5 Prosessien kuormitus ja optimaalinen viipymäaika

Biokaasuprosessien hallinta alkaa prosessin syötteiden ominaisuuksien tuntemuksesta ja sopivien syötesuhteiden valinnasta. Syötteiden määrän ja laadun lisäksi reaktoreiden kuormitusta ja syötteen viipymää reaktoreissa on hallittava. Kuormituksella tarkoitetaan syöteseoksen orgaanisen aineksen massaa reaktorin tilavuutta ja vuorokautta kohden. Viipymällä tarkoitetaan laskennallista aikaa, joka tarvitaan reaktoritilavuuden korvaamiseksi kokonaan uudella syötteellä. (Latvala 2009, 34-35; Kymäläinen 2015a, 73-74.)

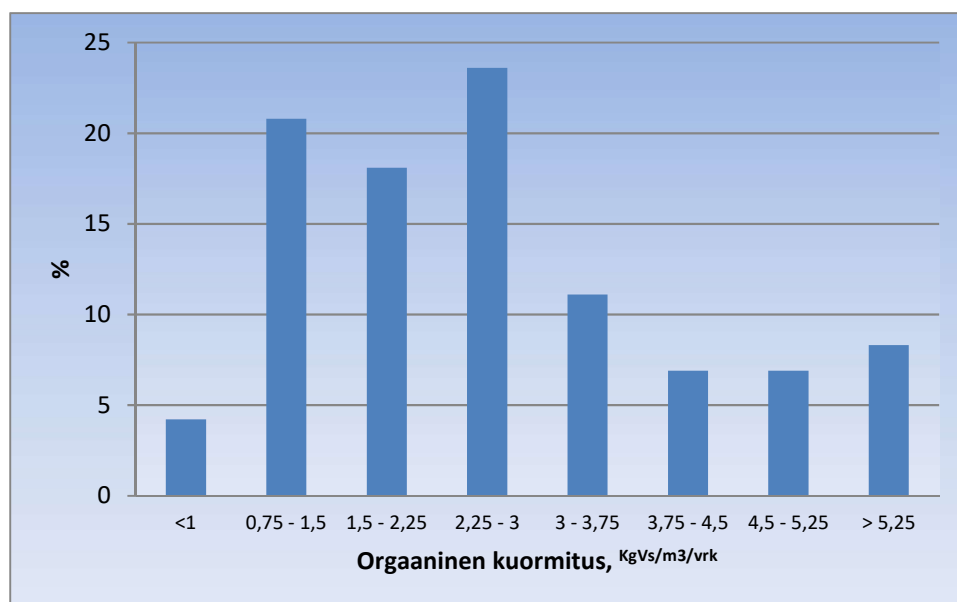
### 7.5.1 Orgaaninen kuormitus, OLR

Reaktorin orgaanista kuormitusta (OLR, Organic Loading Rate) kuvataan yksikössä  $\text{kgVS}/\text{m}^3/\text{vrk}$ , joka kertoo kuinka monta kilogrammaa orgaanista ainesta (VS) vuorokauden aikana syötetään reaktoriin yhtä reaktorin nestetilavuuskuutiota kohden. (Latvala 2009, 34.; Kymäläinen 2015a, 72.)

Prosessi mitoitetaan toimimaan tietyllä kuormitusarvolla. Korkeammalla kuormituksella reaktorin käsittelykapasiteetti on suurempi ja sen tilavuus on tehokkaammin käytössä, mutta syötteen viipymäaika reaktorissa puolestaan lyhenee. Toisaalta korkeampi kuormitus tarkoittaa myös suurempaa riskiä prosessia inhiboivien tekijöiden vaikutukselle niiden pitoisuuksien kasvaessa. Kuormituksen kasvaessa syötteen määrä suhteessa aktiiviseen mikrobistoon kasvaa ja saavuttaa lopulta rajan, jossa reaktorin metabolinen kapasiteetti ei riitä hajottamaan sinne syötettyä orgaanista ainesta. Kuormitustestauksella voidaan hakea sopiva kuormitusarvo, jolla prosessi toimii kyseisillä syötteillä tai syöteseoksilla. Testauksessa kuormitusta nostetaan vähitellen ja prosessin parametrejä seuraamalla löydetään

kyseisille syötteille sopiva taso, joka riippuu syötteen lisäksi vallitsevista olosuhteista sekä toimivan mikrobiston sopeutumisesta vallitseviin olosuhteisiin. Käytännössä jatkuvatoimisia biokaasuprosesseja on suositeltavaa ajaa mahdollisimman tasaisella kuormituksella ja tasaisella syötöllä. Syötteen muutostilanteissa kuormitusta on hyvä laskea ja antaa prosessin sopeutua uuteen syötekoostumukseen. (Kymäläinen 2015a, 72.)

Biokaasulaitosten välillä orgaanisen aineksen kuormitusarvot vaihtelevat käytettävän syötteen ja prosessiteknologian mukaan. Käytännössä OLR-arvo harvoin ylittää  $4 \text{ kgVS/m}^3/\text{vrk}$  maatilatason laitoksilla, jotka perinteisesti mädättävät lantaa ja peltobiomassoja (kuva 19). (Deublein & Steinhauser 2008, 248.) Suomessa lantaa syötteenä käyttävissä bioreaktoreissa tyypillinen kuormitus on  $2 - 3 \text{ kgVS/m}^3/\text{vrk}$ , biojätettä sekä lietettä käyttävillä märkäprosesseilla kuormitus on tyypillisesti  $4 - 5 \text{ kgVS/m}^3/\text{vrk}$ . (Kymäläinen 2015a, 73.)



Kuva 19. Saksalaisten maatilatason laitosten biokaasureaktoreiden suhteellinen jakautuminen (%) OLR arvojen mukaan luokiteltuina. Kuvio mukaeltu lähteestä Deublein & Steinheuser 2008, 249.

### 7.5.2 Viipymäaika, HRT ja SRT

Biokaasuprosessin viipymäaika (HRT, Hydraulic Retention Time) kuvataan laskennallisella ajalla, joka kestää korvata koko reaktoritilavuus uudella syötteellä (Kymäläinen 2015, 74):

$$\text{HRT} = V_{\text{reaktori}} / Q_{\text{syöte}}$$

$$V_{\text{reaktori}} = \text{reaktorin toimintatilavuus} [\text{m}^3]$$

$$Q_{\text{syöte}} = \text{syöttötilavuus} [\text{m}^3/\text{vrk}]$$

Viipymääjan pituuteen vaikuttavat syötteen tasalaatuisuus, orgaanisen aineksen määrä (VS), kiintoaineksen määrä (TS), prosessilämpötila (taulukko 4) sekä reaktorin tilavuus ja sekoitus. Mitä pidempi viipymäaika on, sitä pidemmälle orgaanisen aineksen hajoaminen etenee reaktorissa. (Latvala 2009, 35.)

Taulukko 4. Prosessilämpötilojen vaikutus viipymäaikaan. Mukaeltu lähteestä Deublein & Steinhäuser 2008, 250.

	<b>Lämpötila-alue</b>	<b>Viipymäaika</b>
Psykrofiilinen prosessi	15 – 30 °C	n. 60 päivää
Mesofiilinen prosessi	30 – 50 °C	17 – 45 päivää
Termofiilinen prosessi	>50 °C	n. 15 päivää

Kiintoaineksen viipymäaika (SRT, Solids Retention Time) on yleensä parempi parametri kuvaamaan viipymää prosessissa, jossa osa käsitellystä syötteestä kierrätetään takaisin prosessiin. Reaktorissa, jossa käsittelyjännös ei kierrä HRT on yhtä suuri kuin SRT, kun kiertävässä prosessissa SRT on suurempi kuin HRT. Käytännössä osa kiintoaineesta ja tämän myötä myös mikrobiomassasta kiertää prosessissa. (Kymäläinen 2015, 74.) Pidettäessä yllä korkeaa SRT arvoa, mahdollistaa se prosessin stabiiliuden, paremman inhibition kestävyuden ja toipumisen inhibitiosta erikoistuneen bakteerikannan kiertäessä prosessissa. (Khanal 2008c, 11.)

Yksinkertaiset yhdisteet, kuten sokeri, ovat valmiiksi hyödynnettäviä, jolloin niiden tarvitsema viipymäaika on lyhyt. Monimutkaisemmat orgaaniset yhdisteet ovat hitaasti hajoavia ja tarvitsevat pidemmän viipymääjan hajotukseen. (Khanal 2008c, 11.) Tyypillisiä syötekohtaisia viipymäaikoja on kuvattu taulukossa 5.

Taulukko 5. Tyypillinen syötteen mukainen viipymäaika jatkuvatoimissa märkäprosessissa. Mukaeltu lähteestä Kymäläinen 2015a, 74.

<b>Syöte</b>	<b>Viipymä, vrk</b>
Jätevesi	1 – 2
Biojäte ja liete	15 – 20
Lanta	20 – 30
Peltobiomassa	30 – 50

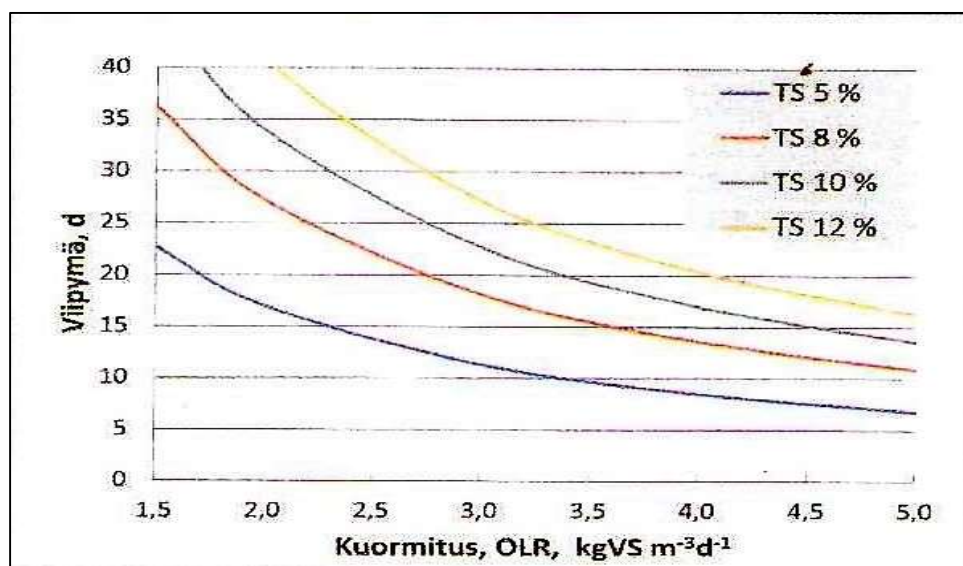
Reaktorin orgaaninen kuormitus ja viipymä ovat riippuvaisia toisistaan. Kuormitettaessa prosessia syötetyn raaka-aineen määrä kasvaa, mikä johtaa viipymääjan lyhenemiseen. Viipymäaika on sitä lyhyempi, mitä alhaisempi syötteen kuiva-ainepitoisuus on. (Kymäläinen 2015, 75.) Nostamalla syötteen kuiva-ainepitoisuutta voidaan saavuttaa pidempi viipymäaika myös korkeammalla kuormituksella. Kuvassa 20 on esitetty reaktorikuor-



mituksen ja viipymääjan välinen riippuvuus syötteen eri kuiva-ainepitoisuuksilla, kun syötteen orgaanisen aineksen osuus kuiva-aineesta (VS/TS suhde) on 68 %. Tavoiteltaessa 12 vuorokauden viipymää 5 % TS -pitoisella syötteellä on maksimikuormitus 3 kgVS/m<sup>3</sup>/vrk. Kuormituksen noustessa arvoon 5 kgVS/m<sup>3</sup>/vrk on syötteen TS -pitoisuus nostettava 8 %:iin, jotta saavutetaan sama 12 vuorokauden viipymä. (Kymäläinen, Kannisto & Salmela 2014, 27.)

Metanogeenien huuhtoutuminen ulos reaktorista on yleinen ongelma täyssekoitteisissa reaktoreissa, joissa ei ole käsittelyjäännöksen osittaista kierrätystä takaisin prosessiin. Tämä voidaan estää vain ylläpitämällä riittävää viipymää (HRT), joka vaatii suurempaa reaktoritilavuutta. Käsittelyjäännöksen separoinnilla ja kierrätyksellä voidaan metanogeenien huuhtoutuminen estää ylläpitämällä pidempää SRT arvoa ja tätä kautta parantaa prosessin käsittelykapasiteettia. (Khanal 2008c, 11.)

Panosperusteisissa prosesseissa viipymäaika optimoidaan pääasiassa kaasunmuodostuksen perusteella, koska prosessiin ei lisätä syötteitä eikä siitä poisteta käsittelyjäännöstä. Metaanin tuotanto on aluksi korkeampaa vähentyen viipymän kuluessa (kts. kuva 13). Kun syöte on mädätetty ja metaanin muodostuminen loppunut tai se on vähäistä, reaktori tyhjenetään ja ladataan uudelleen käsittelemättömällä syötteellä tyypillisesti noin 1-3 kuukauden kuluttua. Suotopetiprosessissa perkolaationesteen kierrätyksellä voidaan vaikuttaa prosessin aktiivisuuteen ja sitä kautta viipymäaikaan. Prosessin nestetasapainon ylittyessä voidaan prosessista myös poistaa käsittelyjäännöstä. Myös uuden, nestemäisessä muodossa olevan syötteen lisääminen on mahdollista suotopetiprosessiin.



Kuva 20. Reaktorikuormituksen vaikutus viipymään, syötelietteen eri kuiva-ainepitoisuuksilla. Syötelietteen VS/TS -suhde kuvaajassa on 68 %. (Kymäläinen ym. 2014, 27.)

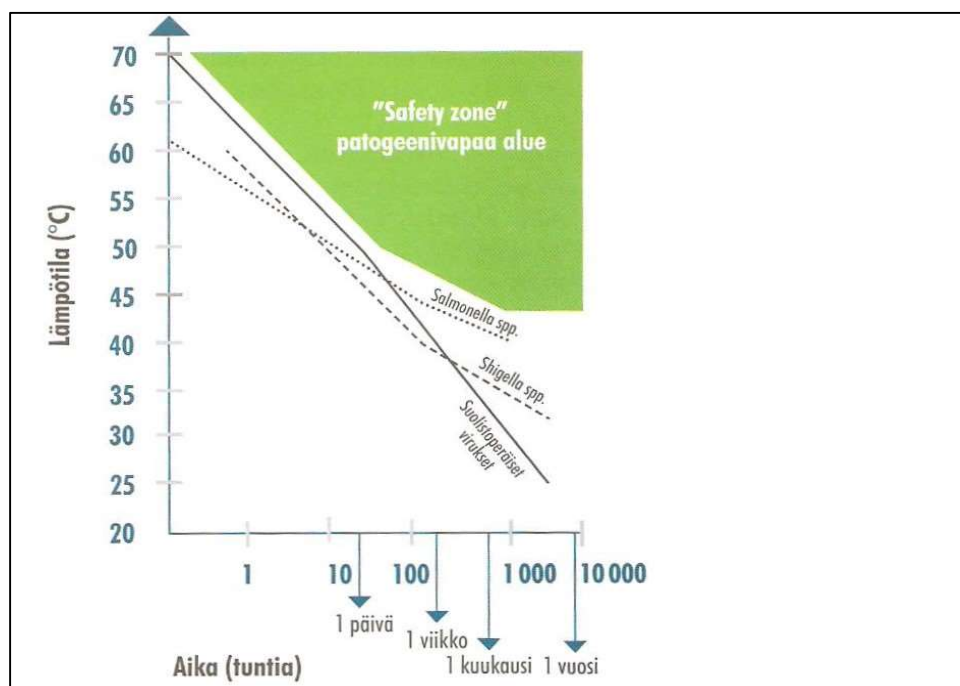


## 7.6 Hygienisoituminen biokaasuprosesseissa

Biokaasulaitoksen syötteen voivat sisältää prosessia häiritsevien yhdisteiden lisäksi myös lopputuotteen hyödyntämistä haittaavia yhdisteitä. Kasvi- ja eläintaudit, raskasmetallit, lääkeaineet, hormonijäämät ja eräät orgaaniset haitta-aineet ovat tällaisia yhdisteitä. Eläimistä ihmisiin tarttuvia taudinaiheuttajia on tunnistettu käsittelemättömistä jätteistä yli 150 lajia. Tunnetuimpia näistä tauteja aiheuttavista bakteerisuvuista ovat mm. *Salmonella*, *Escherchia*, *Campylobacter*, *Clostridium* ja *Yersinia*. Biokaasuprosessin syötteen on siksi tunnettava ja terveysvaaraa aiheuttavat tekijät kyettävä poistamaan prosessin aikana. (Paavola 2015, 95-96.)

Hygienisoituminen taudinaiheuttajista riippuu erityisesti lämpötilasta ja prosessin viipymäajasta. Lämpötilan lisäksi hygienisoitumiseen vaikuttavat mm. pH, käsittelymenetelmä sekä taudinaiheuttajan laji ja määrä. Jätteitä käsittelevillä biokaasulaitoksilla hygieniariskit hallitaan usein erillisellä hygienisointiyksiköllä, jossa syöte tai käsittelyjäännös käsitellään sivutuoteasetuksen mukaisesti alle 12 mm palakoossa tunnin ajan vähintään 70 °C:n lämpötilassa. (Paavola 2015, 96 – 97.)

Taudinaiheuttajien inaktivoimiseksi tehokkaasti ne tulee altistaa riittävän korkealle lämpötilalle tietyksi ajaksi. Tarvittava aika on sidonnainen lämpötilaan ja taudinaiheuttajan lajiin. Feacham ym. (1983) ovat määrittäneet tuhoisan lämpötila-alueen useille eri suolistoperäisille taudinaiheuttajille. Strauch (1991 ja 1998) on koonnut nämä lämpötilat kuvaajaksi, joka osoittaa ns. turva-alueen, jossa taudinaiheuttajat teoreettisesti tuhoutuvat (kuva 21). (Carrington 2001, 11.):



Kuva 21. Patogeenien tuhoutuminen lämpötilan ja ajan funktiona. Kuvio mukaeltu lähteestä Carrington, 2001 (Paavola 2015, 96).

Käytännössä Feacham ym. (1983) mukaan taudinaiheuttajien inaktivoituminen tapahtuu vähintään seuraavilla ajoilla ja lämpötiloilla (Carrington 2001, 11.):

- 7 minuuttia 70 °C
- 30 minuuttia 65 °C
- 2 tuntia 60 °C
- 15 tuntia 55 °C
- 3 päivää 50 °C

Käytännön tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että käsittelyaika on ol-tava edellä mainittua teoreettista mallia pidempiä, koska prosessissa tulee varmistua koko käsiteltävän massan lämpeneminen vaadittuun tasoon vaadituksi ajaksi (Carrington 2001, 11).

Hyödynnettäessä biokaasuprosessin käsittelyjäännöstä lannoitevalmis-teena on tuotteen täytettävä kullekin tyyppinimelle asetetut ehdot. Mikäli prosessissa käsitellään eläinperäisiä sivutuotteita, on kaikessa toiminnassa noudatettava muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saata-vien sivutuotteiden terveyssäännöistä annettua Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusta (1774/2002). Sekoitettaessa useita syötettä keske-nään ennen käsittelyä, on käsittely tehtävä vaativimman syötteen mukai-sesti. (Latvala 2009, 38.)

Hygienisointi tulee tehdä aina käsiteltäessä luokan 3 eläinperäisiä sivutuot-teita. Sivutuotteiden käsittelyn hygienisointi ja sterilointivaatimukset on esitetty taulukossa 6. Termofiilinen prosessi täyttää hygienisointivaatimuk-sen, kun prosessissa käsitellään ainoastaan ruokajätettä, puhdistamo-lietettä, lantaa tai niiden seoksia. Tällöin hygienisoituminen tulee osoittaa lopputuotteesta mikrobiologisin analyysin. Vain kasveja ja lietettä käsit-televän laitoksen käsittelyjäännöstä toimitettaessa markkinoille, vaadit-tava hygienisointitaso voidaan saavuttaa myös termisellä kuivauksella tai kompostoinnilla. Kaatopaikalle tai polttoon loppusijoitettavaa käsittely-jäännöstä ei tarvitse hygienisoida. (Latvala 2009, 38.)

Taulukko 6. Sivutuoteasetuksen mukaiset hygienisointi- ja sterilointivaatimukset (Latvala 2009, 38).

<b>Esikäsitely</b>	<b>Kuvaus</b>	<b>Tyypillisiä syötettä</b>
Hygienisointi	Vähintään 1 tunti 70 °C. Partikkelikoko max. 12mm. Voidaan tehdä myös prosessin jälkeen	Luokan 3 sivutuot-teet, kuten ruokajäte ja elintarviketeollisuu-den sivutuotteet.
Sterilointi	Vähintään 20 minuut-tia 133 °C, 3 barin pai-neessa	Luokan 2 eläinperäi-nen aines lantaa lu-kuunottamatta

Latvalan (2009) mukaan hygienisoinnin vaihtoehtoina ovat myös prosessin validointi ja kansallinen laitoshyväksyntä. Prosessin validoinnissa on osoitettava prosessista saatavan käsittelyjäännöksen täyttävän asetetut hygieniavaatimukset, käsittelymenetelmällä on minimoitu biologiset riskit ja että prosessi on toistettava ja täydellisesti määritelty. Kansallinen laitoshyväksyntä voidaan antaa laitokselle, jonka ainoana eläinperäisenä jätteenä käsitellään lantaa, ruokajätettä tai niiden seosta. Validointisuunnitelmat ja laitoshyväksyntähakemukset käsittelee ja hyväksyy Suomessa Elintarviketurvallisuusvirasto Evira.

## 7.7 Biokaasuprosesseja inhibioivia tekijöitä

Anaerobisia prosesseja häiritseviä tekijöitä voi kulkeutua prosessiin syötteiden mukana tai niitä voi muodostua itse prosessin aikana. Tyypillisiä prosessiin ulkopuolelta kulkeutuvia tekijöitä voivat olla raskasmetallit, halogeenoidut yhdisteet, syanidi ja fenoli. Prosessissa muodostuvia ja siinä seurattavia haittatekijöitä ovat yleisimmin ammoniakki, rikkiyhdisteet ja rasvapot. (Khanal 2008b, 56.)

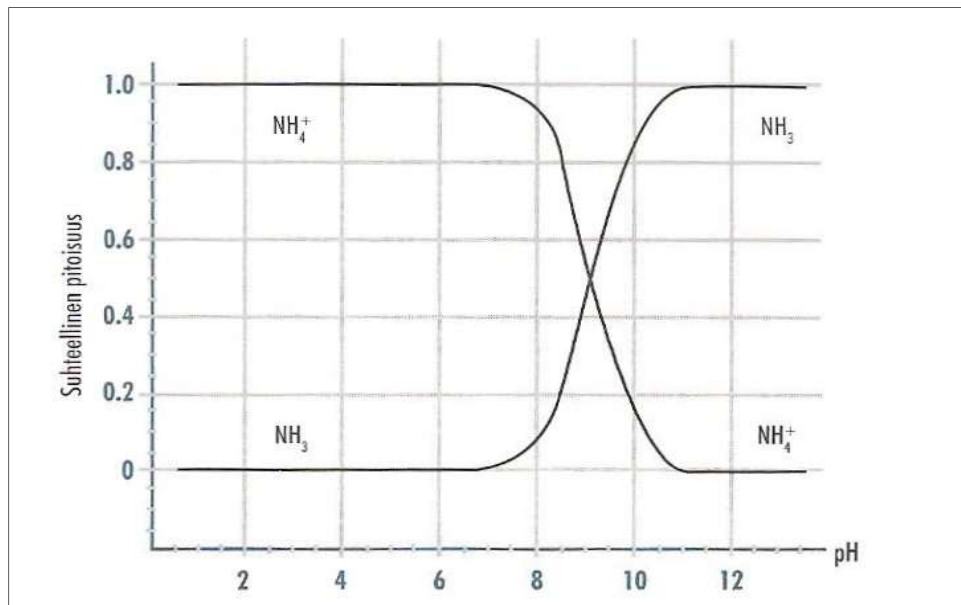
Anaerobiset bakteerit käyttävät useita inhibiittoreita pieninä määrinä hiivenaineina ja hajottavat niitä, mutta suuremmat pitoisuudet häiritsevät prosessia tai ovat sille haitallisia. Yleisesti ottaen anaerobinen prosessi ei ole kovin herkkä inhiboiville tekijöille ja sopeutuu joustavasti ympäristön muutoksiin, etenkin muutosten ollessa vähitellen kehittyviä tai lyhytaikaisia. (Deublein & Steinhauser 2008, 118-119.)

### 7.7.1 Ammoniakki

Aiemmin kappaleessa 6.5.4 esitetysti ammoniakki on tärkeä ravinnelähdde anaerobiselle prosessille ja prosessia ohjaava tekijä pH:n tasauksen muodossa. Neutraalissa pH olosuhteessa vapaan ammoniakin osuus on 1:99 kokonaisammoniakista. Ammoniakin inhiboiva vaikutus voi alkaa prosessin pH:n noustessa ja korkeammassa operointilämpötilassa, jolloin vapaan ammoniakin ( $\text{NH}_3$ ) osuus käsiteltävänä olevassa massassa kasvaa (kuva 22). (Deublein & Steinhauser 2008, 123.) Taulukossa 7 on esitetty vapaan ammoniakin ja ammoniumioni-pitoisuuden prosessia inhiboivan vaikutuksen raja-arvot.

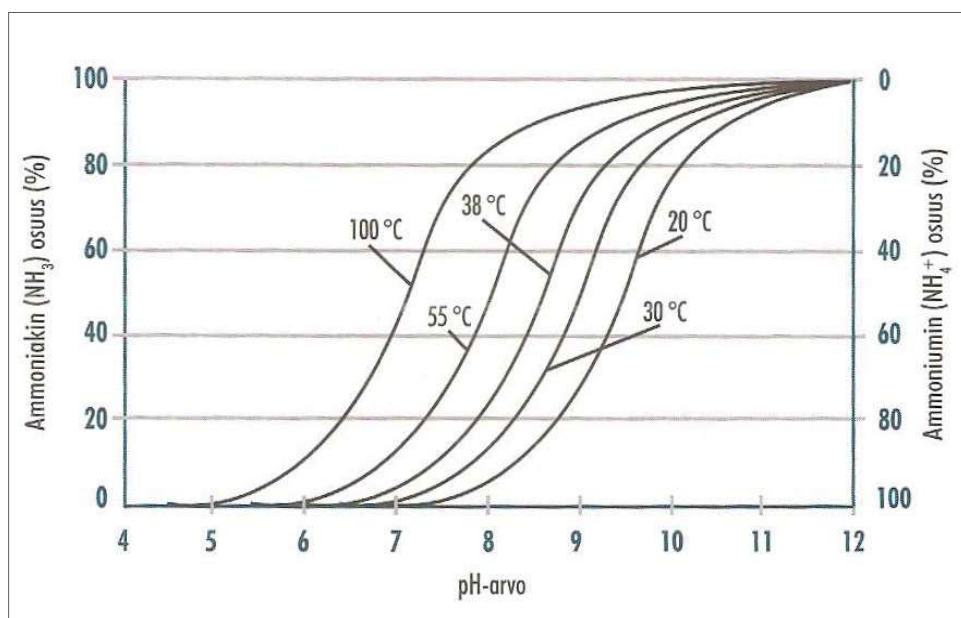
Taulukko 7. Vapaan ammoniakin ( $\text{NH}_3$ ) ja ammoniumionin ( $\text{NH}_4^+$ ) inhiboivan vaikutuksen raja-arvot. Taulukko mukaeltu lähteestä Deublein & Steinhauser 2008, 123.

Aine	Pitoisuus, jossa inhibiatio alkaa (mg/l)	Myrkyllinen taso mikro-organisemeille (mg/l)
Ammoniumioni ( $\text{NH}_4^+$ )	1500 – 10000	30000
Vapaa ammoniakki ( $\text{NH}_3$ )	80	150



Kuva 22. Ammoniakin ionisoituneen ( $\text{NH}_4^+$ ) ja ionisoitumattoman ( $\text{NH}_3$ ) muodon välinen tasapaino pH:n funktiona. (Kymäläinen 2015a, 68.)

Lämpötilan nousu prosessissa lisää vapaan ammoniakin osuutta käsiteltävässä massassa vallitsevan pH:n lisäksi (kuva 23). Täten termofiilinen prosessi on huomattavasti herkempi ammoniakin inhiboivalle vaikutukselle kuin mesofiilinen prosessi. (Khanal 2008b, 57.)

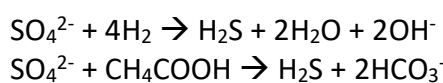


Kuva 23. Ammoniikki.ammoniumioni-tasapaino lämpötilan ja pH:n funktiona. Kuvio mukaeltu lähteestä Ficke ym. 2007 (Paavola 2015, 103.)

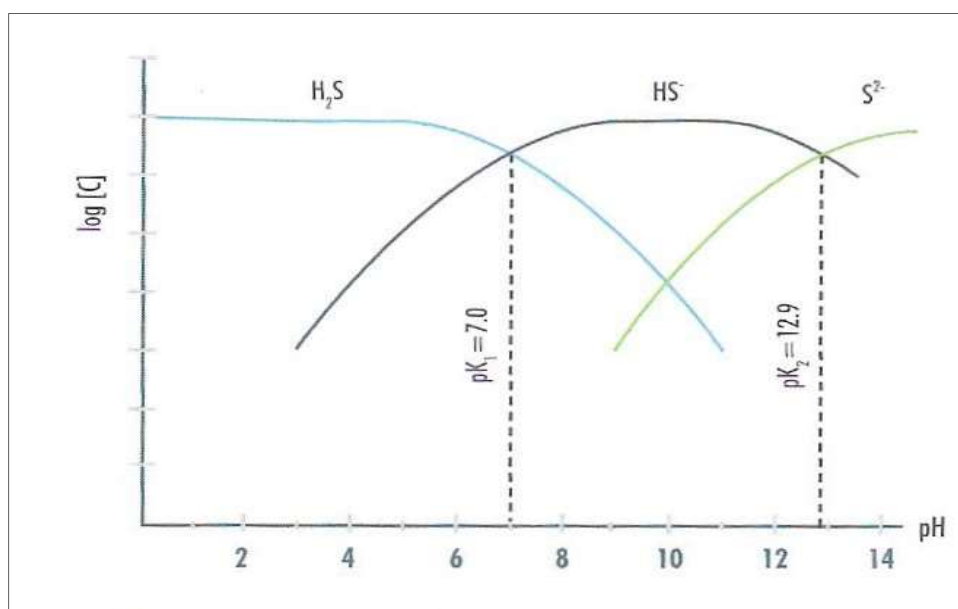
### 7.7.2 Rikkiyhdisteet

Biokaasuprosessin syötteistä jätteet ja teollisuuden jätevedet voivat sisältää korkeita pitoisuuksia erilaisia rikkiyhdisteitä. Rikkiyhdisteet voivat reagoita ja muuttaa muotoaan anaerobisen prosessin aikana. Rikkiä voi esiintyä prosessissa sulfaattina ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sulfideina, rikkivetyä kaasussa tai liuenneena sekä pelkistyneenä vetysulfidi- ( $\text{HS}^-$ ) tai sulfidi-ionina ( $\text{S}^{2-}$ ). (Deublein & Steinhauser 2008, 119.)

