

Bioenergiakeskuksen julkaisusarja  
(BDC Publications)  
Nro 46



# **BIOKAASULAITOKSEN PERUSTAMINEN KASVIHUONETILALLA**

**Taustatietojen selvitys**

**Asmo Erjava**

**Opinnäytetyö  
Toukokuu 2009**



**JYVÄSKYLÄN  
AMMATTIKORKEAKOULU**

*Luonnonvaraininstituutti*

Tekijä(t)  <b>ERJAVA, Asmo</b>	Julkaisun laji <b>Opinnäytetyö</b>	
	Sivumäärä <b>83</b>	Julkaisun kieli <b>Suomi</b>
	Luottamuksellisuus	
Työn nimi <b>Biokaasulaitoksen perustaminen kasvihuonetilalla – Taustatietojen selvitys</b>		
Koulutusohjelma <b>Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma</b>		
Työn ohjaaja(t) <b>TURUNEN, Mika &amp; TUKIA, Jaakko</b>		
Toimeksiantaja(t) <b>Rönkön puutarhat Oy, biokaasuhanke</b>		
Tiivistelmä  <p>Kasvihuonetuotanto tarjoaa erinomaisen kohderyhmän energiansäästön ja uusiutuvan energian edistämiseksi sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi, sillä kasvihuoneiden energialähteenä käytetään pääasiallisesti fossiilisia polttoaineita. Näihin asioihin perustuen tehtiin opiskelijatyönä selvitys Pyhäjärven kuntaan Rönkön puutarhat Oy:n biokaasuprojektiin, jossa kartoitettiin biokaasulaitoksen perustamiseen liittyviä taustatietoja. Työssä kartoitettiin biohajoavia raaka-ainemääriä lähiseudulla, mädätysjäännöksen sijoitusmahdollisuuksia, maanviljelijöiden yhteistyöhalukkuutta ja selvitettiin laitoksen toteuttamiseen liittyviä eri sidosryhmiä sekä viranomaisia. Raaka-aineiden pohjalta laskettiin niiden energiasisältö ja mitoitettiin biokaasulaitos. Lisäksi työssä laskettiin mädätysjäännöksen ravinnemäärät, vähimmäispeltolevityspinta-alat sekä raaka-aineiden toimittamisessa syntyviä kuljetuskustannuksia.</p> <p>Kohteen lähiseudun teollisten orgaanisten raaka-aineiden teoreettinen energiasisältö on noin 7 254 MWh vuodessa ja potentiaalisista lannantoimittaja- sekä kasvibiomassakohteista saatava raaka-aineiden energiasisältö on noin 31 978 MWh vuodessa. Pyhäjärven maataloista 56 kpl luokiteltiin soveltuvaksi kohteeksi, joiden viljelijät olivat kiinnostuneita yhteistyöstä ja suhtautuvat hankkeeseen myönteisesti. Kaikkea edellä mainittua raaka-ainepotentiaalia ei teknistaloudellisesti tai muuten ole mahdollista hyödyntää. Mädätysjäännöksen peltolevitykseen vaatima potentiaalinen ala alle 15 kilometrin etäisyydellä on riittävä. Pyhäjärven puhdistamolietteidien hyödyntämisessä syntyvä mädätysjäännös ei sovellu maanviljelyskäyttöön nykyisellään johtuen liian korkeasta kadmium-pitoisuudesta.</p> <p>Selvityksen avulla yritys voi harkita biokaasuprojektin jatkotoimia, toteuttamisedellytyksiä ja mahdollisesti hankkia rahoitusta sen toteuttamiselle. Onnistuessaan projekti mahdollistaa paikallisten biohajoavien jätteiden ja muiden syötemateriaalien biokaasuttamisella kasvihuoneiden käyttöön tarvittavan lämmön, sähkön, hiilidioksidin ja ravinteet. Samalla hanke palvelisi lähiseudun biohajoavien maatalaraaka-aineiden ja jätteiden käsittelyä.</p>		
Avainsanat (asiasanat) <b>biokaasu, anaerobinen hajoaminen, eteläinen Pohjois-Pohjanmaa, puhdistamoliete, lanta, biojäte</b>		
Muut tiedot <b>Työ sisältää 8 sivua liitteitä.</b>		

Author(s)  ERJAVA, Asmo	Type of Publication <b>Bachelor's Thesis</b>	
	Pages 83	Language Finnish
	Confidential	
Title <b>Establishing a Biogas Plant on a Greenhouse Farm – Study of Backgrounds</b>		
Degree Programme <b>Degree Programme in Agriculture and Rural Industries</b>		
Tutor(s) <b>TURUNEN, Mika &amp; TUKIA, Jaakko</b>		
Assigned by <b>Rönskön puutarhat Oy, A Biogas Project</b>		
Abstract  <p>Greenhouse production is opening up a possibility to reach a great target group to advance energy saving and renewable resources and to decrease greenhouse gasses because the fossil fuels are mainly used as an energy source in greenhouses. Based on these cases the study was made to the biogas project of a greenhouse farm called Rönskön puutarhat Oy, which is situated in the municipality of Pyhäjärvi. The study was analyzing background information in order to establish a biogas plant. The aim of the work was to study biodegradable materials in vicinity, potential placing of the anaerobic decomposition residues, the local farmers' desires to co-operation, different interest groups and authorities in question. Based on the amount of biogenic material its energy content was calculated and biogas plant was dimensioned. Additionally, the spreading possibilities and the minimum field area needed for spreading the anaerobic compost and the transfer expenses of biodegradable material were also studied.</p> <p>Theoretical energy content of the industrial organic source material was about 7 254 MWh per year and that of the potential manure and vegetable biomass was about 31 978 MWh per year. 56 farms of Pyhäjärvi were classified applicable targets as the farmers were interested in co-operation and they had a positive attitude towards the project. All of the raw material potential is not possible to be utilized from technical, economical or some other perspective. The minimum available field area for anaerobic compost spreading was sufficient. Utilizing sewage sludge of Pyhäjärvi purification plant, anaerobic compost is not suitable for spreading on the farmers' fields because the cadmium content in the sludge is too high.</p> <p>The study is enabling to consider measures in the future and the feasibilities of the biogas project, and possibly to acquire financing to establish the project. When successful the project is making it possible to convert the local biodegradable wastes and other material into gas and utilize the heat, electricity, carbon dioxide and nutrients in the greenhouses of the area. At the same the project would function as a way of handling the biodegradable materials from farms and the wastes around Pyhäjärvi.</p>		
Keywords <b>biogas, anaerobic decomposition, southern North-Ostrobothnia, sewage sludge, manure, organic waste</b>		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2 KASVIHUONETUOTANTO .....</b>	<b>7</b>
2.1 Kasvihuonetuotannon perusteet Suomessa .....	7
2.2 Kasvihuonetuotannon energian kulutus ja käyttö .....	8
2.3 Kasvihuonetila - Rönkön puutarhat Oy .....	9
<b>3 BIOKAASUN TUOTANTO JA KÄYTTÖ .....</b>	<b>11</b>
3.1 Orgaanisen aineen anaerobinen hajoaminen.....	11
3.2 Biokaasuprosessit ja olosuhdetekijät.....	12
3.3 Biokaasulaitoskonsepti .....	14
3.4 Biohajoavat raaka-aineet ja niiden ominaisuudet.....	15
3.4.1 Maatiloilla syntyvät raaka-aineet .....	17
3.4.2 Maatilan ulkopuolella syntyvät raaka-aineet .....	21
3.4.3 Eri materiaalien yhteiskäsittely .....	25
3.5 Raaka-aineiden toimittaminen .....	26
3.6 Lopputuotteet .....	27
3.6.1 Kaasuseos, biokaasu ja sen hyödyntäminen .....	27
3.6.2 Käsitelty materiaali, mädäte.....	28
3.7 Lainsäädäntö .....	29
3.7.1 Luvat.....	30
3.7.2 YVA-laki ja -asetus .....	30
3.7.3 Sivutuoteasetus.....	31
3.7.4 Lannoitevalmistelaki .....	36
3.7.5 Muita lainsäädännöllisesti huomioitavia asioita .....	36
<b>4 KAIVOSTOIMINNAN RIKASTUSHIEKKA-ALTAAT....</b>	<b>38</b>
<b>5 AINEISTOT JA MENETELMÄT .....</b>	<b>40</b>
5.1 Biohajoavien raaka-aineiden kartoittaminen .....	40
5.1.1 Puhdistamolietteiden kartoittaminen .....	40
5.1.2 Biojätteiden kartoittaminen.....	41
5.1.3 Muiden raaka-aineiden ja maanviljelijöiden halukkuuden kartoittaminen .....	42

5.2	Käsiteltävien materiaalien kaasuntuoton ja energiasisällön laskentaperusteet	43
5.3	Laitoksen sijoitus- ja mitoitus .....	44
5.4	Lopputuotteen sijoittaminen ja peltolevityspinta-alan laskentaperusteet .....	44
5.5	Kuljetuskustannusten ja sähkönhinnan laskentaperusteet .....	47
<b>6</b>	<b>TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>48</b>
6.1	Biohajoavat raaka-ainemäärät ja niiden saatavuus.....	48
6.1.1	Jäteveden puhdistamoliete .....	48
6.1.2	Erilliskerätty biojäte .....	49
6.1.3	Maatilaraaka-aineet ja haastattelun tuloksia .....	51
6.1.4	Järviruoko .....	55
6.2	Raaka-aineiden energian- ja kaasuntuotto .....	55
6.3	Mädätysjäännöksen sijoittaminen .....	56
6.4	Kuljetuskustannusten tarkastelu ja vertaus saatavan sähköhintaan.....	59
6.5	Laitoksen sijoitus- ja mitoitus .....	61
<b>7</b>	<b>POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>64</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>68</b>
	<b>LIITTEET.....</b>	<b>76</b>
	Liite 1: Biokaasulaitoksen toteutusvaiheet .....	76
	Liite 2: Puhdistamolietteen laitoskompostoinnin ja biokaasutuksen ominaisuuksia .. .....	77
	Liite 3: Haitallisten kaasujen korkeimmat sallitut pitoisuudet ihmisille ja kasveille . .....	78
	Liite 4: Pyhäjärven maatilaraaka-ainemäärät ja peltoalat perustuen eri kirjallisuuteen ja kunnan maaseutusihteerin haastatteluun.....	79
	Liite 5: A-allas ja sen maisemointi .....	80
	Liite 6: Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen ja rejektiveden ominaistietoja MMM:n asetuksesta x/09.....	81
	Liite 7: Mitoituksessa käytetyt tarkemmat tiedot .....	82
	Liite 8: Maanviljelijöiden haastattelupohja .....	83

## KUVIOT

KUVIO 1. Energian käyttö Suomen kasvihuoneyrityksissä (>1000 m <sup>2</sup> ) vuonna 2004	9
KUVIO 2. Tilan käytössä olevia kasvihuoneita .....	10
KUVIO 3. Tilalla syntynyttä kurkku- ja tomaattijätettä .....	11
KUVIO 4. Anaerobinen hajoaminen.....	12
KUVIO 5. Biokaasulaitoksen prosessikaavio .....	15
KUVIO 6. Jätevesilietteen käyttö Suomessa.....	21
KUVIO 7. Puhdistamoliete-turve-seoksen läjitys a-altaalla, josta tuote levitetään sille tarkoitettuihin kohtiin.....	23
KUVIO 8. YVA-menettelyn eri vaiheet .....	31
KUVIO 9. Sivutuoteasetuksen mukainen hyväksytty käsittelyprosessi .....	34
KUVIO 10. Pyhäsalmi Mine Oy:n rikastushiekka-altaat.....	39
KUVIO 11. Kartoitettavat kunnat kartalla .....	41
KUVIO 12. A-altaan kasvittuminen .....	59
KUVIO 13. Laitoksen mahdollinen sijainti kartalla .....	61

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Kasvihuonetuotantotietoja Suomessa 2007.....	7
TAULUKKO 2. Tuotettu vihannesmäärä ja niistä syntyvä vihannesjäte .....	10
TAULUKKO 3. Yleisimpien inhiboivien aineiden myrkyllisyysraja-arvot biokaasuprosessissa.....	14
TAULUKKO 4. Syötemateriaaleille kirjallisuudessa annetut metaanintuottopotentialit, kuiva-ainepitoisuudet (TS %), sen orgaanisen osan osuudet (VS %) ja tilavuuspainot .....	16
TAULUKKO 5. Materiaalien laskennalliset metaani- ja bruttoenergiasaannot, kuiva-ainesadot sekä niistä saatavat henkilöautokilometrimerkit hehtaaria kohden.....	19
TAULUKKO 6. Eri eläinlajien lannantuotto .....	20
TAULUKKO 7. Reaktoribiokaasun keskimääräinen koostumus.....	27
TAULUKKO 8. Biovakka Oy:n biokaasulaitoksen sivutuotteiden sisältämiä ravinteita .....	29

TAULUKKO 9. Eläinperäisten sivutuotteiden luokittelu ja käsittelyvaatimukset biokaasulaitoksissa.....	32
TAULUKKO 10. Luokan 3, eläinperäisten sivutuotteiden erittely.....	33
TAULUKKO 11. Lannoitevalmisteiden liukoisen fosforin ja typin enimmäislevitysmäärät.....	37
TAULUKKO 12. Laskelmissa käytettäviä lähtöarvoja .....	43
TAULUKKO 13. Puhtaiden syötteen ravinnemäärät .....	45
TAULUKKO 14. Puhdistamolietteen ja biojätteen raskasmetalli- ja ravinnepitoisuusarvot .....	46
TAULUKKO 15. Puhdistamoliettemäärät .....	49
TAULUKKO 16. Eteläisen Pohjois-Pohjanmaan biojättemäärät kotitalouksista ja kunnallisista laitoksista .....	50
TAULUKKO 17. Biojättemäärät Pyhäjärvellä.....	50
TAULUKKO 18. Maanviljelijäotosten jakautuminen.....	51
TAULUKKO 19. Raaka-ainemäärät ja peltoalat potentiaalisissa maatilakohteissa....	53
TAULUKKO 20. Raaka-ainemäärät, kaasujen ja energian tuotto .....	56
TAULUKKO 21. Raaka-aineiden ravinnemäärät ja vähimmäispeltolevityspinta-alan tarve.....	57
TAULUKKO 22. Puhdistamolietteen ja biojätteen vähimmäispeltolevityspan tarve raskasmetallien osalta .....	57
TAULUKKO 23. Eri raaka-aineisiin kohdistuvat kuljetuskustannukset verrattuna energian hintaan.....	60
TAULUKKO 24. Vaihtoehtoisissa käytettävät raaka-aineet .....	62
TAULUKKO 25. Mitoitustiedot kolmelle eri vaihtoehdolle .....	63

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tarkastellaan biokaasulaitoksen perustamiseen liittyvää ensimmäistä vaihetta; taustatietojen kartoitusta. Selvitystyön on tilannut Rönkön puutarhat Oy, jonka edustajana on toiminut Petteri Rönkkö. Biokaasulaitosta suunniteltaessa ja perustettaessa tulee edetä järjestelmällisesti vaiheittain, esimerkiksi liitteen 8 mukaisesti. Taustatietojen kartoituksessa selvitetään potentiaaliset syötteet, laitoksen nettoenergian tuotanto, laitoksen mahdollinen sijaintipaikka, sijoituskohteen energian kulutus ja muita tarvittavia taustatietoja. Seuraavia vaiheita ovat tyypillisesti tarjousvaihe, kannattavuuslaskelmat ja päätös investoinnista, luvitus sekä rakentaminen ja käyttöönotto.

Energiakäytön lisääntyminen ja ympäristömääräysten tiukkeneminen luovat paineita uusille ideoille energiantuotannossa. Suurilla tiloilla omatoiminen energian tuottaminen on entistä järkevämpää. Ympäristövaikutuksiltaan biokaasun polttaminen vähentää kasvihuonepäästöjä, lieventää hajuhaittoja ja luo mahdollisuuden hyödyntää sopivaa lannoitetta hyötykasvien käyttöön. Lisäksi Suomeen kaavailtu mahdollinen syöttötariffi lisäisi biokaasuteknologian kannattavuuden edellytyksiä.

Biokaasulaitoksen perustamista ja toimintaa säädellään mm. maatalouteen, ympäristönsuojeluun ja energiantuotantoon liittyvien lakien avulla, jotka ovat muuttuneet viime aikoina tiuhaan. Biokaasuprosessin raaka-aineiden esikäsittelyyn ja mädätysjäännöksen hyödyntämiseen sisältyy yhä tiukempia vaatimuksia riippuen mitä materiaalia laitoksella käytetään. Biokaasulaitoksen teollisilla ja oman tilan ulkopuolisilla syötteillä on tiukemmat käsittelyvaatimukset, kuin omilla ”puhtailla” jakeilla. Tulevaisuudessa lainsäädännön keinoin on tarkoitus myös yksinkertaistaa sekä nopeuttaa lupa- ja valituskäsittelyjä. Opinnäytetyöhön koottu ohjeistus perustuu valmistumishetkellä voimassaolevaan lainsäädäntöön ja ohjeistukseen.

Biokaasulaitoksen syötteinä voidaan käyttää biohajoavia orgaanisia raaka-aineita; jätevedenpuhdistamolietettä, erilliskerättyjä biojätteitä, eräitä prosessiteollisuuden jätteitä, maatalousjätteitä ja tiettyjä kasvibiomassoja. Tulevaisuudessa biohajotukseen soveltuvien raaka-aineiden määrän ja lajittelun odotetaan lisääntyvän uusien lakien ja asetusten myötä. Kunnilla on usein haasteita erilliskerättävien biojätteiden ja jätevedenpuhdistamoilta tulevien lietteiden käsittelyssä. Esimerkiksi orgaanisen jätteen kaa-



topaikkakielto ja tavoitteet uusiutuvien energialähteiden käytön kasvattamisesta asetavat haasteita. Useissa kunnissa lietteet käsitellään yhä aumakompostointina, joka mahdollisesti tullaan kieltämään jatkossa. Biohajoavien yhdyskuntajätteiden perinteisiä käsittelytapoja ovat laitos- ja aumakompostointi sekä biokaasutus.

Opinnäytetyön raaka-ainekartoituksessa huomioidaan jätevedenpuhdistamolietteet, biojätteet, järviruoko, vihannesjätteet ja maatiloilta saatavat raaka-aineet, koska nämä todettiin potentiaalisimmiksi vaihtoehdoiksi. Peltobiomassoista tarkastellaan pääasiassa nurmiheiniä ja energiakasveja, koska ne ovat yleisimmin käytettyjä ja hyvin soveltuvia syötteitä. Biokaasuun liittyviä terminologioita käydään sen verran lävitse, mikä on tehtävän kannalta oleellista. Tässä työssä ei selvitetä tapauskohtaisesti esimerkiksi laitteiden teknisiä ratkaisuja, ympäristövaikutuksia tai kannattavuutta, lukuun ottamatta raaka-aineiden kuljettamiseen liittyviä alustavia kustannuksia. Pääpainona pidetään saatavien biohajoavien raaka-aineiden kartoittamista lähiseudulta. Tehtävän maantieteellinen rajausta tehdään tapauksittain. Vastauksia haetaan muun muassa seuraaviin kysymyksiin. Paljonko lähiseudulla syntyy puhdistamolietteitä, biojätteitä ja maatala-raaka-aineita? Löytyykö potentiaalisista raaka-aineiden toimittajista mielekkyyttä yhteistyöhön? Mihin biokaasuprosessin mädätysjäännös voidaan sijoittaa? Millainen rooli Pyhäsalmi Mine Oy:n rikastushiekka-altailla voisi olla?

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää perustettavan biokaasulaitoksen yhteyteen biohajoavien raaka-aineiden määriä lähiseudulla ja selvittää niiden saatavuutta sekä toimittajien mielekkyyttä. Lisäksi opinnäytetyössä tarkastellaan mädätysjäännöksen leviämiseen vaadittavaa vähimmäispeltopinta-alaa, levitysmahdollisuuksia, raaka-aineiden kuljettamisen kustannuksia, biokaasulaitoksen sijoittamista sekä perustamiseen liittyviä muita keskeisiä asioita, kuten oleellimmat sidosryhmät ja viranomaistahot. Ennen kaikkea opinnäytetyön tavoitteena on tarjota lisätietoa perustettavaan kohteeseen, mitä asioita on huomioitava toteutettaessa kyseistä biokaasulaitosta.

## 2 KASVIHUONETUOTANTO

### 2.1 Kasvihuonetuotannon perusteet Suomessa

Suomessa kasvihuonetuotanto on keskittynyt lähinnä Etelä-Suomeen ja rannikkoalueelle. Suurimmat kasvihuoneviljelmät löytyvät Länsi-Suomesta ja Kymenlaaksosta. Suomen suosituimpia kasvihuonevihanneksia ovat tomaatti, kurkku, salaattit sekä erilaiset maustekasvit ja paprika. Yli puolet Suomen kasvihuoneviljelyalasta on vihanneviljelykäytössä, joista yli 10 000 m<sup>2</sup> laajuisia yrityksiä on alle 40 kpl. (Kauppapuutarhaliitto 2007a.) Taulukkoon 1 on koottu tietoja Suomen kasvihuonetuotannosta.

TAULUKKO 1. Kasvihuonetuotantotietoja Suomessa 2007

Kasvihuoneyritysten määrä	Yhteensä 1918 kpl <sup>1)</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vihanneksia tuottavia 1020 kpl <sup>1)</sup></li> <li>• tomaattia tuottavia 596 kpl <sup>2)</sup></li> <li>• kurkkua tuottavia 413 kpl <sup>2)</sup></li> </ul>
Ammattimaiseen viljelyyn käytettäviä lämmitettäviä kasvihuoneita	Yhteensä 455 ha <sup>1)</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vihannesviljelyssä 272 ha <sup>1)</sup></li> <li>• tomaattiviljelyssä 117 ha <sup>2)</sup></li> <li>• kurkkuviljelyssä 72 ha <sup>2)</sup></li> </ul>
Kasvihuonevihannesten tuotantomäärä <sup>2)</sup>	Yhteensä 71 milj. kg <ul style="list-style-type: none"> <li>• tomaatti 39 milj. kg</li> <li>• kurkku 29 milj. kg</li> </ul>
Tyypillinen kasvihuoneyrityksen koko <sup>3)</sup>	3000 m <sup>2</sup>
Kasvihuonelaitosten jälleenhankintahintainen arvo <sup>3)</sup>	600 milj. €
Kasvihuonetuotannon tukkuhintainen arvo <sup>3)</sup>	225 milj. €
Kasvihuonetuotanto päätuotantosuuntana <sup>3)</sup>	1400 yrityksessä

1) Tike 2007a

2) Tike 2007b

3) Kauppapuutarhaliitto 2007b

Kasvihuonetuotanto on viimeaikoina kehittynyt tuotteiden kysynnän ja tuotevalikoiman kasvaessa sekä ympärivuotisen tuotannon lisääntyessä. Voimakkaimmin kehittyvä sektori on ruukkuvihannesviljely. Muutos on ollut voimakkainta EU-jäsenyyden aikana. Rakennekehitys on samankaltainen muun maatalouden kanssa – pienten kasvihuoneyritysten lukumäärä vähenee, mutta suurien tuotantoyksiköiden luku- ja tuo-

tantomäärät kasvavat. Kasvihuonekasvien tuonti on EU-maissa vapaata, mutta tästä huolimatta kotimaisen tuotannon markkinaosuus on varsin hyvä, kuten esimerkiksi vuonna 2007 tomaatilla 64 % ja kurkulla 70 %. Kotimaisen pääsadon aikaan kasvihuonekasvien markkinaosuus on yli 90 %. Tärkeimmät tuontimaat ovat Espanja ja Hollanti. Tuonti Espanjasta on korkeimmillaan keskitalvella, kun taas Hollannista syksyllä ja keväällä. (Kauppapuutarhaliitto 2007a.)

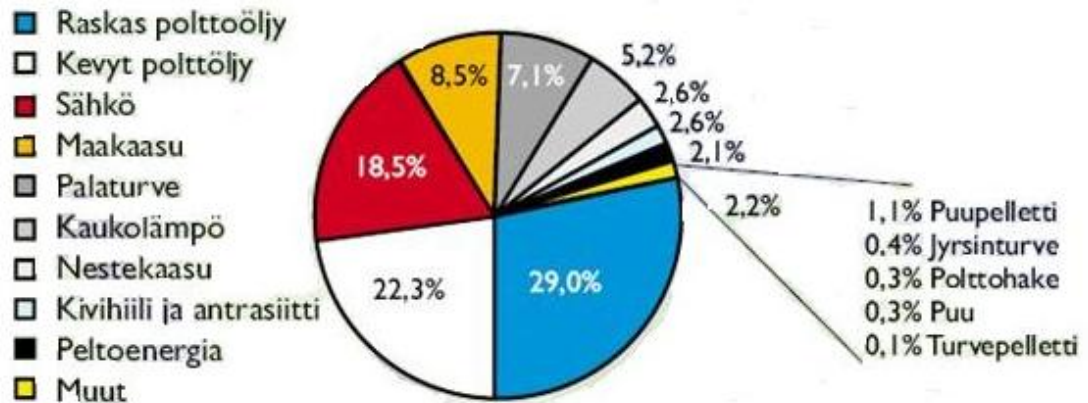
Kasvihuonelajien viljelyssä on useita eri viljelymenetelmiä. Lyhyestä viljelystä puhutaan kasvattaessa samoja taimia esimerkiksi keskikesästä vuoden loppupuolelle, ja pitkästä viljelystä puolestaan viljeltäessä vuoden alusta loppupuolelle saakka, jolloin hyödynnetään keinovaloa auringon valon lisänä. Keinovalaistuksen tarkoituksena on jatkaa satokautta ja parantaa tuotteiden laatua. Kannattavan keinovalaistuksen edellytyksenä on saada tuotteesta huomattavasti korkeampi hinta, kuin vallitsevan tuontituotteen hinta. (Varvikko 2006, 10–11.)

## **2.2 Kasvihuonetuotannon energian kulutus ja käyttö**

Vuoden 2004 ja 2006 energiakyselyyn (Tike 2006) perustuen Suomen kasvihuonetuotannon energiankulutus on noin 0,5 % koko maan energiankulutuksesta. Kasvihuonetuotannon kokonaiskustannuksista energiakustannusten osuus on yli 20 %. Tästä valoviljelyn osuus on merkittävä. Valoviljely lisää merkittävästi kasvihuoneiden sähkönkulutusta, mutta vähentää lämmönkulutusta. Keinovalon lisäksi sähköä käyttävät muun muassa puhaltimet, pumput, kylmiöt ja muut sähkötoimiset oheislaitteet. (Kasvihuoneviljelijän energia- ja ilmasto-opas 2005.)

Kulutukseltaan merkittävimmät energianlähteet ovat raskas ja kevyt polttoöljy (kuvio 1), eli fossiiliset polttoaineet, joiden suosio on nykyään laskussa. Kasvihuonetuotannon CO<sub>2</sub>-päästöistä 56 % aiheutuu öljyn poltosta ja 15 % sähkön käytöstä. CO<sub>2</sub>-päästöjä voidaan alentaa energiansäästömahdollisuuksin tai muuttamalla energiantuotantoa. Sovelaita uusiutuvia energianlähteitä lämmöntuotantoon ovat kiinteät biopolttoaineet, maalämpö ja aurinkoenergia, sekä lämmön ja sähköntuotantoon biokaasu. (Kasvihuoneviljelijän energia- ja ilmasto-opas 2005, 4–8.) Biokaasulaitoksia ei toistaiseksi ole hyödynnetty Suomen kasvihuoneissa, mutta useiden puutarhureiden kiin-

nostus on lisääntynyt. Esimerkiksi Saksassa useiden kasvihuoneiden yhteydessä toimii biokaasulaitos. Biokaasulaitoksen soveltuvuus kasvihuonetuotantoon on erinomainen siinä mielessä, että laitoksesta voidaan hyödyntää sekä lämpö, sähkö, hiilidioksidi että ravinteet.