Sulfaatti on ongelmallinen syötteessä, koska sulfaattia pelkistävät bakteerit voivat kilpailla metanogeenien kanssa kohdassa 5.5.5 esitetyn mukaisesti ja häiritsevät prosessia. Tällöin asetaatista ja vedystä muodostuu toivotun metaanin sijasta prosessille haitallista rikkivetyä ( $\text{H}_2\text{S}$ ) seuraavien yhtälöiden mukaisesti (Deublein & Steinhauser 2008, 119.):



Neutraalin pH:n vallitessa liennut rikkivety esiintyy käsiteltävässä massassa tasapainossa vetysulfidi-ionimuodon kanssa (kuva 24). Solumyrkkynä toimivan  $\text{H}_2\text{S}$ -muotoisen rikkiyhdisteen pitoisuus lisääntyy käsiteltävän massan pH:n laskiessa. Soluille myrkyllisiksi rikkivetypitoisuuksiksi biokaasuprosesseissa on raportoitu arvoja välillä 30 – 400  $\text{mgH}_2\text{S}$  (litra)<sup>-1</sup>. Myös kasvava lämpötila prosessissa lisää rikkivedyn myrkyllisyyttä. (Deublein & Steinhauser 2008, 120., Kymäläinen 2015a, 68.)



Kuva 24. Rikkivedyn ja rikki-ionien välinen tasapaino pH:n funktiona (Kymäläinen 2015, 69.)

Rikkivetypitoisuuden seuranta biokaasuprosesseissa on tärkeää edellä mainittujen seikkojen vuoksi. Pitoisuuden noustessa korjaavina toimenpiteinä voidaan käsiteltävän massan pH:ta nostaa lisäämällä prosessiin lipeää

pH:n nostamiseksi, rautasuolaa sitomaan rikkivetyä rautasulfidiksi tai pienentämällä prosessin kuormitusta ja näin alentaa pitoisuuksia prosessissa. (Deublein & Steinhauser 2008, 121.)

### 7.7.3 Rasvahapot

Rasvapitoiset syötteet hajoavat biokaasuprosessissa pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi (mm. steariini-, palmitiini- ja linoleenihappo) ja glyseroliksi. Rasvahappojen hajoaminen edelleen tapahtuu asetogeneesissä syntrofisessa yhteydessä metanogeenien kanssa. Liiallinen rasvapitoisen materiaalin syöttö prosessiin voi aiheuttaa pitkäketjuisten rasvahappojen kertymistä prosessiin. Pitkäketjuiset rasvahapot tunkeutuvat mahdollisuuden saadessaan mikrobien solurakenteisiin tuhoten solujen valkuaisaineita. Oleiini- ja steariinihappojen inhibitiopitoisuudelle on todettu raja-arvoja välille 200 – 500 mg (litra)<sup>-1</sup>, voihapolle ja valerianhapolle 50 mg (litra)<sup>-1</sup>, kun taas propionihapolle alhaisimmillaan 5 mg (litra)<sup>-1</sup>. (Deublein & Steinhauser 2008, 121.; Kymäläinen 2015a, 69.)

### 7.7.4 Metallit

Tietyt raskasmetallit toimivat aiemmin esitetysti tärkeinä hivenaineina biokaasuprosessin bakteereille pieninä pitoisuuksina. Korkeina pitoisuuksina ne voivat kuitenkin inhiboida prosessia. Erityisesti lyijy, kadmium, kupari, sinkki, nikkeli ja kromi voivat aiheuttaa häiriötä prosessille (Taulukko 8). (Deublein & Steinhauser 2008, 125.)

Metallien prosessia häiritseville pitoisuuksille on vaikea antaa selkeää raja-arvoa. Metallit voivat esiintyä prosessissa ionimuodon lisäksi sitoutuneina sulfideina tai karbonaatteina, jolloin ne eivät biologisesti saatavilla. Inhiboivaa vaikutusta tällöin niillä ei ole tai se on vähäinen. Metallien keskinäinen reagointi voi myös vahvistaa tai heikentää niiden inhibiovaikutusta. Tutkimuksissa on todettu vaihtelevasti inhibiovaikutus muutamista kymmenistä mg (litra)<sup>-1</sup> muutamiin satoihin mg (litra)<sup>-1</sup> pitoisuuksissa. (Kymäläinen 2015a, 70.)

Taulukko 8. Eri metallien inhiboiva tai myrkyllinen pitoisuus biokaasureaktorissa. Inhibiovaikutus riippuu siitä esiintyykö metalli ioni- tai karbonaattimuodossa. Taulukko mukaeltu lähteestä Deublein & Steinhauser 2008, 126.

Aine	Minimivaatimus hivenainepitoisuudelle (mg/l)	Pitoisuus inhibitiolle Ionimuoto / karbonaatti (mg/l)		Myrkyllinen pitoisuus (mg/l)
Cr	0,005-50	28-300	30	500
Fe	1-10	n.a	1750	n.a
Ni	0,005-0,5	10-300		30-1000

Cu	Olennainen aseto- geeneille	5-300	70	70-300
Zn	Olennainen aseto- geeneille	3-400	160	250-600
Cd	n.a	70-600	180	20-600
Pb	0,02-200	8-340	n.a	340
Co	0,06	n.a	n.a	n.a
Mo	0,05	n.a	n.a	n.a
Se	0,008	n.a	n.a	n.a
Mn	0,005-50	1500	n.a	n.a
HCN	0,0	5-30	n.a	n.a

### 7.7.5 Muut inhiboivat tekijät

Desinfointiaineet, hyönteismyrkyt ja antibiootit voivat aiheuttaa prosessin häiriöitä (taulukko 9) (Deublein & Steinhauser 2008, 125). Aineet ovat tehty inhiboimaan tai tuhoamaan bakteereja, joten niiden vaikutus biokaasuprosessiin on ilmeinen. Käytännössä antibioottiongelmia on tavattu eläinten lantoja käsittelevissä biokaasulaitoksissa. Desinfointiaineita ja muita aineita voi tyypillisesti esiintyä teollisuuden tai yhdyskuntien jäteveissä. (Kymäläinen 2015a, 70-71.)

Taulukko 9. Eri inhibiittorien inhiboivat ja myrkylliset pitoisuudet biokaasuprosessissa. Taulukko mukaeltu lähteestä Deublein & Steinhauser 2008, 126.

<b>Aine</b>	<b>Inhibitiopitoisuuden raja-arvo (mg/l)</b>	<b>Myrkyllisen pitoisuuden raja-arvo (mg/l)</b>
Kloroformi	40	n.a
CFC-yhdisteet	50	n.a
Formaldehydi	100	1200
Eteeni ja terpeni	1-50	n.a
Desinfointiaineet ja antibiootit	1-100	n.a

## 8 BIOKAASUPROSESSIEN RAAKA-AINEET

Biokaasuprosessien raaka-aineiksi soveltuvat hyvin erilaiset biomassat. Maatalouden, yhdyskuntien ja teollisuuden erilaiset sivutuotteet sekä jätteet, jotka sisältävät orgaanista ainesta tuottavat biokaasua anaerobisissa olosuhteissa. Paljon hiilihydraatteja, rasvoja ja proteiineja sisältävät raaka-aineet hajoavat prosesseissa suhteellisen helposti ja nopeasti, kun taas puun sisältämän vaikeasti hajoavan ligniinin vuoksi ei sovellu sellaisenaan biokaasuprosessin raaka-aineeksi. (Kymäläinen 2015b, 21.)

Deublein & Steinhauserin (2008, 43.) mukaan raaka-aineiden valinnassa tulisi ottaa erityisesti huomioon seuraavat seikat:

- Raaka-aineen orgaanisen aineksen pitoisuus tulisi olla riittävä valittuun biokaasuprosessiin
- Raaka-aineen kaasuntuottopotentiaali tulisi olla mahdollisimman suuri
- Raaka-aine ei saisi sisältää patogeeneja tai muita yhdisteitä, jotka pitää inaktivoida prosessin aikana
- Raaka-aineen sisältämien haitallisten aineiden ja epäpuhtauksien pitoisuus tulisi olla riittävän pieni sujuvan prosessin varmistamiseksi
- Tuotetun biokaasun laadun tulee täyttää kaasun hyödyntämisen tai jatkojalostuksen vaatimukset
- Prosessin mädätysjäännöksen tulisi olla hyödynnettävissä lannoitteena

### 8.1 Raaka-aineiden yleiset ominaisuudet

Raaka-aineen tai niiden seosten koostumus on lähtökohta prosessissa muodostuvan kaasun määrälle ja laadulle sekä mädätysjäännöksen laadulle. Valitsemalla oikeat materiaalit saavutetaan maksimaalinen energiatuotto ja tuotetaan hyvälaatuista mädätysjäännöstä lannoitevalmisteeksi. Toiset materiaalit ovat luontaisesti parempia raaka-aineita biokaasuprosesseille kuin toiset, mutta sopivilla prosessiolosuhteilla on myös suuri merkitys. Oikea lämpötila, prosessin kuormitus ja viipymäaika vaikuttavat osaltaan siihen kuinka hyvin raaka-aine prosessissa hajoaa. Myös mahdolliset materiaalien esikäsittelyt ja eri seossuhteet vaikuttavat prosessin lopputulokseen. (Schnürer & Jarvis 2009, 45-46.)

Raaka-aineet valikoituvat biokaasulaitokselle usein myös niiden saatavuuden perusteella. Riittävä ja ympärivuotinen raaka-aineen saatavuus on tärkeää, jotta voidaan varmistaa prosessin kannattava, häiriötön ja keskeytymättömän toiminta. (Kymäläinen 2015b, 22.)

Raaka-aineen soveltuvuutta voidaan arvioida mm. sen sisältämän orgaanisen aineksen määrän, kuiva-ainepitoisuuden, metaanituottopotentiaalin,



hiili/typpi suhteen (C/N) tai ravinnekoostumuksen perusteella. Myös prosessia inhiboivat tekijät on syytä ottaa huomioon arvioinnissa. On myös hyvä huomioida, että usein erilaisilla syöteseoksilla voidaan saavuttaa biokaasun tuotannon kannalta parempia tuloksia kuin yksittäisillä raaka-aineilla. Käytännössä näitä edellä mainittuja tekijöitä voidaan selvittää erilaisin laboratorioanalyysin ja testein. Tarkempia arvioita tehdessä suositellaan tehtäväksi jatkuvatoimisia laboratoriomittakaavan koeajoja, joilla muuallaan laitospittakaavaan biokaasuprosessia. (Kymäläinen 2015b, 22.)

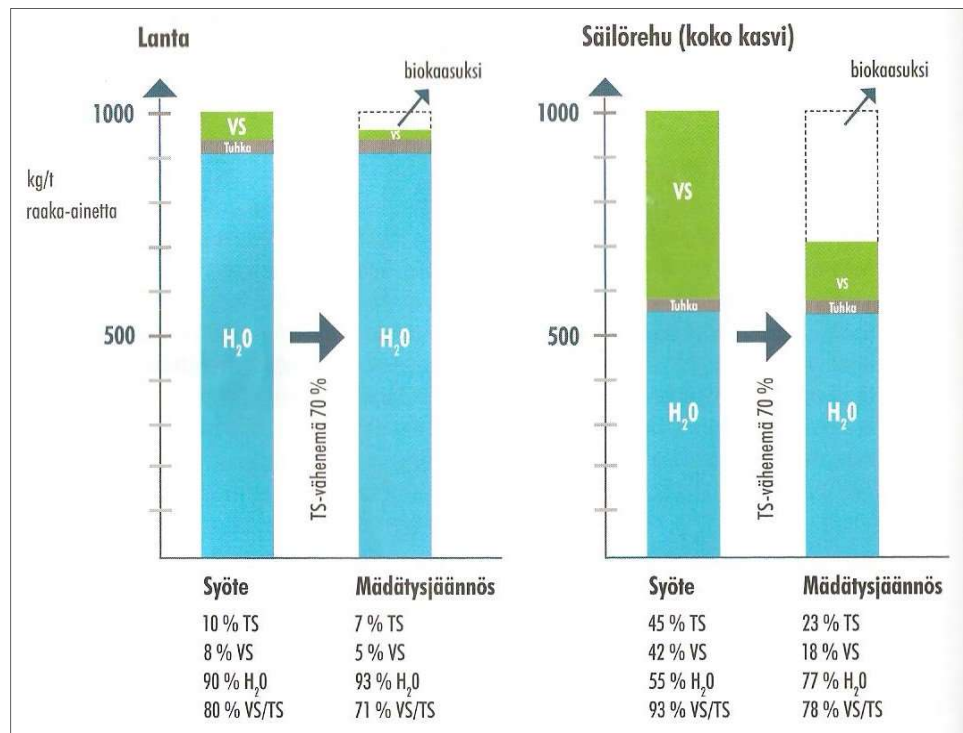
### 8.1.1 Kuiva-aine (TS) ja orgaaninen aines (VS)

Raaka-aineen kokonaismassasta käytetään yleensä termiä märkápaino, koska se koostuu vedestä ja kuiva-aineesta. Kuiva-aineesta käytetään lyhennettä TS (total solids) tai DM (dry matter). Kuiva-aine taas koostuu orgaanisesta ja epäorgaanisesta aineksesta. Orgaanisesta aineksesta käytetään lyhennettä VS (volatile solids) tai oDM (organic dry matter) ja epäorgaaninen aines on sama kuin tuhka (kuva 25). (Kymäläinen 2015b, 23.)



Kuva 25. Esimerkkinä näytteen kokonaismassa sekä TS-,VS- ja tuhkamääritelmät. Esimerkissä näytteen vesipitoisuus on 80 %, TS 20 %, VS 15 % ja tuhka 5 %. (Kymäläinen 2015b, 23.)

Biokaasu muodostuu raaka-aineen orgaanisen aineksen hajotessa epäorgaanisen aineksen jäädessä käsittelyjäännökseen yhdessä hajoamattoman orgaanisen aineksen ja veden kanssa (kuva 26). Syötteen VS/TS suhde kuvaa raaka-aineen sopivuutta biokaasuprosessiin. Mitä suurempi raaka-aineen VS/TS -suhde on ja mitä helpommin hajoavassa muodossa orgaaninen aines on, sitä parempaa syöte on biokaasuprosessiin. (Kymäläinen 2015b, 24.)



Kuva 26. Raaka-aineen ja siitä saadun mädätysjäännöksen koostumus- ja massavertailu. Kuvio mukaeltu lähteestä Fuchs ja Drogg, 2010 (Kymäläinen 2015b, 24.)

### 8.1.2 Ravinteet ja hivenaineet

Biokaasuprosessien pääravinteita ovat hiili (C), typpi (N), fosfori (P) ja rikki (S). Pääravinteiden lisäksi entsyymitoiminnan ylläpitämiseksi prosessi tarvitsee erilaisia hivenaineita ja vitamiineja. (Kymäläinen 2015b, 26.)

Biokaasuprosessien kannalta tärkein ravinnetasapainoa kuvaava tekijä on käsiteltävän massan hiili-typpisuhde (C/N). Suhteen ollessa liian matala, eli tyypeä on enemmän suhteessa hiileen, prosessi voi kärsiä ammoniakkin aiheuttamasta inhibitiosta. Korkea suhdearvo voi puolestaan aiheuttaa typen puutetta mikrobeille. (Kymäläinen 2015b, 26.) Prosesseille optimaalisia C/N-suhdearvoja on kuvattu aiemmin kappaleessa 5.5.3.

Syötteessä oleva hiili ja typpi voivat olla eri tavoin sitoutuneina yhdisteinä ja täten myös eri tavoin mikrobien hyödynnettävissä. Typen esiintyessä hankalasti hajoavassa orgaanisessa aineksessa, ei matala C/N -suhde välttämättä aiheuta inhiboivia ammoniakkipitoisuuksia. Korkean suhdeluvun käsiteltävässä massassa voi taas hiili olla hajoamattomassa muodossa, esimerkiksi ligniininä, jolloin syötteen C/N -suhde ei kerro koko totuutta massan soveltuvuudesta biokaasuprosessiin. (Kymäläinen 2015b, 26.) Biokaasuprosesseihin yleisesti soveltuvien syötteen tyypillisiä C/N -suhteita on kuvattu taulukossa 10.

Taulukko 10. Joidenkin biokaasuprosesseihin soveltuvien materiaalien tyypillisiä C/N -suhteita. Mukaeltu lähteestä Schnürer & Jarvis (2009, 47-48).

Materiaali	C/N - suhde	Materiaali	C/N - suhde
Nestemäinen karjanlanta	6-20	Ruoho	12-26
Kananlanta	3-10	Peruna	35-60
Nestemäinen sianlanta	5	Sokerijuurikas	35-46
Olki	50-150	Viljat	16-40
Hedelmät ja vihannekset	7-35	Sekalainen ruokajäte	3-32
Teurasjäte	4-37	Tislaamojäte	8

### 8.1.3 Metaanituottopotentiaali

Raaka-aineiden tuottoarvoja mitataan ja arvioidaan tyypillisesti metaanituottoina (taulukko11) (esim. litraa/kg tai m<sup>3</sup>/tonni), koska metaani edustaa syntyvän biokaasun energiasisältöä. Yleistä kuitenkin on, että tuottoarvoja raportoidaan myös biokaasutuottoina, jolloin kaasumäärässä on mukana prosessissa syntyvä hiilidioksidi. Hiilidioksidi on täydellisesti hapettunut yhdiste eikä enää energiana hyödynnettävissä. Näin ollen biokaasun energiasisältö määräytyy vain sen metaanipitoisuuden mukaan. Puhtaan metaanin energiasisältö on 10 kWh (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>)<sup>-1</sup>. Vastaavasti 60 % metaania sisältävän biokaasun on näin ollen 6 kWh (m<sup>3</sup>biokaasua)<sup>-1</sup>. Tuottoarvo ilmaistaan tyypillisesti myös suhteutettuna, joko orgaanista ainesta (VS), Kuiva-ainetta (TS) tai märkápainoa kohden. (Kymäläinen 2015b, 32.)

Taulukko 11. Mesofiilisten panoskokeiden keskimääräisiä metaanituottoja eri syötteillä. Mukaeltu lähteestä Schnürer & Jarvis (2009, 51.)

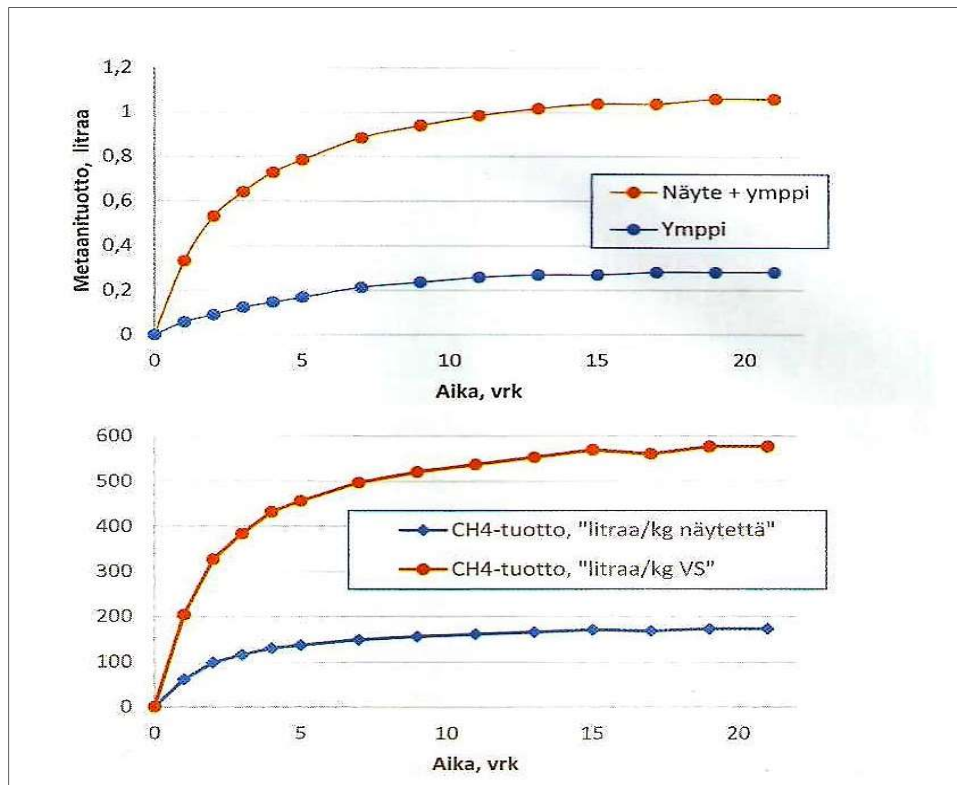
Syöte	CH <sub>4</sub> ,M <sup>3</sup> /tn VS	Syöte	CH <sub>4</sub> ,M <sup>3</sup> /tn VS
Ruokajäte	400-600	Viljat	300-400
Kasvikset ja hedelmät	200-500	Sokerijuurikas	300-800
Lannat	100-300	Säilörehu	350-390
Teurasjätteet	700	Ruoho	200-400
Olki	100-320	Jätevesiliete	160-350
Tislaamojäte	300-400		

Raaka-aineiden tuottoarvoja voidaan arvioida teoreettisesti tai määrittellä käytännön kokein. Teoreettiset tuottoarvot perustuvat ns. Buswellin yhtälöön, jonka mukaan orgaanisen aineen metaanintuotto voidaan laskea stoikiometrisellä yhtälöllä (taulukko 12). Eri hiilihydraatteja, rasvoja ja proteiineja on vaihtelevilla koostumuksilla, joten niiden teoreettiset tuototkin vaihtelevat. Käytännössä Buswellin yhtälön käyttö edellyttää tarkempaa tietoa raaka-aineen sisältämien yhdisteiden koostumuksesta ja niiden suhteista syötteessä luotettavan arvion aikaan saamiseksi. (Kymäläinen 2015b, 27.)

Taulukko 12. Teoreettinen biokaasun määrä ja koostumus eri hiilihydraattien, rasvojen ja proteiinien muodostamana Berglundin ja Börjessonin (2003) mukaan. Mukaeltu lähteestä Schnürer & Jarvis (2009, 49).

	Biokaasun määrä (M <sup>3</sup> /kg VS)	Biokaasun koostumus CH <sub>4</sub> : CO <sub>2</sub> (%)
Hiilihydraatit	0.38	50:50
Rasvat	1.0	70:30
Proteiinit	0.53	60:40

Kokeellisesti raaka-aineen metaanintuotto voidaan määrittellä metaanintuottopotentialitestillä (BMP, Biochemical methane potential test). Testimenetelmä on standardoitu (esim. VDI 4630, 2006) ja käytännön toteutus tapahtuu usein laboratorioiden itse rakennetuilla testilaitteistoilla tai kaupallisilla testilaitteistoilla. Panosluontoisessa metaanintuottopotentialitestissä tutkittavan näytteen ja verrokkina toimivan herätteen (ympäri) kaasuntuottoa seurataan määräämällä. Menetelmässä biokaasun hiilidioksidi pestään pois ja vain muodostuvan metaanin määrä mitataan. Herätteenä toimivan verrokinäytteen metaanintuotto vähennetään tutkittavasta aineesta ja näin saadaan näytteen tuottama metaanimäärä selville. Tyypillisesti tuloksia raportoidessa muodostuneen kaasun määrä kuvataan ajan funktiona (metaanintuottokuvaaja) sekä kaasuntuotto suhteutetaan näytteen TS- ja/tai VS -määrään (Kuva 27). (Kymäläinen 2015b, 29-30.)



Kuva 27. Panoskokeella mitattu metaanintuotto ajan suhteen (21 vrk). Ylemmässä kuvaajassa näytteen kokonaistuotto ja alemmassa suhteutettuna märkápainoon ja orgaaniseen ainekseen. (Kymäläinen 2015b, 31.)

## 8.2 Yksilöidyt raaka-ainelähteet ja raaka-aineiden ominaisuudet

Maatalouden, yhdyskuntien ja teollisuuden erilaiset sivuvirrat, sivutuotteet ja jätteet soveltuvat biokaasun tuotantoon. Maataloudessa muodostuu suuri määrä biokaasuprosesseihin erilaisia kasvi- ja eläintuotannon sivutuotteita kuten lantaa, rehuja ja kasvijätteitä. Lisäksi maataloudessa on mahdollista tuottaa varta vasten energiakasveja biokaasutuotantoon. (Luostarinen 2015b, 32-33.)

Yhdyskuntien tuottamaa ruokajätettä voidaan erilliskerätä hyödynnettäväksi biokaasulaitoksissa tai biohajoavaa osuutta voidaan erottaa laitossäätelyllä sekalaisista jätteistä edelleen hyödynnettäväksi. Lisäksi yhdyskunnasta peräisin olevia puhdistamolietteitä voidaan käsitellä biokaasulaitoksissa. (Kymäläinen 2015b, 39-41.)

Teollisuudessa syntyy biokaasuprosesseihin soveltuvia orgaanisia sivuvirtoja etenkin teurastamotoiminnasta sekä juoma- rehu- ja panimoteollisuudesta. Myös teollisuuden jätevedet ovat yleisesti ottaen soveltuvia biokaasuprosesseihin. Etenkin paljon orgaanista ainesta sisältävillä teollisuuden jätevesillä voi olla merkittäväkin biokaasupotentiaalia. (Kymäläinen 2015b, 43.)

## 8.2.1 Lannat

Eläinperäisiä lantoja muodostuu erilaisia riippuen eläinlajista ja eläinsuojaratkaisusta. Lietelanta syntyy kun eläinten sontaan ja virtsaan sekoitetaan eläinsuojan pesuvesiä tarkoituksella lannankeruun helpottamiseksi. Kuivikemateriaaleja käytetään lietelannan keräämisen yhteydessä vähän tai ei ollenkaan. Kuivalanta on erikseen kerättyä kuivikkeita, kuten turve, olki tai kutterinpuru, sisältävää eläimen sontaa. Eläimen virtsa kerätään tässä tapauksessa erillään ja siitä vain pieni osa sitoutuu kuivikkeisiin. Kuivikelanta syntyy, kun kuivikkeita käytetään enemmän ja eläinten virtsa imeytetään kokonaan kuivikkeisiin. Kuivikepohjalanta syntyy edelleen, kun eläinsuojaan laitetaan paksu kuivikepatja, jota kasvatetaan jopa vuoden ajan uudella kuivikkeella ennen poistoa. (Luostarinen 2015b, 33-34.)

Suomessa muodostuvia lantamääriä voidaan arvioida eläinmäärän ja -lajin sekä eläinlajin lannan tuoton avulla. Näin arvioiden vuotuisen muodostuvan lantamäärän on arvioitu olevan lähellä 17 miljoonaa tonnia. Eläinlajin lantamäärästä on johdettu lantojen varastointimääräykset, jotka ovat osa Vna 1250/2014 eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta säädöksiä (kuva 28). Biokaasulaitoksissa prosessoidun lannan ei oleteta muuttuvan ja täten prosessin mädätysjännöksen varastointi- ja levitysvaatimukset vastaavat lannan vastaavia vaatimuksia. (Luostarinen 2015b, 34-35.)

Eläinlaji	Varastointitilavuus, m <sup>3</sup> / eläin					
	Kuivikelanta + virtsa		Lietelanta		Kuivalanta, virtsa <sup>2)</sup> kuivikkeeseen imeytetty	
	12 kk	8 kk	12 kk	8 kk	12 kk	8 kk
Lypsylehmä <sup>1)</sup>	12.0 + 8.0	8.0 + 5.0	24.0	16.0	24.0	16.0
Hieho, emolehmä, liha nauta, siitossoni	9.0 + 4.0	6.0 + 3.0	15.0	10.0	15.0	10.0
Nuorkarja 6.. 8 kk	4.8 + 2.4	3.2 + 1.6	8.0	5.6	8.0	5.6
Nuorkarja < 6 kk	2.4 + 1.2	1.6 + 0.8	4.0	2.8	4.0	2.8
Emakko porsaineen (normaali) <sup>3)</sup>	3.0 + 3.5		7.0		8.3	
Lihäsika, <sup>4) 6)</sup>	0.7 + 1.0		2.0		2.4	1.6
Siitossika, joutilas emakko <sup>5)</sup>	0.8 + 1.2	0.5 + 0.8	2.4	1.6	2.4	1.6
Vieroitettu porsas <sup>4) 7)</sup>	0.5 + 0.5		1.0		1.2	
Hevonen					12.0	8.0
Poni					8.0	5.0
Lammas, uuhi karitsoineen; vuohi, kuttu kileineen	1.5	1.0			1.5	1.0
Lattiakana, broileriemo	0.05				0.05	
Häkkikana	0.05				0.05	
Kalkkuna <sup>4)</sup>	0.03				0.03	
Broileri, kananuorikko <sup>4)</sup>	0.015				0.015	
Ankka, hanhi <sup>4)</sup>	0.04				0.04	
Sorsa <sup>4)</sup>	0.025				0.025	
Minkki-, hillerinaaras					0.25	
Kettu-, supinaaras					0.5	

1) Korkeatuottoisille karjoille suositellaan taulukossa esitettyjä lukuja suuremmat varastointitilavuudet.  
2) Pihaton kuivikepohja voidaan huomioida varastona. Käytettäessä runsaasti kuivikkeita, varastotilaa tulisi varata taulukossa esitettyä enemmän.  
3) Porsaat mukana n. 11 viikon ikään asti  
4) Eläinpaikkaa kohti vuodessa  
5) Koskee emakkorenkaiden keskusyksikköä; eläinpaikkaa kohti vuodessa  
6) Koskee lihasikoja, joiden keskimääräinen teuraspaino on enintään 90 kg. Jos teuraspaino on suurempi, käytetään siitossian/joutilaan emakon arvoja.  
7) Porsas kasvatuksessa, ikävaihe 5...11 viikkoa

Kuva 28. Lantojen minimivarastointitilavuudet m<sup>3</sup>/eläin. (MMM 763/2009)

Lietelantojen kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti < 12 % lannan tuorepainosta, kun taas kuivien lantojen pitoisuus vaihtelee välillä 15 – 70 % riippuen eläinlajista ja käytetyn kuivikkeen määrästä (kuva 29). Lantojen orgaanisen aineksen pitoisuus on tyypillisesti noin 85 % kuiva-aineesta. (Luostarinen 2015b, 33-34.)

Suomalaisten lantojen keskimääräiset ominaisuudet (Viljavuuspalvelu Oy:n yhteenveto 2000–2004, jonka arvoihin on lisätty 15 % arviona vedenkulutuksen vähenemisestä sekä sadevesien johtamisesta pois varastoaltaista).					
Lantatyyppi	Nauta, lietelanta	Nauta, kuivalanta	Sika, lietelanta	Sika, kuivalanta	Kana, kuivalanta
Kuiva-aine (%)	6,3	25	4,0	34	55

Kuva 29. Eräiden lantojen keskimääräiset kuiva-ainepitoisuudet Suomessa (Luostarinen, Logrén, Grönroos, Lehtonen, Paavola, Rankinen, Rintala, Salo, Ylivainio & Järvenpää 2011)

Lantojen metaanituotot eivät ole kovin korkeita (kuva 30). Eläin hyödyntää ravinnostaan pääosan helposti hajoavasta orgaanisesta aineksesta ja lantaaan erittyy vain heikommin hajoava aines. Eläinlajit erottuvat syntyvät ruokinnan ja ruuansulatuksen eroista. Lantoja muodostuu kuitenkin suuria määriä ja tasaisesti, mikä tekee siitä hyvän raaka-aineen biokaasulaitokselle. (Luostarinen 2015b, 36.)

Materiaali	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t tp	Lähde
Lehmän lietelanta	120–300	10–20	1-4
Sian lietelanta	180–490	12–24	1-4
Lehmän kuivalanta	126–250	24–55	1-4
Sian kuivalanta	162–270	33–39	1-4
Kananlanta	150–300	42–156	2-5

CH<sub>4</sub> = metaani, VS = volatile solids, orgaaninen aine, tp = tuorepaino  
 1 m<sup>3</sup> metaania = 1 litra kevyttä polttoöljyä = 10 kWh  
 1) Steineck ym. 1999; 2) KTBL 2010; 3) Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern 2004; 4) Institut für Energetik und Umwelt ym. 2006; 5) Edström 2011; 6) Lehtomäki 2006; 7) Weiland 2003; 8) Luostarinen ym. 2008; 9) Davidsson ym. 2007; 10) Einola ym. 2001; 11) Järvinen & Rintala 1996; 12) Salminen & Rintala 2002.

Kuva 30. Lantojen metaanituottopotentialiaaleja (Luostarinen ym. 2011, 12.)

Lietelannat ovat laimeita pienen kiintoainepitoisuuden vuoksi ja siten metaanituotto on tuorepainoa kohden alhainen. Kuivalannat ovat kiinteitä ja niillä on korkea kuiva-ainepitoisuus, joten niiden metaanituotto on tuorepainoa kohden korkeampi. Orgaanista ainesta kohden metaanintuotot eivät välttämättä saman lannan eri muodoilla vaihtelee. Kiinteiden lantojen osalta suurin merkitys on niiden sisältämän kuivikkeen laadulla ja määrällä. Kuivike voi parhaimmillaan lisätä lannan metaanintuottoa (esim. olki) tai vähentää ollessaan heikosti hajoavaa tai hajoamatonta (esim. turve tai puuperäiset kuivikkeet). (Luostarinen 2015b, 37.)

### 8.2.2 Hevoselanta

Suomen noin 75 000 hevosta tuottavat vuodessa 700 000 – 800 000 m<sup>3</sup> kuivikelantaa. Keskeisimpiä hevostoiminnasta aiheutuvia ympäristövaikutuksia ovat valumat vesistöihin. Tarhojen, lantavarastojen ja myös hevosurheilualueiden valumissa voi olla runsaasti ravinteita. Lannan ravinteet on mahdollista sitoa kuivikkeisiin, mutta talteen keräämättömät lannat voivat helposti aiheuttaa kuormitusta ympäristöön. (Saastamoinen 2014, 3.)

Lainsäädännön mukaan hevoselanta tulisi hyödyntää ensisijaisesti lannoitusaineena kasvintuotannossa. Lannan käsittely ja hyödyntäminen ovatkin ongelmana talleilla, joilla itsellään ei ole käytössä lannoitettavaa peltoa. Nimenomaan kaupunkien ja taajamien talleille lannankäsittely on merkittävä kustannuserä. Tallien tuottama lanta viedään usein etäälle käytettäväksi pelloilla tai viherrakentamisessa maanparannus- ja lannoiteaineena. (Saastamoinen 2014, 3.) Yhtenä hevoselannan hyötykäytön esteenä on pidetty rikkakasvien, erityisesti hukkakauran, leviämisen riskiä. Suomessa Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista (MMM 24/11) kieltää hukkakauran esiintymisen lannoitevalmisteissa. (Tampio, Virkkunen, Heikkinen, Hietaranta & Saastamoinen 2014, 2.)

Erilaiset kompostointiratkaisut ovat olleet yleisiä hevosen kuivikelannan käsittelymenetelmänä Suomessa, koska energiahyötykäyttö on varsin rajoitettua polton päästöihin liittyvän lainsäädännön vuoksi (JL 636/2011, VNa 151/2013). Etenkin purukuivitetulle hevosenlannalle on hyvin vähän sopivia käsittelyvaihtoehtoja. Kuivämädätys käsittelymuotona on potentiaalinen vaihtoehto hevosenlannan hyödyntämiselle. Biokaasuprosessissa suljetun ravinnekierroksen ansiosta ympäristön typpi- ja fosforikuormitus ja kompostointiin verrattuna kasvihuonepäästöt vähenevät huomattavasti. Termofiilisen biokaasuprosessin on tutkimuksissa havaittu inaktivoivan tehokkaasti hukkakauran ja muiden rikkakasvien siemeniä. Myös biokaasuprosessin muut tekijät, kuten mikrobitoiminta vaikuttavat siementen itävyyteen. Westerman & Gerowittin (2013) mukaan mesofiilinen biokaasuprosessi on tehokas siementen inaktivoinnissa jo 3 päivän viipymäajalla. (Tampio ym. 2014, 2.)

Tutkimuksissa hevosenlannan metaanintuottopotentiaali on vaihdellut kuivikemateriaalin määrän ja laadun perusteella välillä 40-170 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS. Puupohjaisen kuivikkeen käyttö laskee metaanisaantoa sen heikon hajavuutensa vuoksi, kun taas esimerkiksi olki yksinään tuottaa metaania huomattavasti enemmän (kuvio 27). (Tampio ym. 2014, 2.)

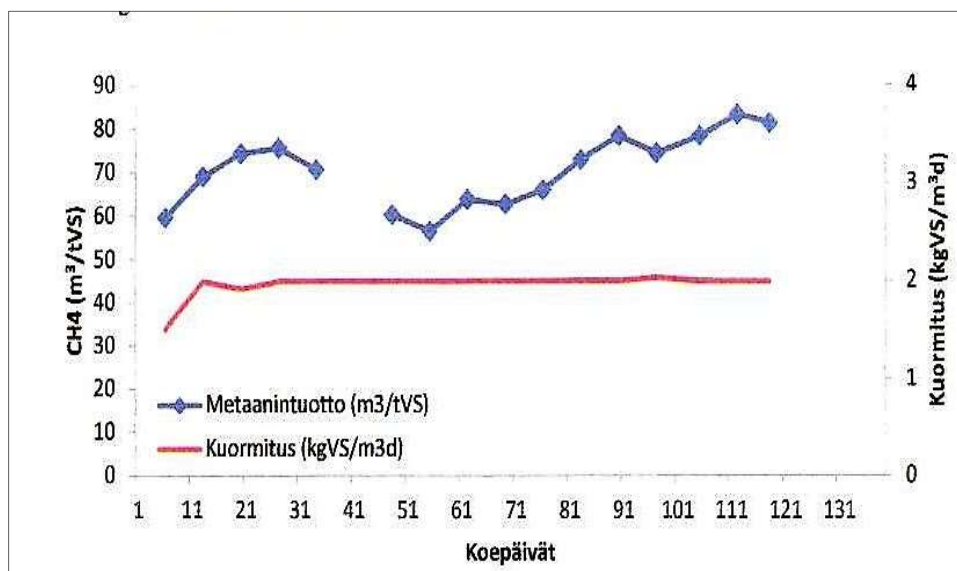
Tampio ym. (2014) tutkivat purukuivikkeellisen hevosenlannan soveltuvuutta kuivämädätykseen sekä hukkakauran selviytymistä pilot-mittakaavan mesofiilisessä, puolijatkuvassa ja täyssekoitteisessa prosessissa. Taulukossa 13 on esitetty koeraportin keskeiset parametrit:



Taulukko 13. Jatkuvatoimisen mesofiilisen kuivämädätyskokeen keskeiset parametrit. Taulukko mukaeltu lähteestä Tampio ym. (2014, 3-4.)

Reaktorikuormitus	2 kgVS/m <sup>3</sup> d
Viipymä	keskimäärin 130 päivää
Lämpötila	38 °C
Syötteen TS	35,5 %
Syötteen VS/TS	76 %
Orgaanisen aineen reduktio	67 %
pH	7,52
Tuotetun biokaasun metaanipitoisuus	53,8 %
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t tp	19,6
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS	70,5

Kokeen keskimääräinen metaanintuotto (70,5 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS) oli alhainen (kuva 31) verrattuna esimerkiksi olkikuivikkeelliseen hevoslantaan, josta Kusch (2008) on raportoinut metaanituotoksi 170 M<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS. Alhainen metaanintuotto heijastui myös suhteellisen alhaiseen orgaanisen aineksen hajoamiseen (67 %). Myös suhteellisen matala reaktorikuormitus selittää osaltaan heikohkoa metaanintuottoa. Tulosta voidaan kuitenkin pitää hyvänä, sillä metaania tuottamattoman kuivikkeen määrä syötessä oli suuri. Wartell ym. (2012) ovat raportoineen puukuivikkeellisen hevoslannan panoskokeissa alhaisempia tuottoja 29-48 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS ja 40-100 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS. (Tampio ym. 2014. 4.)



Kuva 31. Metaanintuoton viikkokeskiarvo hevoslannan orgaanista kuiva-ainetta (VS) kohden, sekä kuormitus (Tampio ym. 2014.)

Purukuivitetun hevoslannan ongelmana kokeessa oli syötteen korkea kuiva-ainepitoisuus. Kokeessa käytetty puolijatkuvatoiminen reaktori

osoittautui toimivaksi alhaisella kuormitustasolla ja sekoituslaitteistossa oli ajoittain ongelmia johtuen korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta. Toimivampi ratkaisu johtopäätöksien mukaan olisi esimerkiksi korkeampaa kuormitusta kestävä tulppavirtausreaktori. (Tampio ym. 2014, 5.)

Kokeen aikana toteutettu hukkakauran itävyyskoe osoitti Westerman & Gerowittin (2013) tutkimuksen tapaan, että 29 vuorokauden viipymä mesofiilisessä anaerobisessa prosessissa inaktivoi hukkakauran siemenet 100 %:sti. Erillistä rikkakasvien inaktivoitiprosessia ei näin ollen tarvita hevosennannan käsittelyjäännökselle. (Tampio ym. 2014, 5.)

### 8.2.3 Kasvibiomassat

Biokaasuprosesseihin soveltuvia kasvibiomassoja voidaan tuottaa tarkoituksella energiakasveina tai ne voivat olla muun kasvintuotantotoiminnan sivutuotteita tai jätteitä. Varsinkin nurmella on Suomessa suuri energiakasvipotentiaali. Maatiloilla itsellään tai naapuritiloilla on harvoin enää nurmirehua hyödyntäviä kotieläimiä, joten sen viljely on jäänyt pois monien tilojen viljelykierrosta. Tällä on suuri vaikutus viljelymaiden köyhtymiseen ja rakenteen heikkenemiseen. Erilaisten nurmien lisääminen energiakasvina viljelykiertoon voisi edistää maatalouden ravinnekiertoa ja edesauttaa näin myös tuotantotasojen kasvua. Niittovelvoitteisille kesantonurmille tai suojavyöhykenurmille löytyy myöskään harvoin hyödyntämiskohdetta. KHK-inventaarion (2013) mukaan pelkästään kesannoilta muodostuu vuositasolla noin 3,5 miljoonaa tonnia nurmia. Lisäksi rehutuoannossa syntyy usein ylijäämää ja hävikkiä, jota ei hyödynnetä. (Luostarinen 2015b, 37-38.)

Viljanviljelyssä muodostuva olki omaa myös suurta potentiaalia biokaasuprosessien raaka-aineeksi. Pääosin peltoon kynnnettävää oljen poiskerättävissä olevaa hyödyntämiskelpoista osaa muodostuu arvioiden mukaan 2,9 miljoonaa tonnia vuodessa. Oljen etuna biokaasuprosessiin on Lehtomäen (2006) mukaan korkea 92 % orgaanisen aineksen osuus kuiva-aineesta. Tämä korreloi vahvasti korkeaan metaanintuottoon tuorepainoa kohti (kuva 32). (Luostarinen 2015b, 38.)

Olki koostuu pääosin biologisesti pysyvästä lignoselluloosasta, joka koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Oljen tehokkaan hyödyntämisen edellytyksenä on hyödynnettävissä olevien selluloosan ja hemiselluloosan erottaminen ligniinistä esikäsittelemällä. Esikäsittelymenetelmät voidaan jakaa fysikaalisiin, kemiallisiin, biologisiin ja niiden yhdistelmiin, jossa selluloosa ja hemiselluloosa hajotetaan hydrolysoitaviin oligo- ja monomeereihin. Ilman esikäsittelyä oljen metaanintuotto jää 20 % alle kirjallisuudessa esitetyistä arvioista. (Alatalo, 2013, 59-60.)

Olenaisia tekijöitä kasvibiomassojen soveltuvuuteen biokaasuprosessien raaka-aineeksi ovat niiden VS/TS -suhde, kuitujen ominaisuudet ja mahdollisesti typpipitoisuus. Tutkimuksien mukaan, mitä korsiintuneempi massa

on, sitä heikommin se hajoaa ja tuottaa biokaasua. Yleisesti ottaen kasvi-biomassojen metaanintuottopotentialit ovat kuitenkin korkeita lantoihin verrattuna. Tämän vuoksi yhteiskäsittely lantojen kanssa on suotuisaa. Luostarisen (2013) mukaan 10 % nurmisäilörehulisä lietelantaan biokaasuprosessia lähes tuplaa metaanintuoton. (Luostarinen 2015b, 38-39.)

Materiaali	Metaanintuottopotentiali		
	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tonni orgaanista ainetta	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tonni kuiva-ainetta	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tonni märkäpaino
Ruokohelpi	340–430	330–420	100–170
Timotei-apila- nurmi	370–380	340–360	70–90
Maa-artistokka	360–370	340	90–110
Virna-kaura	400–410	370	60–100
Nokkonen	210–420	170–360	20–60
Lupiini	310–360	290–330	40
Rehukaali	310–320	280–290	30–40
Apila	280–300	260–270	40–70
Sokerijuurikas, juurikas + naatit	450	400	80
Sokerijuurikas, naatit	340	290	30–40
Olki	240–320	220–290	200–260

Kuva 32. Eri kasvien metaanintuottopotentialiaaleja (Lehtomäki ym. 2007, 21.)

#### 8.2.4 Yhdyskuntajätteet

Yhdyskuntien biojäte on kotitalouksissa, ravintopalveluissa ja palvelutoiminnassa syntyvää biohajoavaa jätettä. Myös yhdyskuntien sekalaisista jätteistä on mahdollisuus erotella biohajoavaa ainesta mekaanisissa käsitteilylaitoksissa. Tyypillisesti yhdyskuntabiojäte koostuu mm. ruoantähteistä, paperista ja puutarhajätteistä. Biojätteen koostumus vaihtelee tyypillisesti kausittain ja alueellisesti sekä alkuperän mukaan. Kotitalouksien, eri asuimuotojen, kauppojen ja ravintoloiden biojäte poikkeavat merkittävästi toisistaan. (Kymäläinen 2015b, 39-41.)

Koostumuksen monimuotoisuuden vuoksi biojätteen biokaasutuoton on myös raportoitu vaihtelevan tapauskohtaisesti. Kuiva-ainepitoisuudet vaihtelevat välillä 20-35 % ja VS/TS -suhde välillä 70-90 %. Metaanintuotot vaihtelevat tyypillisesti 350-500 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tVS ja kaasun metaanipitoisuus välillä 50-60 %. Biojättesyöte sisältää usein myös paljon epäpuhtauksia, kuten muovi-, lasi- ja metallipakkauksia, ja vaatii siten esikäsittelyä epäpuhtauksien erottamiseksi ja syötteen homogenisoimiseksi. (Kymäläinen 2015b, 40-41.)

Yhdyskuntien jätevesien puhdistuksen yhteydessä syntyvät lietteet käsitellään Suomessa yleisesti jätevedenpuhdistamoiden yhteydessä olevissa biokaasulaitoksissa ja yhä enenevässä määrin myös yhteiskäsittelylaitoksissa yhdyskuntabiojätteen kanssa. Lietteet ovat esikäsittelyprosessien jälkeen tyypillisesti erittäin vesipitoisia ja kiintoainepitoisuuden nostamiseksi biokaasuprosessien kannalta järkeviin tasoihin vaatii pääsääntöisesti mekaanista kuivausta kuten linkousta. Syötelietteen VS/TS –suhde on tyypillisesti välillä 64-75 % ja metaanituotto vaihtelee välillä 160-400 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tVS. (Kymäläinen 2015b, 41-43.)

### 8.2.5 Teollisuuden sivutuotteet

Biomassoja jalostavasta teollisuudesta syntyy biokaasuprosesseihin soveltuvia raaka-aineita orgaanisten sivutuotteiden ja jätteiden muodossa. Etenkin elintarvike-, rehu- ja juomateollisuudesta sekä teurastamotoiminnasta syntyviä jakeita jätevesineen voidaan hyödyntää biokaasuprosesseissa (kuva 33). Verrattuna varsin heterogeeniseen yhdyskuntabiojätteesseen, teollisesta toiminnasta saadaan usein paljon homogeenisempaa syötettä biokaasuprosessiin. Teollisuuden sivutuotteita hyödynnetäänkin usein biokaasuprosesseissa tehostamassa muiden käsiteltävien materiaalien biokaasutuottoja ja säätämässä syöteseoksen koostumusta ja laatua optimaaliseksi. (Kymäläinen 2015b, 43-44.)

Materiaali	litraa kgVS <sup>-1</sup>	Lähde
Flotaatiliete (65–70% proteiinia + 30–35% rasvaa)	540	1)
Viljapohjainen rankka	470	1)
Oliivijäte ("pulp")	180	1)
Teurasjäte (sika)	430–630	2)
Teurasjäte (nauta)	570	2)
Teurasjäte (siipikarja)	260	2)
Sellu- ja paperiteollisuuden primääriete	210–230	2)
Sellu- ja paperiteollisuuden sekundääriete	50–100	2)

Kuva 33. Esimerkkejä teollisuuden orgaanisten sivutuotteiden ja jätteiden metaanintuotoista. Lähteet 1) Wellinger ym., 2013 ja 2) Bayr 2014 (Kymäläinen 2015b, 44.)

### 8.3 Raaka-aineiden yhteiskäsittely

Raaka-aineiden yhteiskäsittely biokaasuprosesseissa monissa tapauksissa parantaa syötteiden metaanintuottoa. Hajoamisprosessissa eri syötteiden ominaisuudet voivat vahvistaa toisiaan esimerkiksi tarvittavien ravinteiden muodossa. Sopivalla syöteseoksella voidaan myös hallita prosessin syötteiden kiintoainepitoisuutta ja käsiteltävyyttä. Usein yhteiskäsittely on perusteltavissa myös mittakaavaedulla, jolla käsittelylaitoksen kapasiteetti saadaan täytettyä. (Mata-Alvarez, Macé & Llabré, 2000, 9.)

Maatilamittakaavan kokeissa MTT Maaningan biokaasulaitoksessa on tutkittu lypsylehmien lietelannan mädätystä yhdessä säilörehun, sipulituotannon sivutuotteiden ja ruukohelven kanssa. Tavoitteena oli selvittää lehmän lietelannan käsittelyä yksin ja erilaisten biomassojen kanssa. Johtopäätöksenä kasvibiomassojen hyödyntäminen biokaasulaitoksessa yhdessä lietelannan kanssa lisää laitoksen energiantuottoa. Kuvassa 34 on esitetty toteutuvia lietelantojen metaanintuotoista ja metaanintuoton toteutumia maksimaalisesta metaanintuottopotentialista (BMP) sekä lietelannan ja kasvimassan yhteiskäsittelykokeiden metaanintuottoja ja toteutuvia BMP:stä. (Luostarinen 2013, 81.)

Koe (koeviikot)	Syöte VS (% FM)	OLR kgVS/m <sup>3</sup> d	HRT (d)	Y (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS)	Y/BMP %
Lantakoe 2 (v/k 8–9) <sup>a)</sup>	6,3	2,4	27	156	80
Lantakoe 2 (v/k 10–12) <sup>b)</sup>	6,0	2,3	25	178	91

Koe (syötteen VS-osuudet)	OLR kgVS/m <sup>3</sup> d	HRT (d)	Y (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS)	Y/BMP %
<i>Tämä tutkimus:</i>				
Lanta:nurmi 75:25	3,0	25	191	73
Lanta:helpi 79:21 <sup>a)</sup>	4,3	25	134	57
Lanta:helpi 75:25 <sup>b)</sup>	3,3	24	160	69

a) koeviikot 5–10 b) koeviikot 11–12

Kuva 34. Lietelantojen metaanintuottoja (Y) ja metaanintuoton toteutumia maksimaalisesta metaanintuottopotentialista (BMP) sekä lietelannan ja kasvimassan yhteiskäsittelykokeiden metaanintuottoja (Y) ja toteutuvia BMP:stä (Luostarinen 2013, 71).

Lehtomäen ym. (2007) lietelannan ja nurmen yhteiskäsittelykokeessa tulokset ovat olleet yhteneväiset MTT Maaningan biokaasulaitoksen kokeen kanssa, kun syötteen orgaanisen aineksen osuudesta 20 % tuli nurmesta. Metaanintuotannossa havaittiin kuitenkin suuri harppaus, kun nurmen osuus nostettiin 30 %:een. Tällöin koereaktorin metaanintuotto oli BMP:stä 105 %. Lehtomäki ym. (2007) arvioivat tämän johtuvan yhteiskäsittelyn aiheuttamasta soveliaasta C/N-suhteesta syötteenä ja oikeasta ravinnekoostumuksesta. Nurmen osuuden lisääminen entisestään alensi metaanintuottoa, kuten samanaikainen kuormituksen lisääminen ja viipymän pienentäminen (kuva 35). (Luostarinen 2013, 71.)

Koe (syötteen VS-osuudet)	OLR kgVS/m <sup>3</sup> d	HRT (d)	Y (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS)	Y/BMP %
<i>Lehtomäki ym. 2007:</i>				
Lanta:nurmi 90:10	2,0	20	143	62
Lanta:nurmi 80:20	2,0	20	178	72
Lanta:nurmi 70:30	2,0	20	268	105
Lanta:nurmi 60:40	2,0	20	250	95
Lanta:nurmi 60:40	3,0	18	233	89
Lanta:nurmi 60:40	4,0	16	186	71

Kuva 35. Lehtomäen ym. (2007) lietalannan ja nurmen yhteiskäsittelykokeen metaanintuottoja ja toteutumia BMP:stä (Luostarinen 2013, 71).

Lehtomäen (2007, 81.) väitöstyön osana tutkittu lehmälannan yhteiskäsittely säilörehun, sokerijuurikkaan naattien ja kauran oljen kanssa antoi vastaavia tuloksia (taulukko 14). Korkeimmat metaanisaannot saatiin, kun kasvin osuus syötteen orgaanisesta aineksestä oli 30 % ja reaktorikuormitus 2 kgVS/m<sup>3</sup>d. Tällöin metaanisaannot vastasivat 85-105 % käsiteltyjen materiaalien metaanintuottopotentialista ja kaasuntuotto reaktoritilavuutta kohden lisääntyi enimmillään 65 % verrattuna pelkän lannan käsittelyyn vastaavissa olosuhteissa. Reaktorikuormituksen kaksinkertaistaminen 4 kgVS/m<sup>3</sup>d kasvatti edelleen kaasuntuottoa reaktoritilavuutta kohden, mutta laski ominaismetaanintuottoa 16-26 %.

Taulukko 14. Korkeimmat metaanisaannot kasvien ja lietalannan yhteiskäsittelykokeessa (Lehtomäki 2007, 81.)

Lannan yhteiskäsittely syöte	Metaanisaanto m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS
Säilörehu	268
Sokerijuurikkaan naatti	229
Olki	213

#### 8.4 Raaka-aineiden esikäsittely

Biokaasuprosessien raaka-aineiden esikäsittely on yksinkertaisimmillaan murskaus, seulonta ja/tai siirto prosessiin. Pidemmälle viety esikäsittely voi koostua useista linjoista, säiliöistä ja osaprosesseista. (Luostarinen 2015c, 48.) Etenkin hydrolyysivaiheessa hitaasti hajoavat raaka-aineet, kuten puhdistamolietteet, eläinten lannat, ruokajätteet ja kasvibiomassat, on esikäsitteltävä anaerobisen hajoamisen ja biokaasun tuotannon edistämiseksi. Useat eri mekaaniset, lämpöön perustuvat, kemialliset tai biologiset esikäsittelymenetelmät kiihdyttävät anaerobista prosessia. (Harikishan 2008a, 247.)



Esikäsittelyä harkittaessa on kuitenkin huomioitava sen tarkoituksenmukaisuus. Runsaasti energiaa, kallista raaka-ainetta, huoltokustannuksia tai operointia vaativa esikäsittely voi osoittautua helposti kalliimmaksi kuin siitä saatava hyöty metaanintuotona. (Luostarinen 2015c, 49-50.)

#### 8.4.1 Fysikaaliset menetelmät

Mekaaninen käsittely on yleisin fysikaalinen menetelmä raaka-aineiden esikäsittelyistä. Tavoitteena on yksinkertaisimmillaan rikkoo syöte mahdollisimman pieneksi prosessin hydrolyysivaiheen helpottamiseksi. Murskauksen yhteydessä syötteen joukkoon voidaan lisätä nestettä kuiva-ainepitoisuuden säätämiseksi sopivaksi. (Jaakkola 2015, 56.) Mekaanisen esikäsittelyn päämääränä voi olla myös epäpuhtauksien poisto raaka-aineista, syötteen palakoon muokkaus prosessiin sopivaksi ja/tai syötteen homogenisointi. Taulukossa 15 on esitetty tyypillisiä mekaanisia esikäsittelytekniikoita ja niiden käyttötarkoituksia. (Latvala 2009, 23.)

Taulukko 15. Prosessin hallinnan kannalta oleelliset esikäsittelytekniikat (Latvala 2009, 23.)

Esikäsittely	Kuvaus	Tyypillinen käyttötarkoitus
Murskaus	Murskauslaitteisto, joka murskaa syötteen pienempään palakokoon. Sivutuoteasetuksessa vaaditaan hygienisoitavilta syötteiltä max. 12 mm palakokoa.	Murskauksen tavoitteena on palakokoa pienentämällä saavuttaa hygienisoituminen sekä parempi käsittelyteho ja sekoitettavuus.
Homogenisointi	Syöte jauhetaan tasalaatuisiksi massaksi esim. erillisellä, mekaanisella hienontimella ja sekoitetaan muihin syötteisiin	Syötteen saattaminen tasalaatuisiksi.
Repijä ja ylimääräisen materiaalin erottelu	Syöte-orästä hajotetaan muovipussit repijän avulla. Tämän jälkeen massa yleensä ajetaan seulontaan, jossa poistetaan muovipussien jäännökset, pakkaukset ja metallit.	Käytetään tyypillisesti erilliskerätylle biojätteelle, tai muille pakkauksia tai metalleja sisältäville syötteille.
Sakeutus	Tiivistyksellä ja sakeutuksella tarkoitetaan lietteen kuiva-ainepitoisuuden nostamista, yleensä 2 - 3-kertaiseksi, jolloin lietteen sisältämän veden määrä vähenee ja kuiva-ainepitoisuus nousee keskimäärin 4 - 5 %:iin. Yleisimpiä ovat gravitaatio- ja flotaatio-sakeuttimet. Myös koneellista sakeutusta (esim. linko, suotonauha tai rumpusiivilä) voidaan käyttää.	Paljon nestettä sisältävien syötteiden (kuten puhdistamoliete) kuiva-ainepitoisuuden säätäminen korkeammaksi.
Valppäys	Johdattaessa lietemuotoinen syöte valppäsaieikon läpi, kiinteät epäpuhtaudet saadaan erotetuksi. Valpejäte kaavitaan pois yleensä automaattisesti ja kerätään valppäsiilioon toimitettavaksi esim. kaatopaikalle.	Käytetään tyypillisesti puhdistamolietelle tai muulle lietteelle joka sisältää kiinteitä epäpuhtauksia.

Termisissä esikäsittelyissä, kuten terminen hydrolyysi tai höyryräjäytys, pyritään syötteen solurakenteen rikkomiseen paineen tai korkean lämpötilan (120-200 °C) avulla (Jaakkola 2015, 56.) Tutkimuksissa on todettu termisen hydrolyysin toimivan metaanintuotannon kannalta optimaalisimmin 170-175 °C lämpötilassa ja orgaaninen aineksen hajoamisasteen on raportoitu tietyillä syötteillä kasvaneen 30 %:sta 42-65 %:een. Tätä suuremmissa lämpötiloissa on raportoitu heikompaa hajoamista ja prosessia inhiboivien yhdisteiden muodostumista. (Harikishan 2008a, 262.)

#### 8.4.2 Kemialliset ja biologiset menetelmät

Kemialliset esikäsittelymenetelmät perustuvat useimmiten happojen tai emästen käyttöön. Emäksiä on tutkittu käytetty erityisesti kasvibiomassojen esikäsittelyssä niiden ligniiniä liukoistavan sekä selluloosan ja hemiseluloosan hydrolyysiä parantavan vaikutuksen vuoksi. (Jaakkola 2015, 57.)

Varastoitaessa nurmiheinää ja sokerijuurikkaiden naatteja säilörehumenehtelmällä voidaan näiden kasvien metaanituottopotentiaalia parantaa 19-22 % verrattuna vastaavalla tavalla varastoitujen tuoreiden kasvien metaanituottopotentiaaliin. Nurmiheinän metaanituottopotentiaalista voi menettää 3-6 kuukauden varastoinnin aikana 17-39 %, joten varastointi säilörehumenehtelmällä on tarpeen varastointihäviön pienentämiseksi. (Lehtomäki 2007, 80.)

Kaksi- tai useampivaiheisen biokaasuprosessin ensimmäistä, hydrolyysille ja asidogeneesille optimoitua vaihetta, voidaan pitää biologisena esikäsittelynä. Myös erilaisia entsyymattisia käsittelyjä on tutkittu erityisesti lignoselluloosan hajoittamiseksi. (Jaakkola 2015, 57.) Talebnian ym (2010) mukaan biologiset esikäsittelymenetelmät ovat liian hitaita ja kalliita teolliseen tuotantoon. Varsinkin entsyymit raaka-aineina ovat liian arvokkaita hävittää, joten niiden talteenotto tulee järjestää osaksi prosessia. Biologinen esikäsittely voi olla perusteltavissa arvokkaampien jalosteiden tuotannossa (biojalostamot) kuin pelkän metaanin ja lannoitevalmisteiden tuotannossa. (Alatalo 2014, 25.)



## 9 BIOKAASUN HYÖDYNTÄMINEN

Anaerobisella prosessilla tuotettu biokaasu sisältää noin 60-65 % metaania, joka on arvokas energianlähde. Uusiutuvien energialähteiden tarve niin globaalisti kuin kansallisestikin on osoitettavissa. Alati kallistuva sähkö- ja maakaasu kannustavat biokaasun tuottamiseen jätteistä ja sivutuotteista. Tietotaito ja sovellukset biokaasun eri hyödyntämismuodoista kasvavat jatkuvasti ja voidaankin puhua jo menestyksekkäästä Jätteestä Energiaa – teknologiasta. (Harikishan 2008b, 267.)

### 9.1 Biokaasun puhdistus

Biokaasu soveltuu monenlaiseen energiahyödyntämiseen, mutta myös materiaalina tuotteiden valmistukseen. Lämmitykseen, sähköntuotantoon ja liikennepolttoaineeksi käytettävä biokaasu on aina puhdistettava. Puhdistuksessa biokaasusta poistetaan epäpuhtauksia, jotka haittaavat eri hyödyntämismuotoja (taulukko 16). Tyypillisesti biokaasussa esiintyvät kaasut, hiilidioksidi ja typpi, eivät aiheuta energiantuotannolle ongelmia tai tuota haitallisia päästöjä. Kaasun jalostuksessa taas hiilidioksidia ja typpeä poistetaan biokaasusta sen energiasisällön kasvattamiseksi. (Lampinen 2015, 125-134.)

Taulukko 16. Biokaasun epäpuhtaudet, niiden aiheuttamat ongelmat ja puhdistusmenetelmät. Taulukko muokattu lähteistä Deublein & Steinhauser, 2008 ja Wellinger ym., 2013 (Lampinen 2015, 131).