KUVIO 1. Energian käyttö Suomen kasvihuoneyrityksissä (>1000 m<sup>2</sup>) vuonna 2004 (Kasvihuoneviljelijän energia- ja ilmasto-opas 2005, 4)

### 2.3 Kasvihuonetila - Rönkön puutarhat Oy

Rönkön Puutarhat Oy (kuvio 2) sijaitsee Pohjois-Pohjanmaalla noin 6000 asukkaan kunnassa Pyhäsalmeella. Tässä työssä Rönkön puutarhoilla tarkoitetaan vihannestuotannossa olevia puutarhoja. Kohteen länsipuolella on kaupungin keskustaajama ja itäpuolella Pyhäjärvi. Rönkön puutarhat Oy kasvattaa kasvihuoneissa tomaattia, kurkkua ja paprikkaa, yhteensä noin 620 tonnia vuodessa. Kurkkua tuotetaan ympärivuotisesti saaden kolme kasvustoa vuodessa, ja tomaattia sekä paprikkaa tuotetaan keskimäärin yhdeksän kuukautta vuodessa. Taulukkoon 2 on koottu tuotetut vihannesmäärät ja laskettu syntyvä vihannesjättemäärä viikoittain arvioidusta jättemäärästä. Näin voidaan laskea syntyvä vihannesjättemäärä vuodessa. Tilan vihannesjätteiden keskimääräiseksi tilavuuspainoksi arvioidaan 750 kg/m<sup>3</sup>.



KUVIO 2. Tilan käytössä olevia kasvihuoneita

TAULUKKO 2. Tuotettu vihannesmäärä ja niistä syntyvä vihannesjäte

Vihannes	Tuotanto ton/a	Vihannesjätämäärä	
		m <sup>3</sup> /a	ton/a
Tomaatti	250	720 <sup>1)</sup>	540
Kurkku	350	624 <sup>2)</sup>	468
Paprika	20	36 <sup>3)</sup>	27
Yhteensä	620	1380	1035

1) 20 m<sup>3</sup>/viikko

2) 13 m<sup>3</sup>/viikko

3) 1 m<sup>3</sup>/viikko

Tilalla on 10 kpl tuotannossa olevia kasvihuoneita, joiden pinta-ala on yhteensä 15 000 m<sup>2</sup>. Muuta lämmitettävää alaa on noin 2 000 m<sup>2</sup> pitäen sisällään mm. halleja, varastoja ja asuinrakennuksen. Lämpöenergian tarve on noin 10 000 MWh vuodessa ja sähkötehtävytarve 5 000–7 000 MWh vuodessa. Sähkön maksimitarve on 1,6 MW. Kohteella on käytössä hakkeella ja turpeella toimiva 900 kW lämpölaitos, raskas- ja kevyt polttoöljykattila sekä nestekaasukattila. Sähkö on toistaiseksi ostettu paikallisesta verkosta. Biokaasulaitos uutena energiantuotantovaihtoehtona luo mahdollisuuden hyödyntää tilalla syntyviä vihannesjätteitä (kuviot 3) laitoksen yhtenä raaka-aineena. Tällä hetkellä vihannesjätteet avokompostoidaan.



KUVIO 3. Tilalla syntynyttä kurkku- ja tomaattijätettä

### 3 BIOKAASUN TUOTANTO JA KÄYTTÖ

#### 3.1 Orgaanisen aineen anaerobinen hajoaminen

Biokaasuuntuminen tapahtuu anaerobisissa eli hapettomissa olosuhteissa orgaanisen aineen hajotessa enimmäkseen metaaniksi ( $\text{CH}_4$ ) ja hiilidioksidiksi ( $\text{CO}_2$ ). Orgaaninen aines hajoo mikrobien<sup>1</sup> vaikutuksesta, jolloin suuret orgaaniset molekyylit pilkkoutuvat pienemmiksi yhdisteiksi. Pilkkoutumisessa vapautuva energia sitoutuu muodostuviin metaanimolekyyleihin. (Hobson & Wheatley 1993, 7.)

Anaerobinen hajoaminen on biologinen neljävaiheinen prosessi, joka tapahtuu neljän eri bakteeriryhmän vaikutuksesta (kuvio 4). Ensimmäinen vaihe on hydrolyysi<sup>2</sup>, jossa haponmuodostajabakteerien erittämät entsyymit hajottavat orgaanisen kiintoaineen yksinkertaisiksi liukoisiksi yhdisteiksi. Tämän jälkeen yhdisteet hajoavat happokäymisessä (asidogeneesi) haihtuviksi rasvahapoiksi<sup>3</sup>, jolloin kolmannessa vaiheessa vetyä tuottavat bakteerit hajottavat rasvahapot edelleen asetaatiksi<sup>4</sup>, vedyksi (H) ja hiili-

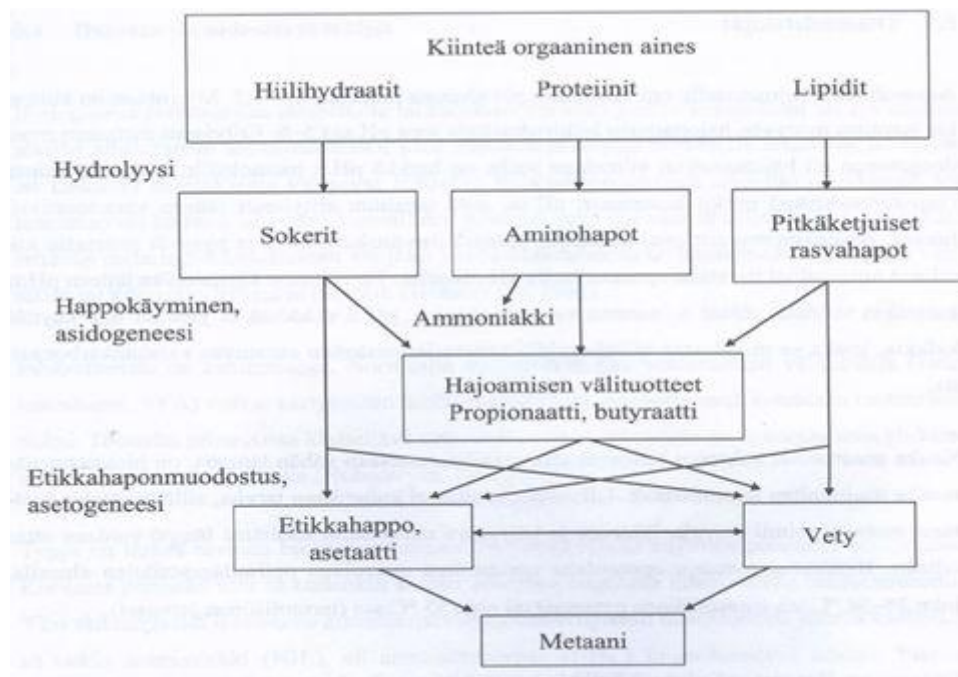
<sup>1</sup> Mikrobi = Mikro-organismi = yhteisnimi pieneliöille, joita ovat bakteerit, alkueläimet, sienet ja toisinaan myös virukset

<sup>2</sup> Hydrolyysi = Aineiden hajoamista, kun vesimolekyylit osallistuvat reaktioon

<sup>3</sup> Haihtuvat rasvahapot = VFA (volatile fatty acids), eli lyhyt kestoiset rasvahapot, joita ovat mm. asetaatti ja propinaatti

<sup>4</sup> Asetaatti ( $\text{CH}_3\text{CO}_2^-$ ) = etanaatti = etikkahapon suolan tai esterin anioni

dioksidiksi. Viimeisessä vaiheessa (metanogeneesi) metaaninmuodostajabakteerit tuottavat metaania em. yhdisteitä hyödyntäen. Metaanin muodostuminen edellyttää materiaalin hajoamista etikkahapoksi (asetaatti) tai vedyksi ja hiilidioksidiksi. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 22–23.) Metaanista yleensä noin 70 % muodostuu etikkahaposta ja loput vedystä. Kemiallisista aineryhmistä suurin metaanintuotanto on rasvoilla, eli lipideillä. (Taavitsainen, Kapuinen & Survo 2002, 14–15.)



KUVIO 4. Anaerobinen hajoaminen (Lehtomäki ym. 2007, 24)

### 3.2 Biokaasuprosessit ja olosuhdetekijät

Biokaasuprosessit voivat olla joko panos- tai jatkuvatoimisia, yksi- tai monivaiheisia. Lisäksi lämpötila-alueen mukaisesti biokaasuprosessi voidaan luokitella mesofiiliseksi<sup>5</sup>, termofiiliseksi<sup>6</sup> ja psykfiiiliseksi<sup>7</sup> prosesseiksi. Luonnonoloissa anaerobinen hajoitusprosessi toimii 10–100 C° lämpötila-alueilla. Korkeammassa lämpötiloissa reakti-

<sup>5</sup> Mesofiilinen prosessi = Yleisin, tavallisesti lämpötila-alueella 30–35 C° toimiva

<sup>6</sup> Termofiilinen prosessi = Lämpötila-alueella >50 C° toimiva

<sup>7</sup> Psykfiiilinen prosessi = Harvinainen, lämpötila-alueella <20 C° toimiva

ot ovat nopeampia kuin matalissa, mutta prosessin toteuttaminen vaatii enemmän energiaa. (Hatsala 2004, 4–8.)

Lämpötilan lisäksi tärkeitä biokaasuprosessin olosuhdetekijöitä ovat happamuus, kiintoainepitoisuus, hiili/typpi-suhde ja inhibitio<sup>8</sup>. Optimaalinen pH-alue on noin 6–8, vaikkakin mikrobien on havaittu pystyvän hajottamaan hiilihyaatteja pH:n ollessa välillä 5–9 pH:ssa. Anaerobisen hajoamisen viimeinen vaihe, metaanin muodostumisvaihe on kaikkein herkin pH:n muutoksille. Raaka-aineiden kuiva-ainepitoisuus (TS-%)<sup>9</sup> vaikuttaa suuresti koko biokaasulaitoksen esim. rakennuskokoon ja reaktorityyppiin. Kiintoainepitoisuuksien mukaan biokaasuprosessi voidaan jakaa märkä- ja kuivaprosesseihin. (Hatsala 2004, 4–8.)

Perinteisesti biokaasuteknologia perustuu märkäprosessiin, jolloin syötteiden TS on yleisin alle 13 % ja käsittely tapahtuu jatkuvasekoitteisissa reaktoreissa. Märkäprosessien syötteen ja mädätysjäännökset ovat siten helposti pumpattavissa ja mekaanisesti sekoitettavissa. Kiinteiden materiaalien, kuten kasvibiomassojen siirtelyä voidaan helpottaa esim. ruuvikuljettimien avulla. (Lehtomäki ym. 2007, 32–33.)

Toinen, uudempi tekniikka perustuu kuivaprosessiin, jolloin käsiteltävän materiaalin TS-% on yleensä 20–40 % ja kaasuntuotto reaktoritilavuutta kohti on korkeampi kuin märkämädätyksessä. Muita kuivaprosessin etuja verrattuna märkäprosessiin ovat mm. syötteiden vähäisempi lämmityksen tarve, yhä vähäisemmät hajuhaikat, (Shäfer, Lehto & Teye 2006.) ja huomattavasti vähäisempi mädätteen syntyminen. (Bioste Oy) Kuivaprosessin haittapuolia ovat puolestaan mm. syötteiden pitempi viipymäaika reaktorissa ja kalliimpien laitteiden tarve materiaalien syötössä reaktoriin. Lisäksi kuivaprosesseissa panosreaktorien materiaalien syöttö ja tyhjennys on työlästä (Shäfer ym. 2006.), joten tästä päätellen tilakohtaiset olosuhteet voisivat suosia kuivaprosessitekniologiaa, koska raaka-aineiden siirtelyyn soveltuvat esim. tilan oma kuormaaja tai etukuormaajatraktori. Kiinnostus kuivaprosessointia kohtaan on lisääntynyt selvästi erityisesti Saksassa. (Lehtomäki ym. 2007, 33) Suomessa kuivaprosessin koe- ja tutkimustoimintaa tehdään muun muassa MTT:n toimesta. Toistaiseksi Suomen kaikki maatila-kohtaiset ja keskitetyt biokaasulaitokset perustuvat märkäprosessitekniologiaan. (Tukia 2009.)

<sup>8</sup> Inhibitio = Jonkin kemiallisen tai fysikaalisen tekijän aiheuttama haittavaikutus biokaasuprosessissa

<sup>9</sup> Kuiva-aine = kiintoaine = TS (total solids)



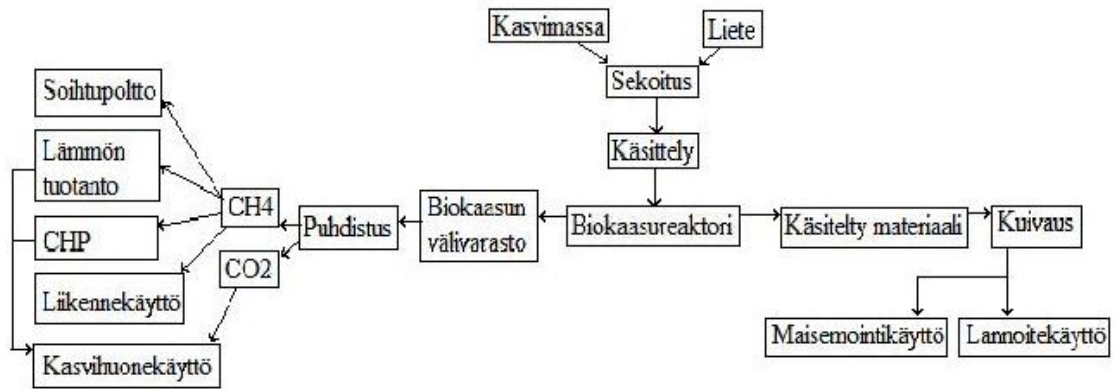
Biokaasureaktorin hiili/typpi- eli C/N-suhteen optimaalinen arvo on 20–30, jolloin bakteerit saavat ravinteita oikeassa suhteessa. Mikäli C/N-suhde on liian suuri, metaanintuottajabakteerit kuluttavat liikaa typpeä, josta seuraa kaasuntuoton aleneminen. Liian matala C/N-suhde puolestaan vapauttaa typpeä muodostaen ammoniakkia, joka taas nostaa pH:ta. Ammoniakki on yksi inhibiittori eli hajoamista hidastava tekijä liian suurina määrinä, joka ilmenee erityisesti maatalouden jätteitä käsiteltäessä. Muita inhibioivia aineita ovat mm. suolat, raskasmetallit, klooratut hiilivedyt, antibiootit, pestisidit ja desinfiointiaineet (Hatsala 2004, 7.), joiden raja-arvoja löytyy alla olevasta taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Yleisimpien inhiboivien aineiden myrkyllisyysraja-arvot biokaasuprosessissa (Gautam, Karki & Kadel 1996)

<b>Inhibioiva aine</b>	<b>Raja-arvo</b>
sulfaatti (SO <sub>4</sub> )	5 000 ppm
natriumkloridi (NaCl)	40 000 ppm
nitraatti	0,05 mg/ml
kupari (Cu)	100 mg/l
kromi (Cr)	200 mg/l
nikkeli (Ni)	200 - 500 mg/l
natrium (Na)	3 500 – 5 500 mg/l
kalium (K)	2 500 – 4 500 mg/l
kalsium (Ca)	2 500 – 4 500 mg/l
magnesium (Mg)	1 000 – 1 500 mg/l
mangaani (Mn)	Alle 1 500 mg/l

### 3.3 Biokaasulaitoskonsepti

Biokaasulaitos koostuu yleensä; 1. syötetyn materiaalin varastoinnista ja esikäsittelyä pitäen sisällään esimerkiksi sekoitusta, lämmitystä tai murskausta, 2. biokaasutuksesta sekä 3. lopputuotteiden varastoinnista, käsittelystä ja hyötykäytöstä. (Soininen, Kiukas & Mäkelä 2007, 10) Esikäsittelyä tarvitaan yleensä, kun raaka-aineina käytetään ulkopuolisia jakeita. Esikäsittelyssä voidaan erotella kelpaamaton aines, pilkkoa ja sekoittaa eri jätejakeet sekä hygienisoida sitä vaativat materiaalit. Maatilakohtaisiin ja pieniin laitoksiin ei suositella työlästä erottelua vaativia raaka-aineita. (Wellinger 1999, 24–26.) Kuviossa 5 on yhdenlainen biokaasulaitoksen prosessikaavio.



KUVIO 5. Biokaasulaitoksen prosessikaavio

### 3.4 Biohajoavat raaka-aineet ja niiden ominaisuudet

Biokaasutukseen hyvin soveltuvia raaka-aineita on monenlaisia. Raaka-aineita valittaessa on syytä huomioida mm. niiden metaanintuottokyky ja muut ominaisuudet sekä kaupallinen merkitys (Gustafsson & Stoor 2008, 5). Raaka-aineiden kaupallisesta merkityksestä kerrotaan enemmän kohdassa 3.5. Metaanintuottopotentiaalien puolesta erinomaisesti soveltuvia raaka-aineita ovat mm. sokerijuurikas, jäterasvat ja teurasjäte, mutta usein niiden saatavuus tai käyttö ei ole muuten järkevää (Soininen ym. 2007, 8). Taulukkoon 4 on koottu useiden raaka-aineiden metaanintuottopotentiaalit, TS-% sekä sen orgaanisen aineosan osuudet (VS-%)<sup>10</sup>. Tässä työssä VS-% tarkoittaa materiaalin orgaanisen aineen osuutta kuiva-aineesta, eikä märkäpainosta. Metaanintuottopotentiaalit on esitetty kansainvälisesti tavalliseen tapaan, orgaanista kuiva-ainetta kohden. Taulukon jälkeen on esitetty oleelliset maatalan ja maatalan ulkopuoliset biohajoavat raaka-aineet. Pyhäjärven maatalaraaka-ainemääriä on esitetty liitteessä 4.

Tämän luvun syötteiden lisäksi muita biokaasutukseen soveltuvia raaka-aineita ovat mm. teollisuuden (esim. elintarvike- ja metsäteollisuuden) sivutuotteet, teurastamojätteet, sakokaivolietteet, kalatuotteet ja puubiomasat. Teollisuusprosesseista saatavan sivutuotteen metaanipitoisuus on tyypillisesti useita muita raaka-aineita korkeampi. Puu ei sovellu biokaasuntuotantoon sen korkean ligniinipitoisuuden<sup>11</sup> vuoksi, mutta

<sup>10</sup> Orgaaninen ainesosa = VS (volatile solids)

<sup>11</sup> Ligniini = Kasvisolujen seinien puutumisen yhteydessä muodostuva yhdiste, joka sitoo puukuituja.

joitain puuperäisiä helposti biohajoavia teollisuuden sivuvirtoja voidaan mahdollisesti käyttää. (Tukia 2009.)

TAULUKKO 4. Syötemateriaaleille kirjallisuudessa annetut metaanintuottopotentialit, kuiva-ainepitoisuudet (TS %), sen orgaanisen osan osuudet (VS %) ja tilavuuspainot

	Materiaali	Metaanintuottopotentiali Nm <sup>3</sup> CH <sup>4</sup> / ton <sup>n</sup> VS	TS %	VS %	Tilavuuspaino kg/m <sup>3</sup> <sup>16)</sup>
Maatilan raaka-aineet	Ruokoheppi	340-430 <sup>1)</sup>	25 <sup>2)</sup>	93 <sup>2)</sup>	600
	Timotei-apila-nurmi	370-380 <sup>1)</sup>	25 <sup>2)</sup>	93 <sup>2)</sup>	800
	Virna-kaura	400-410 <sup>1)</sup>	25 <sup>2)</sup>	93 <sup>2)</sup>	
	Nokkonen	210-420 <sup>1)</sup>	25 <sup>2)</sup>	93 <sup>2)</sup>	
	Lupiini	310-360 <sup>1)</sup>	25 <sup>2)</sup>	93 <sup>2)</sup>	
	Apila	280-300 <sup>1)</sup>	25 <sup>2)</sup>	93 <sup>2)</sup>	
	Olki	240-320 <sup>1)</sup>	90 <sup>2)</sup>	91 <sup>2)</sup>	200
	Sokerijuurikas (juurikas + naatit)	450 <sup>1)</sup>			
	Naudan lietelanta	100-250 <sup>1)</sup>	7 <sup>3)</sup>	80 <sup>3)</sup>	1000 <sup>2)</sup>
	Naudan kuivalanta	100-250	35 <sup>3)</sup>	80 <sup>3)</sup>	550
	Sian lanta	300-400 <sup>1)</sup>	6 <sup>3)</sup>	75 <sup>3)</sup>	1000 <sup>2)</sup>
	Hevosen lanta	130-230 <sup>4)</sup>	35 <sup>16)</sup>	80 <sup>16)</sup>	550 <sup>2), 16)</sup>
	Puutarhajäte	200-500 <sup>2)</sup>			
	Vihannesjäte	187-507 <sup>5)</sup>	15 <sup>16)</sup>		750
	Vihannesjäte	270 <sup>6)</sup>			
	Hedelmä- ja vihannesjätesekoitus (sis. appelsiini, kukkakaali, kurkku, tomaatti, salaatti, mango & vesimeloni) <sup>7)</sup>	383		90	
	Tomaatti	230 <sup>8)</sup>			
	Tomaattijäte (tomato processing waste)	430 <sup>6), 9)</sup>			
	Kurkkujäte		9,8 <sup>10)</sup>	89 <sup>10)</sup>	
	Porkkana (lehdet ja hedelmä)	269 <sup>11)</sup>		92 <sup>6)</sup>	
	Riisi	214 <sup>11)</sup>			
	Peruna	203 <sup>11)</sup>	20 <sup>16)</sup>	91 <sup>6)</sup>	
	Sipulijäte <sup>12)</sup>	320-350	46	54	
Eläimen veri <sup>13)</sup>	423	9,7	95		
Hera <sup>13)</sup>	480 – 760	1 – 5			
Käytetyt kananmunat <sup>13)</sup>	631	27,1	92		
Maatilan ulkopuoliset raaka-aineet	Jätevedenpuhdistamon liete	200-400 <sup>1)</sup>	19 <sup>14)</sup>	65 <sup>14)</sup>	1000
	Biojäte	500-600 <sup>1)</sup>	35 <sup>14)</sup>	80 <sup>14)</sup>	350
	Teurasjäte	570 <sup>1)</sup>	30 <sup>3)</sup>	80 <sup>3)</sup>	
	Järviruoko <sup>15), 16)</sup>	340-430	25	93	600

1) Lehtomäki, ym. 2007; 2) Lonka-Huotari 2006; 3) Soinen, ym. 2007, 9; 4) Hiltunen 2008, 5; 5) Lehtomäki 2006; 6) Selina & Kurian 2007; 7) Gunaseelan 1997, 10; 8) Chynoweth, ym. 2002, 8; 9) Graunke 2007, 20; 10) Kymäläinen, ym. 2002; 11) Lay, ym. 1997; 12) Romano, Zhang & Hartman 2004; 13) Steffen, Szolar & Braun 1998, 17 & 22; 14) Vilkkilä 2007, 23; 15) Komulainen, ym. 2008; 16) Oma arvio

### 3.4.1 Maatiloilla syntyvät raaka-aineet

#### Vihannesjäte

Vihannesjätteet soveltuvat hyvin biokaasulaitoksen lisäsyötteiksi. Yksin omaan kurkun tai tomaatin mädättämisestä biokaasulaitoksen raaka-aineena ei tiettävästi ole kokemuksia. Kurkkujätteen soveliaisuudessa tulee huomioida kurkkuvihannes-, varsi- ja lehtiosuudet, koska itse kurkkuvihanneksen biokaasutusominaisuudet ovat luultavasti huonot. Kurkkuvihanneksella on korkea vesipitoisuus, eli alhainen kuiva-ainepitoisuus ja siten myös alhainen orgaanisen aineen pitoisuus. (Mykkänen 2008a.) Kymäläinen, Karjalainen, Sivonen & Kautola (2002) tutkivat kurkun mädätysominaisuuksia, jonka perusteella VS on noin 89 %. Tämän kriteerin perusteella kurkku soveltuu hyvin mädätykseen. Kyseisessä analyysissä kurkkuvihanneksen osuus on todennäköisesti ollut vähäinen. Analyysissä ei selviä, mikä on biohajoavan orgaanisen aineksen osuus ja metaanintuottopotentiali. Nämä tulisi tutkia erikseen. (mt.) Gunaseelan ym. (1997, 92) tutkimuksessa hedelmä- ja vihannesjäteseoksen, joka sisälsi mm. kurkku- ja tomaattijätettä, metaanintuottopotentialiksi saatiin  $383 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tonVS}$ .

Tomaattijätteen soveliaisuudesta biokaasulaitoksen raaka-aineeksi on löydettävissä enemmän tietoa kuin kurkun. Eri kirjallisuuteen perustuen tomaatista saatava metaanintuottopotentiali on vaihdellut noin  $200\text{--}430 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tonVS}$  ja sen käytöstä on hyviä kokemuksia (Chynoweth ym. 2002; Graunke 2007). Erilaisista vihannesjätteistä, kuten tomaattijätteistä tuotetaan biokaasua yhä enemmän esimerkiksi Intiassa. Steffen, Szolar & Braun (1998, 17) selvityksen mukaan hedelmäjätteiden – joita voidaan varmaan tietyssä määrin verrata vihannesjätteen ominaisuuksiin – biokaasuttamisessa jatkuvana ongelmana on poikkeuksellinen pH:n aleneminen. Vihannesjätteen hyödyntämiseen lisäsyötteenä ei tiettävästi liity sellaisia haittatekijöitä, ettei niiden käyttöä suositeltaisi.

#### Peltobiomassa

Biokaasutukseen käytettäviä peltobiomassoja ovat viljeltävät energiakasvit ja erilaiset kasvintuotannon sivutuotteet. Pyhäjärven alueen peltojen käyttö ja arviot raaka-ainemääristä ilmenevät liitteestä 4. Suositujia energiakasveja biohajoaviksi raaka-

aineiksi ovat nurmiheinä ja ruokohelmi. Soveltuvat energiakasvit tuottavat runsaasti biomassaa vähäisellä viljelypanostuksella ollen vaatimattomia ja hyviä talvehtimaan. Energiakasvien viljelyssä on huomioitava kasvimateriaalin ikä ja kypsyyssaste, koska ne vaikuttavat oleellisesti kasvien kemialliseen koostumukseen ja metaanintuottopotentiaaliin. Nurmiheinä soveltuu hyvin raaka-aineeksi, koska kasvit on usein jalostettu rehuksi, tuotantoon on usein olemassa tarvittava kalusto ja asiantuntemus sekä niiden varastointi on helppoa säilörehumenetelmällä. (Lehtomäki ym. 2007. 19–22.) Nurmiheinän varastoinnissa voidaan vielä vaikuttaa raaka-aineen ominaisuuksiin, koska esimerkiksi varastointilisäaineiden käytön on todettu lisäävän metaanintuottopotentiaalia enimmillään 19–22 % tuoreeseen kasvimassaan verrattuna. Ilman lisäaineita säilötyn nurmiheinän on puolestaan todettu laskevan metaanintuottopotentiaalia jopa 17–39 %. (Lehtomäki 2006.)