Epäpuhtaus	Laitehaittoja	Päästöhaittoja	Puhdistusmenetelmiä
Vesihöyry	Syöpyminen, tukkiutuminen		adsorptio (silikageeli ym.), absorptio (glykoli ym.), jäähdytys, paineistus
Rikkiyhdisteet	Syöpyminen	Happamoituminen, myrkyllisyys, haju	biologinen, absorptio (vesi), adsorptio (rauta, aktiivihili), kemiallinen
Halogenoidut hiilivedyt	Syöpyminen	Happamoituminen, myrkyllisyys	adsorptio, absorptio, jäähdytys
Ammoniakki		Myrkyllisyys, rehevöityminen	absorptio (vesi), adsorptio
Siloksaanit	Karstoittuminen		fysikaalinen adsorptio (aktiivihili, silikageeli ym.), kemiallinen adsorptio, jäähdytys, absorptio (vesi, orgaaniset nesteet)
Hiukkaset	Karstoittuminen		absorptio, suodatus, sykloni
Happi	Räjähdytys		adsorptio, kemiallinen

### 9.2 Biokaasun hyödyntämismuodot

Biokaasun hyödyntämismuoto valikoituu usean eri tekijän ja intressin perusteella. Tuotetun kaasun määrä ja laatu, ostetun ulkoisen energian hinta

ja käsittelylaitoksen energian tarve määrittelevät usein valitun hyödyntämismuodon. Useimmat laitokset tuottavat enemmän kaasua kuin kuluttavat omassa prosessissa. Ensisijainen hyödyntämismuoto on kuitenkin oman prosessin tarvitseman sähkön- ja lämmön tuotanto. (Harikishan 2008b, 279-280.)

Lämmitys on yksinkertainen biokaasun hyödyntämistapa. Erillisillä lämpökattiloilla voidaan tuotettu keskus-, kauko- tai prosessilämpö hyödyntää suoraan kohteessa tai siirtää siirtoverkoissa muualla hyödynnettäväksi. Lämmityslaitteiden kokoluokka vaihtelee tyypillisesti välillä 1 kW<sub>th</sub> - 100 MW<sub>th</sub>. Suurin hyötysuhde, 95 %, on saavutettavissa laite- tai rakennuskohtaisissa järjestelmissä, kun taas alimmillaan voidaan jäädä 70 % hyötysuhteeseen siirron lämpöhäviöistä johtuen. (Lampinen & Rautio 2015, 150.)

Biokaasulla ja muilla metaanipolttoaineilla voidaan tuottaa sähköä kokoluokassa 1 kW<sub>th</sub> - 1000 MW<sub>th</sub> (taulukko 17). Kaikki lämpövoimakoneet ja useat muut voimanlähteet soveltuvat sähköntuotantoon. Sähköntuotantolaitteiden hyötysuhteet vaihtelevat välillä 25 – 45 % ja loppukulutukseen saadaan sähköä 20 – 40 % hyötysuhteella. Yhdistetyssä sähkön lämmön tuotantolaitoksessa, eli CHP-voimalassa, sähköntuotannon jälkeen lämpö otetaan talteen moottorien jäähdytysjärjestelmistä tai pakokaasuista lämmönvaihtimien avulla. Kokonaishyötysuhteet CHP-laitoksissa ovat kaukolämpöjärjestelmissä välillä 55 - 80 % ja rakennuskohtaisissa järjestelmissä jopa 95 %. (Lampinen & Rautio 2015, 152-154.)

Taulukko 17. Metaanipolttoaineiden sähköntuotantolaitteet. (Lampinen & Rautio 2015, 153.)

Tyyppi	Kuvaus	Lajeja	Teho [kWe]	Hyötysuhde $\eta_e$ (HHV)	Metaanipitoisuus	Puhdistusvaatimus
ICE	Möntämoottori: poltto sisäisesti	otto, diesel	3-100 000	10-45 %	> 30 %	keskin-kertainen
ICT	Turbiini: poltto sisäisesti	kaasuturbiini, mikroturbiini	30-300 000	20-35 %	> 30 %	korkea
ECE	Möntämoottori: poltto ulkoisesti	stirling	1-300	15-50 %	> 20 %	alhainen
ECT	Turbiini: poltto ulkoisesti	höyryturbiini, ORC-turbiini	40-1 000 000	10-40 %	> 20 %	alhainen
FC	Polttokenno: sähkökemiallinen	SOFC, MCFC	1-10 000	25-60 %	> 40 %	erittäin korkea
CC	Kombivoimala: hukkalämpö	ICE/ICT/FC + ECT/ECE	1 000-1 000 000	50-70 %		

Biokaasua voidaan käyttää myös liikennepolttoaineena kaikissa liikenteessä käytettävissä moottorityypeissä. Tyypillisesti biokaasu tulee jalostaa liikennekäyttöön soveltuvaksi lähinnä käsittelemättömän biokaasun alhai-

semman energiatiheyden vuoksi. Käsittelemättömän biokaasun käyttö tarkoittaa käytännössä suuremman polttoainetankin tarvetta jalostettuun biokaasuun verrattuna. kaikki tehdasvalmisteiset metaaniajoneuvot ovat suunniteltu jalostettuja biokaasua ja maakaasua varten. Pelkästään puhdistettuja biokaasua tai maakaasua niissä ei voi käyttää. (Lampinen & Rautio 2015, 158.)

Biokaasun tuotannon ja käsittelyn yhteydessä on myös mahdollista erottaa sivutuotteita hyödynnettäväksi. Hiilidioksidille, vedylle, typelle ja rikille on olemassa useita eri hyötykäyttösovelluksia tarjolla tai kehitteillä. (Lampinen & Rautio 2015, 163-164.)

## 10 MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN HYÖDYNTÄMINEN

Biokaasuprosesseissa muodostuu biokaasun lisäksi lopputuotteena mädätysjäännöstä. Käsiteltävän syötteen kokonaisuudessa ei merkittävässä määrin vähene märkäprosessissa, vaikka kuiva-ainetta muuntuukin biokaasuksi. Märkäprosessien massahäviö on pientä johtuen syötteen suuresta vesipitoisuudesta. Kuivaprosessien massahäviö taas voi olla parhimmillaan jopa kolmanneksen syötteestä, mikäli syötteen VS/TS-suhde on korkea (kts. kuva 26). Mädätysjäännös sisältää kaikki pää- ja hivenravinneaineet, jotka prosessiin on syötetty raaka-aineiden mukana. (Paavola 2015, 94-95.)

Kiinteät ja nestemäiset mädätysjäännökset soveltuvat yleisesti kasvinravinnepölytykseen ja viherrakentamiseen. Kasvi- ja eläinperäisiä mädätysjäännöksiä voidaan hyödyntää vilja- ja nurmikasvien sekä vihanneksien lannoittamisessa. Ihmisperäisiä puhdistamolietteitä sisältäviä mädätysjäännöksiä voi käyttää vain viljakasvien lannoitukseen sekä nurmea perustettaessa. Orgaanisten lannoitevalmisteiden hyötykäyttöön liittyvä lainsäädäntö muuttuu jatkuvasti, joten ajantasainen lainsäädäntö on syytä tarkistaa hyötykäyttömenetelmiä suunniteltaessa. (Paavola 2015, 112- 114.)

Orgaaniset lannoitevalmisteet jaetaan Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran ylläpitämiin tyyppinimiryhmiin ja tyyppinimiin. Biokaasulaitosten mädätteet ja mädätteestä valmistetut lannoitevalmisteet kuuluvat seuraavien tyyppinimiryhmien ja tyyppinimien alle. (Paavola 2015, 114.):

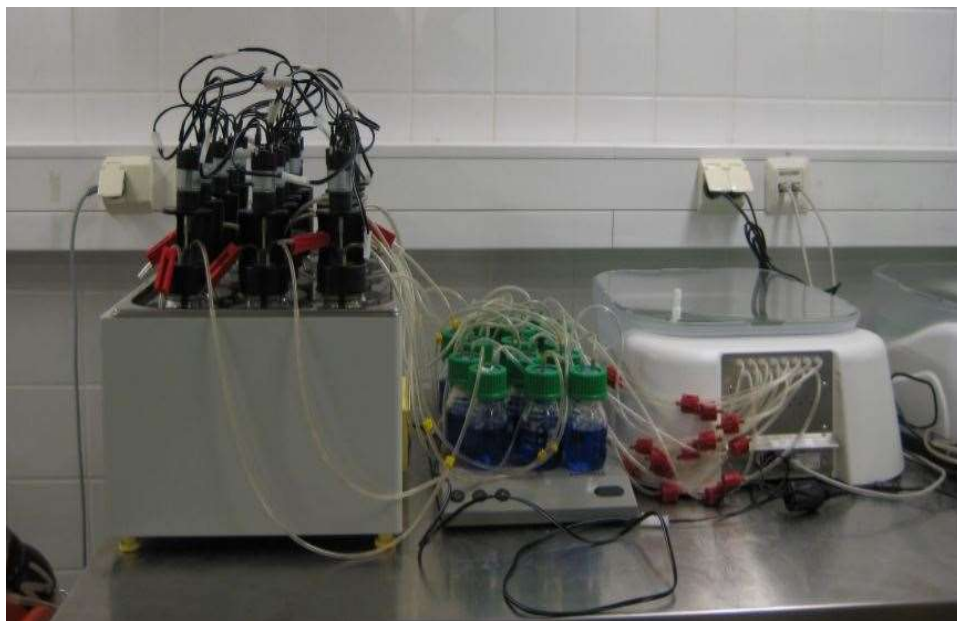
- Orgaanisina lannoitteina sellaisenaan käytettävät sivutuotteet: Rejektivesi
- Orgaaniset maanparannusaineet: maanparannuskomposti, tuorekomposti, kuivarae- tai jauhe
- Maanparannusaineina sellaisenaan käytettävät sivutuotteet: mädätysjäännös sellaisenaan sekä mädätteestä erotettu kuivajae

## 11 AINEISTOT JA MENETELMÄT LABORATORIOTUTKIMUKSISSA

Opinnäytetyössä selvitettiin laboratoriotutkimuksin biokaasuprosesseihin soveltuvia syötteitä Kymenlaakson Jäte Oy:lle Keltakankaan jätekeskukseen vastaanotettavista ja jätekeskuksen prosesseista syntyvistä jätejakeista. Ensimmäisessä vaiheessa kokeeseen valituille jätejakeille tehtiin metaanintuottopotentialin määrittäykset ja toisessa vaiheessa laboratoriomittakaavan koeajot panostoimisessa kuivamädätysprosessissa.

### 11.1 Jätejakeiden metaanintuottopotentialien ja koostumuksien määrittäminen

Metaanintuottopotentialien määrittäminen tehtiin Hämeen ammattikorkeakoulun bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelman koelaboratoriossa Hämeenlinnassa Visamäen kampuksella. Määrittäminen tehtiin laboratorion henkilöstön toimesta opinnäytetyöntekijän tilauksesta. Koe suoritettiin Bioprocess Control AMPTS-laitteistolla (automatic methane potential test system) 21 vuorokauden viipymällä 37 °C:ssa (kuva 36).



Kuva 36. Metaanintuottopotentialin määrittämiseen käytetty Bioprocess Control:n AMPTS-laitteisto (Kymäläinen 2015b, 30).

Panosluontoisessa kokeessa näytepulloihin lisättiin syötettä ja verrokkina toimivaa herätettä (ymppi) eri seossuhteilla ( $VS_{\text{näyte}}/VS_{\text{ymppi}}$ ). Eri seossuhteisia rinnakkaisnäytteitä kokeeseen valmistettiin yhteensä 27 kappaletta. Kokeen ymppinä toimi yhdyskuntabiojätettä käsittelevän biokaasulaitoksen mädätysjäännös, josta kokeeseen muodostettiin 3 omaa näytepulloa herätteen oman metaanituoton määrittämiseksi.

Menetelmässä näytepulloissa hallituissa olosuhteissa (hapeton, vakio lämpötila) syntyvä biokaasu johdetaan näytekohtaisiin emäksistä liuosta sisältäviin pesupulloihin hiilidioksidin poistamiseksi kaasusta ja edelleen kaasunmittauskennostolle metaanikaasun määrittämiseksi. Näytepullokohtaiset metaanintuotot määritellään vähentämällä näytteen tuotosta herätteenä käytetyn syötteen tuotto, josta edelleen johdetaan syötekohtaiset metaanituotot. (Kymäläinen 2015b, 30.)

Kokeeseen valittujen jätejakeiden kuiva-aine pitoisuudet (TS) ja orgaanisen aineen (VS) pitoisuudet määriteltiin SFS 3008 standardimenetelmällä: Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen. Määrittäminen tehtiin 3-5 osanäytteestä, joiden perusteella jätejakeille laskettiin keskimääräiset VS ja TS -pitoisuudet sekä tuloksien hajonta.

### 11.1.1 Tutkitut jätejakeet

Metaanituottopotentialitesteihin syötteiksi valikoituivat Kymenlaakson Jäte Oy:ltä neljä orgaanista ainesta sisältävää jätejakeetta. Nykyisin yhdessä seoksena aumakompostoitavat haravointijäte, rasvakaivojäte sekä jätekeskuksen jäteveesisakka, joista syntynyt komposti on hyödynnetty Keltakankaan kaatopaikan päivittäispeitossa. Neljänneksi syötteeksi valittiin kaatopaikan päivittäispeitossa sellaisenaan hyödynnettävä mekaanisen lajittelulinjaston 30 mm seula-alite. Kyseisten jätejakeiden käyttö kaatopaikan päivittäispeitossa on mahdollista 1.1.2016 alkaen vain VNa kaatopaikoista (331/2013) mukaisella poikkeuslupamenettelyllä (kts. kohta 5.3.4) tai niiden täyttäessä tavanomaisen jätteen kaatopaikan kaatopaikkakelpoisuuden (kts. kohta 5.3.2). Kiristyneiden laatuvaatimusten lisäksi päivittäispeitossa hyödynnettävien materiaalien tarve kaatopaikoilla vähenee jatkuvasti varsinaisten loppusijoitettavien jätejakeiden vähentyessä. Tämän vuoksi on tarpeellista etsiä vaihtoehtoisia käsittelymenetelmiä päivittäispeittokäytön rinnalle.

Haravointijäte on peräisin kotitalouksien, taloyhtiöiden sekä muiden viheralueiden kevät- ja syysharavoinneista. Se koostuu pääsääntöisesti lehdistä, ruohosta ja muista kasveista, pienistä risuista ja maa-aineksesta. Rasvakaivojäte on peräisin ravintoloiden ja keskuskeittiöiden viemäröintijärjestelmiin kuuluvista rasvanerotuskaivoista, jotka estävät rasvan pääsyn viemäriverkostoon. Jätekeskuksen jäteveesisakka muodostuu Keltakankaan jätekeskuksen aktiivilieteprosessista, jossa alueen suoto- ja hulevesistä erotetaan niiden sisältämä kiintoaines. Prosessissa erotettu kiintoaines tiivistetään laskeutustiivistämössä ja kuivataan mekaanisella ruuvikuivaimella kiinteämpään muotoon. Mekaanisen lajittelulinjaston 30mm seula-alite muodostuu sekalaisen yhdyskunta- sekä rakennus- ja purkujätteen lajitteluprosessissa, jossa esilajiteltu syöte murskataan ja seulotaan ominaisuuksiltaan ja käyttötarkoituksiltaan eri jakeisiin.

### 11.1.2 VS ja TS -pitoisuusmäärytyksien tulokset

Kuiva-ainepitoisuuksiltaan selkeästi alhaisimmat jätejakeet olivat jätevesienkäsittelystä peräisin olevat rasvakaivojäte (k.a 8,3 %) ja jätevesisakka (k.a 9,8 %). Rasvakaivojätteen olomuoto oli varsin puuromainen, mikä vastaa hyvin kuiva-aineanalyysistä saatua tulosta. Jätevesisakan olomuoto oli selkeästi kiinteämpi varsin alhaisesta kuiva-ainepitoisuudesta huolimatta. Tämän selittänee esiselkeytyksessä ja sakan kuivaamisessa käytetty polymeeri, jolla edesautetaan flokkien muodostumista ja veden erottumista kiintoaineksesta. Polymeerisidoksiset flokit pidättävät vettä sisällään antaen sakalle kiinteämmän muodon.

Rasvakaivojäte sisälsi orgaanista ainesta keskimäärin 7,2 %, jolloin jätejakeen VS/TS -suhde on varsin korkea 87 %. Rasvanerotuskaivojärjestelmät perustuvat veteen liukenemattomien rasvojen erottumiseen veden pinnalle, joten niistä säännöllisesti kerättävä jäte sisältää varsin vähän epäorgaanista ainesta. Jätevesisakka sisälsi orgaanista ainesta keskimäärin 5,4 %, jolloin jätejakeen VS/TS -suhde oli 55 %. Keltakankaan jätekeskuksen jätevesiin kulkeutuu kaatopaikan suotovesien ja käsittelykenttien hulevesien mukana myös epäorgaanista ainesta, joka näkyy testituloksissa pienempänä orgaanisen aineksen osuutena näytteessä.

Rasvakaivojätteen ja jätevesisakan VS ja TS -pitoisuuksien hajonta oli varsin pientä (<1,0 %), joten jakeiden voi olettaa olevan varsin tasalaatuisia ominaisuuksiltaan.

Haravointijätteen kuiva-ainepitoisuus oli keskimäärin 25,1 %. Orgaanisen aineksen pitoisuus oli 19,5 %, jolloin jätejakeen VS/TS -suhde oli 78 %. Lehtien, kasvien ja oksien solurakenne pidättää sisällään varsin paljon vettä, joten näytteen kuiva-ainepitoisuus on verrattain pieni sen olomuotoon nähden. Haravointijätteen tulosten hajonta oli vähäistä (TS 0,55 % ja VS 0,52 %).

Mekaanisen lajittelulinjaston 30mm seula-alitteen keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus, 82,4 %, oli korkea. Seula-alite koostuu kiinteiden jätteiden lajittelussa erottuvasta alle 30mm partikkelikoon sekalaisesta materiaalista. Lähtökohtaisesti käsiteltävät materiaalit eivät sisällä vettä. Alitteen kasvarastoinnin aikana sadeveden imeytyminen tuo jakeeseen kosteutta jonkin verran. Orgaanisen aineksen pitoisuus oli 18,5 %, jolloin jätejakeen VS/TS -suhde oli 23 %. Alhainen orgaanisen aineksen määrä selittyy paljon epäorgaanista ainesta (kivet, tiili, betoni, lasi) sisältävän rakennusjätteen käsittelyllä linjastossa. Osanäytteiden tulosten hajonta oli muita näytteitä korkeampaa (TS 3,91 % ja VS 1,67 %), joka kuvaa syötteen heterogeenisempää luonnetta. Seula-alitteen orgaanisen aineksen osuuden voi olettaa vaihtelevan suurestikin kulloinkin käsiteltävän materiaalin mukaan. Enemmän orgaanista ainesta sisältävä linjaston syöte nostaa myös seula-alitteen orgaanisen aineksen osuutta.

Jätejakeiden VS ja TS -pitoisuuksien kaikki määrittystulokset, näistä lasketut keskiarvo- ja hajontatulokset sekä VS/TS -suhteet on esitetty koostettuna kuvassa 37.

	TS	keskiarvo	VS	keskiarvo	VS/TS-suhde
	%	hajonta	%	hajonta	
<b>Rasvakaivojäte</b>					
näyte 1	8,74		7,59		
näyte 2	9,02		7,82		
näyte 3	7,78	<b>8,3</b>	6,73	<b>7,2</b>	0,87
näyte 4	6,99	0,90	6,01	0,80	
näyte 5	9,04		7,81		
<b>Alite 30 mm</b>					
näyte 1	80,61		18,52		
näyte 2	78,00	<b>82,4</b>	19,39	<b>18,5</b>	0,23
näyte 3	83,79	3,91	16,22	1,67	
näyte 4	87,01		20,03		
<b>Jäteveesisakka</b>					
näyte 1	9,74		5,31		
näyte 2	9,53	<b>9,8</b>	5,23	<b>5,4</b>	0,55
näyte 3	9,99	0,26	5,53	0,15	
näyte 4	10,11		5,52		
<b>Harava</b>					
näyte 1	25,40		18,94		
näyte 2	25,36	<b>25,1</b>	19,90	<b>19,5</b>	0,78
näyte 3	24,44	0,55	19,78	0,52	

Kuva 37. Jätejakeiden VS ja TS-pitoisuudet sekä VS/TS -suhteet kokeessa.

### 11.1.3 Metaanintuottopotentialien määrittämisen tulokset

Korkein metaanintuottoarvo testissä saatiin rasvakaivojätteelle. Lähinnä helposti hajoavia rasvoja sisältävä syöte tuotti metaania keskimäärin 732 litraa CH<sub>4</sub>/kgVS. Kuiva-ainetta kohden tuotto oli myös korkea, 633 litraa CH<sub>4</sub>/kgTS, johtuen rasvakaivojätteen korkeasta VS/TS -suhteesta. Rasvakaivojätteenäyte oli laimeaa alhaisen kiintoainepitoisuuden vuoksi ja siten metaanintuotto tuorepainoa kohden oli kohtalaisen alhainen, keskimäärin 53 litraa CH<sub>4</sub>/kgtp. Kokeen rasvakaivojätteelle osoittama keskimääräinen metaanintuotto orgaanista ainesta kohden on erittäin korkea suhteessa kirjallisuudessa biokaasuprosesseihin soveltuville syönteille esitettyihin arvoihin. Lähelle vastaaviin metaanintuottoihin päästään vain joillakin teollisuuden sivutuotteilla, kuten teurasjätteillä ja flotaatiolietteillä (kts. kuva 33). Kokeen tulos vastaa kirjallisuudessa rasvoille teoreettisesti määritettyä metaanintuottopotentialia (kts. taulukko 12), joka on 700 litraa CH<sub>4</sub>/kgVS.



Jäteveesisakan metaanituottoarvo oli keskimäärin 121 litraa CH<sub>4</sub>/kgVS. Kuiva-ainetta kohden tuotto oli 66 litraa CH<sub>4</sub>/kgTS syötteen VS/TS -suhteen mukaisesti. Tuorepainoa kohden jäteveesisakan metaanintuotto oli erittäin alhainen, 6,5 litraa CH<sub>4</sub>/kgtp, johtuen sen alhaisesta kuiva-ainepitoisuudesta. Jäteveesisakalle kokeessa määritelty metaanituottoarvo vastaa pääosin lehmän lietelannalle kirjallisuudessa esitettyjä arvoja (kts. kuva 30).

Haravointijätteen metaanituottoarvo oli keskimäärin 159 litraa CH<sub>4</sub>/kgVS. Kuiva-ainetta kohden tuotto oli 124 litraa CH<sub>4</sub>/kgTS syötteen VS/TS -suhteen mukaisesti. Tuorepainoa kohden haravointijätteen metaanintuotto oli 31 litraa CH<sub>4</sub>/kgtp. Haravointijätteelle kokeessa määritelty metaanituottoarvo vastaa pääosin kirjallisuudessa lehmän kuivalannalle esitettyjä arvoja (kts. kuva 30).

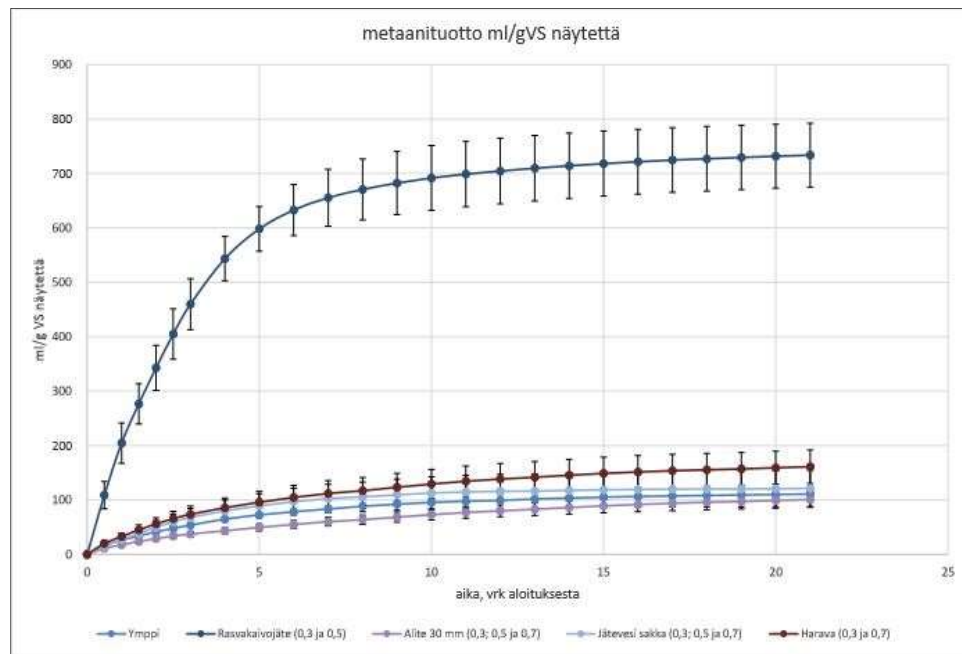
Mekaanisen lajittelulinjaston 30mm seula-alitteen metaanintuottoarvo oli keskimäärin 99 litraa CH<sub>4</sub>/kgVS. Kuiva-ainetta kohden tuotto oli 22 litraa CH<sub>4</sub>/kgTS syötteen VS/TS -suhteen mukaisesti. Tuorepainoa kohden seula-alitteen metaanintuotto oli 18 litraa CH<sub>4</sub>/kgtp. Kuiva-aine- ja tuorepainoa kohden metaanintuotot olivat seula-alitteella varsin lähellä toisiaan. Tämä johtuu syötteen vähäisestä vesimäärästä. Syöte sisältää vähän tai ei ollenkaan helposti hajoavia orgaanisia aineita, kuten hiilihydraatit, rasvat tai proteiini. Syötteen orgaaninen aines on silmämääräisesti tarkasteltuna pääosin biokaasuprosessissa vaikeasti tai ei ollenkaan hajoavaa puuperäistä ainesta tai muoveja. Tästä huolimatta seula-alitteelle kokeessa määritelty metaanintuottoarvo vastaa purukuivikkeiselle hevoselannalle (kts. taulukko 13) raportoituja tuottoarvoja. Myös paperiteollisuuden lietteille (kts. kuva 33) on raportoitu vastaavia arvoja.

Metaanituottopotentialien määrittämisen tulokset on esitetty koostettuna syötteittäin taulukossa 18.

Taulukko 18. Metaanituottopotentialien määrittämisen tulokset syötteittäin. Taulukossa keskiarvotuotto 20 vuorokauden kohdalla.

	litraaCH <sub>4</sub> /kg näytettä		litraaCH <sub>4</sub> /kgVS		litraaCH <sub>4</sub> /kgTS	
	keskiarvo	hajonta	keskiarvo	hajonta	keskiarvo	hajonta
<b>Rasvakaivojäte</b>	<b>53</b>	4,2	<b>732</b>	59	<b>633</b>	51
<b>Alite 30 mm</b>	<b>18</b>	2,7	<b>99</b>	14	<b>22</b>	3
<b>Jäteveesisakka</b>	<b>6,5</b>	1,8	<b>121</b>	33	<b>66</b>	18
<b>Harava</b>	<b>31</b>	5,9	<b>159</b>	30	<b>124</b>	24

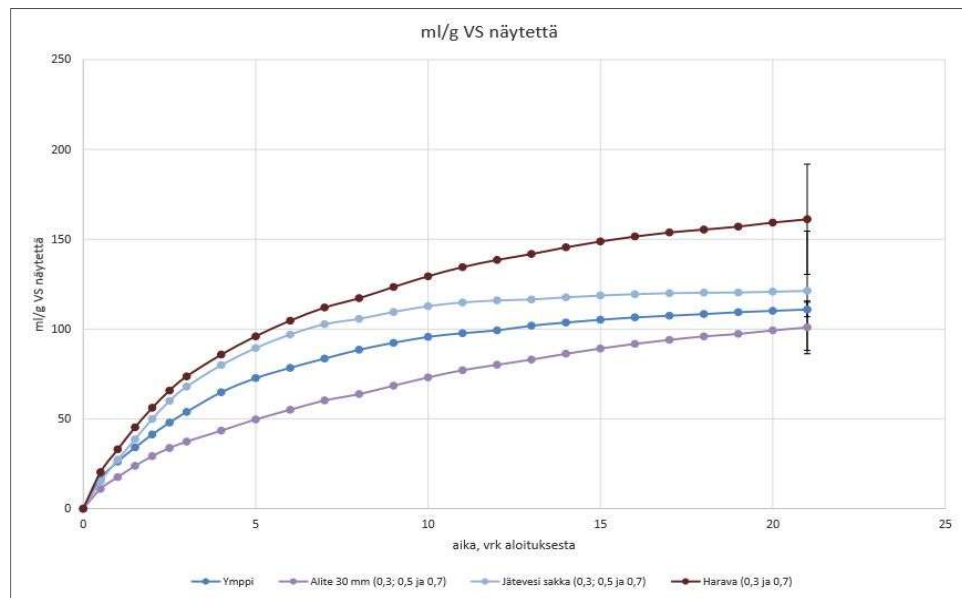
Rasvakaivojätteen metaanintuotto alkoi testissä nopeasti saavuttaen 600 litran CH<sub>4</sub>/kgVS keskimääräisen tuoton jo viiden koepäivän jälkeen. Syötteen metaanintuottoarvo kehittyi tämän jälkeen suhteellisen tasaisesti kokeen loppua kohden ollen korkeimmillaan kokeen lopussa (kuva 38). Syötteen nopean reagoinnin testissä korkean metaanintuottoarvon ohella selittää sen koostuminen pääasiassa helposti hajoavista rasvoista.



Kuva 38. Syötenäytteiden metaanituottoprofiilit 21 vuorokauden viipymällä.

Metaanintuottoarvoltaan maltillisempien syötteiden metaanituottoprofiilit on esitetty kuvassa 39. Haravointijätteen keskimääräinen metaanintuottoarvo kehittyi 6 vuorokaudessa yli 100 litraan  $\text{CH}_4/\text{kgVS}$  ja jätevesisakan vastaavasti 7 vuorokaudessa. Haravointijätteen tuottoarvo kasvoi tasaisesti koko koejakson ollen korkeimmillaan kokeen lopussa, kun jätevesisakan tuottoarvon kasvu tasaantui keskimääräiselle tasolle jo kymmenen vuorokauden jälkeen. Jätevesisakan kuiva-aines on olemukseltaan hyvin hienojakoista, joka saattoi edesauttaa sen sisältämän orgaanisen aineksen hajoamista testin alkuvaiheessa. Biokaasuprosessien syötteiden hienonnuks mahdollisimman pieneksi edesauttaa etenkin prosessin hydrolyysivaihetta (kts. kohta 8.4) ja siten voisi selittää jätevesisakan kohtalaisen nopeaa maksimaalisen metaanintuottoarvon saavuttamista. Haravointijätteenäyte vastaavasti oli esikäsittelemätöntä karkeasti sekoitettua lehteä, ruohoa, kasveja ja pieniä risuja, joten sen anaerobisen prosessin kehittyminen optimaaliseen tilaan voi olettaa kestävän hienonnettua materiaalia kauemmin.

Mekaanisen lajittelulaitoksen 30mm seula-alitteen metaanintuottoarvo kehittyi kokeen aikana tasaisesti kokeen loppua kohden ollen korkeimmillaan kokeen lopussa. Muiden syötteiden kaltaista nopeaa alkuvaiheen kehitystä ei ollut havaittavissa. Alitteen koostuminen lähinnä vaikeammin hajoavasta orgaanisesta aineksestä selittää hitaampaa tuottoarvon kehittymistä. Syötteen hienojakoinen olomuoto on kuitenkin edesauttanut prosessin käynnistymistä ja tasaista etenemistä.



Kuva 39. Maltillisemmin kehittyneiden syötenäytteiden metaanituotto profiilit 21 vuorokauden viipymällä.

## 11.2 Panostojen kuivämädätysprosessin koeajot

Panostojen kuivämädätysprosessin koeajot tehtiin Hämeen ammattikorkeakoulun bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelman koelaboratoriossa Hämeenlinnassa Visamäen kampuksella. Kokeet tehtiin kuudella (3x12l ja 3x4l) panosperusteista kuivämädätysprosessia mallintavalla laboratoriomittakaavan kooreaktorilla mesofiilisessä 36-38 °C lämpötilassa (kuva 40). Koetoiminnan ja sen käytännön järjestelyt suoritettiin Hämeen ammattikorkeakoulun insinööriopiskelija Pekka Parkkila. Opinnäytetyöntekijä toimi kokeessa toimeksiantajana ja määritteli kokeen tavoitteen ja sisällön yhdessä kokeen varsinaisen tekijän kanssa.