Energiakasveista ruokohelmi on monivuotinen, korkean biomassasadon omaava heinäkasvi kasvaen luontaisesti lähes koko pohjoisella pallonpuoliskolla. Sen luontaisia kasvupaikkoja ovat meren ja järvien rannat, ojat ja tienpientareet. Juuret sijaitsevat lähellä pintaa, pääosin alle 15 cm syvyydessä. Ruokohelpisadon tuottoaika on jopa 15 vuotta, jonka lannoitustarve on alhainen. (ruoko.fi.) Helven viljelystä on mahdollista saada sekä tilatukea että energiakasvien tukea. Jotta tukea voi saada, on viljelijän saatutettava vähintään edustava kuiva-ainesato vuodessa, joka ruokohelvellä on 3 ton/ha. Muilla nurmikasveilla edustava kuiva-ainesato on 15,5 ton/ha. (Mavi 2009, 5 & 9.) Ruokohelven kuiva-ainesato on laskennallisesti yleensä noin 8–11 ton/ha tai jopa enemmän ja sen metaanintuottopotentiaali on noin  $385 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tonVS}$  (Taulukko 4)

Biokaasutusprosessiin hyvin soveltuvia kasvintuotannon sivutuotteita ovat kasvijätteen, kuten kesantomaiden ylituotantona ja vuoroviljelyssä syntyvät kasvibiomassat sekä viljakasvien oljet. Nämä tuottavat vähemmän niin raaka-ainetta kuin metaania hehtaaria kohden verrattuna edellisiin vihreisiin kasveihin. (Paavola 2005, 47.) Tulevissa laskennoissa kesantomaiden sadot oletetaan 50 % pienemmiksi kuin viljeltyjen maiden. Taulukkoon 5 on koottu peltobiomassojen laskennallisten bruttoenergiasaantojen lisäksi myös mm. potentiaalinen henkilöautokilometrimäärä hehtaaria kohden, kun biokaasuautojen keskimääräinen polttoainekulutus on  $8 \text{ m}^3\text{CH}_4/100\text{km}$ . (Lehtomäki ym. 2007) Luvuissa ei kuitenkaan ole huomioitu tuotannon ja biokaasuprosessin kuluttamaa energiaa.

TAULUKKO 5. Materiaalien laskennalliset metaani- ja bruttoenergiasaannot, kuiva-ainesadot sekä niistä saatavat henkilöautokilometrimäärät hehtaaria kohden (Lehtomäki ym. 2007, 21)

Peltobiomassa	Sato ton TS / ha	Metaanisaanto m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / ha	Bruttoenergiasaanto MWh/ ha	Henkilöautokilometriä (1000 km / ha)
Nurmiheinä	8 – 11	2900 – 4000	28 – 38	36 – 50
Ruokohelpi	9 – 10	3800 – 4200	37 – 41	47 – 53
Sokerijuurikas (juurikas + naatit)	13 – 17	5200 – 6800	50 – 66	65 – 85
Sokerijuurikas (pelkät naatit)	3 – 5	900 – 1500	8 – 14	11 – 18
Olki	2	600	6	7

Peltobiomassojen, kuten muiden materiaalien kuljetuskustannuksia voidaan alentaa raaka-aineen tiheyttä ja kuormatilan kokoa suurettamalla. Esimerkiksi heinän kuljettaminen on usein tehokkaampaa kanttipaaleissa kuin irtotavarana paalina, koska näin tavara on tiheämmässä tilassa. Toisaalta paalaus nostaa viljelijän sadonkorjuukustannuksia, joten kannattavuuslaskelmat tulee laskea tapauksittain. Lisäksi paalien kuljetuksessa on myös hyvä huomioida niiden optimointi siten, ettei kuormatilojen sivuille ja päätyihin jää vapaata tilaa. Tuottopehtorista saadun tiedon mukaan säilörehun tuotantokustannuksena käytetään 0,04 €/kg, eli tällöin hinnaksi voisi muodostua esim. 50–60 €/kg.

### Eläinten lanta

Lanta on hyvä biokaasuprosessin perusmateriaali. Se sisältää useimmat mikrobien tarvitsemista ravinteista, jolla on pH:n vaihtelua tasoittava korkea puskurointikyky sekä lisäksi eläinten lantaa on usein tasaisesti saatavilla ympäri vuoden. Pelkkää lantaa käsiteltäessä, metaanintuotto reaktoritilavuutta kohti on alhainen. Metaanintuottoa ja kannattavuutta pystytään usein parantamaan käsittelemällä yhtäaikaaisesti muita orgaanisia materiaaleja, kuten peltobiomassoja. (Lehtomäki ym. 2007, 18–19.)

Eläinten lannan varastointi perustuu joko liete- tai kuivalantajärjestelmään. Lietelantajärjestelmä on yleinen esim. sikaloissa, lypsylehmätuotannossa, kun puolestaan sonni-, hevos- ja siipikarjatuotannossa lanta varastoidaan tavallisesti kuivana. Kuivalannan energiatiheys on selvästi suurempi kuin liotelannan, joten tämän perusteella kuivalannan kuljettaminen on taloudellisempaa. Kuiva-ainepitoisuudeltaan liotelanta soveltuu erinomaisesti märkäprosessointiin ja kuivalanta usein vain kuivaprosessointiin sovel-

tuva. Tosin raaka-aineiden yhteiskäsittelyssä pystytään optimoimaan syötteen sopivia ominaisuuksia, josta kerrotaan enemmän luvussa 3.4.3.

Tilalla muodostuva lannan määrä voidaan arvioida mm. lietalantasäiliöiden tilavuuden perusteella ja eläinmäärien perusteella. (Hagström, Vartiainen & Vanhanen. 2005, 13) Tässä työssä lantamäärä arvioidaan eläinmäärien perusteella taulukon 6 lannantuotto-arvojen mukaisesti. Lisäksi arvioissa huomioidaan, ettei kaikkea tuotettua lantaa saada välttämättä kerättyä talteen. Lypsy- ja emolehmätiloilla eläimet laiduntavat tavallisesti noin 3–4 kuukautta vuodessa, eli tällöin lannasta saataisiin talteen noin 70 %. (mt.) Näin ollen esimerkiksi 40 lypsylehmän lantojen vuosittainen energiamäärä lasketaan seuraavasti, kun metaanin energiasisältö on 10 kWh/ m<sup>3</sup>.

$$40 \times 1,7 \text{ tonVS/a} \times 0,7 \times 175 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tonVS} \times 10 \text{ kWh/m}^3 = 83\,300 \text{ kWh} = 83,3 \text{ MWh}$$

TAULUKKO 6. Eri eläinlajien lannantuotto (Hagström ym. 2005, 13)

Eläin	Eläimen koko kg	Lannantuotto kgVS/a
Lypsylehmä	500	1700
Emolehmä	500	1400
Sonni	500	800
Hieho ja nuori sonni	330	450
Nuori hieho	200	250
Vasikka	100	150
Emakko	200	300
Karju	200	200
Lihasika	75	100
Nuori lihasika	35	50
Porsas	10	10
Muniva kana	2	6
Broileri	1	3
Hevonen	500	n. 1800 <sup>(1)</sup>

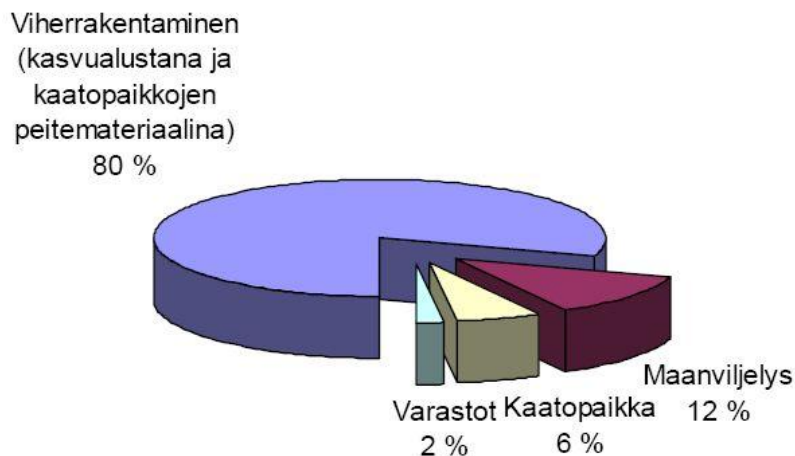
(1 Hiltunen 2008, 5)

### 3.4.2 Maatilan ulkopuolella syntyvät raaka-aineet

#### Jätevesiliete

Jäteveden käsittelyssä syntyy sekä jätevettä että lietettä. Lietteiksi luokitellaan yhdyskuntien puhdistamolietteiden lisäksi kiinteistöjen sakokaivolietteet ja teollisuuden lietteet. Suomessa syntyy lietettä noin 160 000 kuiva-ainetonnia vuodessa. Määrä odotetaan lisääntyvän tiukkenevien käsittelyvaatimusten myötä. (Vahala 2008.) Liete sisältää jonkin verran orgaanista ainetta, fosforia (P), typpeä (N) sekä hivenaineita, mutta kaliumin (K) määrä on vähäinen. Lisäksi raskasmetallimäärät vaihtelevat riippuen yhdyskunnan ja pienteollisuuden jätevesien laadusta. (Lohiniva, Sipilä & Mäkinen 2001, 30.)

Kuviossa 6 on esitetty jätevesilietteen käyttökohteet Suomessa. Yhä useammin puhdistamoliete sijoitetaan kaatopaikalle, koska kustannukset ja tiukkenevat lakisäädökset estävät sen hyötykäytön maataloudessa. Kaatopaikkakäytössä puhdistamoliete aiheuttaa hajuhaittoja, suotovesiongelmia ja suurina määrinä jätteiden hajoaminen vaikeutuu. Maatalouskäyttö on nykyisin vähentynyt tiukentuvien ympäristönormien lisäksi myös siihen kohdistuvan kielteisen asenteen takia. (Lohiniva ym. 2001.)



KUVIO 6. Jätevesilietteen käyttö Suomessa (Vahala 2008)



Liete vaatii mädätyksen tai kompostoinnin, jotta taudinaiheuttajien määrää, hajuhaittoja sekä lietteen käytöstä aiheutuvia terveys- ja ympäristöhaittoja voidaan merkittävästi vähentää. Puhdistamolietteiden biokaasutus on yleinen lietteenkäsittelytekniikka suurissa ja keskisuurissa jätevedenpuhdistamoissa. Biokaasutus on esim. kompostointilaitosta edullisempi tekniikka edellyttäen, että ylijäämä energia saadaan hyötykäyttöön. Lietteiden tuhkapitoisuus (>50 %) ja laatu muuttuvat biokaasutuksessa, kun esim. raskasmetalleja konsentroituu hydrolyysijäännökseen. Tästä johtuen mädätetyn lietteen kompostointi voi olla ongelmallista. Mädätettäessä puhdistamolietteitä, tavallisesti sen orgaanisesta aineksesta 40 % muuttuu kaasuksi, 10 % liukenee veteen ja 50 % jää lietteeseen. Kuiva-ainepitoisuus alenee 30–40 %. Nykyisissä laitoksissa liete lämmitetään prosessin nopeuttamiseksi. Liitteessä 2 on eritelty lietteen laitoskompostoinnin ja biokaasutuksen eri ominaisuuksia, jotka pätevät usein myös muiden raaka-aineiden käsittelyyn. Oikeat lietteiden hyötykäyttö- ja käsittelyvaihtoehdot ovat tapauskohtaisia riippuen alueesta, lietemäärästä ja lietteen laadusta. (Lohiniva ym. 2001.)

Mädätetyn lietteen polttoa ei pidetä kovin järkevänä jatkoprosessina, koska lietteen lämpöarvo laskee mädätyksessä 17,5 MJ/kg:sta noin 10,5 MJ/kg:een. Mädätys soveltuu usein erityisen hyvin puhdistamoille, joissa mädätysjäännös sijoitetaan kaatopaikalle. (Lohiniva ym. 2001.) Teknisiltä vaatimuksiltaan puhdistamolietteiden käsittely nostaa laitosinvestointia verrattaessa puhtaiden syötteiden käsittelyyn. Pellolle levitetävä käsitelty puhdistamoliete tulee olla hygienisoitu ennen tai jälkeen mädätyksen jollain alla listatuista tavoista.

- Kompostointi
- Kalkkistabilointi
- Terminen kuivaus
- Termofiilinen prosessi (55°C)
- Pastöinti- tai hygienisointi ja mesofiilinen mädätys (33–35°C)
- Kemicond-käsittely ja stabilointi kompostoimalla (Latvala 2005, 8.)

Tämän työn potentiaalisena raaka-ainelähteenä pidetään Pyhäjärven jätevedenpuhdistamon lietteitä. Puhdistamo sijaitsee noin 800 metrin päässä Rönkön puutarhoja. Se on tyypiltään rinnakkaissaostuksella varustettu aktiivilietelaitos, jossa käsitellään noin 4000 asukkaan jätevedet. Käsitelty jätevesi johdetaan Pyhäjärven Junttiselälle. Jätevesimäärien ja päästöjen on arvioitu säilyvän suunnilleen aikaisemmalla tasolla. Pyhäjärven puhdistamolla on ajoittain ollut ongelmia täyttää sille asetettuja puhdistusvaa-

timuksia. (Pyhjärven kaupungin jätevedenpuhdistamon ympäristölupa 2005.) Nykyisin prosessissa poistettavasta lietteestä osa on toimitettu aika ajoin Pyhäsalmi Mine Oy:n rikastushiekka-, a-altaalle (kuvio 7) maisemointitarkoitukseen ja osa on kompostoitu puhdistamoalueella. Kompostoitu liete käytetään viherrakentamiseen. Puhdistamolietettä tullaan jatkossa sijoittamaan muualle kuin a-altaalle, koska a-altaan maisemointitarve on jo riittävä. Vuoden 2009 alussa lietteen sijoittamisesta jatkossa ei ollut tietoa, mutta se on suunnittelun alla. (Nurminen 2009; Hänninen 2009.)



KUVIO 7. Puhdistamoliete-turve-seoksen läjitys a-altaalla, josta tuote levitetään sille tarkoitettuihin kohtiin (Hänninen 2009)

### **Erilliskerätty biojäte**

Erilliskerättäviksi biojätteiksi luokitellaan kotitalouksien, suurkeittiöiden ja ravintoloiden kasviperäinen ja ruokajäte sekä kaupan entiset eläinperäiset raa'at ja muut elintarvikkeet sekä kaupan kasviperäinen ruokajäte. (Pöyry 2008, 14) Sen koostumus vaihtelee mm. jätteen lajittelutason ja -tavan, keräystiheyden ja vuodenajan mukaan. Biojäte soveltuu hyvin biokaasutuksen raaka-aineeksi korkean metaanintuottopotentiaaliksi, jopa kaksi kertaa korkeamman kuin esim. jätevedenpuhdistamon lietteen.

(Taulukko 4) Joissain tapauksissa biojätteiden käyttöön liittyy lainsäädännön asettamia rajoitteita, joista kerrotaan enemmän kohdassa 3.8.1. (Lehtomäki ym. 2007.)

Esikäsitellyssä huomioidaan jatkokäsittelyn asettamia vaatimuksia. Esimerkiksi termisen kuivurin asettamat vaatimukset ja matriisia tukkivien partikkelien poistaminen on huomioitava, jos näihin toimintaperiaatteisiin on tarvetta. Märkäprosessissa biojäte vaatii tehokkaan esikäsitellyn, koska yleensä jäteseos siirretään pumpulla, jolloin jäte ei saa sisältää pumppuja tukkivia ja rikkovia osia kuten metallia ja muovia. Normaalisti biojäte murskataan ja seulotaan ennen mädätystä sekä siitä poistetaan magneettiset metallit, alumiini ja muovi. Kuivaprosessissa puolestaan esikäsitteilyksi riittää lievempi menetelmä, esim. biojätteiden murskaus ja liian suurien partikkelien seulonta. (Pöyry 2008, 22–24) Investointikustannukset nousevat merkittävästi, jos laitoksella käytetään yhdyskuntien biojätteitä ja siksi se ei ole usein pienessä kokoluokassa taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi biojätteiden käsittely ei ole yleensä sellaisilla alueilla järkevää, missä biojättemäärät ovat vähäiset. (Tukia 2009.)

Syntyvän yhdyskuntajätteen määrä oli Suomessa vuonna 2007 vajaat 3 milj. tonnia, josta biojätettä erilliskerättiin noin 277 426 tonnia. Noin kolmasosa Suomen erilliskerätyistä biojätteistä kertyy kotitalouksista ja valtaosa siitä menee kompostointiin. Biojätteistä noin 2,6 % käsiteltiin energiakäytössä, joka on lisääntynyt viime vuosina huomattavasti, liki 20 % vuodessa. (Tilastokeskus 2008.)

Pyhäjärven alueellinen jätehuolto-yhtiö, Vestia Oy toimii Oulun eteläpuolella Siika-, Pyhä-, Kala- ja Lestinjokilaaksoissa hoitaen noin 100 000 ihmisen jätehuollon. (Vestia Oy) Vestia Oy aloittaa biojätteiden erilliskeräilyä vuonna 2009 toukokuun alusta alkaen, joka koskee yli 10 huoneiston kiinteistöjä ja sellaisia kiinteistöjä, joissa muodostuu biojätteitä yli 50 kg/vk. (Isokoski 2009) Biohajoavista jättejakeista on kerätty paperia, kartonkia, pahvia, puuta ja puutarhajätettä. (Leipälä 2008)

## **Järviruoko**

Järviruoko on Suomen kookkain luonnonkasvi, joka soveltuu kesällä kerättynä bio-kaasulaitoksen raaka-aineeksi. Se kasvaa noin kolmen metrin mittaiseksi ja tyypillisesti puoliksi veden alla, jonka biologinen kuiva-ainetuotos on noin 6–10 tonnia hehtaarialta. Järviruoko viihtyy parhaiten runsasravinteisissa vesistöissä kasvaen myös

soilla ja vesijättömailla. Talvella korjatun järviruo'on biomassa on pienempi kuin kesällä korjatun, ja sen kuiva-ainepitoisuus on yli 80 %, jopa 86 %. (ruoko.fi.) Lisäksi tällöin metaanibakteerien tarvitsemia ravinteita kulkeutuu runsaasti juurakkoon, jolloin ne eivät ole riittävässä hajoamisprosessin käytössä. Näistä syistä talvella korjattu järviruoko ei sovellu mädätykseen. Järviruoko on samankaltainen energiakasvi kuin ruokohelvi, joten tästä päätellen sen metaanintuottopotentiaali ja kuiva-ainepitoisuus oletetaan keskimäärin samaksi kuin ruokohelvellä. Tällä hetkellä järviruo'on merkitys biokaasutuotannossa on vähäinen, mutta jatkossa järvien kunnostustyön ohessa saatavaa järviruokokasvustoa tullaan mahdollisesti hyödyntämään tehokkaammin kuin nykyisin. (Komulainen, Simi, Hagelberg, Ikonen & Lyytinen 2008.)

### 3.4.3 Eri materiaalien yhteiskäsittely

Eri materiaalien yhteiskäsittelyn on usein todettu parantavan biokaasuprosessin metaanintuottoa, kannattavuutta sekä olleen muuten eduksi. Näin voidaan esim. tasapainottaa materiaalien ravinne- ja kosteuspitoisuuksia siten, että orgaaninen aine hajoaa paremmin ja lisää metaanintuottoa. Onnistunut yhteiskäsittely edellyttää optimointia käsiteltävien materiaalien laadun, määrän ja sekoitussuhteen osalta, koska esim. liian suuri kasvien osuus voi laskea metaanintuottoa ja nostattaa korren kappaleita lietteen pinnalle. Yhteiskäsittelyn yhtenä riskinä on haitta-aineiden leviäminen yhdestä jakeesta koko massaan, jolloin mädätteen lannoitekäyttömahdollisuudet voivat hankaloitua. Toinen haittatekijä voi olla myös syötettävien ja käsiteltyjen raaka-aineiden kuljetus- ja varastointitarve. (Lehtomäki ym. 2007, 30–31.)

Lanta, kuten lehmänlanta, on erittäin sopiva materiaali energiakasvien kanssa yhteiskäsittelyyn, sillä tasapainottamisen lisäksi se sisältää anaerobisille bakteereille välttämättömiä ravinteita, kuten hiiltä, typpeä, fosforia ja vitamiineja. Toisaalta liiallinen typen pitoisuus voi myös aiheuttaa inhibitiota. (Mykkänen 2008b, 12.) Suuri käsiteltävien kasvien osuus vaikuttaa merkittävästi biokaasulaitoksen tekniseen toimivuuteen ja operointiin, kuten pumppujen, putkilinjojen ja sekoittimien toimintaan. Lehtomäki (2006) mukaan korkein metaanisaanto lietereaktorissa saatiin kasvin orgaanisen aineksen osuuden ollessa 30 % syötteen orgaanisesta aineksestä. Tutkimuksessa reaktorin kuormitus oli  $2 \text{ kgVS/m}^3\text{d}$  ja materiaaleina käsiteltiin heinää, sokerijuurikkaan naatteja, olkea ja lantaa. (Mts, 48.)

### 3.5 Raaka-aineiden toimittaminen

Käytettäessä raaka-aineena jätettä, lantaa tai lietettä, toimii biokaasulaitos jätteenkäsittelylaitoksena ja yleensä raaka-aineen toimittaja maksaa porttimaksun sen ottamiseksi käsittelyyn. Sen sijaan peltobiomassoista maksetaan usein raaka-aineen toimittajalle. Porttimaksujen määrät ovat tapauskohtaisia, jotka sovitaan sopimusten mukaan. (Gustafsson & Stoor 2008.) Hagström ym. (2005, 34) ja Kalmari (2006, 40) ovat tutkimuksien kannattavuuslaskelmassa käyttäneet jätteiden porttimaksuarvoina 40 €/m<sup>3</sup>. Lanta hajuttomaksi energiaksi Ilmajoella (2006) -selvityksessä on puolestaan arvioitu tuotoksi 45–80 €/ton lisämateriaalien vastaanotosta. Samassa selvityksessä maatalouden lietteen porttimaksu oli 5 €/ton. (mt) Hinnat eivät sisällä alv:ta.

Raaka-aineiden kuljettamiseen liittyen on huomioitava useita erinäisiä asioita. Mikäli esim. lietettä tuodaan useasta eri paikasta, toimitetun tavaran määrä voi kuormittua tietyille ajanjaksoille. Kaikkea raaka-ainetta ei pystytä välttämättä heti käsittelemään, jolloin on muistettava riittävä varastointikapasiteetin tarve. Toisaalta hetkittäin syötemateriaalista voi mahdollisesti tulla pulaa. Raaka-aineiden kuljetuksien ajoreitit kannattaa suunnitella tarkoin, koska tällä saadaan kuljetuskustannuksien säästöjä, etenkin kuljettaessa pitkiä matkoja. Kovilla pakkasilla on huomioitava raaka-aineen mahdollinen jäätyminen kiinni kuljetuslavaan. (Pöyry 2007, 7.) Kuljetuksiin liittyviä hygienesoisimisvaatimuksia käsitellään kohdassa 3.8.3.

Pöyryn (2007, 8) selvityksen mukaan Suomessa maatalouslietteiden kannattavat kuljetusmatkat biokaasulaitokselle ovat noin 25 km, kun puolestaan teollisuuden ja yhdyskuntien lietteiden osalta vastaava matka on 150–250 km. Arviolta noin puolet biokaasulaitoksista toimittaa käsitellyt lietteet loppusijoitukseen 0–15 km:n päähän, 20 %:lla kuljetusmatka on yli 15 km ja 30 %:lla loppusijoituksesta huolehtii ulkopuolinen taho. (mt.) Kuljetusmatkan kannattavuudessa on luonnollisesti huomioitava myös käsiteltävän materiaalin tilavuuspaino ja energiasisältö. (Paavola 2005, 53.) Alle 5 km materiaalien kuljetusmatkat suositellaan toteuttaa traktorikuljetuksin ja tästä pidemmät kuorma-auto- tai rekkakuljetuksin. Kuljetusten suorittaminen on yleisesti ottaen järkevintä antaa ulkopuolisten urakoitsijoiden hoidettavaksi. (Taavitsainen ym. 2002, 36.)

## 3.6 Lopputuotteet

### 3.6.1 Kaasuseos, biokaasu ja sen hyödyntäminen

Biokaasu on prosessin aikana syntynyt kaasumainen seos, joka koostuu enimmäkseen metaanista<sup>12</sup> ja hiilidioksidista<sup>13</sup> (taulukko 7). Se hyödynnetään energiana tavallisesti joko polttamalla lämmöksi kaasupolttimella tai tuottamalla sekä lämpöä että sähköä käyttämällä kaasumoottoria/-turbiinia. Metaanin terminen energiasisältö on noin 10 kWh/Nm<sup>3</sup> (36 MJ/Nm<sup>3</sup> = 50 MJ/kg), mikä vastaa noin yhtä litraa kevyttä polttoöljyä.

TAULUKKO 7. Reaktoribiokaasun keskimääräinen koostumus (Hatsala 2004)

Aine	%
Metaani, CH <sub>4</sub>	55-75
Hiilidioksidi, CO <sub>2</sub>	25-45
Hiilimonoksidi, CO	0-0,3
Typpi, N <sub>2</sub>	1-1.5
Vety, H <sub>2</sub>	0-3
Rikkivety, H <sub>2</sub> S	0,1-0,5
Happi, O <sub>2</sub>	jälkiä

Tuotettaessa lämmön lisäksi sähköä, puhutaan ns. CHP<sup>14</sup> -yksiköstä, jossa kaasumoottoriratkaisulla hyötysuhde lämmölle on esim. 50 % ja sähkölle esim. 30 %. Tässä työssä hyötysuhteina käytetään em. arvoja. Pienissä polttomootoreissa (kapasiteetti <200 kW) päästään yleensä 25–30 % sähkön tuotannon hyötysuhteeseen ja isoimmista moottoreissa hyötysuhde voi olla jopa 40 %. Liikennepolttoainetuotannossa biokaasu on lisäksi puhdistettava ja paineistettava. Esimerkiksi Ruotsissa liikennepolttoaineena käytetty biokaasu sisältää vähintään 97 % metaania, ja vastaava määrä Yhdysvalloissa on vähintään 88 %. (Lehtomäki ym. 2007, 39–41.) Biokaasulaitoksen tuottamasta lämmöstä esim. 15 % ja esim. sähköstä 5 % käytetään laitoksen toimintaan, kuten pumppujen käyntiin sekä lietteen lämmittämiseen. Mikäli laitoksella käsitellään

<sup>12</sup> Metaani (CH<sub>4</sub>) = hajuton, ilmaa kevyempi kaasu, jonka palamisreaktio tuottaa paljon lämpöenergiaa

<sup>13</sup> Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) = hiilestä ja hapesta koostuva hajuton, väritön ja huonosti reagoiva kaasu

<sup>14</sup> CHP = combined heat and power, eli yhdistetty sähkön- ja lämmön tuotanto

puhtaiden syötteiden lisäksi teollisia syötteitä, joita täytyy esim. hygienisoida tai esikäsitellä, laitoksen oman energian tarve kasvaa (Tukia 2009.)