Kuva 40. Koejärjestelyn kuusi reaktoria. Kuvassa vasemmalla suuremmat 12l kooreaktorit ja oikealla pienemmät 4l kooreaktorit.

Alun perin täyssekoitteiset märkämädätyskooreaktorit muutettiin koetta varten panostoimisiksi kuivämädätysreaktoreiksi. Reaktoreista poistettiin sekoittajat ja niiden pohjaan lisättiin venttiilit, jotka mahdollistivat syötteestä suodattuvan perkolaationesteen talteenoton ja kierrättämisen takaisin prosessiin. Nestekierron varmistamiseksi reaktoreiden sisään lisättiin verkko, joka muodosti reaktorin seinämän ja mädätettävän syötteen väliin noin 5mm tyhjän tilan. Välitila mahdollisti perkolaationesteen virtauksen syötteen mahdollisesta prosessinaikaisesta liettymisestä huolimatta (kuva 41).



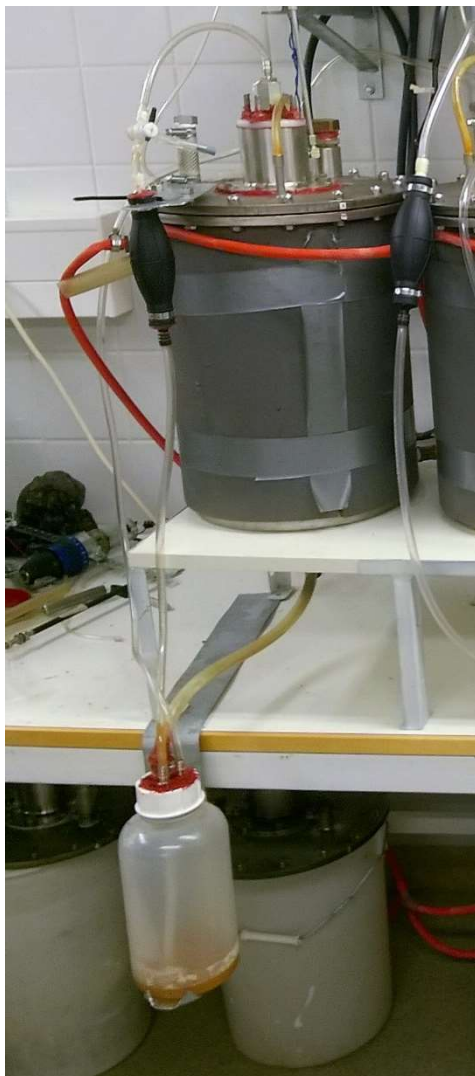
Kuva 41. Reaktorin sisään asennettu verkko täytettynä syötteellä.

Reaktoriin takaisin kierrätettävä perkolaationeste sirotettiin koko reaktorin pinta-alalle kokeen aikana reaktorin kanteen asennetulla sirottimella (kuva 42).



Kuva 42. Reaktorin kanteen asennettu sirotin.

Reaktoreista suotautunut perkolaationeste kerättiin reaktoreiden pohjaventtiilien kautta keräysastiaan, josta se pumpattiin päivittäin takaisin reaktoriin). Keräysastiaan kertyneen nesteen määrä mitattiin sen kyljessä olevasta asteikosta. Kooreaktorissa syntynyt biokaasu kerättiin reaktoreiden yläosasta talteen kaasun määrä- ja laatumittauksia varten (kuva 43).



Kuva 43. Kuvassa alhaalla reaktorin perkolaationesteen keräysastia ja ylhäällä kaasuyhteet.

#### 11.2.1 Panosten muodostaminen kokeeseen

Kokeeseen muodostettiin kolme koostumukseltaan erilaista koepanosta metaanintuottopotentialin määrittämiseksi mukana olleista jätejakeista. Panoskokeeseen kerätyistä jätelajinäytteistä määriteltiin kokeen ensi vaiheessa TS- ja VS – pitoisuudet (liite 3) panoskohtaisten pitoisuuksien laske-  
miseksi sekä panoskohtaisten teoreettisten metaanituottojen määrittä-  
miseksi. Panosseokset koostettiin jätejakeiden tiedossa olevien yleisten  
ominaisuuksien ja vuosittaisen kertymän perusteella lisättyinä vakiomää-



rällä herätettä (20 % jätejakeiden massasta). Herätteenä käytettiin yhdyskuntabiojätettä käsittelevän biokaasulaitoksen mädätysjännöstä. Tarvittaessa panoksiin lisättiin vettä kuivaprosesseille tyypillisen TS -pitoisuuden saavuttamiseksi (kts. kohta 7.2). Jokaisesta kolmesta syötereseptistä muodostettiin kaksi panosta, toinen 12l reaktoriin ja toinen 4 l reaktoriin.

Normipanokset muodostettiin 90 m-% haravointijätteestä ja 10 m-% rasvakaivojätteestä vuotuisten vastaanottokertymien suhteessa. Molemmat jätejakeet edustavat mahdollisista haitta-aineista vapaata syötettä, joten niiden mädätysjännöksen oletetaan olevan hyödyntämiskelpoista lannoitevalmistetta. Herätteen lisäyksen jälkeen normipanoksien kokonaismassasta oli haravointijätettä 75 %, rasvakaivojätettä 8 % ja herätettä 17%.

Jätepanokset muodostettiin 90 m-% 30mm seula-alitteesta ja 10 m-% jätevesisakasta vuotuisten tuotantokertymien suhteessa. Molemmat jätelajit sisältävät lannoitevalmistetuotannon kannalta haitallisia määriä haitta-aineita (sulfaatti, raskasmetallit jne.), joten niiden mädätysjännöksen oletetaan olevan hyödyntämiskelvotonta lannoitevalmistetta. Jätepanoksiin jouduttiin lisäämään vettä panoksien kuiva-ainepitoisuuksien saamiseksi riittävän alhaisiksi kuivamädätysprosessiin (TS 20-40 %). Herätteen lisäyksen jälkeen jätepanosten kokonaismassasta oli 30mm seula-alitetta 63 %, jätevesilietettä 7 %, herätettä 18 % ja lisättyä vettä 12 %.

Sekapanokset muodostettiin 40 m-% haravointijätteestä, 40 m-% seula-alitteesta, 10 m-% rasvakaivojätteestä ja 10 m-% jätevesisakasta. Sekapanoksella haluttiin saada tietoa jätejakeiden yhteiskäsittelyn vaikutuksista muodostuvan biokaasun määrään ja laatuun verrattuna erilliseen käsittelyyn. Herätteen lisäyksen jälkeen sekapanosten kokonaismassasta oli haravointijätettä 32 %, rasvakaivojätettä 8 %, 30mm seula-alitetta 32 %, jätevesilietettä 8 % ja herätettä 20 %.

TS ja VS -pitoisuudet panoksille laskettiin jätelajikohtaisten määritysten perusteella. Taulukossa 19 on esitetty esimerkkilaskelma pienen (4l) normipanoksen TS -pitoisuuden laskennasta. Muodostettujen panosten TS ja VS -pitoisuudet on esitetty koostettuna taulukossa 20.

Taulukko 19. Esimerkkilaskelma panoskohtaisen TS –pitoisuuden laskennasta.

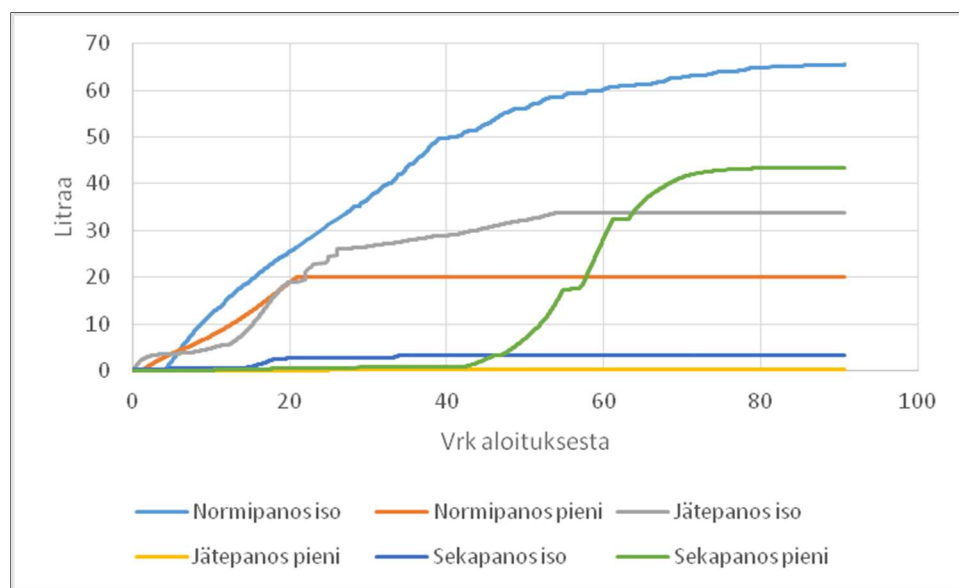
NORMIPANOS (pieni)	TUOREPAINO					KUIVA-AINE, TS				
	TS %	VS %	g	Testattavien materiaalien suhde	Ympin osuus materiaalien määrästä, %	Osuudet koko massassa	gTS	Testattavien materiaalien TS-suhde	Ympin osuus materiaalien TS-määrästä, %	TS-osuudet koko massassa
Haravointijäte	29 %	17 %	1800	90 %		75 %	520,2	93 %		92 %
Rasvakaivoiliete	19 %	19 %	200,49	10 %		8 %	38,5	7 %		7 %
Ymppi	1,50 %	0,70 %	400,24		20 %	17 %	6,0		1 %	1 %
Yht,			2400,73				564,7			

Taulukko 20. Panostoimisen kuivämädätyskokeen syötteen TS ja VS -pitoisuudet

	g, näytettä	g, TS	g, VS	TS %	VS%	VS/TS-suhde
NORMIPANOS (iso)	4 802	1 130	690	23,52 %	14,37 %	61 %
NORMIPANOS (pieni)	2 401	565	345	23,52 %	14,37 %	61 %
JÄTEPANOS (iso)	11 333	4 243	1 173	37,44 %	10,35 %	28 %
JÄTEPANOS (pieni)	2 801	1 059	293	37,82 %	10,45 %	28 %
SEKAPANOS (iso)	9 500	2 893	1 192	30,45 %	12,54 %	41 %
SEKAPANOS (pieni)	3 005	908	374	30,22 %	12,46 %	41 %

### 11.2.2 Panoskokeen kaasuntuotannon tulokset

Reaktoreissa syntyneen kaasun määrää analysoitiin 90 vuorokauden ajan kaasuvirtausmittarilla. Kuvassa 44 on esitetty kaikkien panosten kumulatiivinen biokaasuntuotto litroina koejaksolla.



Kuva 44. Panosten biokaasuntuotto litroina 90 vuorokauden viipymällä.

Ison normipanoksen kaasuntuotanto käynnistyi neljän vuorokauden kuluttua kokeen aloituksesta tuottaen koejaksolla yhteensä 65,52 litraa biokaasua. Panoksen kaasuntuotanto jatkui kokeen loppuun saakka hidastuen tasaisesti loppua kohden. Pienen normipanoksen kaasuntuotanto käynnistyi koejakson ensimmäisenä päivänä ja jatkui tasaisena 29 päivän ajan loppuen äkillisesti tämän jälkeen. Näin äkillinen kaasuntuotannon loppuminen viittaa mahdolliseen kaasuvuotoon tai metanogeenien äkkikuolemaan prosessissa. Syytä kaasuntuotannon loppumiseen ei kuitenkaan pystytty tarkemmin todentamaan. Pieni normipanos tuotti koejaksolla yhteensä 20,16 litraa biokaasua.

Ison jätöpanoksen kaasuntuotanto käynnistyi koejakson ensimmäisenä päivänä tuottaen koejaksolla yhteensä 33,77 litraa biokaasua. Panoksen kaasuntuotanto hidastui selkeästi 25 koevuorokauden jälkeen loppuen kokonaan 54 koevuorokauden jälkeen. Pienen jätöpanoksen kaasuntuotantoa ei kokeen aikana saatu käynnistettyä lainkaan.

Ison sekapanoksen kaasuntuotanto käynnistyi koejakson ensimmäisenä päivänä, mutta sen kehitys hiipui nopeasti. Panoksen kaasuntuotto koejaksolla jäi vähäiseksi ollen koejakson lopulla yhteensä 3,32 litraa biokaasua. Pienen sekapanoksen kaasuntuotanto käynnistyi koejakson ensimmäisenä päivänä ollen kuitenkin hidasta. Panos alkoi tuottaa kaasua merkittävästi vasta 42 koevuorokauden jälkeen tuottaen koejakson aikana yhteensä 43,30 litraa biokaasua.

Tuotetun biokaasun laadun analysoimista varten kaasua kerättiin talteen kolmessa eri vaiheessa kokeen aikana panostyyppikohtaisesti. Jätöpanosten osalta näytekerrat jäivät kahteen biokaasutuotannon loputtua ennen kolmatta suunniteltua näytteenottoa. Kaasun analysoinnit suoritettiin Geotech GA 2000 plus sekä Geotech GA 5000 kaasuanalysaattoreilla. Tuotetuista biokaasuista analysoitiin kaasun hyödyntämisen kannalta olennaiset parametrit: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> sekä H<sub>2</sub>S -pitoisuudet. Taulukossa 21 on esitetty koostettuna kaasuanalyyseiden tulokset. Näytekertakohtaiset arvot ovat keskiarvoja viidestä osa-analysistä.

Taulukko 21. Panostyyppikohtaiset kaasuanalyyseiden tulokset.

	Normipanos			Jätöpanos		Sekapanos		
	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3
CH <sub>4</sub>	67 %	66 %	68 %	3 %	5 %	64 %	77 %	52 %
CO <sub>2</sub>	33 %	30 %	30 %	55 %	58 %	19 %	24 %	19 %
H <sub>2</sub> S(ppm)	1,9	24,5	210,2	50	>>>>	>>>>	>>>>	3500
O <sub>2</sub>	3 %	1 %	0 %	2 %	0 %	1 %	0 %	4 %

Normipanoksen tuottama biokaasu sisälsi keskimäärin 67 % metaania, 31 % hiilidioksidia ja 2 % happea. Rikkivedyn pitoisuus normipanoksen tuottamassa biokaasussa oli keskimäärin noin 70 ppm. Jätöpanoksen tuottama biokaasu sisälsi keskimäärin 4 % metaania, 57 % hiilidioksidia ja 1 % happea. Rikkivedyn pitoisuus jätöpanoksen tuottamassa biokaasussa oli ensimmäisellä näytekerralla alhainen 50 ppm. Toisen näytekerran rikkivetyanalyysi ylitti analysaattorin määrittämissä (5000 ppm). Sekapanoksen tuottama biokaasu sisälsi keskimäärin 64 % metaania, 20 % hiilidioksidia ja 2 % happea. Rikkivedyn pitoisuus sekapanoksen tuottamassa biokaasussa kahden ensimmäisen näytekerran aikana ylitti analysaattorin määrittämissä. Viimeisellä näytekerralla rikkivetypitoisuudeksi saatiin 3500 ppm.

Tutkittujen panosten teoreettiset metaanintuottopotentialit johdettiin aiemmin määritellyistä jätöelajikohtaisista metaanintuottopotentialeista.



Taulukossa 22 on esitetty esimerkkilaskelma panoskohtaisen metaanintuottopotentialin laskennasta.

Taulukko 22. Esimerkki panoskohtaisen metaanintuottopotentialin laskennasta

NORMIPANOS (pieni)	KUIVA-AINE, TS			Teoreettinen metaanintuotto perustuen metaanintuottotestiin	
	TS %	VS %	gTS	litraa/kg TS	litraa/panos
Haravointijäte	29 %	17 %	520,2	124	64,5
Rasvakaivoliete	19 %	19 %	38,5	633	24,4
Ymppi	1,50 %	0,70 %	6,0	74	0,4
Yht,			564,7		<b>89,3</b>

Ison normipanoksen toteutunut metaanintuotto panoskokeessa oli 22 % teoreettisestimääritellystä panoksen metaanintuottopotentialista ja pienen normipanoksen 27 %. Isolla jätetapanoksella metaanintuotto ei toteutunut lainkaan alhaisen biokaasun metaanipitoisuuden vuoksi. Pienen jätetapanoksen sekä ison sekapanoksen osalta metaanintuottoa ei voitu todentaa panoksen toimimattomuuden vuoksi. Pienen sekapanoksen metaanintuotto kokeessa oli 39 % teoreettisesti määritellystä panoksen metaanintuottopotentialista. Panoskokeen kaasuntuotannon tulokset on esitetty koostetuna taulukossa 23.

Taulukko 23. Panoskokeen kaasuntuotannon keskeiset tulokset.

	Tuotetun kaasun määrä litroina	Metaania				
		CH <sub>4</sub> (%) keskiarvo	Toteutunut Litraa, CH <sub>4</sub>	Toteutunut LitraaCH <sub>4</sub> /panos TS	Potentiaali litraaCH <sub>4</sub> /panos TS	Toteutunut potentiaali
Normipanos ISO	65,52	67 %	43,9	38,9	178,6	22 %
Normipanos Pieni	20,16	67 %	13,5	23,9	89,3	27 %
Jätetapanos ISO	33,77	4 %	1,4	0,3	98,5	0 %
Jätetapanos Pieni	0,18	4 %	0,0	0,0	24,5	0 %
Sekapanos ISO	3,32	64 %	2,1	0,7	248,5	0 %
Sekapanos Pieni	43,30	64 %	27,7	30,5	78,0	39 %

## 12 AINEISTOT JA MENETELMÄT PALVELUKONSEPTOINNISSA

Palvelujen tuotteistaminen on keino lisätä yrityksen kilpailukykyä ja vähentää yrityksen yleisen toimintaympäristön aiheuttamia ongelmia liiketoiminnalle. Tuotteistamisella tarkoitetaan uusien ja olemassa olevien palvelujen määrittelyä, systematisointia ja ainakin osittaista vakiointia. Varsinaisia tuotteistamiseen liittyviä toimia voi kutsua myös palvelun konseptoinniksi. Tuotteistamisen tavoitteena on uudistaa ja kehittää palvelutoimintaa niin, että asiakkaan saama hyöty palvelusta maksimoituu ja yrityksen kannattavuus paranee. Tuotteistamiseen liittyviä toimia voidaan hyödyntää myös palvelujen kehitystyössä, vaikka tarkoituksena ei olisikaan luoda täysin vakioitua palvelua. (Jaakkola, Orava & Varjonen 2009, 1.)

Kehitettäväksi valitun palvelun tuotteistaminen alkaa palvelun keskeisten ominaisuuksien määrittelyllä: Mikä on palvelun sisältö ja käyttötarkoitus ja miten palvelu toteutetaan? On myös tärkeä tunnistaa mitä hyötyä asiakkaat tavoittelevat palvelulta, jotta palvelun sisältö ja toteuttamistapa voidaan suunnitella asiakkaalle arvoa tuottavaksi. Yrityksen palvelutarjooman tulisi kehittyä markkinoiden ja asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Nopea reagointi toimintaympäristön muutoksiin voi olla yritykselle keskeinen kilpailutekijä. Kehitystyössä on varmistettava, että linkki yrityksen liiketoimintastrategian, tarjottujen palvelujen ja asiakkaiden tarpeiden välillä on selvä. Uusien palveluideoiden tulisi sopia yrityksen strategiaan tavoitteisiin ja tahtotilaan. (Jaakkola ym. 2009, 8-11.)

Palvelun sisältö voidaan jakaa useimmiten ydinpalveluun ja sen tueksi tarjottuihin tuki- ja lisäpalveluihin. Ydinpalvelu on palvelun oleellisin osa ja syy miksi asiakas sen haluaa ostaa. Tukipalvelut ovat ydinpalvelun käytettävyyden kannalta välttämättömiä oheispalveluja, jotka eivät välttämättä näy asiakkaalle päin. Tukipalvelujen tunnistaminen on tärkeää, jotta saadaan selville kaikki palvelun tuottamiseen tarvittavat resurssit ja työvaiheet. Lisäpalvelut ovat rahanarvoisia asiakkaalle annettavia tai myytäviä etuja. Ne ovat keino erottautua markkinoilla ja ne nostavat asiakkaan laatumielikuvaa palvelusta. (Jaakkola ym. 2009, 11.)

Palvelun kehittämisessä voidaan myös hyödyntää verkostoitumista. Erilaisia yhteistyömalleja voidaan kehittää markkinoinnillisista tai teknologisista syistä. Verkoston tavoitteena voi olla asiakasrajapinnan laajentaminen, suhdanteiden taseus tai uudelle toimialalle pyrkiminen. Verkostoituminen on eritoten tärkeää, jos oman organisaation osaaminen tai resurssit eivät riitä koko palvelukokonaisuuden hallintaan. (Jaakkola ym. 2009, 11-13.)

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin ydinpalveluna tarjottavan kuivamädätysprosessin ympärille rakentuvan palvelukonseptin ideointiin. Työssä määriteltiin palvelukonseptin kehitysvaiheen rakenne ja sen vaatimukset Kymenlaakson Jäte Oy:lle. Sidosryhmäanalyysillä tunnistettiin palvelukoko-

naisuutteen vaikuttavat ja sen vaikutuspiirissä olevat keskeiset sidosryhmät ja arvontuottoanalyysillä palvelun arvontuotto yrityksen asiakasryhmille. Työn tuloksia voidaan hyödyntää myöhemmin osana palvelukonseptin kehitystyössä ja palvelun tuotteistamisessa.

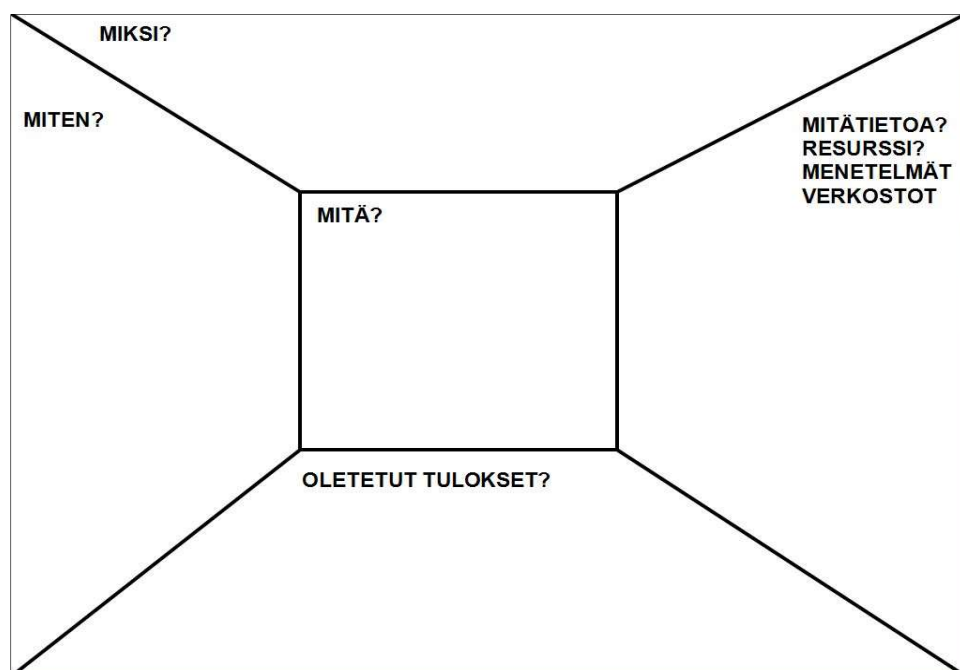
Kuivamädätyslaitoksen palvelukonseptin määrittelyssä, palvelun sidosryhmäanalyysissä ja palvelun arvontuoton analyysissä käytettiin Salmisen (2016) ”Palvelut ja tuotteistaminen lyhyissä arvoketjuissa” luentoajaksolla esitettyjä analyysimenetelmiä.

### 12.1 Palvelukonseptin ideointi

Palvelukonseptin ideointi toteutettiin opinnäytetyön tekijän toimesta hyödyntäen tämän opinnäytteen teoriaosassa esiteltyä tietoa Kymenlaakson Jäte Oy:n liiketoimintastrategiasta, yrityksen yleisestä toimintaympäristöstä ja biokaasuteknologiasta sekä tukeutuen tekijän omaan asiantunteemukseen jätteiden käsittelyn yleisestä toimintaympäristöstä. Palvelukonseptin ideoinnilla pyrittiin vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Miksi uusi kuivamädätysprosessiin perustuva palvelumuoto tulisi toteuttaa ja mitä lisäarvoa se toisi yritykselle?
2. Mitä tietoa, resursseja ja verkostoja palvelun toteuttaminen vaatii?
3. Mitä investointeja ja toimenpiteitä palvelun toteutus vaatii?
4. Mitkä ovat toteutetun palvelukonseptin oletetut lopputulokset?

Ideoinnin työkaluna käytettiin kuvassa 45 esitettyä työpohjaa, johon aihealueittain koostetaan vastaukset esitettyihin kysymyksiin. Täytetty työpohja on esitetty opinnäytetyön liitteenä 4.



Kuva 45. Kohdennetun palveluinnovaation työpohja (Salminen 2016).

### 12.1.1 Uuden palvelukonseptin tarve ja tavoite

Tärkeimpänä ajurina uuden palvelukonseptin kehittämiseksi on 1.1.2016 voimaan astuneen kaatopaikka-asetuksen (Vna 313/2013) 28§ mukainen rajoitus loppusijoittaa tai hyödyntää kaatopaikalla orgaanista ainesta sisältävää jätettä. Loppusijoitettavan jätteen laatu on jatkossa hyvin heikosti biohajoavaa eikä päivittäispeittomateriaaleille ole enää entisen tapaista tarvetta. Myös päivittäispeittomateriaalien tulee vastata uuden asetuksen vaatimuksia. Orgaanista ainesta sisältävät tulee siis jatkossa käsitellä vaihtoehtoisella tavalla.

Uuden palvelukonseptin tulee vastata Kymenlaakson Jäte Oy:n strategian tavoitteita EU:n kiertotalouspaketin ja siitä johdettujen kansallisen tason tavoitteiden toteuttamisessa. Kuivamädätys vastaa tähän tarpeeseen parantamalla yhtiön käsittelemien jätteiden kierrätysastetta. Biokaasun tuotannossa hyödynnetyt jätejakeet voidaan tilastoida kierrätetyiksi raaka-aineina, mikäli niiden käsittelyjäännös on myös hyödynnettävissä.

Kuivamädätys palvelukonseptina voi parantaa yhtiön toiminta-alueella biotalouden eri toimijoiden liiketoimintaedellytyksiä. Palveluun kytkeytyvät erilaiset urakoinnit ja yhteistyö, biomassan sopimusviljelyt sekä kustannustehokas käsittelypalvelu ylijäämärehuille ja lannoille, voivat parhaimmillaan synnyttää alueelle uutta liiketoimintaa entisten rinnalle.

Biokaasutuotannon myötä yhtiö vankistaa asemaansa jätteiden käsittelyn markkinoilla entistä monipuolisena toimijana ja varmistaa kaatopaikkakaasua hyödyntävän mikroturbiinilaitoksen toiminnan. Tällä hetkellä kaatopaikkakaasua voimanlähteenä hyödyntävän mikroturbiinilaitoksen käyttöaste on vajaa (n. 30 %), johtuen kaatopaikkakaasun määrän vähäisyydestä ja huonosta laadusta. Lisäsähkötuotannon on mahdollista korvata koko yhtiön käyttämä ostosähkö (1,6 GWh/vuosi).

### 12.1.2 Palvelukonseptin toteuttamisen resursointi ja yhteistyö

Biokaasun tuotantoprosessin hallitseminen vaatii käyttäjältään perustiedon anaerobisen prosessin toiminnasta. Tieto hankitaan tieteellisen tutkimuksen keinoin alan kirjallisuudesta, tutkimuksista, julkaisuista ja artikkeleista. Vaihtoehtoisin mädätysteknologioihin tutustutaan referenssi-kohteissa ja laitostoimittajien vierailuilla. Tiedonhankinnassa sovelletaan myös niin ikään kirjallisuus- ja tutkimuslähteitä.

Olemassa olevien jätevirtojen mahdollisuudet biokaasun tuottajina selvitetään laboratorio olosuhteissa. Metaanintuottopotentialin määrittäminen, biokaasun määrän ja laadun määrittäminen tutkitaan laboratoriokokein potentiaalisista jakeista. Uusien käsiteltävien tuotteiden soveltuvuus prosessiin määritellään ja arvioidaan aiempien tehtyjen tutkimusten ja kokeiden perusteella. Kerätty tieto ja aineisto koostetaan yhtiön käyttöön YAMK tasoisena opinnäytetyönä.

Lopputuotteiden hyödyntämisen eri vaihtoehtoja kartoitetaan tutkimus- ja kehityshankkeisiin osallistumalla ja toteuttamalla niitä itse.

Lupa- ja tukihakemuksien laadinnassa hyödynnetään pääasiassa oman henkilöstön osaamista, kokemusta ja resursseja. Hankinnan kilpailutus edellyttää hankintalain tuntemusta ja kokemusta julkisista hankinnoista, jota organisaatiolla on runsaasti. Soveltuvien osien hyödynnetään konsultti-palveluiden asiantuntemusta tukemassa oman organisaation toimintaa.

Palvelukonseptin rakentamisen yhteistyöverkoston tärkeimmät toimijat ja resurssit ovat:

- Lupaviranomaiset
- Laitostoimittajat
- Tutkimushankeorganisaatiot
- Yliopistot ja AMK:t
- Laboratoriot
- Referenssikohteet
- Oma henkilöstö
- Kollegalaitokset
- Lannoitevalmisteiden markkinoijat ja jatkojalostajat

### 12.1.3 Palvelukonseptin toteuttamisen vaatimat toimenpiteet

Uusi palvelukonsepti rakennetaan orgaanisia jätteitä mädättävän käsitteilylaitoksen ympärille. Investointihanke toteutetaan julkisena hankintana kilpailullisella neuvottelumenettelyllä, jolla mahdollistetaan erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen tarjoaminen tilaajalle. Olemassa olevaan mikroturbiinilaitokseen hankitaan tarvittaessa teholtaan riittävä lisäturbiini varmistamaan biokaasun hyödyntämisen resurssi ja mahdollistamaan ostosähkön korvaaminen kokonaisuudessaan Keltakankaan jätekeskuksen alueella. Koko investointihankkeelle haetaan investointitukea työ- ja elinkeinoministeriön energiatuen muodossa.

Keltakankaan jätekeskuksen ympäristölupa mahdollistaa tällä hetkellä vain märkämädätykseen perustuvan tuotantolaitoksen toiminnan alueella. Ympäristölupa päivitetään muutoshakemuksella mahdollistamaan kuivämädätystekniikan käyttö mädätyksessä. Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran laitoshyväksyntä haetaan lopputuotteena syntyvän mädätysjäännöksen tuotantoprosessille jälkikompostoinnin kera. Tämä mahdollistaa mädätysjäännöksen käytön sellaisenaan lannoitevalmisteena tai seosmultien valmistuksessa raaka-aineena tuorekompostin ja maanparannuskompostin muodossa.

Kuivämädätysprosessin lopputuotteena syntyvän mädätysjäännöksen ja sen jatkojalostuksen tuloksena syntyvien muiden lannoitevalmisteiden

hyödyntämisen varmistamiseksi etsitään yhteistyökumppaneita tuotteiden myyntiin ja jatkojalostukseen. Lannoitevalmisteiden myyntiin voi liittää muita maatalouden palvelumalleja, kuten viljavuusanalyysijä tai lannoitetarvelaskentaa.

Palvelukonsepti palvelee pääasiassa yhtiön sisäisiä asiakkaita, mutta uusasiakashankinta kohdennetaan koskemaan lähinnä vihermassan tuottajia ja lannan tuottajia. Lannoitevalmisteita myyvä palveluyritys voi markkinoida käsittelypalveluja lannoitevalmistemyynnin lomassa projektituonnin kautta.

#### 12.1.4 Toteutetun palvelukokonaisuuden oletetut tulokset

Tutkimuksen, tiedonhankinnan ja toteutuksen kilpailutuksen myötä yhtiö löytää vaihtoehtoisista kuivämädätysmenetelmistä itselleen soveltuvimman orgaanisten jätteiden käsittelyyn. Vastaanotettavista jätejakeista mädätykseen sopivat jätejakeet on kartoitettu ja uusien potentiaalisten jätteiden käsittelymahdollisuudet on selvitetty. Käsittelypalvelua on mahdollista markkinoida ja sen ympärille on syntynyt synergiaetuja hyödyntäviä biotalouden palvelutuotantoketjuja.

Luvat mahdollistavat laitoksen ja palvelun täysipainoisen toiminnan. Investointi on saanut tuekseen työ- ja elinkeinoministeriön energiatukea. Sellaisenaan hyödynnettävät lannoitevalmisteet myy ja seosmultien valmistuksen hoitavat ulkopuoliset yhteistyökumppanit ja tuotteille on kysyntää.

Mikroturbiinilaitos tuottaa Keltakankaan jätekeskukselle sähköä vähintään 1,6 GWh sähköä vuodessa ja yhtiön käsittelemien jätejakeiden kierrätysaste on kasvussa. Yhtiön lyhyen tähtäimen strategia voidaan sanoa toteutuneen tältä osin ja palvelukonsepti osaltaan vahvistaa yhtiön pitkän tähtäimen strategian tavoitteiden toteutumista.

## 12.2 Palvelukonseptin sidosryhmäverkosto

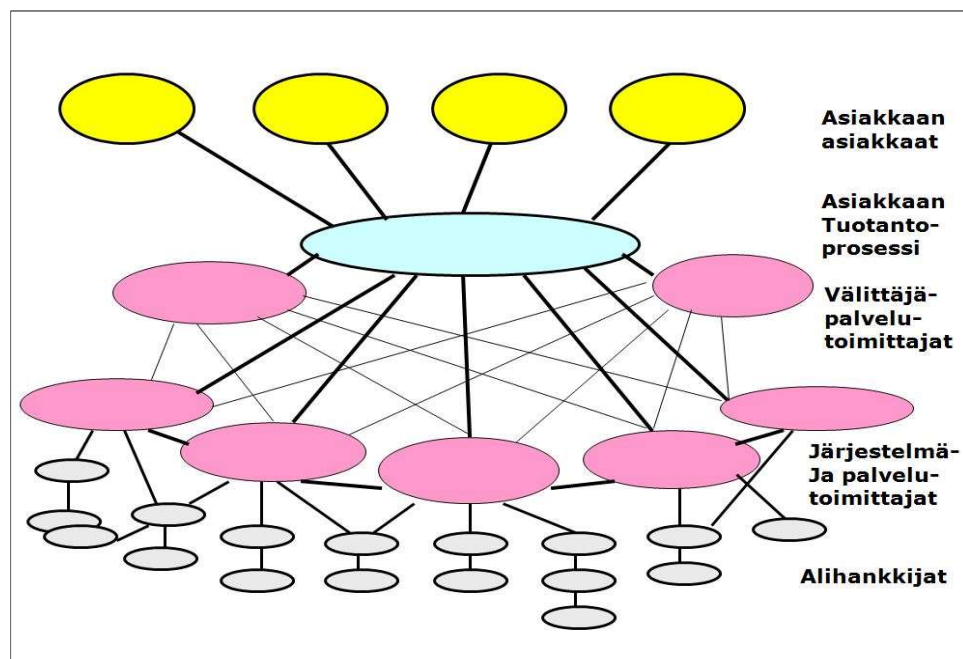
Tuotannollinen kumppaniverkosto rakentuu tavallisesti vahvan päähankkijan ympärille, joka erikoistuu asiakas- ja yhteistyökumppanisuhteiden luomiseen ja ylläpitämiseen. Rakenteeltaan verkosto on yleensä varsin hierarkkinen, mutta dynaaminen. Yleensä verkostossa päähankkija on alihankkijoita huomattavasti vahvempi, mutta ajan mittaan osapuolten väliset suhteet voivat muuttua tasavertaisemmiksi. Tätä kehitystä vahvistavat verkostolle tyypilliset yritysten keskinäiset projektit ja yhteistyöelimet. (Salmi 2016.)

Kuivämädätyslaitos toteutuessaan toimii tuotannollisen kumppaniverkoston keskiössä tarjoten käsittelypalvelua orgaanisille jätteille. Kymenlaak-

son Jäte Oy tarjoaa jätteiden tuottajille ja haltijoille kiertotalouden tavoitteita tukevan toimintamallin hyödyntäen jätteiden energiasisällön ja tuottaen jäteperäisistä materiaaleista edelleen hyödynnettäviä jakeita biokaasun ja lannoitevalmisteiden muodossa. Orgaanisten jätteiden käsittelyn arvoketju tuottaa synergiaetua yhtiön omille sisäisille toiminnoille ja ulkoisille toimittajille tarjoten kustannustehokkaan sekä lakien ja säädösten mukaisen vastaanottopisteen jätteille tuottaen parhimmillaan suljetun ravintekierron viljelijöille.

Kuivamädätyslaitoksen toimintaa tukee teknisten asioiden osalta valittu laitostoimittaja alihankkijoinen varmistaen laitoksen toimivuuden kunnossapidon, varaosatoimitusten ja teknisen tuen osalta. Valvontaviranomaiset osaltaan varmistavat lupamääräysten tarkastus- ja raportointinettelyiden avulla laitoksen asianmukaisen toiminnan toteutumisen.

Palvelukonseptin keskeisten sidosryhmien analysoiminen tehtiin kuvassa 46 esitetyllä työpohjalla, johon koostettiin keskeiset sidosryhmät ja kuvattiin niiden väliset vuorovaikutussuhteet. Täytetty työpohja on esitetty opinnäytetyön liitteenä 5.



Kuva 46. Sidosryhmäanalyysin työpohja (Salminen 2016).

### 12.2.1 Materiaalien toimittajat keskeisessä roolissa

Kymenlaakson Jäte Oy:n erilaiset sisäiset toiminnot toimivat kuivamädätyslaitoksen keskeisinä materiaalitoimittajina turvaten laitoksen säännöllisen markkina- ja kilpailutilanteesta riippumattoman materiaalivirran. Jäteperäiset materiaalit voidaan hyödyntää omassa tuotannossa sen sijaan, että käsittelystä maksettaisiin ulkopuolisille toimijoille. Mädätyslaitos puoles-

taan tuottaa yhtiön omalle mikroturbiinilaitokselle raaka-ainetta biokaasun muodossa varmistuen voimalaitoksen tavoitellun käyttöasteen ja toiminnan.

Uuden käsittelymenetelmän käyttöönotto mahdollistaa uusien aiemmin käsittelemättömien orgaanisten jätejakeiden tai biokaasupotentiaalia omaavien biomassojen vastaanoton jätekeskukseen. Uudet jakeet laajentavat yhtiön asiakaskuntaa muun muassa biomassan sopimustuottajiin ja eläinsuojien ylläpitäjiin. Uudet porttimaksulliset jakeet kasvattavat yhtiön liikevaihtoa, tuotettu biokaasu hyödyttää erityisesti sisäisiä toimintoja tuotetun sähkön ja lämmön muodossa ja biotalouden toimintaedellytykset paranevat alueella.

### 12.2.2 Viranomaiset liiketoiminnan mahdollistajina ja valvojina

Aluehallintovirasto ympäristöluvan myöntäjänä on keskeisessä roolissa toiminnan mahdollistajana. Ympäristöluvan lupamääräykset ohjaavat toimintaa ja varmistavat toiminnan ympäristövaikutusten seurannan ja omavalvonnan asianmukaisuuden. Tiivis asiantunteva yhteistyö yhtiön ja aluehallintoviraston välillä lupahakemusprosessin aikana on tärkeää, jotta molempien osapuolten näkemykset, vaatimukset ja toiveet tulevat huomioitua lopullisessa luvassa.

ELY-keskuksen rooli ympäristöluvan lupavalvojana on olennainen osa toiminnanharjoittajan yhteistyöverkostoa. Tiivis ja avoin tiedon jakaminen on avain onnistuneeseen yhteistyöhön. Vaatimusten mukainen raportointi, poikkeustilanteista ilmoittaminen, säännölliset lupatarkastuskäynnit ja todennetusti luvan mukainen toiminta mahdollistavat rehellisen ja molempia osapuolia tyydyttävän lopputuloksen. Yhteistyö usein henkilöityy toiminnanharjoittajan vastuuhenkilöiden ja lupavalvojan välille. Säännöllinen kontaktointi puolin ja toisin edesauttaa toiminnan sujuvuutta.

Orgaanisia lannoitevalmisteita tai niiden raaka-aineita valmistavalla toimijalla tulee olla toiminnalle Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran hyväksyntä. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira valvoo lannoitevalmisteita tuottavien laitosten toimintaa myöntämällä toiminnalle tuotantolaitoskohtaisen laitoshyväksynnän ja valvomalla toimintaa laadittavien valvonta- ja omavalvontasuunnitelmien mukaisesti.

### 12.2.3 Laitostoimittaja prosessin tukipilarina

Teknisesti ja tuotannollisesti luotettava prosessi vaatii kaikilta osa-alueiltaan laadukkaan laitostoimituksen. Käyttönoton konsultointivaihe ja käyttöhenkilöstön perehdytys laitostoimittajan puolesta luo pohjan pitkäaikaiselle asiakassuhteelle. Toimituksen takuuajan jälkeenkin erityisesti jälkimarkkinoinnin toimivuus, varaosien saatavuus ja tarvittava tekninen tuki ovat tärkeitä tuotannon tukia.



Rakennusaikainen työ hyödyttää paikallisia rakennusurakoitsijoita ja rakentamisen palvelutuottajia projektiluontoisesti. Yhtiö saa näkyvyyttä ja luotettavuutta alueen yritysverkostossa investoijana ja toimintansa kehittäjänä parantaen samalla alueen elinkeinoelämän toimintaedellytyksiä.

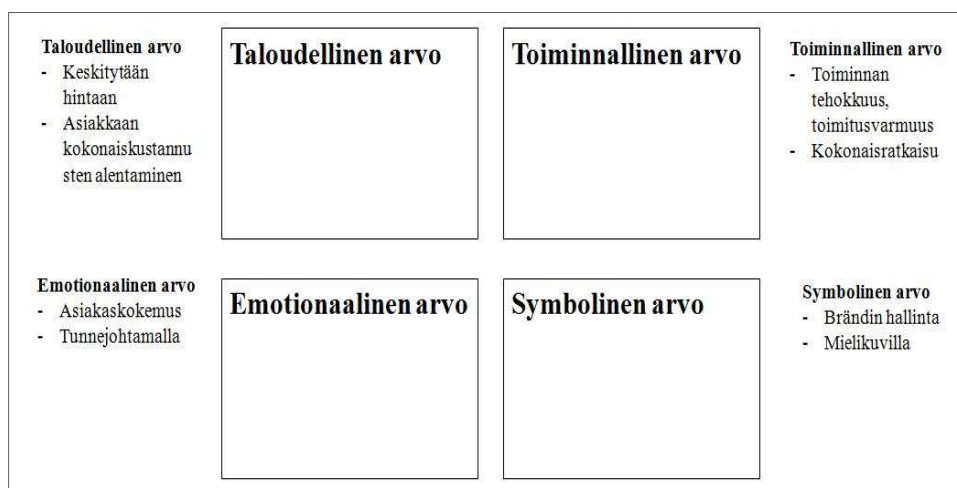
#### 12.2.4 Uusia palveluja ja tuotteita markkinoille

Mädätyslaitoksen tuotannon ympärille voi syntyä palvelukumppaniverkosto laitoksen lopputuotteiden myyntiin ja markkinointiin. Organisten lannoitevalmisteiden myynti ja markkinointi vaatii erityisosaamista ja asiantuntemusta eritoten maanviljelyksestä. Alkutuottajalle on mahdollista tuottaa lisäarvoa erilaisten lannoitevalmisteiden myynnin ympärille rakentuvien lisäpalvelujen avulla. Maatalouden tukilaskelmat, lannoitus suunnitelmat, lannoitteiden levityspalvelut, peltojen maaperä- ja viljavuusanalyysit, satotasotutkimukset ja raportointipalvelut ovat mahdollisia liittää osaksi uusien tuotteiden myyntiä.

Biokaasun hyödyntämisen ja jalostamisen palvelukumppaniverkosto voi olla moninainen. Liikennekaasun tai maakaasuverkostoon syötettäväksi valmistellun kaasun jalostus voi rakentua oman tuotannon tai yhteistyökumppanin tuotannon ympärille tai toimia niiden yhdistelmänä.

#### 12.3 Palvelukonseptin arvontuotto asiakkaille

Asiakkaiden kokema hankkimansa palvelun tai tuotteen arvo voidaan jakaa neljään eri osa-alueeseen: taloudelliseen arvoon, toiminnalliseen arvoon, emotionaaliseen arvoon ja symboliseen arvoon (kuva 47). (Salminen 2016.)



Kuva 47. Asiakkaiden kokeman palvelun tai tuotteen arvon jaottelu (Salminen 2016.)

Tavoiteltaessa asiakkaan kokevan taloudellista arvoa keskitytään tuotteen tai palvelun hinnoitteluun ja kokonaiskustannusten alentamiseen. Palveluntarjoaja pyrkii olemaan kustannusjohtaja ja palkitsee asiakkaansa usein alennuksilla. Toiminnallista arvoa tavoiteltaessa keskitytään toiminnan tehokkuuteen, toimitusvarmuuteen ja toiminnan tekniseen laatuun. Toimittaja tarjoaa usein asiakkaalle kokonaisvaltaisia ratkaisuja. Toiminnan ydin on tällöin ratkaisun järjestämistavassa ja asiakkaan ajan säästämässä. (Salminen 2016.)

Emotionaalista arvoa tavoiteltaessa asiakkaalle pyritään antamaan mielihyvää tuottava asiakaskokemus. Toiminnassa keskitytään tunnejohtamiseen. Asiakkaiden erilaistessa mielikuvien tasolla, tarjotaan heille symbolista arvoa. Silloin keskitytään toiminnan merkityksen esilletuomiseen vaihtelunjohtamisella ja brändin hallinnalla. (Salminen 2016.)

Opinnäytetyössä analysoitiin edellä mainituin kriteerein mitä arvoa kuivamädätys palvelukonseptina voi tuottaa Kymenlaakson Jäte Oy:n sisäisille (taulukko 24) ja ulkoisille asiakkaille (taulukko 25).

Taulukko 24. Kuivamädätyspalvelun arvon tuotto Kymenlaakson Jäte Oy:n sisäisille asiakkaille

<p><b>Taloudellinen arvo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kustannustehokas käsittelymenetelmä, ei rahtikuluja</li> <li>• Omakustannehintainen käsittely, ei katetavoitteita.</li> <li>• Ostosähkön korvaus käytösähkössä ja lämmityskuluissa</li> <li>• Edullisempi polttoaine (liikennekaasu)</li> </ul>	<p><b>Toiminnallinen arvo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jatkokäsittely omalla tontilla</li> <li>• Jäteperäisten materiaalien hyötykäyttö</li> <li>• Mikroturbiinilaitoksen käyttöasteen nosto</li> <li>• Omavaraisuus sähkön kulutuksessa</li> <li>• Välivarastoinnin tarve vähenee</li> </ul>
<p><b>Emotionaalinen arvo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiaalivirrat omassa käsissä</li> <li>• Tunne siitä, että asioita viedään eteenpäin</li> <li>• Biokaasusta liikennekaasua, sähköä, lämpöä → ympäristöteko</li> </ul>	<p><b>Symbolinen arvo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kierrätysasteen nosto</li> <li>• Loppusijoitusasteen lasku</li> <li>• BAT teknologia käytössä</li> <li>• Biotalouden toteuttaja alueella</li> <li>• Kaasautot → Pienempi hiilijalanjälki</li> <li>• Mikroturbiineilla jätteen energia talteen</li> </ul>

Taulukko 25. Kuivamädätyspalvelun arvon tuotto Kymenlaakson Jäte Oy:n ulkoisille asiakkaille.

<p><b>Taloudellinen arvo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ulkoinen asiakkuus täydentää kapasiteettia</b></li> <li>• <b>Edullisempi polttoaine (liikennekaasu), tankkausmahdollisuus toimitettaessa</b></li> <li>• <b>Edullinen lannoitevalmiste</b></li> <li>• <b>Satotasot paranevat</b></li> <li>• <b>Kotimainen investointi</b></li> </ul>	<p><b>Toiminnallinen arvo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vastaanottopalvelut saman katon alla</b></li> <li>• <b>Mahdollistaa uuden liiketoiminnan syntymisen</b></li> <li>• <b>Mahdollistaa vanhan liiketoiminnan jatkumisen</b></li> <li>• <b>Ravinnekierto, humusvaikutus lannoitevalmisteella</b></li> <li>• <b>Työllistäminen</b></li> </ul>
<p><b>Emotionaalinen arvo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Varmuus siitä, että toimii luotettavan ja avoimen kumppanin kanssa</b></li> <li>• <b>Paikallinen työllistävyys</b></li> </ul>	<p><b>Symbolinen arvo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Osa biotalouden ketjua</b></li> <li>• <b>Voi käyttää omassa markkinoinnissa referenssinä</b></li> <li>• <b>Ravinteet pysyvät maakunnassa</b></li> </ul>

### 12.3.1 Taloudellisen arvon tuottaminen

Taloudellinen arvo tuotetaan Kymenlaakson Jäte Oy:n omille sisäisille asiakkaille logistisilla eduilla. Käsiteltäviksi toimitettavien materiaalien siirtomatkat ovat lyhyitä jatkokäsittelyn sijaitessa omalla tontilla. Yhtiön ei tarvitse turvautua ulkopuolisten käsittelijöiden palveluihin. Sisäiset asiakkuudet maksavat käsittelyn omakustannehinnan ja eri toiminnot saavat katteensa omilta asiakkailtaan. Edullinen käsittelyhintaa heijastuu myös ulkoiseen asiakasrajapintaan alentuvina palvelumaksuina. Tämä parantaa yhtiön kilpailukykyä markkinoilla.

Tuotettu sähkö- ja kaukolämpö hyödynnetään omissa sisäisissä toiminnoissa. Tämä vähentää ulkoisen käyttösähkön oston tarvetta ja sähköllä toimivien lämmityslaitteiden käytön tarvetta. Alentuneet energiamaksut heijastuvat suoraan toiminnan muuttuviin kuluihin ja kannattavuuteen. Liikennekaasun jalostus toteutuessaan mahdollistaa yhtiön kuljetus- ja tuotantokaluston käyttämän polttoaineen korvaamisen omalla edullisemmalla vaihtoehdolla. Ostettavan diesel- ja polttoöljyn määrä vähenee ja heijastuu positiivisena vaikutuksena kannattavuuteen.

Ulkoisten asiakkaiden toimittamat jätteet täydentävät yhtiön sisäisen toiminnan tuottamien jätteiden käsittelyä. Käsittelyn kannattavuus ei ole täysin riippuvainen ulkoisista vastaanottomaksuista, joten hinnoittelu saadaan tätä kautta edulliseksi.

Orgaanisten lannoitevalmisteiden markkinahinta on hyvin alhainen. Ansaintalogiikka nykyisellään ei voi olla lopputuotteesta saatava positiivinen hinta, vaan jätteiden käsittelystä saatava vastaanottohinta ja tuotetun biokaasun taloudellinen arvo. Käytännössä mädätysjäännös tyyppiset lannoitevalmisteet toimitetaan lannoitteeksi tai seosmultien raaka-aineeksi ilmaiseksi. Tämä on viljelijöille ja käsittelijöille taloudellinen etu verrattuna kemiallisten lannoitteiden käyttöön. Orgaanisten lannoitevalmisteiden edut lannoituksessa ja kasvuolosuhteiden parannuksessa ovat todistetut. Lannoitevalmisteiden myynti ja markkinointi mahdollistavat muiden lisäpalvelujen myynnin välittäjälle ja tätä kautta luo biotalouden ympärille uutta liiketoimintaa.

Investointi tuo projektiluontoisesti rakennustoiminnalle ja laitostoimittajalle liiketoimintaa alueelle. Jatkuvuutta liiketoiminnalle syntyy jälkimarkkinoinnin, konsultoinnin ja varaosatoimituksien myötä

### 12.3.2 Toiminnallisen arvon tuottaminen

Jatkokäsittelyn sijaitessa Kymenlaakson Jäte Oy:n omalla tontilla materiaalit voidaan siirtää osana normaalia tuotantoa käsittelylaitoksen tuotevarastoon. Välivarastoinnin tarve tuotetuille materiaaleille vähenee ja tämä heijastuu suoraan toiminnan sujuvuuteen. Materiaalit hyödynnetään osana omaa tuotantoprosessia.

Materiaaleista tuotettu biokaasu varmistaa olemassa olevan mikroturbiinilaitoksen raaka-aineen saannin. Nykyisellään laitos käy vajalla kapasiteetilla johtuen kaatopaikkakaasun saannon vaihtelusta ja laadun heikkoudesta. Lisäkaasuntuotanto täyttää vajaakapasiteetin ja mahdollistaa lisä- ja korjausinvestoinnit voimalaitokseen. Tuotettu sähkö tekee koko jätekeskuksesta omavaraisen sähkön kulutuksen suhteen.

Laajemmat vastaanottopalvelut eri jäte- ja raaka-ainejakeille ovat etu myös ulkoiselle toimittaja-asiakkaalle. Saman katon alta saatava palvelu voi parantaa oman toiminnan logistista suunnittelua ja kustannustehokkuutta. Keräys- ja kuljetuspalveluja myyville yrityksille syntyy liiketoimintaa lisäantuvien kuljetusten myötä.

Lähiseudun maanviljelijöille syntyy vaihtoehto perinteisen viljelyn sijaan tuottaa biomassaa laitokselle raaka-aineeksi. Parhaimmillaan tämä voi olla piristysruiske tai pelastus maatalouden liiketoiminnan jatkumiselle alueella. Suojavyöhykkeiden ja kerääjäkasvien korjuuveloitteen toteuttaminen on ollut tähän asti vaikeaa, koska järkevää käyttöä kasvimassoille ei ole

ollut. Mädätyslaitos on tähän ongelmaan ratkaisu ainakin paikallisesti. Parhaimmillaan tuotetun biomassan ravinteet kiertävät takaisin viljelijälle lannoitteen muodossa.

### 12.3.3 Emotionaalisen arvon tuottaminen

Materiaalien käsittelyketjun kokonaisvaltainen hallitseminen itse tuo Kymenlaakson Jäte Oy:lle varmuuden toiminnan eettisestä kestävytydestä. Investoinnit ja toiminnan kehittäminen antavat kuvan toiminnan jatkuvuudesta ja luovat uskoa tulevaisuuteen etenkin oman yhtiön sisällä. Biokaasun talteenotto ja hyödyntäminen ovat todennetusti ympäristön kannalta kestävä ratkaisu.

Toimittaessaan jätteensä yhtiölle käsittelyyn asiakas voi olla varma toiminnan luotettavuudesta ja asianmukaisuudesta. Avoin ja läpinäkyvä toiminta heijastuu myös asiakkaan omaan toimittaja-asiakas rajapintaan. Jätteen koko keräys- ja käsittelyketju voidaan tarvittaessa avata ja luottaa siihen, että kaikki on kunnossa. Tämä tuo turvaa toimittaja-asiakkaalle ja pelkoa maineen menetyksestä ei ole.

Uusi liiketoiminta ja paikalliset investoinnit hyödyttävät ympärillä toimivaa verkostoa ja seutukuntaa. Työllistyvyys ja tarjotut liiketoimintamahdollisuudet tuovat mukanaan luottamusta herättävän vaikutelman yrityksestä. Tämä vaikutelma heijastuu myös yrityksen yhteistyökumppaneihin ja sidosryhmiin.

### 12.3.4 Symbolisen arvon tuottaminen

Jätteiden käsittelyn ns. direktiivilaitoksena Kymenlaakson Jäte Oy:n on toiminnassaan noudatettava BREF -asiakirjojen vaatimuksia parhaasta mahdollisesta tekniikasta ja päästötasoista. Uuden investoitavan tekniikan on luonnollisesti vastattava näitä vaatimuksia. Varmuus siitä, että tuotannossa sovelletaan parasta mahdollista tekniikkaa mahdollistaa asian esille tuomisen mainonnassa ja markkinoinnissa.

Jäteperäisten materiaalien kierrätysasteen nosto on yksi Kymenlaakson Jäte Oy:n keskeisistä strategisista tavoitteista. Biokaasuntuotannossa käytetyt jäteperäiset raaka-aineet voidaan laskea kierrätetyksi, mikäli prosessin käsittelyjäännökset hyödynnetään.

Avokompostointikäsittely vapauttaa orgaanisten jätteiden aerobisessa hajoamisessa ilmakehään kasvihuonekaasuja, pääasiassa hiilidioksidia. Hallittu suljettu anaerobinen käsittely mahdollistaa prosessissa hajoamistuotteena syntyvän metaanin talteenoton ja hyödyntämisen jätteestä. Liikennekaasuksi jalostettaessa yhtiön sisäisten kuljetusten ja konetöiden hiilijalanjälkeä on mahdollista pienentää käytettäessä biokaasua fossiilisten

polttoaineiden sijaan. Myös energiana hyödyntäminen heijastuu ainakin välillisesti yhtiön hiilijalanjäljen muodostumiseen.

Palvelu- ja käsittelyketjuun kuuluva toimittaja- tai loppukäyttäjäasiakas saa imagohyötyä kuuluessaan biotalouden hyödyntämisketjuun. Palveluja tarjotessaan yhteistyökumppani tai asiakas voi hyödyntää markkinoinnissaan tätä ulottuvuutta. Kierto- ja biotalous brändinä tulee olemaan tehokas keino markkinoinnissa. Tämä on avointen ja rehellisten, aitoa oikeaa työtä tekevien pieni- ja keskisuurten yritysten mahdollisuus menestyä.

## 13 TULOSTEN ARVIOINTI JA PÄÄTELMÄT

### 13.1 Kuivamädätystekniikka ja sen soveltuvuus yhtiön tarpeisiin

Biokaasuprosessien teknisiä ratkaisuja on olemassa monia erilaisia. Optimaaliset kokoonpanot vaihtelevat tapauskohtaisesti saatavilla olevien potentiaalisten syötteiden ja laitoksen perimmäisten käsittelytavoitteiden mukaan. Raaka-ainepohjan riittävyys on tärkein edellytys laitoksen ympärivuotiselle käytölle ja prosessin käsittelykapasiteetin mitoitukselle. Valittujen syötteiden yleisten ominaisuuksien perusteella voidaan eri teknisistä ratkaisuista valita niiden käsittelyyn soveltuvimmat tekniikat. Myös laitoksen energiantuottotavoite ja mädätysjäännöksen tavoitellut ominaisuudet määräävät valittavan käsittelytekniikan ominaisuuksia.

Opinnäytetyössä esitellyn problematiikan mukaisesti Kymenlaakson Jäte Oy etsii uusia vaihtoehtoja erilaisten orgaanista ainesta sisältävien jätteiden käsittelyyn. Tonnimääräisesti suurimpana yksittäisenä orgaanisena jättejakeena yhtiölle vastaanotetaan tällä hetkellä puutarhojen, puistojen ja muiden yleisten alueiden syys- ja kevätpuhdistuksista peräisin olevaa haravointijätettä. Haravointijätteen soveltuessa biokaasuprosessin raaka-aineksi, voidaan sen olettaa olevan tulevan biokaasulaitoksen pääasiallinen raaka-ainepohja. Kuivaprosesseista puhuttaessa syötteiden kuiva-ainepitoisuudet (TS) ovat tyypillisesti 20 - 40 % luokkaa ja ne ovat yleiseltä olomuodoltaan kuivia ja kasalla pysyviä syötteitä. Opinnäytetyön yhteydessä tehtyjen määrityksien perusteella haravointijätteen keskimääräinen TS -pitoisuus oli 25 % tasolla, joten olomuotonsa lisäksi se on kuiva-ainepitoisuudeltaan tyypillinen kuivaprosessiin soveltuva syöte.

Kuivaprosesseihin on mahdollista lisätä myös lietemäisempiä tai nestemäisempiä jakeita yhdistämällä ne kuivempaan syötteeseen ennen reaktoriin syöttöä tai hallitusti erillissyöttönä reaktoriin. Tämä on jopa suositeltavaa prosessin kosteustasapainon, tasaisemman hajoamisen ja paremman kaasuntuotannon optimoimiseksi. Lisäksi prosessissa muodostuvan rejektiveiden tai perkolaationesteen kierrätys takaisin prosessiin mahdollistaa edellä mainittujen tekijöiden hallinnan ja anaerobisessa hajoamisessa tarvittavan elintärkeän mikrobikannan kierrättämisen prosessissa.

Biokaasuprosesseja operoidaan yleensä mesofiilisellä (25 - 40°C) tai termofiilisellä (50 - 55°C) lämpötila-alueella. Termofiilisen prosessin selkeänä etuna mesofiiliseen verrattuna on mahdollisuus prosessin korkeampaan kuormitukseen aktiivisemmän mikrobitoiminnan myötä. Aktiivisempi mikrobitoiminta mahdollistaa syötteen lyhyemmän viipymän prosessissa, jolloin myös tarvittava reaktoritilavuus on pienempi. Orgaanisen aineksen hajoamisen on raportoitu tapahtuvan jopa 50 % tehokkaammin termofiilissä prosessissa ja tämän myötä myös metaanintuoton taso on mesofiilistä prosessia parempi. Metanogeenit, erityisesti termofiiliset, ovat erittäin herkkiä elinympäristönsä muutoksille. Pienikin muutos lämpötilassa

voi aiheuttaa niiden aktiivisuuden putoamisen ja tämän myötä metaanintuoton putoamisen. Korkeampi lämpötila tuhoaa prosessissa esiintyviä patogeeniä tehokkaammin.

Mesofiilinen prosessi on toiminnaltaan vakaampi ja helpommin hallittavissa. Prosessin lämmitykseen tarvittavan energian määrä on myös pienempi, joten mesofiilisen prosessin energiatasapainon voidaan olettaa olevan termofiilistä prosessia parempi. Alhaisemman lämpötilan ja sitä kautta vähemmän aktiivisen mikrobitoiminnan myötä syöte tarvitsee mesofiilisessä prosessissa pidemmän viipymääjan reaktorissa hajotukseen.