### **Hiilidioksidierottelu ja -lannoitus**

Biokaasusta voidaan ottaa hiilidioksidia talteen joko ennen polttoa tai metaanin polttoprosessin savukaasusta. Metaanin ja hiilidioksidin erottaminen ennen polttoa on tehokkaampi menetelmä kuin hiilidioksidin kerääminen polttoprosessin savukaasusta. Hiilidioksidin erottelumenetelmiä on useita, jonka valintaan vaikuttavat kaasun koostumus ja käyttötarkoitus. Kasvihuoneilman käyttöä varten riittävänä ratkaisuna pidetään savukaasun käyttöä. Savukaasu voi mahdollisesti tarvita puhdistusta, jos kaasun polttoprosessi ei ole riittävän hallittua tai kaasun esim. rikkidioksidipitoisuus on liian korkea. Rikkidioksideita poistetaan usein ennen polttoa, mutta sitä voidaan poistaa myös savukaasusta esim. vesipesulla. (Rasi & Rintala 2007.) Kasvihuoneilman haitallisten kaasujen korkeimmat sallitut pitoisuudet on määritelty liitteessä 3.

#### **3.6.2 Käsitelty materiaali, mädäte**

Biokaasulaitoksen käsitelty materiaali, eli mädäte koostuu hajoamattomasta aineksesta ja vedestä. Mädäte voidaan erottaa kiinteään ja nestefaasiin. Nestefaasia kutsutaan myös nimillä typpi- tai rejektivesi, joka voidaan laittaa takaisin kiertoon biokaasureaktorissa. Kiinteämpää osuutta kutsutaan mm. mädätysjäännökseksi, jota käytetään lannoitteena ja maanparannusaineena, maanrakennuksessa tai poltossa. Pääosa käsiteltävän materiaalin typestä ja kaliumista päättyy mädätteen nestefaasiin, kun taas fosforista suurin osa jää kiinteään osuuteen. (Peltonen & Harmoinen 2009, 34.) Taulukossa 8 on erään biokaasulaitoksen käsiteltyjen materiaalien ravinnepitoisuuksia.

TAULUKKO 8. Biovakka Oy:n biokaasulaitoksen sivutuotteiden sisältämiä ravinteita (Peltonen & Harmoinen 2009, 35)

Tuote	Ravinnepitoisuus (%)				TS%
	N	P	K	S	
Biokaasuntuotanto, mädäte	0,53	0,16	0	0	7
Biokaasuntuotanto, lingottu humusjäte	0,52	0,7	0,15	0,2	30
Biokaasuntuotanto, typpineste	0,5	0,03	0,15	0	

Mädätysjäännöksen lannoittavat ominaisuudet ovat usein paremmat kuin käsittelemättömän materiaalin. Anaerobisessa käsittelyssä C/N-suhde ja kuiva-ainepitoisuus laskevat sekä osa orgaanisesta typestä muuttuu vesiliukoiseen muotoon ammoniumtypeksi. Samalla käsitelty lanta on tasalaatuisempi, vähemmän typpioksiduulipäästöjä tuottava, helpompi käsitellä ja vähemmän hajuhaittoja synnyttävä, kuin käsittelemätön lanta. Osittain ravinteet muuttuvat kasveille edullisempaan muotoon, mikä kasvukautena tehostaa ravinteiden sitoutumista viljelykasvien käyttöön. (Rintala, Lampinen, Luostarinen & Lehtomäki 2002, 33; Paavola 2005, 27.) Esimerkiksi Börjesson ym. (2005, 330) tutkimuksen kokeet osoittivat, että pellon typpiävalunta pienentyy noin 20 %:lla käyttämällä lannoitteena käsiteltyä lantaa käsittelemättömän lannan sijasta. Mädätysjäännöksen peltolevityksen haittapuolena voi olla ammoniakkipäästöjen lisääntyminen, etenkin varastoinnin aikana, jonka takia varastoallas on hyvä peittää. Peltolevityksessä ammoniakkin haihtumista voidaan estää puolestaan multauksella. (Soininen ym. 2007, 22–23.)

### 3.7 Lainsäädäntö

Biokaasun tuotantoa säädellään mm. maatalouteen, ympäristönsuojeluun ja energiantuotantoon liittyvien lakien avulla. Käsittelyvaatimukset muuttuvat, mikäli laitoksella käsitellään tilan ulkopuolisia jättejakeita. Käsittelyyn on taattava riittävä hygieniataso. Esimerkiksi puhdistamolietteiden käsittelyyn liitetään usein tiukemmat vaatimukset, kuin puhtaiden jakeiden. Biokaasulaitoksen prosessivaatimukset ovat täten riippuvaisia käsiteltävästä materiaalista. (Taavitsainen 2006, 21.) Tämän luvun



tarkoituksena on selvittää ko. biokaasulaitoksen perustamiseen liittyvät keskeisimmät lainsäädännölliset seikat, viranomaistahot ja sidosryhmät.

### 3.7.1 Luvat

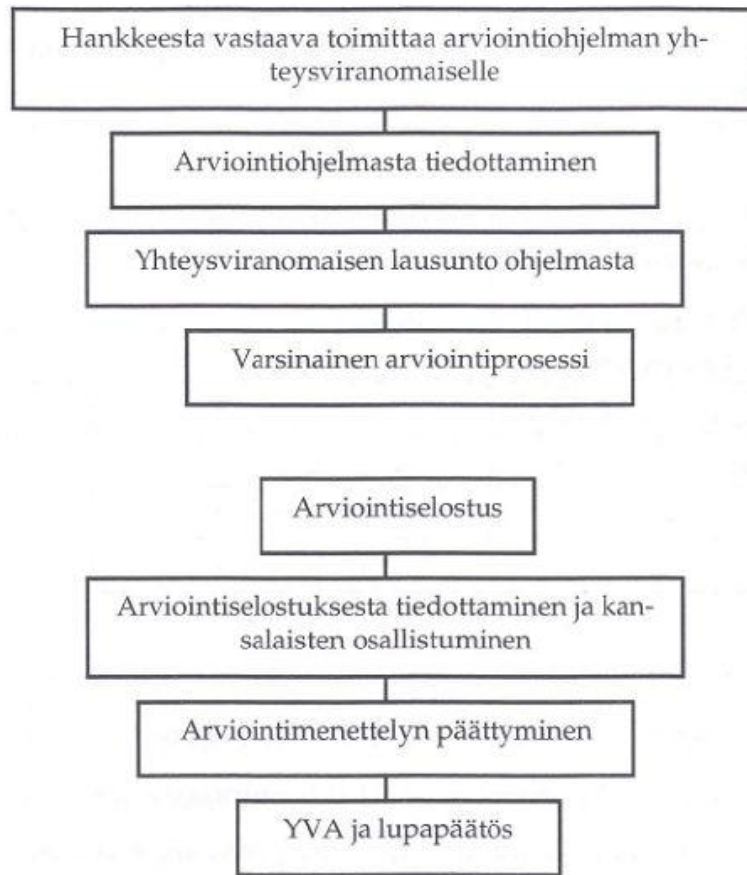
Biokaasulaitokset tarvitsevat ympäristönsuojelulain (L 4.2.2000/86) mukaisen ympäristöluvan. Lisäksi ympäristönsuojeluasetus (A 18.2.2000/169) käsittelee ja määrittelee tarkemmin, mille toiminnalle sitä on haettava. Lupaviranomainen määräytyy tapauskohtaisesti, toiminnan laajuuden perusteella. Mikäli jätteitä käsitellään < 5000 t/a, lupaviranomainen määräytyy kunnasta, ja  $\geq 5000$  t/a käsittelevän laitoksen lupaviranomainen on alueellinen ympäristökeskus. Ohjeet ympäristöluvan hakemiseen saa ympäristöhallinnon kotisivuilta ja täyttöohjeita antaa mm. ympäristöviranomainen. (Soininen ym. 2007, 44–45.)

Biokaasulaitoksen rakentaminen vaatii myös maankäyttö- ja rakennuslain (L 5.2.1999/132) mukaisen riittävän maankäytöllisen tarkastelun sekä rakennusluvan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta. Biokaasun siirtäminen laitoksen ulkopuolelle edellyttää maakaasuasetukseen (A 3.12.1993/1058) perustuen luvan siirtoputkiston rakentamiseen turvatekniikan keskukselta, eli TUKES:lta. Mikäli biokaasulaitoksella käytetään eläinperäisiä sivutuotteita, edellytetään toiminnalta sivutuoteasetuksen (A 3.1.2002/1774/EY) mukainen laitoshyväksyntä Elintarviketurvallisuusviraston, eli Eviran toimesta. Ravinnejakeiden markkinointi ja myynti edellyttää puolestaan sivutuoteasetuksen ja lannoitevalmistelain (L 29.6.2006/539) mukaista hyväksyntää, jonka tekee myös Evira.

### 3.7.2 YVA-laki ja -asetus

YVA tarkoittaa ympäristövaikutusten arviointia, joka vaaditaan käsiteltäessä 20 000 tonnia tai enemmän raaka-ainetta vuodessa. YVA-menettelyssä sovelletaan YVA-lakia (L 10.6.1994/468) ja -asetusta (A 17.8.2006/713). Arviointi koostuu kahdesta osasta; arviointiohjelmasta ja arviointiselostuksesta. Arviointiohjelma on suunnitelma selvityksistä, jonka aikana vaikutusalueen kunnalla/kunnilla on tilaisuus antaa lausuntonsa. Tämän jälkeen laaditaan arviointiselostus, jossa selvitetään vaikutukset arvioin-

tiohjelman ja yhteysviranomaisen lausunnon pohjalta. (mt.) Kuviossa 8 on esitetty kuvaus YVA-menettelystä.



KUVIO 8. YVA-menettelyn eri vaiheet (Soininen ym. 2007, 46)

### 3.7.3 Sivutuoteasetus

Sivutuoteasetus, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus n:o 1774/2002 on asetus muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveys- säännöistä. Siinä annetaan säädöksiä mm. käsiteltäväksi soveltuvista materiaaleista, käsittelymenetelmistä ja lopputuotteen laadusta sekä käytöstä. Sivutuoteasetuksen täytäntöönpanoa ohjaa ja valvoo ensisijaisesti maa- ja metsätalousministeriö (MMM), yhdessä Elintarviketurvallisuusviraston eli Eviran kanssa. (A 3.1.2002/1774/EY.) Sivutuoteasetuksen ulkopuolella jääviä malleja ovat oman tilan lannan käsittelevät bio- kaasulaitokset ja usean tilan keskitetyt laitokset lannan käsittelyssä. (Taavitsainen

2006, 24–25) Sivutuoteasetuksen uudelleen käsittely on parhaillaan käynnissä, joten muutoksia on odotettavissa.

Eläimistä saatavat sivutuotteet jaetaan taulukon 9 mukaisesti kolmeen luokkaan. Luokan 1 sivutuotteita ei ole sallittua käyttää biokaasulaitosten raaka-aineena, luokan 2 sivutuotteet on ennen käyttöä *sterilisoitava* ja luokan 3 sivutuotteet *hygienisoitava*. Poikkeuksellisesti luokassa 2 lanta voidaan käyttää raaka-aineena ilman sterilisointia ja hygieniasointia, mikäli asetuksessa lopputuotteen laatuvaatimukset täyttyvät. (Lehtomäki ym. 2007, 13.) Eläinlääkäriin todetessa, että lannassa on vakava tartuntataudin riski, tulee lanta tällöin käsitellä luokan 2 käsittelylaitoksessa. Sivutuoteasetuksen ulkopuolelle jäävät kokonaan leipomotuotteet (jäteleipä, kakut, leivonnaiset, keksit), pasta, suklaa, makeiset ja niiden samankaltaiset tuotteet, hedelmät sekä vihannekset. (MMM & KTTK 2004, 9 & 21.)

TAULUKKO 9. Eläinperäisten sivutuotteiden luokittelu ja käsittelyvaatimukset biokaasulaitoksissa (Lehtomäki ym. 2007, 13)

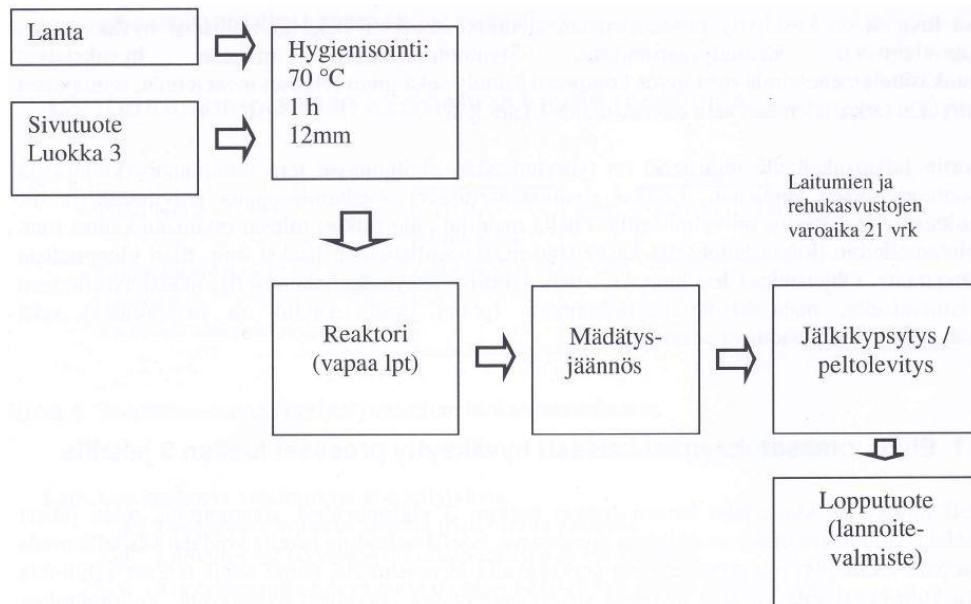
	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3
Materiaali	Sivutuotteet, joissa on TSE-taudin riski, tuntematon riski tai ne sisältävät kiellettyjen aineiden tai ympäristömyrkkyjen jäämiä	Sivutuotteet, joissa on muiden eläintautien kuin TSE-tautien riski tai eläinlääkejämien riski	Sivutuotteet, jotka on saatu ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä, joita ei kuitenkaan enää käytetä elintarvikkeissa
Käsittelyvaatimukset	Ei sovellu	Sterilisointi: 3 C°, 3 bar, 20 min, partikkelikoko <50 mm	Hygienisointi: 70 C°, 60 min, partikkelikoko <12 mm
Esimerkkimateriaaleja	Kansainvälisen liikenteen EU:n ulkopuolelta oleva ruokajäte	Lanta, kuolleet tai teurastetut siat ja siipikarja	Entiset elintarvikkeet, ruokajäte

Luokan 3 sivutuotteet voidaan eritellä taulukon 10 mukaisesti kolmeen jakeeseen. Mikäli laitoksella käsitellään lannan lisäksi *luokan 3 eläinperäisiä sivutuotteita*, tulee jakeet käsitellä sivutuoteasetuksen mukaisessa prosessissa, kuten esim. kuvion 9 käsittelyprosessissa. (Taavitsainen 2006, 27) Jakeita voidaan käsitellä prosesseista poikkeavalla menetelmällä, mutta nämä tulee *validoida* ennen kuin laitokselle voidaan myöntää sivutuoteasetuksen mukainen hyväksyntä. Tällöin validoinnissa tulee tunnistaa mahdolliset vaarat, osoittaa laitoksen pystyminen käsittelemään materiaalit hygieniavaatimusten mukaisella tavalla sekä laatia riskienarviointi prosessin toiminnalle. Validointimenettelyä vaaditaan myös, mikäli biokaasulaitoksella käytetään muuta kuin asetuksessa määrättyä käsittelylämpötilaa, -aikaa, tai palakokoa. Validointiohjeet ovat tapauskohtaisia, jonka hyväksyy Evira. (A 7.3.2006/208.)

TAULUKKO 10. Luokan 3, eläinperäisten sivutuotteiden erittely (Taavitsainen ym. 2006, 22–23)

<p><b><u>Ruokajäte:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ravintoloiden ruokajäte</li> <li>- Pitopalveluiden ruokajäte</li> <li>- Keskuskeittiöiden ruokajäte</li> <li>- Kotitalouksien keittiöiden ruokajäte</li> <li>- Ruokajäte EU:n sisäisistä liikennevälineistä</li> </ul>
<p><b><u>Entiset eläinperäiset elintarvikkeet vähittäis- ja tukkukaupoista:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tuotteet, jotka eivät ole enää tarkoitettu elintarvikkeiksi kaupallisista syistä* ja joista ei ole riskiä ihmisille tai eläimille</li> <li>- Tuoreeltaan myytävä liha</li> <li>- Siipikarja ja kala sekä liha-, siipikarja- ja kalatuotteita tai valmisteita sisältävät entiset elintarvikkeet</li> <li>- Elintarvikkeiden käsittelyssä ja valmistuksessa syntyvät sivutuotteet</li> <li>- Lihan, siipikarjan ja kalanperkeet</li> </ul>
<p><b><u>Elintarviketeollisuudesta liha-alan laitoksista tuleva eläinperäinen jäte:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lihantarkastuksessa hyväksytyt teuraseläinten osat, joita ei käytetä elintarvikkeina</li> <li>- Lihantarkastuksessa hyväksytyjen ruhojen hylätyt osat ja elimet, joissa ei ole merkkejä ihmisiin ja eläimiin tarttuvista taudeista</li> </ul>

\* pakkausvika, valmistusvika, myyntipäivä mennyt umpeen



KUVIO 9. Sivutuoteasetuksen mukainen hyväksytty käsittelyprosessi (Taavitsainen 2006, 28)

### Sivutuotealan laitoshyväksyntä

Biokaasulaitos, joka hajottaa eläinperäiset tuotteet biologisesti anaerobisissa olosuhteissa biokaasun tuotantoa ja keräilyä varten, luokitellaan sivutuoteasetuksen mukaiseksi laitokseksi. Saadakseen laitoshyväksynnän on sen täytettävä laitosta koskevat erityisvaatimukset, hygieniavaatimukset, riittävä esikäsittely, oltava toimivaltaisen viranomaisen tarkastama, toteutettava kriittisten valvontapisteiden seuranta- ja tarkastusmenetelmiä sekä varmistettava mädätysjätteen riittävät mikrobiologiset vaatimukset. Eviran antama hyväksyntä on peruttava, kun em. vaatimukset eivät enää täyty. (A.3.10.2002/1774.)

### Lannan keräily ja kuljetus vaatimukset

Lannan ammattimaisesta keräämisestä ja kuljettamisesta on tehtävä jätelain (L 3.12.1993/1072) mukainen ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle jätetiedostoon merkitsemistä varten. Lanta on kuljetettava käsittelylaitokseen katetuissa, tiiviissä säiliössä tai ajoneuvossa. Mikäli lannan kuljettaminen ei ole tilan sisäistä tai lannanluovutussopimuksen<sup>15</sup> piiriin kuuluvaa, on ajoneuvossa tai muussa pakkausmateriaa-

<sup>15</sup> Lannanluovutussopimus = voimassa oleva sopimus toisella maatilalla syntyvän lannan vastaanottamisesta ja hyödyntämisestä viljelyn kannalta kestäväällä tavalla / ympäristölupiin liittyvä lannanluovutussopimus / muu kirjallinen tilojen välinen sopimus

lissa oltava merkintä ”lantaa, luokka 2”. Kuljetuksen mukana on oltava kaupallinen asiakirja. Lannan kuljettajan on pidettävä kirjaa kuljetusajoneuvojen-, -säiliöiden ja -välineiden asianmukaisesta puhdistuksesta. (MMM & KTTK 2005, 9-10.)

### **Laitoshyväksynnän hygieniavaatimukset ja käsiteltyjen tuotteiden vaatimukset**

Yleisiä laitoksen hygieni- ja erityisvaatimuksia käsitellään mm. sivutuoteasetuksen soveltamisoppaassa V, jonka tietoja parhaillaan päivitetään. (Venelampi 2008) Oppaan mukaan käsiteltävä aines on prosessoitava mahdollisimman pian laitokselle saapumisen jälkeen tai tarvittaessa säilytettävä asianmukaisella tavalla käsittelyyn asti. Lopputuotteet tulee varastoida niin, ettei uudelleen saastuminen käsittelyn jälkeen ole mahdollista. (MMM & KTTK 2004.)

Sivutuoteasetus velvoittaa myös seuraamaan käsiteltyjen tuotteiden hygieenistä laatua. Jokaisesta valmistuvasta tuotantoerästä sen aikana tai välittömästi sen jälkeen on otettava näyte, jossa seurataan lopputuotteiden mikrobiologisia raja-arvoja. Näytteiden on täytettävä seuraavat vaatimukset: *Escherichia coli* tai *Enterococcoceae* -bakteereja  $\leq 1000$  pmy/g neljässä näytteessä ja  $\leq 5000$  pmy/g yhdessä näytteessä. Lisäksi materiaalien on oltava puhtaita salmonellasta (ei esiinny 25 g:n näytteessä) varastoinnin aikana tai varastoinnin yhteydessä. (Lehtomäki ym. 2007, 13–14.) Käytettäessä lantaa tuotantoeläinten tautitapausten sattuessa tai epidemioiden aikana, tulee noudattaa erityissäädöstä, jonka antaa MMM. Käsiteltäessä eläinperäisiä sivutuotteita yhdessä puhdistamolietteen kanssa, tulee myös noudattaa sivutuoteasetuksen vaatimuksia. Vaatimukset määräytyvät raaka-aineena käytetyn eläinperäisen sivutuotteen mukaan. (MMM & KTTK 2004, 9 & 19.)

Käsiteltäessä lantana muuta kuin tuotantoeläinten lantaa, mädäte vaatii vielä jatkokäsittelyä, jotta siitä saadaan lannoitevalmistelain asettamat laatuvaatimukset täyttämä lopputuote. Jos mädäte aiotaan kompostoida, vaatii komposti riittävän pitkän jälkikypsytyksajan, joka määräytyy lopputuotteen käyttötarkoituksen mukaan. Sellaisia tuotteita, joissa on lannan lisäksi raaka-aineena luokan 2 tai 3 sivutuotteita, ei saa käyttää laitumilla. (MMM & KTTK 2004, 14.) Lisäksi käsiteltäessä luokan 3 ainesta tai ruokajätettä, mädätteen käytölle rehukasveille on asetuksessa (A 1.3.2006/181/EY) asetettu 21 vrk varoaika.

### 3.7.4 Lannoitevalmistelaki

Lannoitevalmistelakia (L 29.6.2006/539) sovelletaan lannoitevalmisteiden raaka-aineiden valmistukseen, markkinointiin, käyttöön, kuljettamiseen sekä soveltuvin osin niiden valmistukseen omaan käyttöön. Lailla määritellään ominaisuudet ja raja-arvot lannoitteille ja lannoitteena käytettäville sivutuotteille. Lannoitevalmistelakia sovelletaan sivutuoteasetuksen valvontaan ja täytäntöönpanoon. (mt.)

Toiminnanharjoittajan tilat, laitteet ja kalusto on oltava asianmukaiset lannoitteiden valmistukseen, säilytykseen sekä kuljetukseen. Laissa edellytetään toiminnanharjoittajilta omavalvonnan järjestämistä ja orgaanisia lannoitevalmisteita valmistavilta laitoksilta laitoshyväksyntää. Lannoitevalmisteilta vaaditaan tasalaatuisuutta, turvallisuutta ja käyttötarkoitukseen sopivuutta. Ne eivät saa sisältää haitallisia määriä tiettyjä aineita, tuotteita tai eliöitä. Laatuvaatimuksia on määritelty tarkemmin MMM:n asetuksissa. (L 29.6.2006/539)

Lannoitevalmistelain mukaan toiminnanharjoittajan on ilmoitauduttava viranomaisten ylläpitämään toimijarekisteriin tekemällä ns. elinkeinoilmoitus Eviran rehu- ja lannoitevalvontayksikköön. Toimijarekisteri-ilmoitus tehdään toiminnasta, toiminnassa tapahtuvista olennaisista muutoksista ja toiminnan lopettamisesta. Ilmoitus on tehtävä ennen kyseisen toiminnan aloittamista ja siihen on liitettävä kuvaus toiminnan järjestämisestä. Laki edellyttää myös tiedoston pitämistä käsittelymääristä sekä näiden tietojen vuosittaista ilmoittamista Eviraan. Tarvittaessa rekisteritiedot on päivitettävä muutosilmoituksella. Biokaasulaitoksen on oltava Eviran hyväksymä ennen toiminnan aloittamista. (L 29.6.2006/539.)

### 3.7.5 Muita lainsäädännöllisesti huomioitavia asioita

MMM:n asetuksessa (A 13.2.2007/656) lannoitevalmisteista määritellään valmistaiden tyyppinimiluettelot ja tyyppinimikohtaiset vaatimukset, valmistaiden laatu-, merkintä-, pakkaus-, kuljetus-, varastointi- ja muut vaatimukset. Asetuksen liitteessä IV on esitetty kaikki tyyppinimiä koskevat vaatimukset haitallisten aineiden osalta. (Evira.) MMM asetukseen (A 13.2.2007/656) on kaavailtu muutosta asetuksella x/2009

koskien mm. mädätteen tyyppinimeä. Määtysjäännöksen ja rejektiveden ominaistiedoista kerrotaan liitteessä 6.

Valtioneuvoston asetuksessa (A 9.11.2000/931) maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta asetetaan lannoitevalmisteiden käytölle tiettyjä vaatimuksia. Taulukossa 11 on analysoidun liukoisen typen ja fosforin enimmäislevitysmäärät eri käytössä. Typen, fosforin ja raskasmetallien levitysraja-arvot sekä keskimääräiset arvot käyvät ilmi taulukosta 14. Raskasmetallipitoisuuksia tarkastellaan käytettäessä puhdistamolietteitä.

TAULUKKO 11. Lannoitevalmisteiden liukoisen fosforin ja typin enimmäislevitysmäärät (Lehtomäki ym. 2007, 15)

	Liuk. P (kg/ha)	Liuk. N (kg/ha)	käyttöjakso
Maataloudessa	400		5 vuotta
Puutarhataloudessa	600		5 vuotta
Maisemointi- ja viherrakentamiskäytössä	750	1250	5 vuotta

Hyödynnettäessä puhdistamolietepohjaisia sivutuotteita, noudatetaan valtioneuvoston päätöstä (P 14.4.1994/282) puhdistamolietteiden käytöstä maanviljelyksessä. MMM:n asetuksessa (A 13.2.2007/657) lannoitevalmisteista säädellään tarkemmin lannoitevalmisteita koskevaa toiminnan harjoittamista ja sen valvontaa. Lisäksi Eviran ja MMM:n tehdyissä ohjeissa (MMMELO 2915/835/2005) on mm. annettu raja-arvoja viljelyksessä käytettävälle lietteelle ja lieteseoksen raaka-aineeksi soveltuvalla lietteelle. Pelkkä puhdistamolietteen seostaminen turpeen, hakkeen tai muun vastaavan seosaineen kanssa, tai tiivistys ja kuivaus eivät ole hyväksyttäviä käsittelymenetelmiä. (Mts, 2.)