Jatkuvatoimiseen prosessiin syötettä lisätään ja käsittelyjäännöstä poistetaan säännöllisesti käytön aikana. Panostoimisessa prosessissa reaktori täytetään kerralla, annetaan syötteen hajota haluttu aika ja tyhjennetään reaktori. Jatkuvatoimiset kuivämädätysprosessit ovat vaativampia syötteen fysikaalisten ominaisuuksien suhteen ja vaativat panosperusteista enemmän esikäsittelyä, kuten murskaamista pienempään palakokoon ja/tai epäpuhtauksien seulontaa pois syöttestä. Näin mahdollistetaan syötteen siirtäminen prosessissa eteenpäin ruuvein, pumpuin ja lapa-sekoittajiin ja vältetään mahdolliset epäpuhtauksien tai isojen kappaleiden aiheuttamat katkokset tuotannossa. Jatkuvatoimisten reaktoreiden etuina ovat kaasun jatkuva ja tasainen tuotto, syötteen sekoittuminen ja tätä kautta tasaisempi hajoaminen prosessissa sekä mahdollisuus prosessin reaaliaikaiseen tarkempaan hallintaan ja säätämiseen. Panosperusteisen prosessin hallittavuutta ja nopeutta voidaan parantaa panoksesta suotautuvan perkolaationesteen kierrättämisellä takaisin reaktoriin ns. suotopetiprosessilla ja kaasunsaannon tehostamiseksi kerätä kaasua talteen myös perkolaationestesäiliöstä. Kaasuntuotannon jatkuvuus voidaan varmistaa asentamalla panosreaktoreita rinnan niin, että jokainen reaktoreista toimii anaerobisen hajoamisen eri vaiheessa täytön ja tyhjennyksen tapahtuessa ajallisesti eri syklissä.

### 13.1.1 Päätelmät soveltuvasta tekniikasta

Tehdyn kirjallisuusselvityksen perusteella kuivämädätystekniikan voidaan katsoa soveltuvan Kymenlaakson Jäte Oy:lle orgaanisten jätteen käsittelymenetelmäksi. Pääasialliset ja potentiaaliset syötteen ovat kuiva-ainepitoisuudeltaan ja olomuodoltaan (kuivia, kasalla pysyviä) kuivämädätykselle optimaalisia. Lisäksi kuiva-ainepitoisuudeltaan alhaisempia jakeita on mahdollisuus, ja se on jopa suositeltavaa, lisätä syötteen joukkoon tai suoraan kuivämädätysprosessiin. Tarkempi analyysi prosessiin soveltuvista syötteistä esitellään opinnäytetyön kappaleessa 13.2.

Optimaalisin kokoonpano kuivämädätyslaitokselle olisi mesofiilisellä lämpötila-alueella toimiva panosperusteinen suotopetiprosessi, jossa suotautuvaa perkolaationestettä kierrätetään takaisin reaktoriin. Laitos kannattaa varustaa useammalla panosreaktorilla kaasuntuotannon katkosten



välttämiseksi. Kaasun keräyksen tehostamiseksi perkolaationesteen keräyssäiliöstä kannattaa kerätä muodostuva kaasu talteen ja nestemäisten lisäsyötteiden lisäämiseksi suoraan prosessiin kannattaa myös varautua.

Mesofiiliselä lämpötila-alueella toimivaa laitosta puoltaa sen oletetut helpompi hallittavuus ja edullisempi energiatase. Mikäli toteutettavan laitoksen tekniikka sen sallii, olisi kuitenkin kannattavaa testata myös termofiiliselä lämpötila-alueella operointia. Orgaanisen aineksen nopeampi ja pidemmälle edennyt hajoaminen ja tämän myötä tarvittavan viipymän pieneneminen lisäisi laitoksen vuotuista käsittelykapasiteettia ja kaasuntuotantoa olennaisesti. Lisälämmityksen aiheuttama energiataseen pieneneminen ja termofiilisen prosessin herkkyys inhiboiville tekijöille vaatii kuitenkin tarkempaa tarkastelua, koekäyttöjä ja vertailua mesofiilisen menetelmän toteumaan ennen lopullista tuotantotavan valintaa.

Panosperusteista prosessia puoltaa sen vaatima vähäisempi tekniikka syötteiden esikäsittelyyn sekä prosessiin siirtämiseen ja sieltä pois. Tämä on todennäköisesti erittäin merkittävä kustannustekijä laitosten investoinnissa sekä laitoksen päivittäisessä operoinnissa. Laitoshankinnan kilpailutus kannattaa kuitenkin tehdä rajaamatta käsittelytekniikkaa liian tarkasti yhteen menetelmäkokonaisuuteen, jolloin eri toteuttamisvaihtoehtojen kustannusvertailu on mahdollista.

Kapasiteetiltaan laitos kannattaisi ensimmäisessä vaiheessa mitoittaa olemassa olevia materiaalivirtoja vastaavaksi. Käytännössä tämä tarkoittaisi Kymenlaakson Jäte Oy:n osalta noin 5 000 tonnin vuotuisen käsittelykapasiteetin omaavaa laitosta. Laitoshankinta kannattaa kuitenkin mahdollisuuksien mukaan toteuttaa niin, että se on myöhemmin laajennettavissa suuremmalle käsittelykapasiteetille. Tämä on mahdollista niin jatkuvatoimisissa kuin panosperusteisissa käsittelyvaihtoehdoissa muun muassa lisäreaktoreiden avulla. Pienen käsittelykapasiteetin laitoksen investoinnin voi mahdollistaa jo olemassa oleva vajaakapasiteetilla käyvä biokaasua hyödyntävä mikroturbiinilaitos. Investoinnin ensimmäisessä vaiheessa ei näin ollen ole välttämättä tarpeellista investoida kapasiteettia biokaasun hyödyntämiseen. Asia vaatii tarkempia kannattavuuslaskelmia tuekseen, jotta voidaan määritellä käsittelykapasiteetiltaan sopiva laitokokonaisuus erilaiset taloudelliset ja toiminnalliset riskit huomioiden.

Mesofiilinen käsittelymenetelmä ei sellaisenaan täytä kansallisia vaatimuksia lannoitevalmisteiden hygienisoitumisesta prosessissa. Hygienisointi tulee tehdä aina käsiteltäessä luokan 3 eläinperäisiä sivutuotteita. Termofiilinen prosessi täyttää sellaisenaan hygienisointivaatimuksen, kun prosessissa käsitellään ainoastaan ruokajätettä, puhdistamolietettä, lantaa tai näiden seoksia. Vain kasveja, lietelantoja ja lantoja käsittelevän laitoksen on mahdollista saavuttaa vaadittu hygienisoitumisen taso mesofiiliselä prosessilla jälkikäsittelemällä mädätysjäännös termiselä kuivauksella tai kompostoimalla. Käsiteltäessä muita kuin edellä mainittuja jakeita laitokselä, on prosessin validointi keino osoittaa käsittelyjäännöksen täyttävän

asetetut hygieniavaatimukset mesofiiliselläkin prosessilla. Validointisuunnitelmat käsittelee ja hyväksyy Suomessa Elintarviketurvallisuusvirasto EVIRA. Laitosinvestoinnin yhteydessä on syytä varautua ainakin osittaiseen syötteiden hygienisointiin (mm. rasvakaivojäte).

## 13.2 Jätejakeiden soveltuvuus kuivamädätykseen ja potentiaaliset uudet jakeet

Biokaasuprosesseihin valittavien raaka-aineiden ominaisuuksissa tulisi huomioida erityisesti niiden sisältämä orgaaninen aines, metaanintuotto-potentiaali, puhtaus sekä käsittelystä syntyvän kaasun ja mädätysjäännök-sen laatu.

### 13.2.1 Jätejakeiden soveltuvuus kuivamädätykseen

Opinnäytetyössä tutkittujen jätejakeiden orgaanisen aineksen pitoisuudet vaihtelivat 23 – 87 % välillä niiden sisältämästä kuiva-aineesta. Mitä korkeampi orgaanisen aineksen suhde on, sitä parempi syöte se oletettavasti on biokaasuprosessiin. Myös orgaanisen aineksen hajoavuudella on merkityksensä syötteen soveltuvuudessa mädätykseen. Esimerkiksi puupohjaiset syötteet hajoavat prosesseissa tuskin lainkaan niiden sisältämän ligniinin vuoksi.

Jätejakeista rasvakaivojäte (VS/TS -suhde 87 %) ja haravointijäte (VS/TS -suhde 78 %) olivat orgaanisen aineksen suhteella arvioituina soveltuvimmat raaka-aineet kuivamädätykseen. Jätevesisakan (VS/TS -suhde 55 %) ja 30mm seula-alitteen (VS/TS -suhde 23 %) orgaanisen aineksen osuudet jäivät alhaisemmiksi.

Metaanintuottopotentiaalin määrittäminen osoitti rasvakaivojätteen omaavan varsin merkittävän kaasuntuottopotentiaalin, keskimäärin 732 litraa CH<sub>4</sub>/kgVS. Nimensä mukaisesti pääsääntöisesti rasvoja orgaanisena aineena sisältävä syöte toimii tarvittaessa hyvänä tehosteena biokaasuprosessissa käsiteltäessä muita vaikeammin hajoavia syötteitä. Alhainen kuiva-ainepitoisuus mahdollistaa rasvakaivojätteen käytön prosessin kosteustasapainon säätelijänä. Tosin suurina määrinä käytettynä se voi aiheuttaa eritoten panosperusteisessa menetelmässä prosessin kosteustasapainon ylittymistä ja tarvetta poistaa ylimääräistä nestettä prosessista rejektivetenä.

Kuivamädätyslaitoksen pääasialliseksi syötteeksi kaavaillun haravointijätteen metaanintuottopotentiaali oli kokeessa keskimäärin 159 litraa CH<sub>4</sub>/kgVS. Metaanintuottoarvo vastaa kirjallisuudessa lehmän kuivalannalle esitettyjä arvoja. Kohtalaisen alhaisesta metaanintuottoarvosta huolimatta haravointijätteen säännöllinen saatavuus ja vakiintunut määrä teki siitä hyvän perussyötteen prosessille. Haravointijäte sisältää jossain määrin helpommin hajoavien lehtien ruohon ja muiden kasvein lisäksi ri-

suja ja muuta puupohjaista ainesta. Tämä selittää osaltaan alhaista metaanintuottoarvoa orgaanista ainesta kohden. Prosessissa hajoamaton puu voi kuitenkin toimia edelleen luontaisena tukiaineena jälkikompostoitessa mädätysjäännöstä, jolloin sitä ei välttämättä kannata poistaa ainakaan kokonaan syötteestä ennen prosessia.

Jätevesisakan metaanintuottoarvo oli kokeessa keskimäärin 121 litraa CH<sub>4</sub>/kgVS, mikä vastaa kirjallisuudessa lehmän lietelannalle esitettyjä arvoja. Jakeen alkuperä jätekeskuksen kaatopaikan ja käsittelykenttien hule- ja suotovesien käsittelystä asettaa kuitenkin kyseenalaiseksi sen jatkokohyödyntämismahdollisuudet lannoitevalmisteenä. Myös yhteiskäsittely tai edes erillään käsittely samassa prosessissa voi olla vaikeaa jätejakeen alkuperän vuoksi. Prosessin validointi tai laitoshyväksyntä lannoitevalmisteen tuottajana voi estää kyseisen jakeen käytön prosessissa ilman erillisiä desinfiointimenettelyjä tai käsittelylaitteistoa.

Mekaanisen lajittelulinjaston 30mm seula-alitteen metaanintuottoarvo oli kokeessa keskimäärin 99 litraa CH<sub>4</sub>/kgVS, mikä vastaa hieman yllättäen purkuivikkeiselle hevoselannalle kirjallisuudessa esitettyjä arvoja. Seulaalitteen alkuperä sekalaisen jätteen käsittelystä asettaa kuitenkin sen hyödyntämiselle biokaasuprosessissa vastaavanlaisia haasteita kuin jätevesisakalle.

Panostoimista mesofiilistä kuivamädätysprosessia mallintavassa 90 vuorokauden mittaisessa laboratoriokokeessa testattiin jätejakeista muodostettujen panosten kaasuntuotantoa ja niiden muodostaman kaasun laatua. Kokeiden panokset jaettiin jätejakeiden oletettujen puhtausasteiden perusteella niin sanottuun normipanokseen ja jäteperäiseen panokseen. Myös kaikkien jakeiden yhteiskäsittelyä testattiin sekapanoksena. Kokeeseen muodostettujen panosten seossuhteissa pyrittiin mallintamaan todellisten jätekertymien suhteita.

Haravointijätettä ja rasvakaivojätettä sisältävän panoksen kaasu sisälsi keskimäärin metaania 67 %, hiilidioksidia 31 % ja 2 % happea. Rikkivetypitoisuus panoksessa oli keskimäärin alhainen, noin 70 ppm. Tuotetun kaasun laatu vastaa mädätysprosesseissa yleensä tuotettuja arvoja, mikä tekee panoksesta varsin potentiaalisen syötteen biokaasuprosessille. Tuotetun kaasun määrä jäi kokeessa panokselle määritellystä metaanintuottopotentiaalista merkittävästi. Toteutunut metaanintuotto oli vain 22-27 % panoksen teoreettisesta maksimista. Syitä tähän pohditaan tarkemmin tulosten reliabiliteettia ja validiteettia käsittelevässä kappaleessa 13.5.

Jätepanoksen tuottama kaasu sisälsi keskimäärin 4 % metaania, 57 % hiilidioksidia ja 1 % happea. Analysoidut rikkivetypitoisuudet olivat jätepanoksessa korkeat, käytännössä yli analysaattorin määrittämissä 5000 ppm. Se, että jätepanoksesta saatiin tuotettua kokeen aikana kaasua, osoittaa anaerobista hajoamista kuitenkin reaktorissa tapahtuneen. Korkea hiilidioksidi-

pitoisuus kaasussa kertoo prosessin edenneen ainakin asido- ja/tai asetogeneesi vaiheeseen saakka. Kaasun korkea rikkivetypitoisuus taas osoittaa syötteen sisältävän runsaasti sulfaatteja. Etenkin 30mm seula-alitteen tiedetään sisältävän liukoista sulfaattia sekalaisen jätteen käsittelyssä mukana olevien kipsipohjaisten rakennusjätteiden myötä. Metaanintuotannon käynnistymättömyyttä voi selittää sulfaattia pelkistävien bakteerien aktiivinen toiminta prosessissa, jolloin metaania muodostavilla metanogeenillä ei ole mahdollisuuksia menestyä. Myös korkea vetypitoisuus muodostuneessa kaasussa voi olla syy metaanintuotannon puuttumiseen. Tällöin metaanin muodostumiseen pääasiassa tarvittavaa asetaattia ei pääse syntymään prosessissa. Suoritetun kokeen perusteella jäteperäinen panos ei sellaisenaan ole soveltuva biokaasun tuotantoon.

Sekapanoksen kaasuntuotanto käynnistyi hitaasti ja alkoi varsinaisesti vasta 42 koevuorokauden jälkeen. Tuotettu kaasu sisälsi keskimäärin 64 % metaania, 20 % hiilidioksidia ja 2 % happea. Rikkivetypitoisuudet tuotetussa kaasussa olivat matalimmillaan 3500 ppm. Hitaasta käynnistymisestä huolimatta sekapanoksen testitulokset on mielenkiintoinen. Tuotetun kaasun laatu oli varsin hyvää lukuun ottamatta korkeaa rikkivetypitoisuutta. Kaasun laatu vastaa pääosin Kymenlaakson Jäte Oy:n mikroturbiinilaitoksella hyödynnettävän kaatopaikkakaasun laatua metaaninpitoisuuden ollessa kuitenkin huomattavasti korkeampi. Sekapanoksen toteutunut metaanintuotto oli kokeen korkein, 39 % panoksen teoreettisesta maksimituotosta. Selkeästi toimivien syötteiden ja toimimattomien epäpuhtaiden syötteiden yhteiskäsittelyä kannattaa tarpeen mukaan tutkia enemmän jatkossa. Sopivien seossuhteiden löytäminen voi mahdollistaa hankalasti muullakaan tavoin hyödynnettävien orgaanista ainesta riittävästi sisältävien jakeiden käsittelyn kuivamädätysmenetelmällä esimerkiksi kaatopaikkakelpoisiksi jakeiksi, jolloin menetelmän tavoitteena olisi ensisijaisesti syötteen TOC:n alentaminen prosessin aikana, ei kaasuntuotanto. Sekapanoksen käsittelyä biokaasulaitoksessa voi kuitenkin hankaloittaa vaatimukset erilliskäsittelylaitteistoista tai desinfioinneista käsiteltäessä lannoitevalmisteeksi kelpoisia jakeita samanaikaisesti tai vuoromenettelyin. Seosmateriaaleja käsiteltäessä on hygienisointikäsittely tehtävä aina yksittäisen vaativimman materiaalin mukaan, ei varsinaisesti seoksen ominaisuuksien mukaan.

### 13.2.2 Muita kuivamädätykseen soveltuvia syötteitä

Kirjallisuusselvityksen perusteella erityisesti maataloudessa ja eläinten pidossa syntyvät sivutuotteet ovat potentiaalisia kuivamädätyksessä hyödynnettäviä syötteitä. Erilaiset lannat ja ylijäämäiset kasvibiomassat voivat monissa tapauksissa olla tilan- tai eläintuotannon rasite, johon alueellinen biokaasutusmenetelmä voi olla toimiva ratkaisu.

Lehmän liete- ja kuivalannat ovat perinteisesti hyödynnetty tilojen omien peltojen lannoituksessa, mihin lannoitevalmistelainsäädäntö antaa hieman vapaammat käytännöt. Karjatilojen on mahdollista käyttää melko vapaasti

eläintenpidon tuottamia lantoja lannoitteena laidunalueilla, omassa rehuntuotannossa ja peltoviljelyssä huomioiden kuitenkin lannoille lainsäädännössä asetetut rajoitukset varastoinnin ja levitystoimien suhteen. Isojen tilojen tai maatalousyhtymien voi olla järkevää perustaa omia tilakohaisia biokaasulaitoksia suurten paikallisten syötekertymien myötä. Edellä mainittujen seikkojen myötä lehmänlantojen hyödyntäminen kaupallisen ulkopuolisen yhteiskäsittelylaitoksen toimesta tuskin tulee olemaan tarpeellista.

Hevosenlantaa on myös mahdollisuus käyttää itse sellaisenaan tai käsiteltynä (esim. mädätys tai kompostointi) omalla tilalla tai luovuttaa sopimuksesta toiselle tilalle, jolloin toimintaa ei koske lannoitevalmistelainsäädännön vaatimukset. Hevosenlantaa voidaan myös luovuttaa vapaasti tilalta irtotavarana kuluttajille, mikäli minkään vakavan tartuntataudin tai hukkakauran leviämisen riskiä siitä ei ole. Hevostenpito on kuitenkin enää harvemmin sidoksissa varsinaiseen maatalouteen, jolloin omaa lannoitettavaa peltoa ei ole käytössä. Toiset tilat ovat varovaisia hevosenlannan käytössä lannoitteena sellaisenaan etenkin hukkakauran leviämisen riskin vuoksi. Kuluttajille suoramyyntinä luovutettavan lannan menekki voi olla varsin marginaalista ja vain osaratkaisu kertyvän lannan eteenpäin saamiseksi. Etenkin ravi- ja ratsastustallien keskittyminen entistä enemmän taajamiin tai niiden välittömään läheisyyteen aiheuttaa ongelmia lannan varastoinnin suhteen. Usein tilaa varastoinnille ei ole ( $12 \text{ m}^3/\text{hevonen}/\text{vuosi}$ ) tai sellaiselle ei rakennuslupaa kohteessa saada mm. naapurivalituksien vuoksi. Myös pienten, muutamien hevosten yksityistallien voi olla mahdoton toteuttaa suuria varastointiratkaisuja lannoille sen aiheuttamien kustannusten vuoksi. Varsinkin edellä mainituissa tapauksissa alueellisesti hevosenlantaa käsittelevälle biokaasulaitokselle voi olla kysyntää hevosenlannan tuottajien keskuudessa. Opinnäytetyössä esitetyksi hevosenlanta soveltuu kuivamädätyksen raaka-aineeksi. Siitä raportoidut metaanintuotot ovat vaihdelleet 40-170 litraa  $\text{CH}_4/\text{kgVS}$  välillä. Suuren vaihtelun hevosenlannan metaanituottopotentialille aiheuttaa sen keräämisen yhteydessä käytetty kuivike. Puu- ja turvepohjaiset kuivikkeet laskevat hevosenlannan metaanintuottoa merkittävästi, kun taas esimerkiksi olki, hampu tai muu helpommin biohajoava kuivike voi sitä lisätä.

Kasvibiomassoista etenkin niittovelvoitteiset kesanto- ja suojavyöhykenurmet, ylijäämärehut ja pilaantuneet kasvintuotantoerät ovat kiinnostava potentiaalinen syöte kuivamädätykseen. Yleisesti ottaen kasvibiomassojen metaanintuottopotentialit ovat korkeita. Kirjallisuudessa raportoidut arvot vaihtelevat 200-450 litraa  $\text{CH}_4/\text{kgVS}$  välillä kasvityypistä riippuen. Usein edellä mainituille kasvibiomassoille on tuottajan vaikea löytää hyödyntämiskohdetta, jolloin alueelliselle kasvibiomassoja hyödyntävälle biokaasulaitokselle voi olla kysyntää tuottajien keskuudessa. Varsinainen sopusviljely tai tarkoituksellinen energiakasvin tuottaminen raaka-aineeksi biokaasulaitokselle on myös vaihtoehto. Tällöin kokonaisuutta on tarkasteltava entistä enemmän syötteen biokaasulaitokselle tuovan lisäarvon

kannalta. Sopimusviljely vaatii tuottajalle maksettavaksi korvausta tuotetusta raaka-aineesta, jolloin laitoksen ansaintalogiikka vaihtuu perittävistä porttimaksuista ulos maksettavan korvauksen ja syötteen tuottaman taloudellisen hyödyn erotukseen. Korkeiden metaanintuottoarvojen lisäksi kasvibiomassojen käyttö kuivamädätysprosessissa on perusteltua kirjallisuudessa esitettyjen yhteiskäsittelyhyötyjen mukaan. Kasvibiomassojen yhteiskäyttö lisää tutkimuksien mukaan biokaasulaitoksen energiantuottoa. Lehmän liete- ja kuivalantojen kanssa tehdyissä yhteiskäsittelykokeissa on raportoitu varsin merkittäviä metaanisaantojen ja kaasuntuoton kasvuja. Tämän perusteella voi olla syytä olettaa myös kasvibiomassojen yhteiskäsittelyn esimerkiksi haravointijätteen kanssa olevan hyödyllistä.

Biokaasulaitokset käsittelevät Suomessa jo varsin kattavasti yhdyskuntien erilliskerättyjä lähinnä ruuantähteistä koostuvia biojätteitä, jotka ovat kiistatta potentiaalisia kuivamädätyslaitoksen syötteitä. Biojätteiden pääasiallisina haasteina käsittelyn kannalta ovat niiden sisältämät epäpuhtaudet ja niiden poistamiseksi vaadittava esikäsittely sekä varastointivaatimukset. Biojätteet sisältävät varsin paljon sinne kuulumattomia epäpuhtauksia, kuten muovi, lasi, metalli ja muu prosessissa hajoamaton aines. Tämän kaltaiset epäpuhtaudet on poistettava ensisijaisesti ennen prosessointia tai viimeistään sen jälkeen mädätysjäännöksen laadun varmistamiseksi. Biojätteiden lyhytaikainenkaan varastointi on käytännössä mahdotonta ilman asianmukaisia sisätiloja hajuhaittojen, haittaeläinten ja roskaantumisen vuoksi. Vaadittavat esikäsittelymenetelmät ja varastointitilat tarkoittavat tehtävälle investoinnille ja operatiiviselle toiminnalle väistämättä merkittäviä lisäkustannuksia. Biojätteiden käsittely kuivamädätyslaitoksessa vaatii perustakseen varsin suuret materiaalivirrat, turvatun porttimaksutulon ja tarkemman panos-tuotossuhteen arvioinnin. Kauppojen biojätteiden osalta niiden sisältämien epäpuhtauksien määrä moninkertaistuu. Tämän lisäksi kauppojen biojätteitä käsittelevän biokaasulaitoksen on varauduttava toiminnassaan luokan 3 sivutuotteille asetettujen määräysten toteuttamiseen.

Elintarvike-, teurastamo ja rehuteollisuudesta peräisin olevien sivutuotteiden ja jätteiden käsittely voi olla myös mahdollista. Usein kuitenkin kyseisten toimintojen materiaalivirrat ovat varsin mittavia, jolloin vastaanottoa rajoittavana tekijänä voi olla laitoksen käsittelykapasiteetti. Metaanituotopotentiaaliltaan ja muilta ominaisuuksiltaan kyseiset syötteet voivat olla varsin moninaisia. Kyseiset syötteet voivat toimia parhaimmillaan hyvinä lisäsyötteinä prosessin optimoinnissa ja käsittelykapasiteetin mitoituksessa.

### 13.2.3 Päätelmät kuivamädätyslaitokseen soveltuvista syötteistä

Tehtyjen laboratoriotutkimuksien ja kirjallisuusselvityksen perusteella suositellun kuivamädätyslaitoksen kokoonpanolle soveltuvat syötteet ovat yhteisöille vastaanotettava haravointijäte, jonka käsittelyä kannattaa täydentää

ja tehostaa rasvakaivojätteellä. Rasvakaivojätteen käsittely voidaan toteuttaa sekoittamalla syötettä muun käsiteltävän materiaalin joukkoon ennen prosessia, hallittuna erillissyöttönä reaktoriin tai näiden yhdistelminä.

Syötemateriaalien määrän turvaamiseksi ja biokaasun tuotannon tehostamiseksi yhtiön kannattaa hankkia jo vastaanotettavien syötteiden lisäksi kasvibiomassoja ja hevosensilaa biokaasulaitoksen syötteiksi. Myös yksittäisten teollisesta toiminnasta peräisin olevien syöte-erien vastaanottaminen voi olla kannattavaa. Tällöin tulee varmistua syötteen soveltuvuudesta prosessiin ja käsittelykapasiteetin riittävydestä toimitettavalle syötemäärälle.

### 13.3 Palvelun konseptointi liiketoiminnan kehittäjänä ja strategian toteuttajana

Palvelukonseptin ideoinnilla saatiin tuotettua kuivamädätyspalvelun kehittämiseen ja tuotteistamiseen tarvittavaa perustietoa. Analysoinnin avulla tunnistettiin ydinpalveluna tarjottavan kuivamädätyspalvelun keskeinen sisältö, josta palvelun tuotteistaminen saa alkunsa. Palvelun käyttötarkoitus on selkeä yhtiön toimintaympäristöön tulleiden muutoksien mukanaan tuomien tarpeiden toteuttajana. Kuivamädätyslaitos tarjoaa vaihtoehdon orgaanisten jätteiden käsittelylle toteuttaen samalla Kymenlaakson Jäte Oy:n pitkän tähtäimen strategiaa ja sen jätteiden käsittelyn tuotelinjan visiota. Yhtiö haluaa tarjota tulevaisuudessa monipuolisia ja hinta-laatu suhteeltaan parhaita käsittelypalveluita, edistää kierrätystä ja edesauttaa alueensa elinkeinotoiminnan kehittymistä.

Palvelun toteutus vaatii yhtiön organisaatiolta paljon moniammatillista osaamista ja yhteistyötä erilaisten sidosryhmien kanssa. Kuivamädätyspalveluun vaikuttavat ja sen vaikutuspiirissä olevat sidosryhmät ja asiakkuudet ovat varsin moninaiset. Sidosryhmäanalyysillä tunnistetut eri tahot ja niiden väliset vuorovaikutussuhteet kuvaavat vain osaa tästä laajasta verkostosta ja sen vaikutuksista toisiinsa. Palvelun tuotteistamisen kannalta on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää tunnistaa nämä osapuolet ja vaikutussuhteet, jotta palvelun kehittämisessä voidaan pureutua eri rajapintojen arvon tuottamiseen.

Palvelun arvontuottoanalyysillä tunnistettiin kuivamädätyspalvelun oletettu arvon tuotto yhtiön sisäisille ja ulkoisille asiakkuuksille. Asiakkaat kuitenkin itse määrittelevät sen miten kokevat palvelun arvon ja mitä hyötyä siltä tavoittelevat. Opinnäytetyössä tehty analyysi antaa yhtiölle suuntaa mihin asioihin palvelun tuotteistamisessa voisi kiinnittää huomiota suunniteltaessa palvelun toteuttamisen sisältöä.

### 13.4 Jatkotutkimustarpeet ja tulosten käyttäminen kehitystyöhön

Biokaasulaitokselle optimaalisen laitteisto- ja syötekoonpanon löytäminen on parhaimmillaan jatkuva prosessi. Kerättyjen käsittelykokemusten

ja erikseen suoritettujen koeajojen perusteella voidaan laitoksen tuotantoa kehittää ja parantaa jatkuvasti. Valitun käsittelytekniikan jatkokehitys kannattaa toteuttaa yhteistyössä valitun laitostoimittajan kanssa sekä tutustumalla alan muiden toimijoiden toteuttamiin ratkaisuihin. Uusien innovaatioiden käyttöönotto ja prosessia parantavien lisä- tai muutososien vaatii jatkuvaa perehtymistä alan uusimpaan tekniikkaan ja tutkimustoimintaan. Muiden toimijoiden käytännössä toimiviksi toteamien laitteiden, käsittelytekniikoiden ja käsittelymenetelmien soveltamisen lisäksi toimintaa voi kehittää itse toteutetulla projektiluontoisella koe- ja tutkimustoiminnalla.

Syötteiden esikäsittelyn ja yhteiskäsittelyn tarvetta ja hyötyjä kannattaa tutkia systemaattisesti laboratoriotutkimuksin ja mahdollisuuksien mukaan käytännön koetoiminnalla. Syötteiden fysikaalisten ominaisuuksien muokkaaminen muun muassa mekaanisesti murskaamalla ja/tai seuloamalla pienemmän palakoon saavuttamiseksi ja epäpuhtauksien poistamiseksi todistetusti parantaa eritoten prosessin hydrolyysivaiheen käynnistymistä ja etenemistä. Syötteen homogenisointi parantaa usein syötteen tasaisempaa ja täydellisempää hajoamista ja tämän myötä myös metaanintuotantoa. Säilörehumenetelmän on tutkimuksissa todettu parantavan kasvien metaanintuottopotentiaalia noin 20 % verrattuna tuoreina varastoituihin kasveihin. Esikäsittelymenetelmiä tutkittaessa on erityisesti huomioitava sen tarkoituksenmukaisuus. Paljon energiaa, resursseja ja/tai kalliita raaka-aineita vaativa esikäsittely voi osoittautua kalliimmaksi kuin siitä saatava hyöty metaanintuottona. Erilaisia yhteiskäsittelyreseptejä voidaan etsiä laboratoriomittakaavan kokeilla ja laitoksen käsittelyresurssien mukaan käytännön koetoiminnalla tuotannossa.

Laboratoriokokeissa mielenkiintoiseksi osoittautunut jäteperäisten materiaalien yhteiskäsittely hyvälaatuista biokaasua tuottavien jakeiden kanssa vaatii ehdottomasti lisätutkimuksia. Sekakäsittelyn vaatimat erityistoimenpiteet ja riskit prosessille, kuten erilliskäsittely muusta materiaalista käsittelylaitoksen desinfiointivaatimukset käytön jälkeen ja mahdolliset prosessilaitteistoja vahingoittavat tekijät, on tunnistettava ennen laitosmittakaavan koeajoja. Uusituilla laboratoriotutkimuksilla voidaan perehtyä tarkemmin jäteperäisten materiaalien käyttäytymiseen anaerobisessa prosessissa. Tarkemmalla analyysillä voidaan tunnistaa mitkä tekijät estävät metaanikaasun muodostumisen jätemateriaaleista ja eri seossuhteisten sekapanosten tulosten vertailulla voidaan etsiä optimaalista käsittelyreseptiä sekapanokselle. Tärkeä tunnistettava tekijä on myös yhteiskäsittelystä syntyvän mädätysjäännöksen ominaisuudet, jotta voidaan arvioida sen mahdolliset jatkokäsittelyvaihtoehdot.