Biokaasulaitoksen rakentamiseen ja käyttöön sovelletaan yleisiä jätehuoltoa koskevia määräyksiä. Jätelaki ja -asetus (A 22.12.1993/1390) asettavat tavoitteet jätehuollolle, jossa huomioidaan jätteiden synnyn ehkäisy, jätteen hyödyntämisen edistäminen sekä jätteiden ympäristölle aiheuttaman vaaran torjuminen. (mt.) Ohjaavana säädöksenä on ympäristönsuojelulaki (L 4.2.2000/86). Biokaasun valmistukseen ja siirtoon valmistuspaikalla sovelletaan asetusta vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja



varastoinnista (A 29.1.1999/59). Lisäksi biokaasuun sovelletaan maakaasusetusta (A 3.12.1993/1058), kun kaasua siirretään laitoksen ulkopuolelle. Kahta edellistä asetusta valvoo Turvatekniikan keskus (TUKES), josta anotaan myös luvat kaasuverkolle. Asetusta 59/1999 sovelletaan myös silloin, kun maakaasusetus ei tule kyseeseen. (A 29.1.1999/59.)

## **4 KAIVOSTOIMINNAN RIKASTUSHIEKKA-ALTAAT**

Kaivostoiminnassa rikastushiekka-altaita maisemoidaan erinäisillä materiaaleilla, joista mädätysjäännös saattaisi olla yksi potentiaalinen. Tässä työssä tarkastellaan Pyhäsalmi Mine Oy:n altaita, jotka sijaitsevat Rönkön puutarhojen vieressä. Pyhäsalmi Mine Oy:n kaivostoiminnassa erotetaan louhittavasta malmista kupari (Cu), sinkki (Zn) ja pyriittirikasteet. Jäljelle jäävä ns. rikastushiekka (eng. Tailings), eli ongelmajäte kasataan jätealueelle, koska sitä ei voida hyödyntää kaivostoiminnassa. Altaat näkyvät kartalla kuviossa 10. Tällä hetkellä toiminnassa olevia altaita ovat D- ja B-altaat, joista B-allas sisältää pyriittipitoista jätettä ja se on suunniteltu ottaa takaisin tuotantoon. D-altaan on arvioitu tulevan maisemoitavaksi noin vuonna 2017. (Urpelainen 2008.) A-allas on vasta maisemoitu, jossa hyödynnettiin metsämaata, Pyhäjärven puhdistamolietettä sekoitettuna turve- ja hakeseokseen, järven rantojen pohjamaata sekä muita sopivia tuotteita altaan peitekerrosta varten. (Hänninen 2009) Tietoja A-altaan rakenteesta ja ominaisuuksista esitetään liitteessä 5.



KUVIO 10. Pyhäsalmi Mine Oy:n rikastushiekka-alaat (Hänninen 2009)

Altaissa säilytettävä rikastushiekka sisältää sulfidipitoisia yhdisteitä, jotka hapettuaan joko ilmassa tai vedessä vapauttavat helppoliukoisia metalleja ja muodostavat sulfaatteja. Sulfaatit ovat potentiaalisia saastelähteitä. Läjitysalueen pinta- ja pohjarakenteilla on positiivinen vaikutus sulfidiyhdisteiden reaktiokinetiikkaan ja suotovesien kulkeutumiseen. Rakenteet estävät metallien liukenemistä ja minimoivat ympäristöriskejä. (Komulainen 1996, 1.)

## 5 AINEISTOT JA MENETELMÄT

### 5.1 Biohajoavien raaka-aineiden kartoittaminen

Pyhäjärven lähiseudun biohajoavia raaka-aineita on kartoitettu puhelinhaastatteluin ja sähköpostikirjeenvaihdoin. Tietoja on kerätty mm. ympäristökeskuksesta, puhdistamojen parissa työskenteleviltä, Vestia Oy:stä, Pyhäjärven kunnasta ja maanviljelijöiltä. Ohjausta ja arvokkaita neuvoja selvitystyötä tehdessä on kerätty myös biokaasualan parissa työskenteleviltä.

#### 5.1.1 Puhdistamolietteiden kartoittaminen

Syntyviä jätevedenpuhdistamolietteitä on kartoitettu kuvion 11 mukaisesti eteläisen Pohjois-Pohjanmaan, Vieremän, Kiuruveden, Pielaveden sekä Pihtiputaan kunnista. Eteläisestä Pohjois-Pohjanmaasta on tarkasteltu seuraavia kuntia; Pyhäjärvi, Haapajärvi, Haapavesi, Nivala, Kärsämäki, Sievi, Reisjärvi ja Pyhäntä. Puhdistamolietetiedot on kerätty Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksesta (Malila 2008), Pohjois-Savon ympäristökeskuksesta (Hartikainen 2009) ja Pihtiputaan puhdistamolietemäärät ”Biokaasusta energiaa Keski-Suomeen” -hankkeesta. Lisäksi keskusteluja puhdistamolietteistä on käyty paikallisten puhdistamonhoitajien tai niiden parissa työskentelevien (Aimo Tiitto 2008, Jorma Erkkilä 2008, Pertti Räikiä 2008, Timo Aitto-Oja 2008 & Ilkka Nurminen 2009) kanssa. Useiden mielestä puhdistamolietemäärät tulevat kyseisissä kunnissa pysymään samalla tasolla tai laskemaan, koska asukasmäärät enimmäkseen vähenevät. Talousjätevesiasetuksella ei uskottu olevan merkittävää vaikutusta lietemäärien kasvuun.



KUVIO 11. Kartoitettavat kunnat kartalla

### 5.1.2 Biojätteiden kartoittaminen

Biojätteiden erilliskeräilyä ei ole Vestia Oy:n toiminta-alueella tähän mennessä toteutettu ja biojättemääristä ei ole tarkkaa tietoa. Biojätteiden kartoitus sisältää kotitaloukset, koulut, hoitolaitokset, ravintolat ja kaupat, koska niistä saatava biojäteosuus on merkittävä. Maantieteellisesti biojättemääriä kartoitetaan samalta eteläisen Pohjois-Pohjanmaan alueelta, kuin puhdistamolietteiden kartoituksessa. Arviot kotitalouksien tuottamista biojättemääristä perustuvat seuraaviin laskentoihin.

Yhden asukkaan oletetaan tuottavan biojätettä 60 kg/vuosi. Esimerkiksi Saarijärven kaupungin asukasluku on noin 10 000, saadaan Saarijärven kotitalouksissa syntyväksi biojättemääräksi noin 600 ton/vuosi. Kaikkea kotitalouksissa syntynyttä biojätettä ei saada talteen, vaan osa biojätteistä kulkeutuu kaatopaikalle sekajätteenä ja osa kotikompostoidaan. Biojätteistä oletetaan saatavan talteen 34 kg/vuosi asukasta kohden, saadaan arvio Saarijärven kotitalouksista kerättäväksi biojättemääräksi noin 340 ton/vuosi. Arviot lähialueen kunnallisten laitosten ja liikekiinteistöjen biojättemääristä on kerätty Vestia Oy:lle tehdystä opinnäytetyöstä (Leipälä 2008), jossa on arvioitu biojättemääriä Vestia Oy:n toiminta-alueella.

### 5.1.3 Muiden raaka-aineiden ja maanviljelijöiden halukkuuden kartoittaminen

Pyhäjärven maanviljelijöiden osoitetietojen perusteella laskettiin tilan etäisyys Rönkön puutarhoille eniron reitti-palvelua hyödyntäen. Tarkastelussa oli 182 EU-tukea saanutta Pyhäjärven maanviljelijää, joista 139 maanviljelijän riittävät yhteystiedot löytyivät eniron henkilö-palvelusta. Heistä 118 kpl sijaitsi alle 20 km, 83 kpl alle 15 km ja 47 kpl alle 10 km etäisyydellä puutarhoja. Maanviljelijöitä haastateltiin puhelimitse em. tietojen perusteella maanviljelijähaastattelupohjan (liite 8) mukaisesti alle 15 km etäisyydeltä puutarhoja. Tämän lisäksi haastateltaviksi lisättiin 10 muuta yli 15 km etäisyydellä sijaitsevaa viljelijää, koska heidän arveltiin olevan mahdollisesti kiinnostuneita yhteistyökumppaneita. Maanviljelijöiltä kysyttiin heidän tuotantomuodot ja -määrät, käytetyt ja käyttämättömät peltoalat, mielekkyys raaka-ainetoimittajaksi, ensiajatukset biokaasulaitoksen perustamisesta sekä mahdolliset muut keskeiset asiat tapauskohtaisesti. Haastattelun tulokset eriteltiin onnistuneisiin ja epäonnistuneisiin otoksiin. Onnistuneista otoksista valittiin potentiaaliset kohteet ja epäonnistuneiden otosten syyt kirjattiin ylös.

Maatilaraaka-aineiden kartoituksessa käytettiin myös hyödyksi Pyhäjärvelle aiemmin tehdyn esiselvityksen (Manonen 2004) tuloksia. Esiselvitys on Pyhäjärvi Kehitys Oy:n käynnistämä, jossa selvitettiin maatilakyselyin etanolin tuotantoon soveltuvia raaka-aineita ja tilojen tarvetta saada syntyvä lanta käsitellyksi sekä mielekkyyttä raaka-aineen toimittajaksi biopolttoaineen valmistuslaitokselle. Lisäksi Pyhäjärven kunnasta tiedusteltiin järviruo'on määriä ja mahdollisuutta yhtenä potentiaalisena biohajoavana raaka-aineena. Aiheesta haastateltiin puhelimitse ympäristötyöntekijä Juha Tikkaa. (Tikka 2009) Työn aikana oltiin myös yhteydessä 11 kasvihuoneviljelijään ja noin 10 biokaasualan parissa työskentelevään, koska heiltä kysyttiin kiinnostusta osallistua suunniteltuun biokaasumatkaan Saksaan. Yhteydenoton aikana kirjattiin ylös heidän ajatuksiaan biokaasulaitoksen hyödyntämisestä nimenomaan kasvihuonetuotannossa.

## 5.2 Käsiteltävien materiaalien kaasuntuoton ja energiasällön laskentaperusteet

Tulevissa laskelmissa käytetään taulukon 12 mukaisia eri raaka-aineiden ominaisuuksia, jotka perustuvat taulukon 4 annettuihin eri kirjallisuudessa saatuihin lukuihin ja niiden keskiarvoihin sekä päätelmiin. Ruukohelven ja säilörehun keskimääräisenä koko kesän satona käytetään 9,5 tonTS/ha. Kesantomaiden vihermassasadot oletetaan em. 50 % pienemmiksi. Puhdistamolietteiden kuiva-ainepitoisuus lasketaan kaikkien tarkasteltavien lietteiden keskimääräisenä arvona. Tämän työn laskennoissa kaikkien raaka-aineiden biokaasun metaanipitoisuutena käytetään keskimääräistä arvoa 65 % ja hiilidioksidipitoisuuden keskimääräistä arvoa 23 %.

TAULUKKO 12. Laskelmissa käytettäviä lähtöarvoja

Raaka-aine	Nm <sup>3</sup> CH <sup>4</sup> / ton <sup>n</sup> VS	TS (%)	VS (%)	Tilavuuspaino (kg/m <sup>3</sup> )
Ruukohelpi	390	25	93	600
Nurmiheinä	375	25	93	800
Olki	280	90	91	200
Vihannesjäte	330	15	85	750
Naudan lietelanta	175	7	80	1000
Naudan kuivalanta	175	35	80	550
Sian lanta	350	6	75	1000
Hevosen lanta	180	35	80	550
Järviruoko	390	25	93	600
Jätevedenpuhdistamoliete	300	*	65	1000
Biojäte	550	35	80	350
Keskimääräiset ominaisuudet	350	23	92	720

\* Tulosten perusteella valittujen lietteiden keskimääräinen arvo.

Jos biokaasulaitos tuottaa esim. 1000 m<sup>3</sup> biokaasua vuorokaudessa, voidaan laitoksen tuottama energiamäärä laskea esimerkiksi seuraavasti.

$$\text{Biokaasun lämpöarvo: } 10 \text{ kWh/m}^3 \times 0,65 = 6,5 \text{ kWh/m}^3$$

$$\text{Energiamäärä: } 1000 \text{ m}^3 \times 6,5 \text{ kWh/m}^3 = 6500 \text{ kWh}$$

Kun lämmön hyötysuhde on 50 % ja sähkön 30 %, saadaan lämmön osuudeksi 3250 kWh ja sähkön 1950 kWh.

Kun biokaasulaitoksen tuotetusta energiasta omaan käyttöön menevä lämmön osuus on 15 % ja sähkön 5 %, saadaan 2822,5 kWh lämpöä ja 1852,5 kWh sähköä käytettäväksi laitoksen ulkopuolelle.

### **5.3 Laitoksen sijoitus- ja mitoitus**

Biokaasulaitoksen sijoittaminen perustuu Petteri Rönkön ja Pyhäjärven kaupungin kanssa käytyyn keskusteluun. Laitos mitoitetaan alustavasti, jossa käytetään myös apuna MetaEnergia Oy:n (2007) laskentaohjelmaa. Vilkkilän (2007) opinnäytetyön mukaan bioreaktorin koko tulee olla vähintään päivittäisen syötemäärän ja syöteen viipymäajan tulo. Käytännössä reaktori kannattaa mitoittaa suuremmaksi. (mt) Tässä työssä reaktori mitoitetaan 40 % suuremmaksi kuin em. tulo. Biokaasulaitos mitoitetaan kolmelle eri vaihtoehdolle, joissa syötetyt raaka-aineet muuttuvat. Ensimmäinen vaihtoehto on puhtaille syötteille; vihannesjäte, maatalaraaka-aineet ja järviruoko. Maatalaraaka-aineiksi valitaan maatalahaastattelujen perusteella potentiaalisimmilta tiloilta mahdollisesti saatavat raaka-aineet. Ensimmäisen vaihtoehdon raaka-aineille tavoiteltiin noin 10 000 MWh energiasisältöä, koska tällöin laitos tuottaisi kasvihuoneiden käyttöön noin puolet tarvitusta sähkön määrästä. Kahdessa muussa vaihtoehdossa syötteinä on myös teollisia tuotteita; puhdistamoliete ja biojäte, jolloin saatava energiamäärä on luonnollisesti korkeampi. Kolmea vaihtoehtoa kuvataan raaka-aineiden ja energiasisältöjen mukaisesti.

### **5.4 Lopputuotteen sijoittaminen ja peltolevityspinta-alan laskentaperusteet**

Lopputuotteen sijoittamismahdollisuuksia on kartoitettu puhelinhaastatteluun maanviljelijöiltä raaka-ainekartoituksen yhteydessä (luku 4.1.3). Potentiaalisina lopputuotteen sijoituskohteina kartoitettiin viljelijöiden peltoaloja, joiden lannoittaminen mädä-

tysjäännöksellä todettiin järkeväksi. Toisena sijoituskohteena kartoitettiin toimipisteen vieressä sijaitsevia Pyhäsalmi Mine Oy:n rikastushiekka-altaita. Niiden soveliaisuutta sijoituspaikaksi tiedusteltiin yrityksen henkilökunnalta. (Urpelainen 2008; Hänninen 2009)

Mädätysjäännöksen peltolevityspinta-alan laskennat perustuvat nitraattiasetukseen (A 9.11.2000/931), MMM:n ympäristötukiasetukseen (A 5.7.2000/646) sekä puhdistamolietteen raskasmetallipitoisuusarvoihin. Lähtötietoina käytetään taulukoiden 13 ja 14 mukaisia syötteiden ravinne- ja raskasmetallipitoisuusarvoja. Järviruon ravinnesisältö oletetaan samaksi kuin ruokohelven. Puhdistamolietteiden ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksina käytetään keskimääräisiä lukuja (Euroopan komissio 2000, 82), mutta poikkeuksellisesti Pyhäjärven laskelmat perustuvat puhdistamokohtaiseen tietoon. (Malila 2008) Ravinteiden peltolevitysraja-arvot ovat hehtaaria kohden, ja raskasmetallien kilossa kuiva-ainetta kohden. Lisäksi kasveille käyttökelpoisena fosforin osuutena käytetään 40 % (Salminen 2007, 53), ja biojätteiden keskimääräisenä kuiva-ainepitoisuutena 35 % (Vilkkilä 2007, 18).

TAULUKKO 13. Puhtaiden syötteiden ravinnemäärät

Raaka-aine	Kok. N		Liuk. N		Kok. P	
	g/kg	%/kgTS	g/kg	%/kgTS	g/kg	%/kgTS
Tomaatti- ja kurkkujäte (lehtianalyysi) <sup>(1)</sup>		3,92				0,48
Säilörehu <sup>(2)</sup>		2,56				0,29
Ruokohelvi <sup>(2)</sup>		1,00				0,19
Järviruoko		1,00				0,19
Naudan kuivalanta <sup>(3)</sup>	2,26		0,66		0,66	
Naudan lietelanta <sup>(3)</sup>	3,30		1,90		0,60	
Sian lietelanta <sup>(3)</sup>	4,20		2,90		1,00	

(1 Boij 2009

(2 Mavi 2008, 15

(3 Taavitsainen, Kapuinen & Survo 2000, 130



TAULUKKO 14. Puhdistamolietteiden ja biojätteiden raskasmetalli- ja ravinnepitoisuusarvot

Raskasmetalli tai ravinne	Pyhäjärven puhdistamolietearvot <sup>(1)</sup>	Keskimääräiset puhdistamolietearvot <sup>(2)</sup>	Keskimääräiset biojättearvot <sup>(2)</sup>	Raja-arvo <sup>(4)</sup>
Kadmium (Cd) (mg/kg TS)	3,5	1,04	1,04	3
Kromi (Cr) (mg/kg TS)	15	84	84	300
Kupari (Cu) (mg/kg TS)	32	290	290	600
Elohopea (Hg) (mg/kg TS)	0,14	1,3	1,3	2
Nikkeli (Ni) (mg/kg TS)	25	34	34	100
Lyijy (Pb) (mg/kg TS)	50	29	29	150
Sinkki (Zn) (mg/kg TS)	1101	606	606	1500
Kok. N (g/kg TS)	44,7	41	25 <sup>(3)</sup>	170 kg/ha
Liuk. N (g/kg TS)	8,94	8,2	16 <sup>(3)</sup>	90 kg/ha
Kok. P (g/kg TS)	20	22	3 <sup>(3)</sup>	15 kg/ha

1) Malila 2008

2) Euroopan komissio 2000, 82

3) Vilkkilä 2007, 18

4) P 14.4.1994/282

Puhdistamolietteiden keskimääräiset kuiva-ainepitoisuudet lasketaan niistä puhdistamoiden lietteistä, joiden käyttö todetaan järkeviksi. Esimerkiksi 3 000 m<sup>3</sup> puhdistamolietemäärän kokonaisfosforin pinta-alan tarve voidaan laskea seuraavasti, jos lietteiden keskimääräinen TS on 18 %.

$$\frac{0,4 * 0,02 \text{ kg P kok} * 0,18 * 3\,000 \text{ m}^3 * 1\,000 \text{ kg}}{15 \text{ kg/ha}} = 288 \text{ ha}$$

Pyhäjärven puhdistamolietteen levitysala kuparin perusteella voidaan laskea puolestaan seuraavasti, kun syntyvä puhdistamolietemäärä on 943 m<sup>3</sup> ja sen TS on 11 %.

$$\frac{0,032 \frac{\text{kg}}{\text{kg TS}} * 0,11 * 943 \text{ m}^3 * 1\,000 \text{ kg}}{600 \text{ kg/ha}} = 5,5 \text{ ha}$$

Kasvibiomassoista oljen osuutta ei huomioida levitysalalaskennassa lainkaan, koska sen vaikuttava osuus on vähäinen. Eläinten lantojen osalta tyypestä huomioidaan vain liukoinen tyyppi. Näin ollen esimerkiksi 200 m<sup>3</sup> naudun lietelannan levitysala tyyden perusteella voidaan laskea seuraavasti.

$$\frac{1,9 \frac{g}{kg Nliuk} * 200\,000 \text{ kg} / 1000}{90 \text{ kg/ha}} = 4,2 \text{ ha}$$

## 5.5 Kuljetuskustannusten ja sähkönhinnan laskentaperusteet

Raaka-aineiden kuljettamisesta aiheutuvia kustannuksia laskettiin alustavasti kaikkien tarkasteltavien raaka-aineiden osalta ja niitä verrattiin sähkön hintaan. Kuljetuskustannusten tarkastelussa ei huomioida mädätysjäännökseen kohdistuvia kuljetuskustannuksia. Sähkön hintana käytettiin 7,5 senttiä/kWh. Maatilakohteiden etäisyytiedot kerättiin puhelinkyselyn yhteydessä viljelijältä, jos hän pystyi arvioimaan järkevän ja keskimääräisen reitin pituuden Rönkön puutarhojen ja kohteiden välillä. Mikäli arvio kirjattiin, käytettiin sitä arvoa, mutta jos ei, käytettiin eniro-palvelun antamaa etäisyyttä osoitetiedon perusteella. Biojätteiden ja puhdistamolietteiden kuljetusetäisyydet saatiin niin ikään eniro-palvelusta. Koordinaatteina käytettiin paikkakuntien keskustan ja kohteen välistä etäisyyttä. Poikkeuksellisesti Kiuru- ja Pielaveden puhdistamojen etäisyyksinä käytettiin tarkkoja puhdistamokohtaisia koordinaatteja. Pyhäjärven puhdistamolietteiden ja biojätteiden kustannuslaskelmassa etäisyytenä käytettiin 0 km. Rekan keskimääräisenä kuormakokona käytettiin 25 m<sup>3</sup> (Vilkkilä 2007) ja traktorin keskimääräiseksi kuormakooksi arvioitiin 15 m<sup>3</sup>. Rekan ajokilometrikustannuksena käytettiin 1,4 €/km (mt) ja traktorin kilometrikustannuksena käytettiin työkustannuksen ja keskimääräisen ajonopeuden suhdetta. Keskimääräiseksi ajonopeudeksi oletettiin 30 km/h. Lisäksi rekan ja traktorin kuorman lastaukseen sekä purkuun arvioitiin menevän aikaa yhteensä 30 min, mikä vastaa kustannuksena 20 € kun työkustannuksena käytettiin 40 €/h. Tämän työn kaikissa laskelmissa alv- % on nolla. Alle 5 km tai 5 km etäisyydellä olevat kohteet oletettiin kuljetettavan traktorilla ja muut rekalla.

Esimerkiksi, jos puhdistamolla syntyy 2000 m<sup>3</sup> lietettä vuodessa sijaiten 50 km etäisyydellä, lasketaan lietteen kuljettamisesta syntyvä vuotuinen kustannus seuraavasti.

$$\left( 50 \text{ km} * 1,4 \frac{\text{€}}{\text{km}} * 2 + 20 \text{ €} \right) * \frac{2000 \text{ m}^3}{25 \text{ m}^3} = 12800 \text{ €}$$

Mikäli esimerkiksi 100 tonnia ruokohelpeä kuljetetaan 5 km etäisyydeltä, lasketaan vuotuinen kuljetuskustannus puolestaan seuraavasti, kun ruokohelven tilavuuspaino on 200 kg/m<sup>3</sup>.

$$\left( 5 \text{ km} * \frac{40 \frac{\text{€}}{\text{h}}}{30 \frac{\text{km}}{\text{h}}} * 2 + 20 \text{ €} \right) * \frac{500 \text{ m}^3}{15 \text{ m}^3} = 1111 \text{ €}$$

## 6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

### 6.1 Biohajoavat raaka-ainemäärät ja niiden saatavuus

#### 6.1.1 Jäteveden puhdistamoliete

Taulukkoon 15 on eritelty puhdistamoiden synnyttämät lietemäärät sekä laskettu niiden sisältämä kuiva-aine. Runsain kuiva-ainemäärä saadaan Haapavedellä, ja vähäisin Reisjärvellä syntyneistä puhdistamolietteistä. Korkein kuiva-ainepitoisuus on Nivalan puhdistamolla ja alhaisin Reisjärven puhdistamolla. Sievin ja Vieremän puhdistamot ovat nykyään poistettu käytöstä.

TAULUKKO 15. Puhdistamolietemäärät

<b>Puhdistamo</b>	<b>Lietemäärä (tonnia) vuonna 2007</b>	<b>Kuiva-aine (%)</b>	<b>Kuiva-aine (tonnia)</b>
Pyhäjärvi	943	11%	104
Haapajärvi	1062	18%	191
Haapavesi	11209	11%	1233
Nivala	1021	23%	235
Kärsämäki	1001	10%	100
Reisjärvi	101	1%	1
Sievi	503	3%	13
Pyhäntä	32	11%	4
Pihtipudas	350	18%	63
Kiuruvesi	1557	14%	218
Pielavesi	412	16%	66
Vieremä			
<b>Yhteensä</b>	<b>18191</b>		<b>2227</b>

Lietteen saatavuuden, kuiva-ainetonnimäärän ja kohteen etäisyyden perusteella potentiaalisia puhdistamoja ovat Pyhäjärven, Kärsämäen ja Pihtiputaan puhdistamot. Mitoituksessa ei oteta huomioon käytöstä poistuneiden Sievin ja Vieremän puhdistamojen lisäksi Reisjärven sekä Pyhännän puhdistamoja, koska niistä saatava lietteen kuivaainemäärä on vähäinen. Muut puhdistamolietteet otetaan huomioon. Näin ollen laskelmissa tarkastellaan 17555 m<sup>3</sup> lietemääriä ja 2210 kuiva-ainetonnimääriä.

### 6.1.2 Erilliskerätty biojäte

Kuntien biojättemääristä merkittävin osa koostuu kotitalouksissa syntyvistä biojätteistä. Pyhäjärven alueella kotitalouksissa syntyvä biojättemäärä on arviolta 360 ton/a, josta erilliskeräyksessä arvioidaan saavan talteen 204 ton/a. Talteen saamaton osuus kulkeutuu kaatopaikalle sekajätteenä ja osa kotikompostoidaan. Kotitalouksista ja kunnallisista laitoksista talteen saatava osuus on yhteensä 1912 ton/a. Tämä on maksimibiojäteosuus, jota voidaan tarkastella potentiaalisena raaka-ainemääränä. Kotitalouksien ja kunnallisten laitosten yhteensä tuottama biojättemäärä eteläisellä Pohjois-Pohjanmaalla on 3092 ton/a, josta Pyhäjärven osuus on 421 ton/a. Suurimmat biojättemäärät saadaan Nivalan kunnasta. Taulukoon 16 on koottu keskeisimmät biojättemäärät eteläisellä Pohjois-Pohjanmaalla ja taulukoon 17 on eritelty Pyhäjärven alueen biojättemääriä.

TAULUKKO 16. Eteläisen Pohjois-Pohjanmaan biojättemäärät kotitalouksista ja kunnallisista laitoksista

Paikkakunta	Kotitaloudet, tuotettu biojäte (ton/a)	Kotitaloudet, talteen saatava biojäte (ton/a)	Kunnalliset laitokset (ton/a)
Pyhäjärvi	360 <sup>(1)</sup>	204 <sup>(2)</sup>	61
Haapajärvi	471	267	75
Haapavesi	451	256	54
Nivala	659	373	78
Kärsämäki	179	102	34
Reisjärvi	182	103	0
Pyhäntä	106	60	19
Sievi	315	179	47
Yhteensä	2723	1543	369
Biojättemäärä yhteensä		<b>3092</b>	
Talteen saatava ja kunnalliset yhteensä		<b>1912</b>	

1) 60 kg/henkilö/a

2) 34 kg/henkilö/a

TAULUKKO 17. Biojättemäärät Pyhäjärvellä

Kohderyhmä Pyhäjärvellä	Kohteiden määrä (kpl)	Vuonna 2008 (ton/a)
Asukasluku (kotitaloudet)	6 000	360
Ala- ja yläasteiden sekä lukion biojättemäärä	7 <sup>(1)</sup>	10
Päiväkoti	1	2,4
Terveyskeskuksen vuodeosastot	52	3,8
Ravintolat	3 <sup>(2)</sup>	3,2
Kaupat	7 <sup>(3)</sup>	42
<b>Yhteensä</b>		<b>421</b>

1) sis. 1 lukio ja 6 ala- ja yläastetta

2) arvioitu työntekijämäärä on 12 kpl

3) sis. K-market, S-market, ABC, Halpahalli ja 3 lähikauppaa

### 6.1.3 Maatilaraaka-aineet ja haastattelun tuloksia

Pyhäjärven maanviljelijöitä haastateltiin onnistuneesti 68 kpl, joista 56 todettiin yhteistyöhalukkaaksi ja potentiaalisiksi raaka-aineen toimittajaksi. Onnistuneista otoksista 12 ei luokiteltu potentiaaliseksi kohteeksi, koska maatilatoiminta oli joko hyvin pienimuotoista tai muuten sopimatonta tavoiteltuun käyttötarkoitukseen. Epäonnistuneita otoksia, joista tulokset jäivät saamatta tai ne olivat riittämättömät, kertyi yhteensä 25 kpl. Näistä 14 henkilöön ei saatu yhteyttä useista yhteydenottoyrityksistä huolimatta. Otosten jakautuminen on eritelty tarkemmin taulukossa 18.

TAULUKKO 18. Maanviljelijäotosten jakautuminen

	kpl	%
<b>Onnistuneet otokset</b>	68	73
Potentiaaliset kohteet	56	60
Ei potentiaaliset kohteet	12	13
<b>Epäonnistuneet otokset</b>	25	27
Ei saa yhteyttä	14	15,1
Väärät yhteystiedot	5	5,4
Maatilatoiminta loppunut	4	4,3
Ei halukkuutta keskustella	2	2,2
<b>Kaikki otokset yhteensä</b>	<b>93</b>	<b>100</b>

Biokaasuhankkeeseen suhtauduttiin erittäin positiiviseen ja kannustavaan tapaan. Ky-  
syttyessä laitoksen toteuttamiseen liittyviä ensiajatuksia, 63 kpl suhtautui myönteises-  
ti, 4 kpl ei halunnut ottaa aiheeseen kantaa sekä hanketta vastustavia kannanottoja oli  
yksi. Useat esim. mainitsivat biokaasuhankkeen toteutumisen olevan edesauttava teki-  
jä Pyhäjärven kunnan imagoa ajatellen. Osa vastaajista ilmaisi kiinnostuksen jopa  
laajentaa toimintaansa, mikäli yhteistyössä päästään miellyttävään sopimukseen. Kan-  
nanoton haluttomuutta puolsi yleensä se, ettei aihe ollut riittävän tuttu ottaakseen kan-  
taa.

Taulukkoon 19 on koottu potentiaaliset maatilakohteet, mahdollisesti saatavat raaka-  
ainemäärät ja kohteiden peltoalat. Lantamäärät laskettiin eläinmäärien mukaan (ks.  
taulukko 6) ja peltobiomassamäärät kuiva-ainesatojen (ks. taulukko 5) mukaan. Tulos-

ten perusteella maatilaraaka-ainemääräksi saatiin yhteensä 62 000 m<sup>3</sup> ja 51 079 tonnia vuodessa. Tästä määrästä eläinten lantaa on 18 714 m<sup>3</sup>, energiakasveja 38 443 m<sup>3</sup> ja kasvintuotannon sivutuotteita 4 842 m<sup>3</sup>. Energiakasveista suurimman mielenkiinnon herätti säilörehu, koska viljelijöillä on usein tarvittava kalusto saatavilla omasta takaa ja sen viljely on tuttua. Lisäksi 29 viljelijää mainitsi, että ruokohelven viljely voisi olla varteenotettava vaihtoehto ja sitä on mietitty myös aiemmin. Ruokohelven viljelyyn erittäin myönteisesti suhtautuvia oli viisi ja parhaillaan ruokohelpeä viljeleviä oli yksi. Ruokohelpiviljelijän mukaan Pyhäjärvellä on nykyisin myös toinen ruokohelven viljelijä.

Tarkasteltavien raaka-ainemäärien lisäksi joiltain maatilakohteilta voisi olla saatavilla olkea. Suurin osa viljanviljelijöistä on silpunnut kaiken tai melkein kaiken oljen peltoon. Osa viljelijöistä mainitsi, ettei olkea haluttaisi kerättävän pois jatkossakaan. Mikäli viljelijöillä on myös omaa kotieläintuotantoa, hyödynnetään osa oljesta yleensä eläinten kuivikkeena. Joskus viljelijät antavat oljen esim. naapurien nautojen kuivikkeeksi. Potentiaalisimmiksi oljen toimittajiksi kirjattiin kaksi kohdetta, koska tällöin niiden määrä pysyy sopivana suhteessa muihin syötteisiin ja niiden saatavuus sekä kohteiden etäisyys todettiin järkeviksi.

Maatilaraaka-aineiden sivutuotteet koostuvat hoidetuilta viljelemättömiltä (Htv) peltoaloilta saatavista vihhermassoista sekä pilaantuneista säilörehupaaleista. Tulosten perusteella hoidettua viljelemätöntä peltoalaa kertyi yhteensä 164 ha, josta talteen saatavaksi vihhermassan määräksi laskettiin noin 3358 tonnia vuodessa. Lähes kaikissa kohteissa kesantomaiden vihhermassa jätettiin peltoon.

TAULUKKO 19. Raaka-ainemäärät ja peltoalat potentiaalisissa maatilakohteissa

Maatila	Etäisyys km	Naudan lietelanta m <sup>3</sup> /a	Naudan kuivalanta m <sup>3</sup> /a	Hevosen kuivalanta m <sup>3</sup> /a	Sian lietelanta m <sup>3</sup> /a	Säilörehu m <sup>3</sup> /a	Muu heinä m <sup>3</sup> /a	Olki m <sup>3</sup> /a	Ruokohelpi m <sup>3</sup> /a	Viljelty peltoala ha	Htv, tmv. ha
1	10								633	10	
2	6,7						166				7
3	6,8					618				13	
4	13,8					1330				28	
5	13					950	285			20	12
6	8							211		19	
7	9,8					1330	119			28	5
8	7,4						214			20	9
9	12,6					713				30-40	
10	7,7					713	23,8			25	1
11	13,8					950	475			20	20
12	6,4					665	71			14	3
13	5,7		80							31	
14	15					1520	356			32	15
15	8	532								35	
16	6					950	475			20	20
17	3,5		151			475	119			32	5
18	5	159								10	
19	3,6					1259				26,5	
20	12,9					2470				52	
21	12,5								3483	55	
22	3,5					2850				60	
23	10,9					475				10	
24	5	505						333		62	
25	4,3						760			48	32
26	9,8	891					100 <sup>1</sup>			100	
27	9,9	1271								82	
28	6,3					2613	119			200	5
29	5,5	965					166			80	7
30	0,5-15 (5)					2375	475			n.60	n.20
31	14,7					1045				22	
32	2,3								317	5	
33	12,1								443	7	
34	11,9						59			2,5	
35	noin 20						101			4	
36	13					356				15	
37	noin 20					665				14	
38	5,9			6						13	
39	7,5			34						22	
40	14,2				200					32	
41	14,8	303								42	
42	12,2	256								30	
43	noin 25						95			31	
44	10,3					1330	48			30	
45	11,2		457							60	
46	12,6	201								72	
47	12,9	306								60	
48	12,1	213					71			29	3
49	15								950	23	
50	14,8								2217	35	
51	13	972								120	
52	10,5					4750				140	
53	9,2	1830								95	
54	10,3	2604								200	
55	15,1				3238					220	
56	15	3540								255	
<b>Yhteensä (m<sup>3</sup>)</b>		<b>14548</b>	<b>688</b>	<b>40</b>	<b>3438</b>	<b>30400</b>	<b>4298</b>	<b>544</b>	<b>8043</b>	<b>2567 ha</b>	<b>164 ha</b>
<b>Yhteensä (ton)</b>		<b>14548</b>	<b>378</b>	<b>22</b>	<b>3438</b>	<b>24320</b>	<b>3438</b>	<b>109</b>	<b>4826</b>		

(1 Ylimääräiset säilörehupaalit



Kaikkien potentiaalisten kohteiden raaka-ainesaatavuutta tulee tarkastella kriittisesti, koska esim. kohteiden tuotantomäärät voivat muuttua paljon muutamassa vuodessa. Osan viljelijöiden maatilatoiminnasta tulee mahdollisesti loppumaan viiden vuoden sisällä, koska viljelijöitä siirtyy eläkkeelle ja jatkajaa ei välttämättä ole luvassa. Haastateltavista kolme mainitsi lopettavan maatilatoiminnan alle tai noin viiden vuoden kuluessa.

Tulosten mukaan useilla maatilakohteilla tapahtuu lähitulevaisuudessa viljelyrakenteen muutosta; kotieläintuotantotiloja siirtyy yksinomaan kasvinviljelyyn. Tällöin energiakasviviljelystä tulee yhä potentiaalisempi vaihtoehto, joten tulevaisuudessa peltoenergiapotentiaalin ja viljelijöiden kiinnostuksen uskoisi kasvavan entisestään. Tällä hetkellä usean Pyhäjärven maanviljelijän energiakasviviljelykannattavuutta heikentää kaukainen energialaitosten sijainti, jolloin kuljetuskustannuksiin ja varastointiin on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota. Lisäksi esim. ruokohelven viljely polttoa varten edellyttää tuotteelta riittävän kuivana pysymistä, kun taas mädätyksessä ruokohelpi suositellaan korjaamaan tuoreena ja kastumisongelma ei ole yhtä ilmeinen.

Manonen (2004) esiselvityksessä tehdyn maanviljelijähaastattelun tulokset olivat melko paljon samansuuntaiset tämän työn kanssa ajatellen viljelijöiden kiinnostusta energiakasviviljelijäksi. Selvityksen (Manonen 2004) mukaan viljelijät ovat myös erittäin yhteistyöhaluisia maatilaraaka-aineiden toimittajia. Liitteeseen 4 on koottu Manosen kyselyn perusteella biokaasutukseen saatavat raaka-ainemäärät ja niiden laskennallinen energiasisältö.

Työn aikana yhteyttä pitämäni 11 kasvihuoneviljelijää ja 10 biokaasualan parissa työskentelevää suhtautuivat biokaasun ja kasvihuonetuotannon yhteensovittamiseen hyvin myönteisesti. Kasvihuoneviljelijät ovat kiinnostuneita uusista energiatuotantomuodoista, joista biokaasu on yleensä vasta viime aikoina tullut heille enemmän puheenaiheeksi. Kasvihuoneviljelijöistä kolmen mielestä alkuinvestoinnit ovat yhä liian korkeat suhteutettuna esim. tukien määrään ja kuuden henkilön mielestä nimenomaan sähkön sekä hiilidioksin hyödyntäminen luovat toimintamahdollisuuksia. Kasvihuoneviljelijöistä kaksi on miettinyt aiemmin biokaasun käyttöä, yksi teettää parhaillaan esiselvitystä ja yksi jo hyödyntää biokaasua kasvihuoneissaan.

#### 6.1.4 Järviruoko

Pyhäjärvellä on kerätty järviruokoa kesäisin traktoria hyödyntäen Juha Tikan toimesta. Viime kesänä vuonna 2008 kerättiin järviruokoa arviolta 500–600 m<sup>3</sup> Pyhäjärven keskustan lähetyviltä. Aikaisempina kesinä ruokomäärä on ollut huomattavasti korkeampi, jopa tuhansia kuutioita kesässä. Viime kesän poikkeuksellisen kosteat olosuhteet vaikeuttivat järviruon keruuta, koska vetiset rannat heikensivät keruukoneen kantavuutta ja ruon keruu estyi. Tämän työn laskelmissa keskimääräisenä kesän satona käytettiin lukua 1 000 m<sup>3</sup> eli 600 tonnia järviruokoa.

Järviruon keräämisestä on tehty uusi 5-vuotinen sopimus, jonka mukaan järviruokoa kerätään uusilta alueilta arviolta alle 5 km (keskimäärin 3 km) etäisyydellä Rönkön puutarhoja. Järviruokoa on lähialueilla runsaasti myös sopimuskauden jälkeen, joten sen keruu saattaa jatkua pitempään. Tähän mennessä järviruokoa ei ole hyötykäytetty, vaan sijoitettu eri maanomistajien alueille heidän luvallaan yleensä maksimissaan parin sadan metrin päähän rannasta. Jatkossa toimitaan todennäköisesti samaan tyyliin. Kerättyä järviruokoa olisi saatavilla ilman siitä maksettavaa korvausta, kun järjestää itse kuljettamisen. Näin ollen järviruoko on erittäin potentiaalinen lisäsyöte laitoksen raaka-aineeksi. Toisaalta kerätyn järviruon korsipitoisuus saattaa paikoin olla korkea, joka hankaloittaa materiaalin hajoamista reaktorissa. Lisäksi raaka-aineen seassa saattaa kulkeutua mukana jonkin verran kivennäismaata.

## 6.2 Raaka-aineiden energian- ja kaasuntuotto

Raaka-aineiden energian- ja kaasuntuotto käyvät ilmi taulukosta 20. Lisäksi lasketuista energiamääristä biokaasulaitoksen kuluttama osuus olisi esim. 15 % lämpöä ja esim. 5 % sähköä. Suurin energiamäärä kartoitetuista raaka-aineista saadaan maanviljelijöiden peltobiomassoista. Tilan omien vihannesjätteiden energiasisältö on 435 MWh/a, eli 10 kg vihannesjätettä sisältää noin 4,2 kWh energiaa. Mikäli vihannesjätteen TS olisi 20 %, energiasisällöksi saataisiin 581 MWh/a, tai mikäli vihannesjätteen biokaasun metaanipitoisuus olisi 60 %, biokaasun tuotoksi saataisiin 72579 m<sup>3</sup>/a. Työn laskelmissa metaanipitoisuuden muutokset eivät vaikuta metaanimäärään, eivät-

kä täten energiasisältöön, koska laskelmat perustuvat metaanintuotto-, eikä biokaasuntuottopotentiaaleihin.

TAULUKKO 20. Raaka-ainemäärät, kaasujen ja energian tuotto

Raaka-aine	Määrä ton	Määrä tonVS	Biokaasu m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>	Lämpö MWh	Sähkö MWh
Tilan oma vihannejäte	1035	132	66996	21439	43548	218	131
Puhdistamoliete yhteensä	17555	1436,5	663000	212160	430950	2155	1293
Pyhäjärven puhdistamoliete	943	67	31119	9958	20227	101	61
Biojäte yhteensä	1912	535	452997	144959	294448	1472	883
Pyhäjärven biojäte	265	74	62785	20091	40810	204	122
Järviruoko	600	140	83700	26784	54405	272	163
Naudan lietalanta	14548	815	219339	70189	142570	713	428
Naudan kuivalanta	378	106	28495	9119	18522	93	56
Sian lietalanta	3483	157	84396	27007	54857	274	165
Hevosien lanta	22	6	1706	546	1109	6	3
Nurmiheinä	27758	6454	3723309	1191459	2420151	12101	7260
Ruokohelpi	4826	1122	673227	215433	437598	2188	1313
Olki	109	89	38455	12306	24996	125	75
<b>Yhteensä</b>	<b>73434</b>		<b>6129524</b>	<b>1961448</b>	<b>3984190</b>	<b>19922</b>	<b>11953</b>

### 6.3 Mädätysjäännöksen sijoittaminen

Huomioiden kaikki raaka-ainepotentiaali, rajoittavin aine on raskasmetalli nimeltä elohopea (Hg), jonka pitoisuus vaatii vähintään 3909 ha peltoalan. Merkittävin vähimmäispeltolevitysalaan vaikuttava raaka-aine on ylivoimaisesti puhdistamoliete. Ravinteiden osalta suurin rajoittavin tekijä on kokonaisfosfori, jonka pitoisuus vaatii 2391 ha alan. Raaka-aineiden sisältämät ravinne- ja raskasmetallimäärät, vähimmäispeltolevitysalat ravinteiden ja raskasmetallien osalta on laskettu taulukoihin 21 ja 22.

TAULUKKO 21. Raaka-aineiden ravinnemäärät ja vähimmäispeltolevityspinta-alan tarve

Materiaalit	Nitraattidirektiivi Kok. N (kg)	MMMa ympäristötuesta	
		Liuk. N (kg)	Kok. P (kg)
Tilan oma vihannesjäte	6086		745
Säilörehu ja muu vihermassa	177651		20125
Ruokohelpi	12065		2292
Järviruoko	1500		114
Eläinten lanta		44408	5797
Puhdistamoliete	96940	21837	23435
Puhdistamoliete (Pyhäjärvi)	4637	923	830
Biojäte	16730	1486	803
Biojäte (Pyhäjärvi)	2322	1486	177
Puhtaiden syötteiden levityspinta-alan tarve (ha)	1161	493	775
Puhdistamolietteiden levityspinta-alan tarve (ha)	570	243	1562
Biojätteiden levityspinta-alan tarve (ha)	98	17	54
<b>Levityspinta-alan tarve yhteensä (ha)</b>	<b>1829</b>	<b>753</b>	<b>2391</b>

TAULUKKO 22. Puhdistamolietteiden ja biojätteiden vähimmäispeltolevitys-alan tarve raskasmetallien osalta

Raskasmetalli		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Puhdistamoliete	g/jätämäärässä	2431	196384	677991	3039	79489	67799	1416767
	Levityspinta-ala (ha)	1621	655	1130	3039	795	678	945
Biojäte	g/jätämäärässä	696	56213	194068	870	22753	19407	405535
	Levityspinta-ala (ha)	464	187	323	870	228	194	270
Yhteensä	g/jätämäärässä	3127	252596	872059	3909	102241	87206	1822303
	Levityspinta-ala (ha)	2085	842	1453	3909	1022	872	1215

Puhdistamolietteiden mädätysjännöksen sijoittaminen peltoon vaatii lisäksi riittävän käsittelyn, jotta levitys on sallittua. Tarkasteltaessa Pyhäjärven puhdistamokohtaisia lietteen raskasmetallimääriä vuosilta 1999–2004, useiden raskasmetallien kohdalla määrät ovat laskeneet vuosittain. Esim. vuonna 1999 lietteen kadmium-pitoisuus oli 14 mg/kg ja vuonna 2004 pitoisuus oli 5,4 mg/kg. Vuoden 2007 tietojen mukaan lietteen kadmium-pitoisuus oli 3,5 mg/kg, mikä ylittää yhä pellolle levitettävän sallitun raja-arvon. Tosin nykyiset Pyhäjärven puhdistamolietepitoisuudet saattavat alittaa sallitun raja-arvon. Kaikkien muiden raskasmetallien kuin kadmiumin pitoisuudet ovat alle sallitun raja-arvon.

## **Viljelyalojen hyödyntäminen**

Potentiaalisten maatilakohteiden viljelty pelloala on yhteensä noin 4344 ha, jonne lannoitukseen soveltuvaa mädätysjäännöstä voitaisiin mahdollisesti toimittaa. Suurin osa viljelijöistä suhtautui mädätysjäännöksen toimittamiseen erittäin myönteisesti ja uskoivat sen hyviin lannoitus- ja muihin ominaisuuksiin. Osa hieman epäili mädätysjäännöksen positiivisia vaikutuksia suhteessa esim. käsittelemättömään lantaan. Yhtään viljelijää ei suoranaisesti poissulkenut mädätysjäännöksen sijoitusmahdollisuutta, mikäli lannoitusominaisuuksista saadaan varmuus.

## **Rikastushiekka-altaiden hyödyntäminen**

Kaivostoiminnan rikastushiekka-altaita ei tiettävästi ole aiemmin hyödynnetty viljelykäytössä, vaikka se saattaisi olla mahdollista vaikuttamatta peitekerroksen alla olevaan rikastusjätteeseen ja sen vaikutuksiin. Peitetyn rikastushiekka-altaan uskoisi soveltuvan viljelyyn, koska maakerrospaksuus on riittävä esim. vaatimattomalle ruokohelven juuristolle. Kuviossa 12 ilmenee a-altaalla alkanut kasvittuminen. Mikäli Pyhäsalmi Mine Oy:n rikastushiekka-altaita aiotaan hyödyntää viljelytarkoitukseen, asia vaatii yhä tarkastelua niin viljelykelpoisuuden kuin altaaseen kohdistuvien vaikutusten suhteen. Rikastushiekka-altaan onnistunut viljely voisi olla hyödyksi altaalta saatavien kasvien ja altaan imagon kannalta. Viljelyn kannattavuutta toisaalta heikentää se, että ennen viljelemättömille aloille tämän hetkiset tukimahdollisuudet ovat huonot. Toisaalta tulevaisuudessa saatetaan laatia uusia ehtoja bioenergiakäytön edistämiseksi.



KUVIO 12. A-altaan kasvittuminen

Tulosten perusteella mädätysjäännöksen sijoittaminen kaivosten rikastushiekka-  
altaille ei tällä hetkellä ole mahdollista, koska a-altaan maisemointi on tullut päätök-  
seen ja muilla altaille maisemointi ei ole vielä ajankohtaista. Noin vuonna 2017 mai-  
semoidaan seuraava rikastushiekka-, D-allas, joka saattaisi olla yksi mädätysjäännök-  
sen sijoittamiskohde. D-altaan arvioidaan tarvitsevan maisemointituotetta noin  
15 000–30 000 m<sup>3</sup>, koska altaan pinta-ala on noin 31 ha ja kasvikerroksen paksuus on  
todennäköisesti 50–100 mm.

#### **6.4 Kuljetuskustannusten tarkastelu ja vertaus saatavan sähkön hintaan**

Raaka-ainemäärien kuljetuskerrat ja -kustannukset sekä raaka-aineiden sähkön hinnat  
on laskettu taulukkoon 23. Suurimmat kuljetuskustannukset syntyvät puhdistamoliet-  
teistä niiden kaukaisten sijaintien vuoksi. Puhdistamolietteisiiin kohdistuvia kuljetus-  
kertoja on yli 4 kertaa vähemmän kuin puhtailla syötteillä. Yksittäisistä raaka-  
ainekohteista suurin kuljetuskustannus syntyy Haapaveden puhdistamolietteisistä ja  
toiseksi suurin kustannus säilörehusta. Kaikki puhdistamoliete- ja biojätekuormien  
kuljetus tapahtuu rekalla. Potentiaaliset lannan toimittajakohteet ovat kohtuullisen

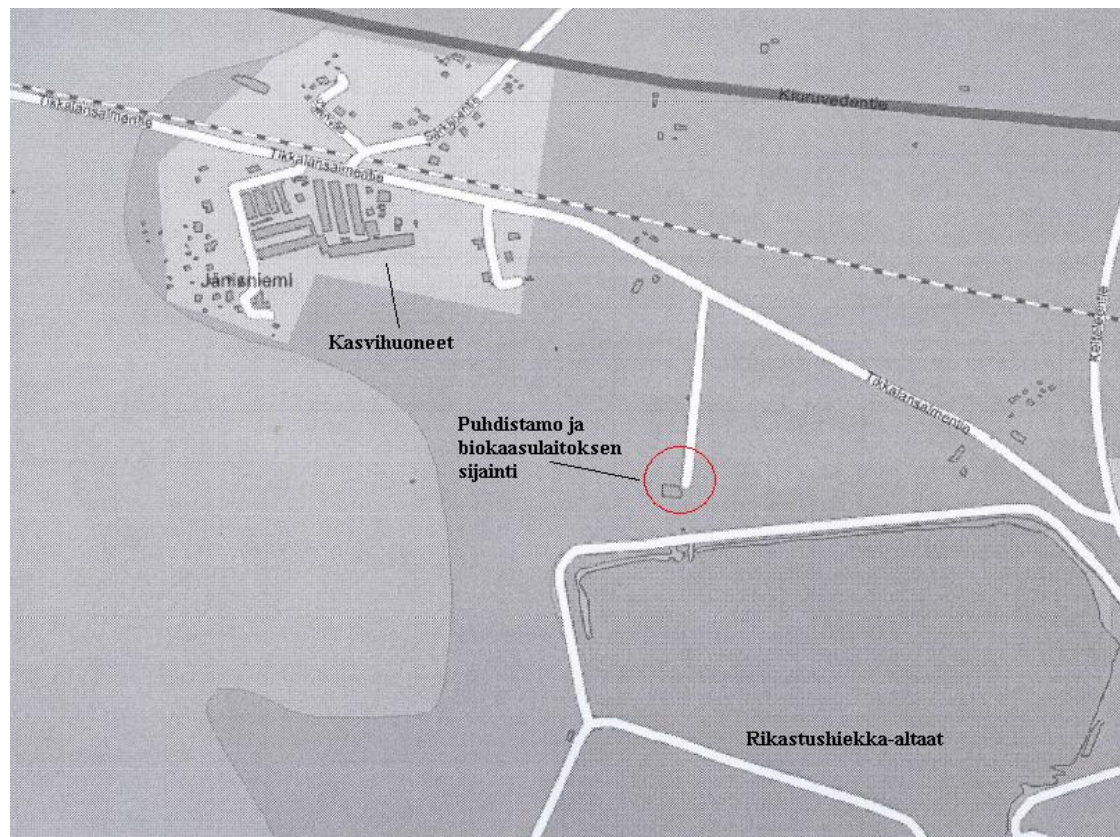
etäällä, lähes jokainen yli 5 kilometrin etäisyydellä. Puhtaisiin syötteisiin kohdistuvia kuljetuskustannuksia voitaisiin tarkentaa esimerkiksi, jos tiedettäisiin tarkalleen kuormien koot ja käytettävä koneistus. Todellisuudessa kuormakokojen käyttö voi vaihdella esimerkiksi 7 m<sup>3</sup> lietevaunusta yli 50 m<sup>3</sup> rekkakuormaan. Lisäksi säilörehunoukinvaunun kuormakoko voi olla jopa yli 40 m<sup>3</sup>. Osa viljelijöistä oli haastattelun perusteella valmis toimittamaan raaka-ainetta omin traktorein jopa 20 kilometrin etäisyydeltä. Täten osa kuljetuksista olisi todennäköisesti järkevämpää toteuttaa traktorein, vaikka kohde sijaitisi yli 5 kilometrin etäisyydellä. Verrattaessa kuljetuskustannuksia ja sähkön hintaa, suurin kannattavuus saadaan puhtaiden syötteiden käytöstä, koska kohteet sijaitsevat lähellä ja kuormien energiasisällöt ovat merkittäviä. Verrattaessa puhdistamolietteiden arvoja, toiminta ei olisi kannattavaa. Vertauksessa ei ole kuitenkaan huomioitu muita kannattavuuteen oleellisesti vaikuttavia tekijöitä, kuten viljelijöille maksettavia korvauksia, porttimaksuja, investointitukien määriä ja laitteiden teknisiä ratkaisuja.