Palvelukonseptin kehitystyö ja tuotteistamisen toteuttaminen kannattaa tehdä projektiluontoisesti hyödyntäen työpajatyöskentelyn erilaisia malleja. Palvelun tuotteistamiselle ei ole olemassa selkeää oppikirja mallia, vaan yritys voi kehittää toimintaansa sekä pienin askelin normaalin työn ohessa että selkeinä erillisinä hankkeina. Tärkeintä tuotteistamisessa on



kuitenkin palvelun säännöllinen arviointi ja jatkuva prosessointi. Toimintaympäristön, asiakastarpeiden ja yhtiön oman tilanteen muutoksiin on tarpeellista reagoida ajoissa ja oikealla tavalla. Kehittämisen ohjenuorana tulisi muistaa sen yhteys yhtiön tahtotilaan ja liiketoimintastrategian tavoitteisiin. Asiakas- toimittaja- ja sidosryhmärajapintojen tarpeiden analysoimiseksi olisi hyvä teettää markkina- ja kyselytutkimuksia sekä toimintaympäristön muutoksia ennakoivia selvityksiä. Kehitystoiminnan resurssointi on myös tärkeää. Oman organisaation tueksi on käytettävä tarpeen mukaan ulkopuolista apua niin käytännön kehitystyöhön kuin taustaselvityksiinkin.

### 13.5 Tulosten reliabiliteetti ja validiteetti

Soveltuvan mädätystekniikan valintaan vaikuttavat useat eri osatekijät. Tässä opinnäytetyössä soveltuvan tekniikan määrittely pohjautui lähinnä kuivamädätysprosesseihin soveltuvien syötteiden saatavuuteen, tiedossa olevaan Kymenlaakson Jäte Oy:n infrastruktuuriin ja käytävissä oleviin resursseihin. Biokaasulaitoksen hankinnassa suuri merkitys on myös investointia tekevän tahon investointikyvyllä ja riskinottohalukkuudella. Suuremman mittakaavan ja monimutkaisemman tekniikan laitos voi olla perusteltua toteuttaa, mikäli hankinnan tueksi kartoitetaan ja varmistetaan riittävä raaka-ainepohja ja hankinnan tueksi tehdään asianmukaiset investointilaskelmat. Asetettu tavoite selvittää käsittelymenetelmä jo olemassa oleville jäte- ja raaka-ainevirroille, operoida sitä pääosin nykyisillä työkone- ja henkilöstöresursseilla sekä hyödyntää laitoksen tuottama kaasu olemassa olevalla mikroturbiiniresursseilla vaikuttivat opinnäytetyöntekijän suosittelemaan ratkaisumalliin.

Laboratoriokokeisiin valittujen syötteiden näytteenotto toteutettiin Kymenlaakson Jäte Oy:n henkilöstön toimesta. Valitut näytteet pyrittiin ottamaan kattavasti ja puolueettomasti niin, että ne kuvaavat syötemateriaalin keskimääräisiä ominaisuuksia. Täysin syötettä kuvaavan näytteen ottaminen on kuitenkin käytännössä mahdotonta, johtuen jätemateriaalien moninaisesta alkuperästä useilta eri toimittajilta ja useista eri kohteista. Näytteenottoajankohdalla voi olla myös merkitystä näytteiden ominaisuuksiin. Varsinkin haravointijätteen ominaisuudet voivat vaihdella suuresti eri vuodenaikojen välillä. Eri näytteenotto- ja analysointikerralla on siis mahdollista saada erilainen lopputulos tämän opinnäytetyön tutkimukseen verrattuna.

Metaanintuottopotentiaalien määrittämisessä käytettiin standardoitua testimenetelmää (VDI 4630, 2006) ja kaupallista metaanintuottopotentiaalimäärittämiseen valmistettua laitteistoa, joten siitä saatua tulosta voidaan pitää varsin luotettavana. Panosperusteista kuivamädätysprosessia mallintava koejakso toteutettiin muuntamalla alun perin laboratoriomittakaavan täyssekoitteiset märkämädätysreaktorit panosperusteisiksi kuivamädätysreaktoreiksi. Kyseessä oli reaktoreihin aiemmin toteuttamaton muutos, joten niiden toimivuudesta koetoiminnassa ei ollut kokemuksia. Panosten

toimimattomuus kokeessa, yhden panoksen äkkikuolema ja normipanoksen alhainen metaanintuoton toteuma potentiaalista voi johtua siitä, että koereaktoreihin ei saatu toteutettua optimaalisia olosuhteita anaerobiselle hajoamiselle. Kokeen tuloksia voidaan pitää jossain määrin epäluotettavina, koska rakennetuilla reaktoreilla ei oletettavasti pystytty mallintamaan panosten käyttäytymistä niille optimaalisessa elinympäristössä. Toteutuneiden kaasuntuotantojen ja kaasujen laatuanalyysien perusteella voitiin kuitenkin tehdä johtopäätöksiä syötteiden soveltuvuudesta kuivämädätysprosessiin. Biokaasuprosessien käynnistymiselle ja toiminnalle on myös olennaista prosessityypille ja syötteille erikoistuneen mikrobiympin käyttäminen prosessin herätteenä. Tämä ei ollut mahdollista, koska aiempaa koetoimintaa ei ollut toteutettu reaktoreilla saati testatuilla syötteillä.

Palvelukonseptin ideoinnin sekä sidosryhmä- ja arvontuottoanalyysien tulos perustui ainoastaan opinnäytetyön tekijän näkemykseen aiheista. Opinnäytetyön kuluessa kerätty tieto ja tekijän aiempi kokemus koostettiin analyysiin ja ei edusta koko totuutta aiheesta. Todellisemman analysoinnin tueksi tulisi hyödyntää toimeksiantajan organisaation moniammatillista osaamista esimerkiksi haastatteluin, kyselyin tai työpajaideoinnin kautta. Myös ulkoista tutkimus- ja asiantuntijatietoa tulisi hyödyntää analyysitulosten tuottamiseksi. Analyysien perimmäisenä tarkoituksena olikin tuottaa ajatuksia herättävää aineistoa, työskentelymalleja ja perustietoa varsinaisen palvelukonseptoinnin ja tuotteistamisen tueksi.

## LÄHTEET

Alatalo, T. 2013. Olkibiomassa biokaasulaitoksen raaka-aineena. Tampereen teknillinen yliopisto. Biotekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

Carrington, E.G. 2001. Evaluation of Sludge treatments for pathogen reduction – Final report. Study for the European Commission Directorate-General Environment. Report No. CO 5026/1.44. Viitattu 8.1.2017.  
[http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/sludge\\_eval.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/sludge_eval.pdf).

CEWEP Confederation of European Waste-to-Energy plants. 2016. Municipal Waste Treatment in 2014. Viitattu 30.10.2016.  
[http://cewep.eu/information/data/graphs/m\\_1486](http://cewep.eu/information/data/graphs/m_1486)

Deublein, D. & Steinhauser, A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. Weinheim, Saksa: WILEY-WHC Verlag GmbH & Co.

Eurostat. 2016. Pressrelease 56/2016. 22.3.2016. Viitattu 30.10.2016.  
<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7214320/8-22032016-AP-EN.pdf/eea3c8df-ce89-41e0-a958-5cc7290825c3>

Harikishan, S. 2008a. Pretreatment of High-Solids Wastes/Residues to Enhance Bioenergy Recovery. Teoksessa Khanal S.K. (toim.) Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Iowa, USA: John Wiley & Sons, Ltd, 247-265.

Harikishan, S. 2008b. Biogas Processing and Utilization as an Energy Source. Teoksessa Khanal S.K. (toim.) Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Iowa, USA: John Wiley & Sons, Ltd, 267-291.

Jaakkola, E., Orava, M. & Varjonen, V. 2009. Palvelujen tuotteistamisesta kilpailuetua. Opas yrityksille. Helsinki. TEKES.

Jaakkola, U. 2015. Biokaasutuotannon raaka-aineiden esikäsittely. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisu 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 48-57.

Jätelaki 646/2011. 17.6.2011

Jäteverolaki 1126/2010. 17.12.2010

Khanal, S.K. 2008a. Microbiology and biochemistry of anaerobic biotechnology. Teoksessa Khanal S.K. (toim.) Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Iowa, USA: John Wiley & Sons, Ltd, 29-41.

Khanal, S.K. 2008b. Environmental Factors. Teoksessa Khanal S.K. (toim.) Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Iowa, USA: John Wiley & Sons, Ltd, 43-61.

Khanal, S.K. 2008c. Overview of Anaerobic Biotechnology Teoksessa Khanal S.K. (toim.) Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Iowa, USA: John Wiley & Sons, Ltd, 1-25.

Kymenlaakson Jäte Oy, 2014. Pitkän tähtäimen strategia 2025.

Kymenlaakson Jäte Oy, 2015. Palveluja ja kohtaamisia. Vuosikertomus 2015.

Kymenlaakson Jäte Oy, 2016a. Vuoden 2016 jätteenkäsittelyn tunnuslukuja.

Kymenlaakson Jäte Oy, 2016b. Toimintapolitiikka. Viitattu 5.2.2017  
<http://kymenlaaksonjate.fi/fi/Yhti%C3%B6/Toimintapolitiikka>

Kymenlaakson Jäte Oy, 2016c. Toimintajärjestelmä. Tuotantoprosessikuvaukset.

Kymäläinen, M. 2015a. Anaerobinen hajoaminen ja sen hallinta biokaasu-reaktorissa. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 59-81.

Kymäläinen, M. 2015b. Biokaasutuotannon raaka-aineet. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 21-45.

Kymäläinen, M., Kannisto, L. & Salmela, M. 2014. Lietemädättämöjen tehostaminen lietesakeutta nostamalla. Vesitalous 6/2014 27-30.

Laki eläimistä saatavista sivutuotteista 517/2015. 24.4.2015.

Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 1397/2016. 29.12.2016.

Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005. 3.6.2005.

Lannoitevalmistelaki 539/2006. 29.6.2006.

Lampinen, A. 2015. Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet,

prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisu 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 124-171.

Lampinen, A & Rautio E. 2015. Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisu 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 124-171.

Latvala, M. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen Ympäristö 24/2009. Helsinki: Suomen ympäristökeskus

Lehtomäki, A. 2006. Biogas Production from Energy Crops and Crop Residues. University of Jyväskylä. Department of Biological and Environmental Science. University Library of Jyväskylä. Väitöskirja

Lehtomäki, A-M., Paavola M., Luostarinen, S. & Rintala J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen -raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. Viitattu 10.12.2016.

<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/47694/978-951-39-3075-2.pdf?sequence=1>

Luostarinen, S., Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M. 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. HYÖTYLANTA-tutkimusohjelman loppuraportti. MTT raportti 21. Jokioinen: MTT.

Luostarinen, S., Paavola, T., Ervasti, S., Sipilä, I. & Rintala, J. 2011. Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat. MTT raportti 27. Jokioinen: MTT.

Luostarinen, S. 2013. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset. Teoksessa Luostarinen S. (toim.) Biokaasuteknologia maatiloilla I. MTT raportti 113. Jokioinen: MTT, 68-81.

Luostarinen S. & Pyykkönen, V. 2013. Biokaasuteknologian perusteet. Teoksessa Luostarinen S. (toim.) Biokaasuteknologia maatiloilla I. MTT raportti 113. Jokioinen: MTT, 10-20.

Luostarinen, S. 2015a. Biokaasuprosessit ja laitostaseet. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisu 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 82-93.

Luostarinen, S. 2015b. Biokaasutuotannon raaka-aineet. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet,

prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisu 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 32-39.

Luostarinen, S. 2015c. Biokaasutuotannon raaka-aineiden esikäsittely. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisu 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 48-50.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevien rakentamismääräysten ja suositusten soveltamisesta 763/2009. Liite 12 MMM-RMO C4. 13.10.2009

Madigan M.T., Martinko J.M. & Parker J. 2000. Brock Biology of Microorganisms Ninth Edition. New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc.  
Bitton, G. 1999. Wastewater microbiology. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, inc.

Mata-Alvarez, J., Mace', S. & Llabre's, P. 2000. Anaerobic digestion of organic solid Wastes. An overview of research achievements and perspectives. Bioresource Technology 74 (2000) 3-16. Department of Chemical Engineering. University of Barcelona. Barcelona, Spain.

Metener Oy. 2015. Kuivämädätyskokeet Kymenlaakson Jäte Oy:n syöte-seoksella, loppuraportti 27.7.2015. Leppävesi.

Paavola, T. 2015. Mädätysjäätöksen käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisu 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 94 – 113.

Prokkola, H. Kuokkanen, T. & Lassi U. 2012 Highbio2 2011-2013 Biomassasta energiaa ja kemikaaleja. Oulun yliopisto. Kemian laitos. Viitattu 30.10.2016.

[https://ciweb.chydenius.fi/project\\_files/HighBio2-Info/INFO%20HighBio2%20F%203-4%20Anaerobinen%20hajoaminen.pdf](https://ciweb.chydenius.fi/project_files/HighBio2-Info/INFO%20HighBio2%20F%203-4%20Anaerobinen%20hajoaminen.pdf)

Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 1993/31/EC on the landfill of waste: COM(2015)594final. Viitattu 23.10.2016 <http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/HTML/?uri=COM:2015:594:FIN&from=EN>

Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE THE COUNCIL amending Directive 2008/98/EC on waste: COM(2015) 595 final. Viitattu 22.10.2016.

<http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1453384548330&uri=CELEX:52015PC0595>

Saastamoinen, M. 2014. HORSEMANURE -hevosenlannan käsittely ja hyödyntäminen ravinteiden kierrätyksen tehostamiseksi. Loppuraportti 9.12.2014. MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus ja TTS työteho-seura.

Salminen, V. 2016. Palvelut ja tuotteistaminen lyhyissä arvoketjuissa. Hämeen ammattikorkeakoulu, Moodle. Viitattu 14.3.2017.  
<https://moodle.hamk.fi>

Schnürer, A. & Jarvis, Å. 2009. Microbiological Handbook for Biogas Plants. Avfall Sverige development U2009:03. Viitattu 26.11.2016  
[http://www.emrg.it/Lezioni\\_Energia\\_Rinnovabile/Microbiological\\_handbook\\_for\\_biogas.pdf](http://www.emrg.it/Lezioni_Energia_Rinnovabile/Microbiological_handbook_for_biogas.pdf)

Tampio, E., Virkkunen, E., Heikkinen, P., Hietaranta, M & Saastamoinen, P. 2014. Hevosenlanta tuottaa biokaasua. Koeraportti. Maataloustieteen päivät 2014.

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013. 2.5.2013

Valtioneuvoston asetus jätteistä 179/2012. 19.4.2012

Valtioneuvoston kirjelmä eduskunnalle ehdotuksista Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiveiksi (jätedirektiivien muuttaminen). U 27/2015vp. 28.1.2016

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. 27.4.2014

**Kuvalähteet:****Kuva 14:**

Kymenlaakson Jäte Oy. 2016. Kouvolan Vesi Oy:n jatkuvatoiminen, täyssekoitteinen, kaksivaiheinen märkäprosessiin perustuva biokaasulaitos Kouvolaissa.

**Kuva 15:**

BioGTS Oy. 2016 Kuva 2. Haminan Energia Oy:n tulppavirtausmenetelmään perustuvan biokaasulaitoksen modulaarisesti rinnan toimivat reaktorit Virolahdella. Viitattu 18.12.2016.

<http://www.biogts.fi>

**Kuva 16:**

Metener Oy. 2016. Havainnekuva panostoimisesta suotopetireaktorilla varustetusta biokaasulaitoksesta. Viitattu 18.12.2016.

<http://www.metener.fi>

**Kuva 17:**

Bekon GmbH. 2016. Havainnekuva panosperusteisen suotopetiprosessin toiminnasta. Viitattu 18.12.2016

<http://www.bekon.com>

**Kuva 18:**

Qindao Haiyan Environmental Technical engineering Co., Ltd. 2016. UASB ja IC reaktoreiden toimintaperiaate. Viitattu 18.12.2016

<http://www.hyetc.com>

**Kuva 36:**

Kymäläinen, M. 2015b. Biokaasutuotannon raaka-aineet. Teoksessa Kymäläinen M. & Pakarinen O. (toim.) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisu 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 21-45.




YMPÄRISTÖLUVANVARAISET TOIMINNOT JÄTTEIDEN AMMATTIMAISESSA TAI LAITOSMAISESSA KÄSITTELYSSÄ

TAULUKKO 1 Direktiivilaitokset	TAULUKKO 2 Muut laitokset
	e) Kemikaaliratapiha tai terminaali, jossa siirretään terveydelle tai ympäristölle vaarallisia kemikaaleja kuljetusvälineestä toiseen tai varastoon taikka varastosta kuljetusvälineeseen, ei kuitenkaan kappaletavaran siirtäminen
<b>13. Jätteiden ammattimainen tai laitosten käsittely sekä jätevesien käsittely</b>	<b>13. Jätteiden ammattimainen tai laitosten käsittely sekä jätevesien käsittely</b>
a) Jätteiden käsittely jätteenpolttolaitoksissa tai jätteen rinnakkaispolttolaitoksissa, joiden kapasiteetti muiden kuin vaarallisten jätteiden osalta ylittää 3 tonnia tunnissa ja vaarallisten jätteiden osalta ylittää 10 tonnia vuorokaudessa	a) Kiinteää tai nestemäistä jätettä polttava jätteenpolttolaitos tai jätteen rinnakkaispolttolaitos, jonka kapasiteetti muiden kuin vaarallisten jätteiden osalta on enintään 3 tonnia tunnissa ja vaarallisten jätteiden osalta enintään 10 tonnia vuorokaudessa
b) Ruhojen tai eläinperäisen jätteen loppukäsittely tai kierrätys käsittelykapasiteetin ylittäessä 10 tonnia vuorokaudessa	b) Laitos, jonka ruhojen tai eläinperäisen jätteen käsittelykapasiteetti on enintään 10 tonnia vuorokaudessa
c) Taulukon 1 mukaisen laitoksen jätevesien erillinen jätevedenpuhdistamo, joka ei kuulu yhdyskuntajätevesien käsittelystä annetun direktiivin 91/271/ETY soveltamisalaan	c) Muu kuin taulukon 1 kohdassa 13 c tarkoitettu teollisuuden erillinen jätevedenpuhdistamo, jossa käsitellään taulukossa 2 tarkoitettujen toimintojen prosessijätevesiä
d) Vaarallisten jätteiden käsittely, kun kapasiteetti ylittää 10 tonnia vuorokaudessa ja joka sisältää yhden tai useamman seuraavista toiminnoista: biologinen käsittely — fysikaalis-kemiallinen käsittely yhdistäminen tai sekoittaminen ennen taulukon 1 kohdissa 13 a ja d lueteltuja muita toimintoja uudelleenpakkaaminen ennen taulukon 1 kohdissa 13 a ja d lueteltuja muita toimintoja — liuottimien talteenotto tai regenerointi muun epäorgaanisen materiaalin kuin metallien tai metalliyhdisteiden kierrätys tai talteenotto happojen tai emästen regenerointi pilaantumisen torjumiseksi käytettyjen aineiden hyödyntäminen — katalyyttien ainesosien hyödyntäminen öljyn uudelleenjalostaminen tai muu uudelleenkäyttö — maanvarainen allastaminen	
e) Muiden kuin vaarallisten jätteiden loppukäsittely, kun kapasiteetti ylittää 50 tonnia vuorokaudessa, mukaan luettuna yksi tai useampi seuraavista toiminnoista ja lukuun ottamatta yhdyskuntajätevesien käsittelystä annettuun direktiivin 91/271/ETY kuuluvia toimintoja:	

TAULUKKO 1 Direktiivilaitokset	TAULUKKO 2 Muut laitokset
<ul style="list-style-type: none"> <li>— biologinen käsittely fysikaalis-kemiallinen käsittely jätteen esikäsittely polttoa tai rinnakkais- polttoa varten</li> <li>— kuonan ja tuhkan käsittely metallijätteen käsittely leikkureilla, mu- kaan lukien sähkö- ja elektroniikkalaitte- romu sekä romuajoneuvot ja niiden osat</li> </ul>	
<p>f) Muiden kuin vaarallisten jätteiden hyödyntä- minen tai hyödyntämisen ja loppukäsittelyn yh- distelmä, kun kapasiteetti ylittää 75 tonnia vuoro- kaudessa, mukaan luettuna yksi tai useampi seuraavista toiminnoista ja lukuun ottamatta yh- dyskuntajätevesien käsittelystä annettuun direk- tiivin 91/271/ETY kuuluvia toimintoja:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>biologinen käsittely jätteen esikäsittely polttoa tai rinnakkais- polttoa varten</li> <li>— kuonan ja tuhkan käsittely metallijätteen käsittely leikkureilla, mu- kaan lukien sähkö- ja elektroniikkalaitte- romu sekä romuajoneuvot ja niiden osat</li> </ul> <p>Jos ainoa jätteidenkäsittelytoiminta on anaerobi- nen käsittely (mädätys), tämän toiminnan kapasi- teettia koskeva raja-arvo on 100 tonnia vuoro- kaudessa</p>	
<p>g) Kaatopaikat, joihin tuodaan enemmän kuin 10 tonnia jätettä vuorokaudessa tai joiden kokonais- kapasiteetti on enemmän kuin 25 000 tonnia, lu- kuun ottamatta pysyvän jätteen kaatopaikkoja</p>	j
<p>h) Vaarallisen jätteen, johon taulukon 1 kohtaa 13 g ei sovelleta, väliaikainen varastointi ennen taulukon 1 kohdissa 13 a, d, g ja i lueteltua toi- mintaa, kun kokonaiskapasiteetti on enemmän kuin 50 tonnia, lukuun ottamatta väliaikaista va- rastointia keräilyä aikana paikassa, jossa jätte tuotetaan</p>	
<p>i) Vaarallisen jätteen maanalainen varastointi, kun kokonaiskapasiteetti on enemmän kuin 50 tonnia</p>	
	<p>d) Yhdyskuntajätevesien käsittely ja johtaminen, kun kyse on asukasvastineluvultaan vähintään 100 henkilön jätevesien käsittelemisestä</p>
	<p>e) Kaivannaisjätteen jätealue</p>
	<p>f) Muu kuin taulukon 2 kohdissa 13 a, b ja e tar- koitettu jätelain soveltamisalaan kuuluvan jätteen käsittely, joka on ammattimaista tai laitosmaista</p>

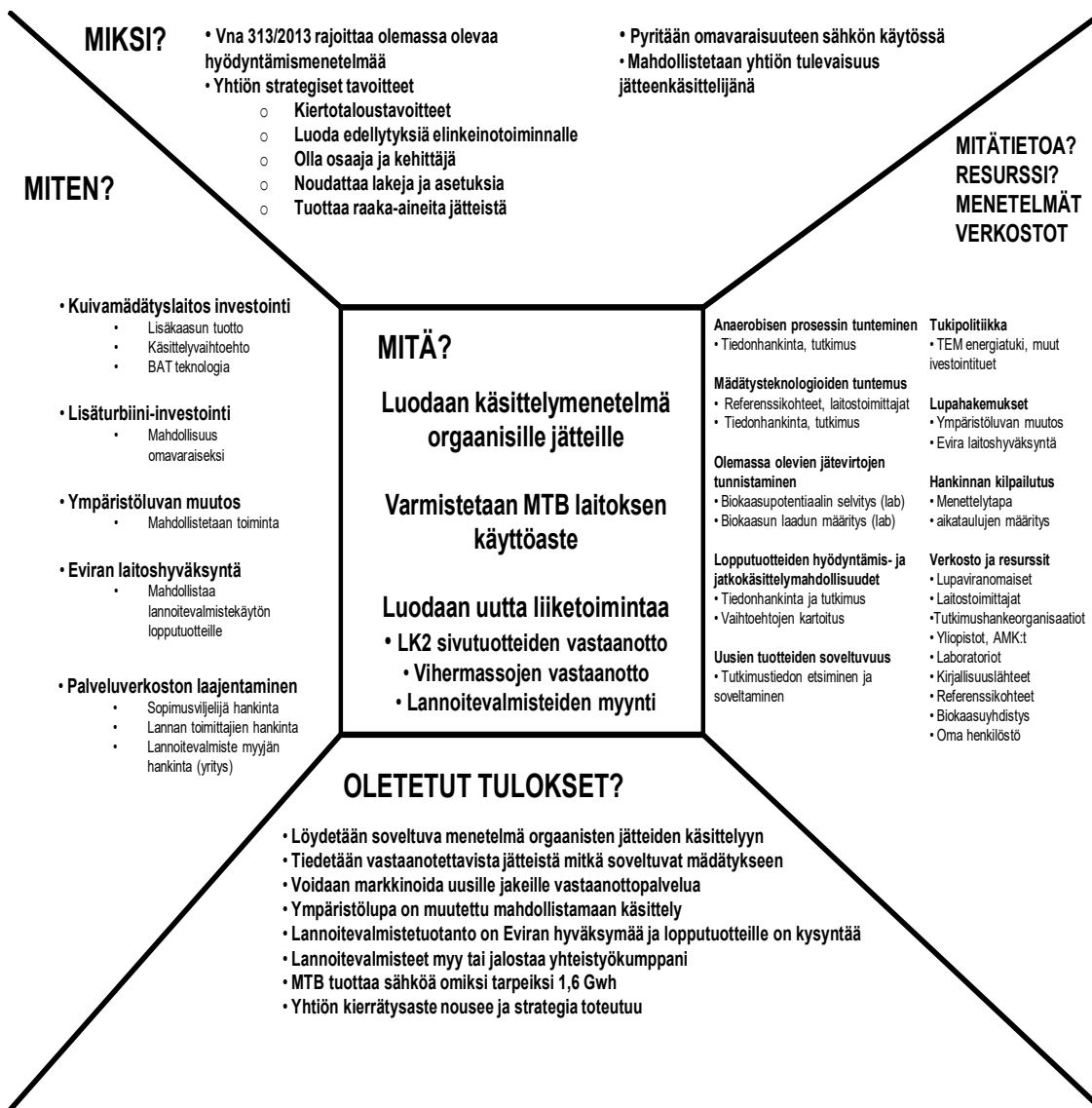
## PERUSMÄÄRITTELYLOMAKE KAATOPAIKKAKELPOISUUDEN ARVIOINTIA VARTEN

		<b>PERUSMÄÄRITTELY</b> <b>JÄTTEEN KAATOPAIKKAKELPOISUUDESTA</b>
<b>SELVITYKSEN TEKIJÄ</b>		
Nimi tai toimimi		Y-tunnus
Osoite		Postinumero ja postitoimipaikka
Yhdyshenkilön nimi	Puhelin	
Sähköposti	Faksi	
<b>JÄTTEEN TUOTTAJAA/HALTIJAA KOSKEVAT TIEDOT</b>		
Jätteen tuottajan/haltijan nimi		
Osoite	Laskutusosoite	
Jätteen toimialue	Jätteen ku(j)ettaja	
<b>PROSESSIKUVAUS</b>		
Kuvaus prosessista, jossa jäte on syntynyt. Pidempi selvitys liitteeksi.		
<b>PROSESSI- JA TUOTANTOJÄTETTÄ KOSKEVAT TIEDOT</b>		
Jätteen koostumus ja tarvittaessa luokitusominaisuudet		
Jätteen haju, väri, fyysinen olomuoto ja muut vastaavat ominaisuudet	Jätteenimike (ewc-koodi)	
Vaarallista jätteestä (jätteistä annettun vaarallisuuden asteikun liitteen 3) mukaiset pääasialliset vaarominaisuudet. Ks. lomakkeenäyttöohje.		
Tiedot sen selvittämiseksi, että jätteen sijoittaminen ei ole 14 ja 15 §:n vastaisia eikä jätteen sijoittaminen ole muutoinkaan kielletty. Ks. lomakkeenäyttöohje.		
Kaatopaikan luokka, jonka mukaiselle kaatopaikalle jäte voidaan hyväksyä (tavallinen, pysyvä vai vaarallisen jätteen kaatopaikka)	Jätteen muuttuminen kaatopaikalle ja siihen liittyvät mahdollisesti tarvittavat lisätoimet.	
<b>ESILAJITTELU</b>		
Selvitys (15 §:n mukaisesti) toteutusta jätteen esikäsittelystä tai siitä, miksi esikäsittelyä ei pidetä mahdollisena tai tarpeellisena. Ks. lomakkeenäyttöohje. Pidempi selvitys liitteeksi.		
<b>JÄTTEEN HYÖDYNTÄMINEN</b>		
Jätteen kierrätys- tai muut hyödyntämismahdollisuudet. Selvitys liitteeksi.		
<b>TOIMITUKSESTA VASTAAVAN HENKILÖN ALLEKIRJOITUS</b>		
Pakka	Päivämäärä	
Allekirjoitus	Nimen selvitys	
Puhelin	Sähköposti	
<b>KYMENLAAKSON JÄTE TÄYTTÄÄ</b>		
VASTAANOTON HYVÄKSYMINEN	<input type="checkbox"/> Hyväksytty <input type="checkbox"/> Ei hyväksytty	
TUOTE:	PERUSTE:	
Päivämäärä	Allekirjoitus ja nimen selvitys	

## JÄTEJAKEIDEN TS- JA VS –PITOISUUKSIEN MÄÄRITYS KUIVAMÄDÄTYSKOKEESSA

TS-pitoisuus	Maljan paino	Maljanmäärä	Näytettä	Haidutuksen jälkeen	Näytettä	TS%	Hajonta	VS-pitoisuus			Keskiarvo	VS%-näytteestä			VS% kuiva aineesta		
								Paino	Tuhkaa	Orgaanista		%	Hajonta	Keskiarvo	%	Hajonta	Keskiarvo
Näyte	56,2559	58,4957	2,2398	56,4865	0,2306	10,30 %		56,36	0,10	0,13	5,78 %	56,16 %					
	59,4457	65,4533	6,0076	60,0612	0,6155	10,25 %	0,161	59,71	0,27	0,35	5,77 %	56,34 %	0,08 %	56,24 %	56,25 %		
	33,4249	38,2283	4,8034	33,9196	0,4947	10,30 %		33,64	0,22	0,28	5,79 %						
Haravointijäte	56,8676	60,7535	3,8859	58,0431	1,1755	30,25 %	0,604	57,49	0,63	0,55	14,14 %	46,73 %	9,60 %	70,23 %	58,75 %		
	54,242	62,4808	7,9388	56,5239	2,2819	28,74 %		54,92	0,68	1,60	20,19 %	16,90 %					
	55,8759	59,0563	3,1804	56,7548	0,8789	27,63 %		56,23	0,36	0,52	16,38 %						
Rasvakaivojäte	58,3399	61,5644	3,2245	58,908	0,5681	17,62 %		58,35	0,01	0,56	17,32 %	98,31 %	0,31 %	99,08 %	98,67 %		
	58,4888	62,2746	3,7858	59,4416	0,9528	25,17 %	0,168	58,50	0,01	0,94	24,94 %	18,93 %					
	35,0848	39,3661	4,2813	35,7158	0,631	14,74 %		35,09	0,01	0,62	14,54 %						
30mm alite	35,0863	40,0819	4,9956	37,9728	2,8865	57,78 %		37,20	2,11	0,77	15,49 %	26,81 %	5,82 %	20,31 %	27,22 %		
	57,123	63,4513	6,3283	60,948	3,825	60,44 %	0,433	60,17	3,05	0,78	12,28 %	15,46 %					
	54,7626	60,2011	5,4385	57,6926	2,93	53,88 %		56,68	1,92	1,01	18,61 %						
Ympäri	27,3566	32,3293	4,9727	27,4044	0,0478	0,96 %		27,40	0,04	0,01	0,18 %	0,68 %	17,33 %	54,81 %	42,91 %		
	27,1797	30,4288	3,2491	27,2348	0,0551	1,70 %	0,004	27,20	0,02	0,03	0,93 %						
	32,6874	36,0902	3,4028	32,7445	0,0571	1,68 %		32,71	0,03	0,03	0,93 %						

## PALVELUKONSEPTIN IDEOINNIN TÄYTETTY TYÖPOHJA



## SIDOSRYHMÄANALYYSIN TÄYTETTY TYÖPOHJA