TAULUKKO 23. Eri raaka-aineisiin kohdistuvat kuljetuskustannukset verrattuna energian hintaan

Raaka-aine ja sijainti	Etäisyys km	Raaka-ainemäärä m <sup>3</sup> /a	Kuljetuskerrat kpl/a	Kuljetuskustannus €a	Sähkö €a
<b><u>Biojäte</u></b>					
Pyhäjärvi	0	757	30	606	9196
Haapajärvi	37	977	39	4 049	11845
Haapavesi	70	886	35	6 946	10738
Nivala	65	1289	52	9 384	15636
Kärsämäki	39	389	16	1 699	4710
Reisjärvi	65	294	12	2 140	3580
Pyhäntä	73	226	9	1 848	2721
Sievi	93	646	26	6 729	7816
Yhteensä	442	5464	219	33400	66243
<b><u>Puhdistamoliete</u></b>					
Pyhäjärvi	0	943	38	754	4551
Haapajärvi	37	1062	42	5 251	8387
Haapavesi	70	11209	448	96 846	54098
Nivala	65	1021	41	8 250	10298
Kärsämäki	39	1001	40	5 173	4392
Pihtipudas	47	350	14	2 122	2764
Kiuruvesi <sup>1)</sup>	33	1557	62	7 000	9564
Pielavesi <sup>1)</sup>	80	412	16	4 021	2892
Yhteensä	258	17555	623	129417	96947
<b><u>Puhtaat syötteet, Pyhäjärvi</u></b>					
Järviruoko	3	1000	67	1 867	12241
Säilörehu	3,5 – 20	30400	1389	61 612	477090
Muu vihermassa	3,5 – 25	4227	205	8 580	67449
Ruokohelpi	2,3 – 15	8043	330	18 190	98459
Olki	5 – 8	544	31	358	5624
Lietelanta	5 – 25	16210	653	18 190	164656
Kuivalanta	3,5 – 11,2	728	33	1 869	3662
Yhteensä	2,3 – 25	61152	2708	110666	829182
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>28,1 – 132,2</b>	<b>84171</b>	<b>3550</b>	<b>273483</b>	<b>992371</b>

## 6.5 Laitoksen sijoitus- ja mitoitus

Työn pohjalta biokaasulaitos päätettiin sijoittaa kuvion 13 merkittyyn kohtaan Pyhäjärven puhdistamon läheisyyteen. Valittu sijainti on järkeenkäypä ajatellen sopivia kulkuyhteyksiä ja lähimpiä naapureita. Toiminnan järkevyyden kannalta, laitoksen on sijaittava tilan kasvihuoneiden läheisyydessä. Muita tarkasteluun sopivia sijaintivaihtoehtoja ei löytynyt läheltä kasvihuoneita.



KUVIO 13. Laitoksen mahdollinen sijainti kartalla

Biokaasulaitos mitoitettiin kolmelle eri vaihtoehdolle. Esimerkiksi ensimmäisen vaihtoehdon raaka-aineiden yhteenlaskettu TS on noin 15,5 %. Näin ollen syötteen sekaan joudutaan mahdollisesti lisäämään nestettä, jotta TS olisi sopiva märkäprosessia ajatellen. Lisäksi raaka-aineiden kasvimassaosuus kokonaisuudesta on 47 % ja kasvi-biomassan orgaanisen aineen osuus koko orgaanisesta aineksestä on 78 %. Näin merkittävä kasvibiomassojen osuus saattaa olla haasteellinen biokaasuprosessin hallinnan



kannalta, joka on otettava huomioon. Kahden jälkimmäisen vaihtoehdon kasvibiomas-saosuudet ovat alle 30 % kokonaismassasta. Verrattaessa ensimmäistä ja toista vaihto-ehdot, huomio kiinnittyy merkittävään raaka-ainemäärien kasvuun, erityisesti kuuti-  
oissa ilmaistuna. Muita huomion arvoisia asioita ovat mm. käsittelyvaatimusten tiuk-  
keneminen ja yhdyskuntajätteistä saatavat porttimaksut. Mitoituksessa käytetyt raaka-  
ainemäärät, niiden energiasisällöt löytyvät taulukosta 24 ja maatilaraaka-aineiden tar-  
kemmat tiedot sekä levityspinta-alojen erittely löytyvät liitteestä 7. Mitoitukseen liit-  
tyviä oleellisia tietoja on koottu taulukkoon 25.

TAULUKKO 24. Vaihtoehdoissa käytettävät raaka-aineet

	m <sup>3</sup> /a	ton/a	tonVS/a	Energiasisältö (Mwh)
<b>Case 1 raaka-aineet</b>				
Naudan lietelanta	11731	11731	657	1150
Kuivalanta	231	127	36	62
Säilörehu	6959	5567	1294	4854
Ruokohelpi	950	570	133	517
Maatilasivutuotteet	3779	2697	691	2506
Vihannesjäte	1380	1035	132	435
Järviruoko	1000	600	140	544
<b>Case 2 raaka-aineet</b>				
Case 1-raaka-aineet	25799	22200	3082	10068
Puhdistamoliete	17555	17555	1436	4309
<b>Case 3 yhteensä</b>				
Case 2-raaka-aineet	43354	39755	4518	14377
Biojäte	5463	1912	535	2944

## TAULUKKO 25. Mitoitustiedot kolmelle eri vaihtoehdolle

	Case 1 (919 kW)	Case 2 (1313 kW)	Case 3 (1582 kW)
Energiasisältö (Mwh/a)	10068	14378	17322
Nettoenergia (Mwh/a)	8054	11502	13858
Laitoksen tuottama lämpö (Mwh/a)	5034	7189	8661
Laitoksen tuottama sähkö (Mwh/a)	3020	4313	5197
Ulkopuolelle saatava lämpö (Mwh/a)	4279	6110	7362
Ulkopuolelle saatava sähkö (Mwh/a)	2869	4098	4937
Ulkopuolelle saatava sähköteho (kW)	330	468	564
Biokaasun tuotto (m <sup>3</sup> /a)	1561930	2224930	2677927
CH <sub>4</sub> -tuotto (m <sup>3</sup> /a)	1015254	1446204	1740652
CO <sub>2</sub> -tuotto (m <sup>3</sup> /a)	359244	511734	615923
Biomassan nettoenergian hinta muutettuna polttoöljyksi, kun öljyn hinta olisi 0,7 €/l (€/a)	563814	805146	970036
Syötemäärä (ton/a)	22200	39755	41667
Syötemäärä (m <sup>3</sup> /pv)	71	118,78	134
Syötteen TS biokaasureaktorissa (%)	15,5	14,2	15,8
Kasvimassan osuus kokonaismassasta (%)	47	26	25
Kasvin orgaanisen biomassan osuus (%/kok VS)	78	53	47
Lopputuotteelle vaadittava levitysala (ha)	377	3039	3909
Raaka-aineiden kuljetuskustannus (€/a)	50800	180217	213618
Bioreaktorin koko (m <sup>3</sup> )	2474	4157	4681
Kaasuvaraston tilavuus (m <sup>3</sup> ) *	2125	3547	3988
Käsittelyvaatimukset	(sterilisointi)/ (hygienisointi)/	hygienisointi/ pastörointi/ kompostointi/ kalkkistabilointi/ terminen kuivaus/ termofiilinen prosessi (55 C°)	hygienisointi/ pastörointi/ kompostointi/ kalkkistabilointi/ terminen kuivaus/ termofiilinen prosessi (55 C°) + murskaus + seulonta + magneettierotin
Huomioitavia lainsäädäntöjä	- Ympäristönsuojelulaki ja -asetus - Jätelaki- ja -asetus - Lannoitevalmistelaki - A 9.11.2000/931 - A 13.2.2007/656 - A 29.1.1999/59 ( <i>siirtymäaika</i> )	- Case 1:n asiat - Vnp 14.4.1994/282 - A 13.2.2007/657 - MMELO 2915/835/2005	- Case 2:n asiat - Sivutuoteasetus
Muita huomioitavia asioita	- YVA - Ympäristölupa - Rakennuslupa - Laitoshyväksyntä - Ravinnejakeiden markkinointi- ja myyntihyväksyntä	- Case 1:n asiat - Lietteen raskasmetallit - Raaka-ainemäärien huomattava kasvu - Paremmat tukien saanti mahdollisuudet - Suuret investointikustannukset	- Case 2:n asiat - Laitoshyväksyntä - Suurimmat investointikustannukset

\* Perustuu MetaEnergiälaskentapohjaan

## 7 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### **Yhteenvedo kokonaisuudesta**

Kartoitettujen potentiaalisten maatilakohteiden raaka-ainevarat ja viljelijöiden yhteistyöhalukkuus ovat osoitus siitä, että sopivia raaka-aineita on runsaasti ja todennäköisesti saatavilla, vaikka sitovia sopimuksia ei työssä tehtykään. Lopulliseen raaka-aineiden saatavuuteen vaikuttaa kuitenkin maksettavissa oleva hinta. Hinnat ja porttimaksut sovitaan tapauskohtaisesti. Suurimmat lähiseudun raaka-ainevarat painottuvat maatilojen peltobiomassoihin, erityisesti säilörehun saatavuus osoittautui huomion arvoiseksi. Energiakasvien energiasisältö on korkea, mutta niiden käytöstä on maksettava, toisin kuin yhdyskuntajätteistä saa tuloja porttimaksun muodossa. Mikäli säilörehun hintana käytetään 55 €/ton, saadaan laitoksen mitoituksessa käytettyjen säilörehujen hinnaksi 306 185 €/a, ja syötteelle syntyisi kuljetuskustannuksia noin 14 264 €/a. Kun säilörehun energiasisältö muutetaan hinnaksi, saadaan arvoksi 291 224 €. Nämä luvut huomioiden, toiminta tulisi 29 225 €/a tappiolle, mutta todellisuudessa säilörehun hinta ei tulisi olemaan näin korkea, koska siinä ei ole huomioitu viljelijän saatavan mädätysjäännöksestä ravinteita takaisin peltoon ja tällöin pellon lannoittaminen saattaisi olla myös entistä helpompaa. Sen sijaan kasvintuotannon sivutuotteita saattaisi olla saatavilla ilman korvausta, lukuun ottamatta korjuu- ja kuljetuskustannuksia, mutta tällöin mädätysjäännöstä ei voida toimittaa samaan paikkaan, mistä se kerättiin. Viljelemättömiltä peltoaloilta olisi suotavaa kerätä vihermassa talteen, eikä jättää peltoon. Tätä vihermassaa ei saa hyödyntää eläinten rehuna, mutta biokaasulaitoksen syötteeksi se kelpuutetaan. Ilman erillistä korvausta maksettavia materiaali- virtoja voisivat olla myös eläinten lanta, vanhentuneet ja ylimääräiset paalit sekä järvi- ruoko. Eläinten lannan hyödyntäminen edellyttää useimmiten mädätysjäännöksen toimittamista takaisin viljelijän peltoon. Lannan välivarastointi viljelijän tilalla saattaa olla ongelmallinen, koska käsitellyt ja käsittelemättömät lannat tulee varastoida erillään.

Potentiaalisista raaka-aineista biojätteiden käsittely ei välttämättä ole järkevää, koska siihen kohdistuvat laitosinvestoinnit ovat korkeat ja lähialueelta saatavat biojättemäärät eivät kovinkaan merkittäviä. Puhdistamolietteiden hyödyntäminen on sen sijaan var- teen otettavampi vaihtoehto, koska lietemäärät ja niiden energiasisällöt ovat suurem-

mat ja riittävään käsittelyyn kohdistuvat lisäkustannukset eivät ole yhtä suuria kuin biojätteiden käsittelyn. Puhdistamolietteiden ja biojätteiden järkevä käyttö perustuu vahvasti mm. riittävään porttimaksutuloon. Mikäli yhdyskuntajätteiden porttimaksu olisi 50 €/ton, mitoituksessa käytettyjen biojätteiden porttimaksu olisi noin 95 600 €/a ja puhdistamolietteiden yli yhdeksän kertaa korkeampi, eli 877 800 €/a. Puhdistamolietteiden järkevää hyödyntämistä heikentää puhdistamojen kaukainen sijainti ja puhdistamolietekuormien kohtuullisen alhainen energiasisältö verrattuna puhtaisiin syötteisiin. Lisäksi puhdistamoliete sisältää muita syötteitä enemmän raskasmetalleja, mikä lisää merkittävästi pellon vähimmäislevityspinta-alaa ja voi vaarantaa puhtaampien lietejakeiden jatkokäyttöä lannoitevalmisteena. Toisaalta investointikustannuksen kannalta yhdyskuntajätteitä käsittelevälle laitokselle myönnetään yleisesti ottaen paremmin tukea, kuin puhtaita syötteitä käsittelevälle laitokselle. Näin ollen yhdyskuntajätteiden hyödyntäminen on varteenotettava vaihtoehto myös niin alueen imagon, Pyhäjärven puhdistamolietteen käytön ratkaisemisen, kuin muiden asioiden puolesta.

Perinteisen märkäprosessiteknologian sijaan, kohteella voitaisiin harkita kuivaprosessointiteknologiaa, koska lähiseudulla on runsaasti saatavilla kasvibiomassoja. Kuivaprosessiin perustuva laitos ei ole yhtä nuuka raaka-aineiden kiintoainepitoisuuksista kuin märkäprosessiin perustuva, joten käytettävien potentiaalisten raaka-aineiden kirjo on runsaampi ja kasvibiomassoja voitaisiin hyödyntää tehokkaammin. Lisäksi panosreaktoriperiaatteella toimivassa laitoksessa, mädätysjäännöksen sijoittaminen olisi helpompaa, koska puhtaat syötteet voitaisiin käsitellä ja varastoida erillään teollisista syötteistä. Näin ollen biojätteiden, joiden kiintoainepitoisuus on suuri, käsittelystä tulisi teoriassa järkevämpää. Panosreaktoriperiaate saattaisi olla suosiollinen myös siksi, että tilalta löytyy tarvittava kalusto, jolla siirtää materiaalia. Toisaalta kuivaprosessiteknologia ei ole yhtä kehittynyttä, kuin märkäprosessiteknologia ja kaikki nykyiset biokaasulaitokset Suomessa perustuvat märkäprosessiin. Mielestäni kuivaprosessin suunnittelu vaatisi pilot-kokeita ja yhä lisätutkimuksia yhdessä laitetoimittajan kanssa, jotta sen järkevästä käytöstä saataisiin varmuus, erityisesti jos syötteinä käytettäisiin pääasiassa kasvibiomassoja.

Kokonaisuudessaan biokaasulaitoksen toteuttamisedellytykset näyttävät valoisalta saatavien raaka-ainemäärien, yhteistyötahojen ja lopputuotteen sijoittamismahdollisuuksien osalta. Kohde on siinä mielessä sopiva, että se luo mahdollisuuden hyödyn-

tää laitokselta saatava lämpö, sähkö, hiilidioksidi ja mahdollisesti ravinteet tilan omis-  
sa kasvihuoneissaan kohtuullisen suuressa maatilalla mittakaavassa.

### **Biokaasun ajoneuvokäyttö -pohdinta**

Laitoksen biokaasun ajoneuvokäyttö on myös yksi vartenotettava vaihtoehto, jolloin investointikustannukset tyypillisesti kasvavat. Useimmiten ajoneuvokäyttö on kaikkein taloudellisin menetelmä edellyttäen, että polttoaineelle löytyisi käyttäjiä. Mikäli kohteelle perustettaisiin biokaasun tankkauspaikka, kannattaisi laitos todennäköisesti mitoitaa niin, että energiaa olisi saatavilla riittävästi myös kasvihuoneiden käyttöön, koska tilan sähkön tarve on merkittävä.

### **Hankkeen seuraavat vaiheet**

Tässä työssä kerättiin keskeisiä tietoja hankkeen seuraavista vaiheista ajatellen. Seuraava vaihe on toimittaa tarjouspyynnöt eri laitostoimittajille. Tarjouspyynnössä määritetään mahdollisimman yksiselitteisesti mm. materiaali- ja palvelusvaatimukset, halutut lopputuotteet ja annettavan tarjouksen sisältö. Kun tarjous sisältää mielestään kaikki laitekokonaisuudet ja tärkeimmät seikat, arvioidaan tämän ja muiden tietojen pohjalta toiminnan kannattavuutta. Kannattavuuslaskelmissa esitetään mm. takaisinmaksuaika ja herkkyyshäviöt. Laskelmien pohjalta valitaan laitostoimittaja ja päätetään investoinnista sekä hoidetaan rahoitusasiat. Tämän jälkeen käsitellään erinäiset luvat, YVA ja laitoshyväksynnät, sekä lopuksi rakennetaan laitos. Huomioiden kaikki nämä vaiheet, arvioisin laitoksen valmistumisen kestävän useita vuosia.

### **Epilogi**

Työskentely opinnäytetyöprosessin parissa on ollut mielenkiintoista, koska koen saaneen paremmat tutkimukselliset valmiudet niin tieteellisessä tiedonhankinnassa kuin asioiden selvittämisessä. Useat asiat vaativat selvitystä muilta tahoilta, kun kirjallisuuskatsauksen avulla saadut tiedot ja päätelmät ovat puutteellisia. Tällöin puhelin ja oma aktiivisuus ovat yleensä hyviä välineitä, etenkin jos selvitys olisi saatavilla pikaisesti.

Lopuksi kiitos kaikille myötävaikuttaneille tahoille, jotka edistivät aineiston kerryttämistä, kuten Pohjois-Pohjanmaan ja Pohjois-Savon ympäristökeskus, Pyhäjärven kunta, puhdistamojen parissa työskennelleet, Vestia Oy, Pyhäsalmi Mine Oy, haastatellut maanviljelijät, Evira sekä muut tahot. Hyvää apua ja näkökulmaa koen saaneen myös biokaasualan ulkopuolella työskentelevien tai opiskelevien kommentteista, joita haluan kiittää. Kiitos Petteri Rönkkö, Mika Turunen, Jaakko Tukia ja Mari Viirret hyvästä yhteistyöstä.

## LÄHTEET

A 29.1.1999/59. Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990059>

A 22.12.1993/1390. Jäteasetus. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931390>

A 18.2.2000/169. Ympäristönsuojeluasetus.  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000169>

A 3.12.1993/1058. Maakaasuasetus.  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931058>

A 7.3.2006/208/EY. Komission asetus, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1774/2002 liitteiden VI ja VIII muuttamisesta biokaasu- ja kompostointilaitoksia koskevien käsittelyvaatimusten ja lantaa koskevien vaatimusten osalta. Euroopan unionin virallinen lehti. Viitattu 10.3.2009.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:036:0025:0031:FI:PDF>

A 3.1.2002/1774/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus, muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveystäännöistä. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L 273/1. Viitattu 10.3.2009.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:273:0001:0095:FI:PDF>

A 1.3.2006/181/EY. Komission asetus, asetuksen (EY) N:o 1774/2002 täytäntöönpanosta muiden eloperäisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden kuin lannan osalta sekä asetuksen muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 29/31. Viitattu 30.3.2009. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:029:0031:0034:FI:PDF>

A 5.7.2000/646. Maa- ja metsätalousministeriön asetus ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä sekä maatalouden ympäristötuen koulutukseen liittyvästä tuesta 30.6.2000/646. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000646>

A 9.11.2000/931. Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000931>

A 17.8.2006/713. Valtioneuvoston asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940468>

A 13.2.2007/656. Maa- ja metsätalousministeriön asetus 12/07 lannoitevalmisteista. <http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/28518>

A 13.2.2007/657. Maa- ja metsätalousministeriön asetus 13/07 lannoitevalmisteista koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta. <http://www.finlex.fi/data/normit/28519-07013fi.pdf>

A xx.xx.2009. Maa- ja metsätalousministeriön asetus x/09 lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen 12/07 muuttamisesta.  
<http://wwwb.mmm.fi/el/laki/lausuntopyynnot/MMMa%20lannoitevalmisteista.pdf>

Agricultural and Biological Engineers. Viitattu 12.3.2009.  
<http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=17033&t=2>

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT:n tiedotteita, Espoo 2000.  
<http://www.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-28face2773b4af25acf14a2dc9bfc8e5/suomessa-kayttavien-polttoaineiden-ominaisuuksia..pdf>

Bioste Oy. Bioste Oy:n kotisivut. Bioste Oy – Bioenergian ammattilainen.  
[http://www.bioste.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2&Itemid=10](http://www.bioste.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=10)

Boij, H. 2009. LaatuKemisti. Oy Hortilab Ab. VS: Ohjausta opinnäytetyöhön. Sähköpostiviesti 30.4.2009. Vastaanottaja A. Erjava

Börjesson, P. & Berglund, M. 2005. Environmental system analysis of biogas systems – Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. Biomass and Bioenergy 31 (2007) p. 326-344.

Chynoweth, D., Haley, P., Owens, J., Teixeira, A., Welt, B. & Rich, E. 2002. Anaerobic Digestion for Reduction and Stabilization of Organic Solid Wastes During Space Missions: Laboratory Studies. Ag. and Biol. Eng., University of Florida. Viitattu 2.2.2009. [http://www.agen.ufl.edu/~chyn/download/2002\\_01\\_2351.doc](http://www.agen.ufl.edu/~chyn/download/2002_01_2351.doc)

Euroopan komissio 2000. Komission kertomus neuvostolle ja Euroopan parlamentille yhteisön jätelainsäädännön täytäntöönpanosta ajalta 1995–1997. KOM (1999) 752 lopullinen. Viitattu 5.5.2009.  
[http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/com/1999/com1999\\_0752fi01.pdf](http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/com/1999/com1999_0752fi01.pdf).

Evira. Eviran kotisivut. Lannoitevalmisteita koskeva keskeinen lainsäädäntö. Viitattu 30.3.2009  
[http://www.evira.fi/portal/fi/kasvintuotanto\\_ja\\_rehut/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/](http://www.evira.fi/portal/fi/kasvintuotanto_ja_rehut/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/)

Gautam, K.M., Karki, K. ja Kadel, G.P. 1996: A system approach to biogas technology. Biogas technology: a training manual for extension. Food and Agriculture Organization/Consolidated Management Services, Kathmandu. Viitattu 2.2.2009.  
<http://www.fao.org/waicent/faoinfo/sustdev/Egdirect/Egre0022.htm>

Gunaseelan, N V. 1997. Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review. Biomass and bioenergy Vol. 13. Nos. 1/2. 1997

Graunke 2007. Food and Fuel: Biogas Potential at Broward Dining Hall. School of Natural Resources and Environment, Soil and Water Science Department, University of Florida. Viitattu 2.1.2009.  
<http://www.aashe.org/documents/resources/Graunke2008.pdf>



- Gustafsson, M. & Stoor, R. 2008. Biokaasun hyödyntämisen käsikirja – jätteestä energiaksi ja polttoaineeksi 2008. Viitattu 2.2.2009.  
[http://www.abo.fi/public/media/9578/biokaasunkasikirja\\_web.pdf](http://www.abo.fi/public/media/9578/biokaasunkasikirja_web.pdf)
- Hagström, M., Vartiainen, E. & Vanhanen, J. 2005. Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. Gaia Group Oy:n selvitys. Helsinki. Viitattu 30.3.2009.  
[http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AvoD1wwP/Biokaasun\\_maatilatuotannon\\_kannattavuusselvitys\\_julkinen.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AvoD1wwP/Biokaasun_maatilatuotannon_kannattavuusselvitys_julkinen.pdf)
- Hartikainen, J. 2009. Tarkastaja. Pohjois-Savon ympäristökeskus. VS: Kiuruveden ja Pielaveden puhdistamoiden lietteet. Sähköpostiviesti 27.2.2009. Vastaanottaja A. Erjava
- Hatsala, A. 2004. Biokaasun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Kanta-Hämeessä. Hämeen ammattikorkeakoulu, opinnäytetyö
- Hiltunen, J. 2008. Biokaasulaitosten kannattavuuslaskentaa eri kokoluokissa. Maatalouden ympäristökoulutus, kulttuurikeskus Sofia 16.10.2008. Gaia consulting Oy. Viitattu 30.3.2009.  
[http://www.mtk.fi/maatalous/ymparisto/ymparistokoulutus/fi\\_FI/ymparistokoulutus/files/80226406661686277/default/07\\_Jari\\_Hiltunen\\_Biokaasulaitokset.pdf](http://www.mtk.fi/maatalous/ymparisto/ymparistokoulutus/fi_FI/ymparistokoulutus/files/80226406661686277/default/07_Jari_Hiltunen_Biokaasulaitokset.pdf)
- Hobson, P.N. & Wheatley, A.D. 1993. Anaerobic digestion: Modern theory and practice. Elsevier applied sciences, London.
- Hänninen, M. 2009. Pyhäsalmi Mine Oy, geologists. Kohdevierailu 5.1.2009.
- Isokoski, A. 2009. VS: Biojätteiden hyödyntäminen biokaasulaitoksessa. Sähköpostiviesti 5.1.2009. Vastaanottaja A. Erjava.
- Kalmari, J. 2006. Maatilakohtaisen biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus Suomalaisella sikatilalla. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto, Maa- ja metsätieteellinen tiedekunta. Taloustieteen laitos. Viitattu 20.2.2009.  
<http://www.mm.helsinki.fi/mmtal/abs/Selv42.pdf>
- Kasvihuoneviljelijän energia- ja ilmasto-opas. 2005. CO<sub>2</sub>-päästöt hallintaan ja kannattavuutta liiketoimintaan. Gaia group Oy. Viitattu 5.1.2009.  
<http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/78e3cb51e3ad12610eefee5dfc0257ab/kasvihuone10.pdf>
- Kauppapuutarhaliitto 2007a. Kasvihuonevihannekset 2007. Viitattu 10.4.2009.  
<http://www.kauppapuutarhaliitto.fi/kauppapuutarhaliitto/kplry.nsf/wsivut/094DCB125CBB7F2AC2256C1D001BEA35?opendocument&nid=Markkinakatsaukset>
- Kauppapuutarhaliitto 2007b. 225 milj. euron tuotanto. Viitattu 15.4.2009.  
[http://www.kauppapuutarhaliitto.fi/kauppapuutarhaliitto/kplry.nsf/wsivut/32DB085034CABD58C2256C1E0022111E?opendocument&nid=Kasvihuonetuotanto\\_Suomessa](http://www.kauppapuutarhaliitto.fi/kauppapuutarhaliitto/kplry.nsf/wsivut/32DB085034CABD58C2256C1E0022111E?opendocument&nid=Kasvihuonetuotanto_Suomessa)
- Komulainen, M., Simi, P., Hagelberg, E., Ikonen, I. & Lyytinen, S. 2008. Ruokoenergiaa – järviruo’ on energiakäyttömahdollisuudet Etelä-Suomessa. Turun ammattikorkeakoulu, Turun ammattikorkeakoulun raportteja 66, Turku 2008.  
<http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522160300.pdf>

Komulainen, M. 1996. Rikastusjätteen läjitysalueen ominaisuudet alueen peittämisen kannalta. Diplomityö. Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Rakentamistekniikka.

Kymäläinen, M., Karjalainen, J., Sivonen, T. & Kautola, H. 2002. Biojätteen anaerobin hajottaminen – BIONA. Hämeen ammattikorkeakoulu, bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Viitattu 14.3.2009.

[http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Streams/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta\\_ja\\_aktivointi/Julkaisut/STREAMS-Vuosikirja2002.pdf](http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Streams/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Julkaisut/STREAMS-Vuosikirja2002.pdf)

L 10.6.1994/468. Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940468>

L 29.6.2006/539. Lannoitevalmistelaki.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060539>

L 3.12.1993/1072. Jätelaki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931072>

L 5.2.1999/132. Maankäyttö- ja rakennuslaki.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

L 4.2.2000/86. Ympäristönsuojelulaki.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>

L 10.6.1994/468. Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940468>

Lanta hajuttomaksi energiaksi Ilmajoella 2006. [http://192.98.64.131/web/hajuton/Biokaasuhankkeen esittely 30.1.2006](http://192.98.64.131/web/hajuton/Biokaasuhankkeen_esittely_30.1.2006)

Latvala, M. 2005. Jätevesilietteen anaerobinen käsittely ja biokaasun hyötykäyttö.

[http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/36f29f6f38d27b340ffe68c3eabf947d/jatevesilietteen anaerobinen kasittely ja biokaasun hyotykytto.pdf](http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/36f29f6f38d27b340ffe68c3eabf947d/jatevesilietteen_anaerobinen_kasittely_ja_biokaasun_hyotykytto.pdf)

Lay, J.J., Li, Y.Y., Noike, T., Endo, J. & Ishimoto S. 1997. Analysis of environmental factors affecting methane production from high-solids organic waste. *Water science Technology*, 36 (6-7): 493-500.

Lehtomäki, A. 2006. Biogas production from energy crops and residue. Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos, väitöskirja. Viitattu 10.12.2008.

<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/13152/9513925595.pdf?sequence=1>

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

Leipälä, M. 2008. Biojätteen keräys ja käsittely Vestia Oy:n alueella. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu.

Leskinen, M. 2008. Maaseutusihdeeri. Pyhäjärvi. Puhelinkeskustelu 26.11.2008.

Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT:n tiedotteita 2081.

Lonka-Huotari, P. 2006. Kuivafermentaatiolaitos broileritilalla. Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos, pro gradu tutkielma. Viitattu 2.2.2009.  
[http://thesis.jyu.fi/06/URN\\_NBN\\_fi\\_jyu-2006256.pdf](http://thesis.jyu.fi/06/URN_NBN_fi_jyu-2006256.pdf)

Maa- ja metsätalousministeriö & Kasvintuotannon tarkastuskeskus (MMM & KTTK) 2005. Soveltamisopas III. Lannan käsittely ja käyttö maataloilla.

Maa- ja metsätalousministeriö & Kasvintuotannon tarkastuskeskus (MMM & KTTK) 2004. Soveltamisopas V. Kompostointi ja biokaasulaitokset sekä lantaa teknisesti käsittelevät laitokset.

Maatilarekisteri 2008. Maatilojen ja kotieläinten lukumäärä 1.5.2004-2008. Viitattu 5.5.2009.

[http://www.matilda.fi/dev60cgi/rwcgi60?server=Rep60\\_sirppi&report=masp\\_14\\_html.rdf&destype=Cache&desformat=HTML&P\\_ALUEKODI=626&P\\_ALUETYYPPI=02&P\\_KIELI=sf&P\\_VUOSI=2008&webdbversion=3&www\\_rw\\_log\\_id=1&www\\_rw\\_stime=1014540989&session\\_id=104085977813&authid=PUBLIC](http://www.matilda.fi/dev60cgi/rwcgi60?server=Rep60_sirppi&report=masp_14_html.rdf&destype=Cache&desformat=HTML&P_ALUEKODI=626&P_ALUETYYPPI=02&P_KIELI=sf&P_VUOSI=2008&webdbversion=3&www_rw_log_id=1&www_rw_stime=1014540989&session_id=104085977813&authid=PUBLIC)

Malila, O. 2008. Ympäristötarkastaja. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. VS: PPO\_lietteet. Sähköpostiviesti 27.1.2009. Vastaanottaja A. Erjava.

Manonen, J. 2004. Maatalouden sivutuotteiden jalostaminen biopolttoaineiksi - esiselvitys. Pyhäjärven kehitys Oy.  
[http://www.hankerekisteri.fi/sisalto/raportit/maatalouden\\_sivutuotteiden\\_jalostaminen\\_biopolttoaineiksi.pdf](http://www.hankerekisteri.fi/sisalto/raportit/maatalouden_sivutuotteiden_jalostaminen_biopolttoaineiksi.pdf)

Mavi 2008. Ravinnetaseet – Ympäristötuen lisätoimenpide lannoituksen ja sadon ravinnemäärien seurantaan. Edita Prima Oy. Viitattu 20.4.2009.  
[http://www.mavi.fi/attachments/mavi/viljelijatuet/hakuoppaatjaohjeet/ymparistotuen\\_erusjalisatoimenpiteidenoppaat/5uWe8uHRL/Ravinnetaseohje\\_2008.pdf](http://www.mavi.fi/attachments/mavi/viljelijatuet/hakuoppaatjaohjeet/ymparistotuen_erusjalisatoimenpiteidenoppaat/5uWe8uHRL/Ravinnetaseohje_2008.pdf)

Mavi 2009. Energiakasvien tuen ohjeet viljelijöille, keräilijöille ja jalostajille 2009.  
<http://www.mavi.fi/fi/index/viljelijatuet/erikoistuet/energiakasvientuki.html>

MetaEnergia Oy 2007. Metaenergian kotisivut. Laitoksen mitoitus. Viitattu 20.3.2009.  
<http://www.metaenergia.com/materiaalit/BIOLAITOKSEN%20MITOITUS.xls>

MMMELO 2915/835/2005: Maa- ja metsätalousministeriön ja Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen ohje maataloudessa käytettävälle puhdistamolietteelle. Maa- ja metsätalousministeriö, Elintarvike- ja terveysosasto.  
<http://www.kunnat.net/attachment.asp?path=1;29;356;24897;51777;86783>

Mykkänen, E. 2008a. Jyväskylä innovation, projektipäällikkö. VS: Ohjausta opinnäytetyöhön. Sähköpostiviesti 7.1.2009. Vastaanottaja A. Erjava.

Mykkänen, E. 2008b. Biokaasun tuottaminen säilörehusta lehmänlantaa käsittelevällä biokaasulaitoksella. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Viitattu 20.2.2009.

[https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18715/URN\\_NBN\\_fi\\_jyu-200806265558.pdf?sequence=1](https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18715/URN_NBN_fi_jyu-200806265558.pdf?sequence=1)

Nurminen, I. 2009. Pyhäjärven kaupunki, vesi- ja viemärilaitos, käyttöpäällikkö. Puhelin keskustelu 5.1.2009.

Paavola, T. 2005. Kunnallisten lietteiden ja biojätteiden käsittely maatilakohtaisessa biokaasulaitoksessa. Pro gradu tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.

P 14.4.1994/282. Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä. Viitattu 25.5.2007 Valtion säädöstietopankki Finlex. <http://www.finlex.fi>, ajantasainen lainsäädäntö.

Peltonen & Harmoinen 2009. Ravinteet kasvintuotannossa. ProAgria keskusten liitto, tieto tuottamaan 127.

Pyhäjärven kaupungin jätevedenpuhdistamon ympäristölupa 2005. Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto. Viitattu 18.3.2009.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=73865&lan=fi>

Pöyry 2007. Lietteiden käsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky –selvitys. Raportti.

[http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AygHJ6y8/Lietteenkasittelyn\\_nykytila\\_Suomessa\\_RAPORTTI\\_FINAL.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AygHJ6y8/Lietteenkasittelyn_nykytila_Suomessa_RAPORTTI_FINAL.pdf)

Pöyry 2008. Yhdyskuntien ja haja-asutuksen jätevesilietteiden, eloperäisten jätteiden ja lannan hyötykäyttö. Raportti.

[http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AygOUZIS/Yhdyskuntien\\_ym\\_s\\_jatevesilietteiden\\_hyotykaytto\\_Raportti\\_fin\\_050208.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AygOUZIS/Yhdyskuntien_ym_s_jatevesilietteiden_hyotykaytto_Raportti_fin_050208.pdf)

Rintala, J., Lampinen, A., Luostarinen, S. & Lehtomäki, A. 2002. Biokaasusta uusiutuvaa energiaa maatiloilla. Julkaisu. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Rasi, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasun tuotantoketjusta erotetun hiilidioksidin käyttökohteet ja puhdistusmenetelmät. Biokaasuohjelma 2: Biokaasutuotannon hiilidioksidin jalostaminen ja tuotteistaminen. Kirjallisuuskatsaus. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.

Ruoko.fi. Ruovikkostrategia Suomessa ja Virossa -Interreg IIIA-hankkeen nettisivut. Viitattu 5.1.2009. <http://www.ruoko.fi/index.php?page=bioenergia>

Salminen, P. 2007. Lannoitevalmisteiden laatuvaatimuksilla edistetään maaperän suojelua. Kuntatekniikka, nro 4, 52–53.

Romano, R., Zhang, R. & Hartman, K. 2004. Anaerobic digestion of onion wastes using a continuous two-phase anaerobic solids digestion system. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Sarada R. and Nand, K, 1989. Start-up of anaerobic digestion of tomato-processing wastes for methane generation. Biological Wastes. 30 (3), 231-237

Shäfer, W., Lehto, M. & Teye, F. 2006. Dry anaerobic digestion of organic residues on-farm – a feasibility study. MTT, Agrifood research reports 77.

Selina, K. & Kurian, J. 2007. Biochemical methane potential of vegetable waste. JOURNAL OF ENVIRON. SCIENCE & ENGG. VOL. 49, No. 4, P. 259-264.

Steffen, R.; Szolar, O. and Braun, R. 1998. Feedstock for anaerobic digestion. Institute for agrobiotechnology, Tulln university of agricultural sciences. Viitattu 10.3.2009 [http://www.adnett.org/dl\\_feedstocks.pdf](http://www.adnett.org/dl_feedstocks.pdf)

Soininen, H., Kiukas, I. & Mäkelä, L. 2007. Biokaasusta energiaa eteläsavolaiselle maaseutuyritykselle. Mikkelin ammattikorkeakoulu, A: Tutkimuksia ja raportteja 24.

Tilastokeskus 2008. Biojätteiden hyödyntäminen voimakkaassa kasvussa. Julkaistu: 26.11.2008. [http://www.stat.fi/til/jate/2007/jate\\_2007\\_2008-11-26\\_tie\\_001.html](http://www.stat.fi/til/jate/2007/jate_2007_2008-11-26_tie_001.html)

Taavitsainen, T., Kapuinen, P. & Survo, K. 2002. MaLLa hankkeen loppuraportti: Maatalouden lietteiden ja lantojen keskitetyn käsittelyn mallinnus. Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu.

Taavitsainen, T. 2006. MaLLa2 hankkeen loppuraportti: Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastelu. Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu.

Tike 2006. Energian käyttö yrityksissä, joissa yli 1000 m<sup>2</sup> lämmitettävää kasvihuonealaa vuosina 2004 ja 2006. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus

Tike 2007a. Puutarhatuotanto avomaalla ja kasvihuoneessa 2007. Puutarhayritysrekisteri 2007. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus

Tike 2007b. Vihannesten tuotanto kasvihuoneissa 2007. Puutarhayritysrekisteri 2007. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus

Tikka, J. 2009. Ympäristöyöntekijä. Puhelinkeskustelu 9.1.2009.

Tukia 2009. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Luonnonvaraininstituutti. Projektipäällikkö. Haastattelu 30.4.2009

Urpelainen, R. 2008. Pyhäsalmi Mine Oy, suojelupäällikkö. Sähköpostiviesti 15.12.2008. VS: 50 ha alueen hyödyntäminen. Vastaanottaja A. Erjava.

Vahala, R. 2008. Vesitekniikan perusteet. [http://www.water.tkk.fi/wr/kurssit/Yhd-12.1020/Luento11b\\_2008.pdf](http://www.water.tkk.fi/wr/kurssit/Yhd-12.1020/Luento11b_2008.pdf)

Varvikko, P. 2006. Kurkun ja tomaatin tarjontaketjut Suomessa. MTT:n selvityksiä 109.

Venelampi, O. 2008. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira, ylitarkastaja. Sähköpostiviesti 15.12.2008. VS: Sivutuoteasetus soveltamisopas V. Vastaanottaja A. Erjava.

Vestia Oy kotisivut. <http://www.vestia.fi/>

Vilkkilä, T. 2007. Keskitetyn biokaasulaitoksen kannattavuus pohjoisen Keski-Suomen biohajoavien jätteiden käsittelyssä. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Luonnonvaraininstiutuutti. Viitattu 1.3.2009.

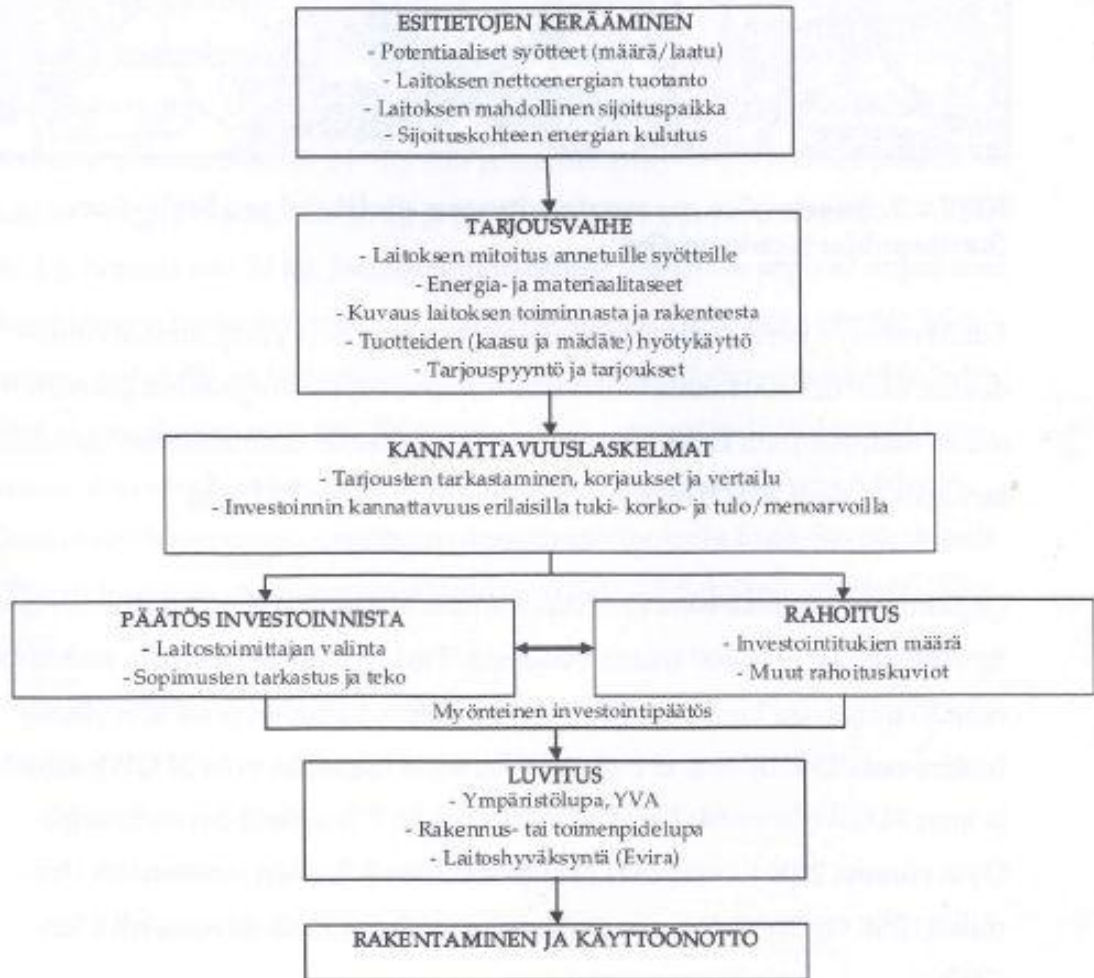
[https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/29725/jamk\\_1196838735\\_5.pdf?sequence=1](https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/29725/jamk_1196838735_5.pdf?sequence=1)

Wellinger, A. 1999. Process design of agricultural digesters. Viitattu 10.4.2009.

<http://homepage2.nifty.com/biogas/cnt/refdoc/whrefdoc/d14prdgn.pdf>

# LIITTEET

## Liite 1: Biokaasulaitoksen toteutusvaiheet (Soininen ym. 2007, 54)



## Liite 2: Puhdistamolietteen laitoskompostoinnin ja biokaasutuksen ominaisuuksia (Lohiniva ym. 2001, 92)

Ominaisuus	Kompostointi	Biokaasutus
Toimintaympäristö	Aerobinen	Anaerobinen
Hajoamisen aikaansaava eliöstö	Laaja kirjo erilaisia bakteereja ja sieniä	Suppeampi valikoima anaerobisessa ympäristössä toimivia bakteereja
Käsittelyn väliaine	Ilma-vesi, huokoisuus tärkeä	Vesisuspensio
Soveltuvuus	Karkeat materiaalit, kuivaainepitoisuus yli 30 %, muuten tarvitaan runsaasti tukiainetta	Runsaasti vettä, vähän puuainetta sisältävät jätteet, eloperäiset jätteet
Energiantarve	30–50 kWh/t biojätettä, lämmön talteenotto poistokaasusta mahdollista	Tuottaa energiaa, voidaan tuottaa sähköä/lämpöä noin 400 kWh/t biojätettä
Tuotot	Tuotteesta tuloja	Energiasta tuloja
Vaikutus kasvihuoneilmiön kannalta	Vaikuttaa lisäävästi	Ehkäisee, jos biokaasusta tuotettu energia hyödyksi
Hajupäästöt	Suuremmat, vaikeammin hallittavissa	Pienemmät, helpommin hallittavissa
Jätevesimäärä	100–400 l/t biojätettä	300–570 l/t biojätettä
Jäteveden BHK7	2–50 g BHK7/l	2–5 g BHK7/l
Tilantarve (ilman jälkikompostointia)	0,4–1,9 m <sup>2</sup> /t/a	0,1–1,1 m <sup>2</sup> /t/a



**Liite 3: Haitallisten kaasujen korkeimmat sallitut pitoisuudet ihmisille ja kasveille (Rasi & Rintala 2007, 6)**

Kaasu	Ihminen ppm	Kasvit ppm	Kasvit, pitkä altistus ppm
Hiilidioksidi, CO <sub>2</sub>	5000	4550	1600
Hiilimonoksidi, CO	47	100	
Rikkidioksidi, SO <sub>2</sub>	3,5	0,1	0,015
Rikkivety, H <sub>2</sub> S	10,5	0,001	
Eteeni, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	5	0,01	0,002
Typpimonoksidi, NO	5	0,01-0,5	0,25
Typpidioksidi, NO <sub>2</sub>	5	0,2-2	0,1

#### Liite 4: Pyhäjärven maatilaraaka-ainemäärät ja peltoalat perustuen eri kirjallisuuteen ja kunnan maaseutusihteerin haastatteluun

TAULUKKO. Pyhäjärven kotieläintilat ja eläimet (Maatilarekisteri 2008), laskennallinen lantamäärä sekä sen energiasisältö

	Tiloja	Eläimiä	Lantamäärä ( <sup>ton</sup> VS/a) *	Energiasisältö (Mwh) *
Lypsylehmät	61	1422	2417	4230
Hiehot (>2v)	37	130	59	102
Hiehot (1-2v)	59	513	128	224
Sonnit (>2v)	6	11	9	15
Sonnit (1-2v)	20	342	154	269
Vasikat (<1v)	69	1378	207	362
Siat	3	804	40	70,4
Lampaat	4	291		
<b>Yhteensä</b>		<b>4891</b>	<b>3014</b>	<b>5274</b>

\* oma laskuarvioini

TAULUKKO. Manosen (2004, 14) kyselyn vastausten perusteella Pyhäjärveltä saatavat raaka-ainemäärät

Raaka-aine	Raaka-aineen määrä tai tuotantoala	Arvio tuotettavissa olevasta CH <sub>4</sub> -määrästä	Energiasisältö (Mwh) *
Naudan liettelanta	19110 m <sup>3</sup>	64600 m <sup>3</sup>	646
Sian liettelanta	2140 m <sup>3</sup>	11100 m <sup>3</sup>	111
Kuivalanta	2600 m <sup>3</sup>	42375 m <sup>3</sup>	424
Kananlanta	130 m <sup>3</sup>	9300 m <sup>3</sup>	93
Viljan olki	2098 ha	1069141 m <sup>3</sup> *	10691
Heinäkasvit	818 ha	2710136 m <sup>3</sup> *	27101
Ruokohelppi	300 ha	1033695 m <sup>3</sup> *	10337
Peruna	100 ton	3695 m <sup>3</sup> *	37
<b>Yhteensä</b>		<b>4944042 m<sup>3</sup> *</b>	<b>49440</b>

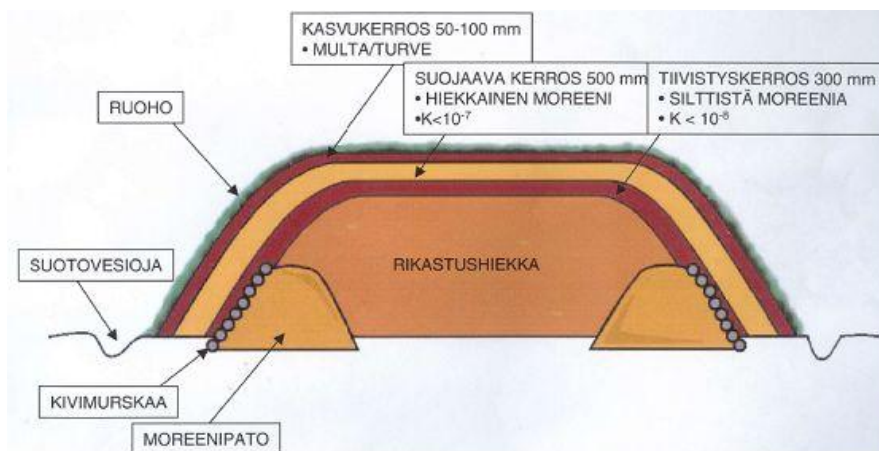
\* oma laskuarvioni

TAULUKKO. Peltojen käyttö Pyhäjärven kunnassa vuonna 2007 (Leskinen 2008)

Peltojen käyttö	Pinta-ala (ha)	Osuus (%)
Nurmiala (säilörehu / kuivaheinä / laitumet)	2342	40
Ohra	1672	28
Kaura	870	15
Vehnä	125	2
Ruis	25	minimaalinen
Hoidettu viljelemätön (kesanto / viljelystä pois)	900	15
<b>Yhteensä</b>	<b>5934</b>	<b>100</b>

## Liite 5: A-allas ja sen maisemointi

A-allas, kuin muut rikastushiekka-altaat ovat tarkoin mitoitettu vastaamaan sen tarkoitusta. Rikastushiekkakerroksen päällä oleva peitekerros on noin välillä 500–1000 mm paksu, josta kasvukerroksen osuus on minimaalinen verrattuna koko peitekerrokseen. Peitekerroksen osat, rikastushiekka, moreenipato ja suotovesioja ilmenevät alla olevasta kuviosta. Toinen kuvio on maisemakuva a-altaasta, jossa altaan keskellä näkyy vesitila. Altaan kokonaisala, eli ala johon rikastushiekka ja peitekerros on sijoitettu kattaa noin 48 ha alueen, josta peitemaa-alan osuus on noin 31 ha. (Hänninen 2009.)



KUVIO. A-altaan maisemointi ja eri peitekerrokset (Hänninen 2009)



KUVIO. A-allas tornista katsottuna (Hänninen 2009)

## Liite 6: Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen ja rejektiveden ominaistietoja MMM:n asetuksesta x/09

MMM:n asetuksessa x/09 biokaasuprosessin lannoitevalmisteet jaetaan kahteen osaan: maanparannuslannoite ja orgaaninen lannoite. Orgaaniseksi lannoitteeksi luokitellaan rejektivesi ja maanparannusaineeksi mädätysjäännös. Asetuksen x/09 mukaan tyyppinimi maanparannusmädäte tulitisiin poistamaan, ja uusi nimi olisi mädätysjäännös. Näihin liittyviä tietoja ilmennetään alla olevassa taulukossa.

(xx.xx.2009.)

TAULUKKO. Lannoitevalmisteisiin liittyvät ominaistiedot (xx.xx.09)

Tyyppinimi	Mädätysjäännös	Rejektivesi
Tyyppinimiryhmä	ID Maanparannusaineet	IB Orgaaniset lannoitteet
Valmistusmenetelmä	Mesofiilisen tai termofiilisen biokaasuprosessin sivutuotteena syntynyt hygienisoitu mädätysjäännös sellaisenaan tai mekaanisesti kuivattuna.	Hyväksytyssä ainoastaan orgaanisiin lannoitevalmisteisiin soveltuvia raaka-aineita mädättävän biokaasulaitoksen kiintoaineksesta erotettu nestemäinen sivutuote.
Valmistukseen liittyvät vaatimukset ja käyttörajoitukset	Tuote soveltuu sellaisenaan käytettäväksi maanparannusaineena peltokäyttöön mm. vilja- ja energiakasveille. Mikäli tuote sisältää yhdyskunnan jätevedenpuhdistamolietettä, on käyttörajoituksena mainittava tuoteselosteessa, ettei soveltu käytettäväksi tuoreille vihanneksille, yrtti- ja juurimausteille, kotipuutarhoihin eikä taimituotantoon, varoaika 5 vuotta.	Tuoteselosteessa ilmoitettava raaka-aineista mahdollisesti aiheutuvat käytön rajoitukset (EY 181/2006), varoitukset pilaantumisalttiudesta (käyttöikä enintään 12 kk), valmistusaika sekä nitraattidirektiivin ja muun ympäristölainsäädännön levitykselle asettamat rajoitteet.
Ravinteiden ja muiden ominaisuuksien vähimmäispitoisuuksia		Yleensä 0,5 % NPK sekä vähintään 0,3 % N, P tai K
Tuoteselosteessa ilmoitettavat tiedot	Raaka-aineet Kok.N Liuk.N Kok.P Liuk.P Kok.K pH johtokyky kosteus orgaaninen aines haitallisten metallien pitoisuudet	Kok.N (N) Kok.P (P) Kok.K (K) Kuiva-ainepitoisuus Orgaaninen hiili tai Orgaaninen aines

## Liite 7: Mitoituksessa käytetyt tarkemmat tiedot

TAULUKKO. Maatilaraaka-ainekohteiden erittely

Maatila	Etäisyys km	Naudan lietelanta m <sup>3</sup> /a	Naudan kuivalanta m <sup>3</sup> /a	Säilörehu m <sup>3</sup> /a	Muu heinä m <sup>3</sup> /a	Olki m <sup>3</sup> /a	Ruokohelpi m <sup>3</sup> /a	Viljelty peltoala ha	HTV, tmv. ha	Kuljetus kpl/a	Kuljetus €/a
1	10						633	10		25,3	1216
2	6,7				166				7	6,7	258
3	13				285			20	12	11,4	643
4	8					211		19		8,4	358
5	9,8				119			28	5	4,8	225
6	7,4				214			20	9	8,6	348
7	13,8				475			20	20	19,0	1114
8	5,7		80					31		3,2	115
9	15				356			32	15	14,3	884
10	8	532						35		21,3	902
11	3,5		151	475	119			32	5	49,7	1456
12	5	159						10		10,6	353
13	3,6			1259				26,5		83,9	2484
14	3,5			2850				60		190	5573
15	5	505				333		62		55,9	1863
16	4,3				760			48	32	50,7	1594
17	9,8	891			100 (1)			100		39,6	1881
18	9,9	1271						82		50,8	2426
19	5,5	965			166			80	7	45,3	1602
20	0,5-15 (5)			2375	475			n.60	n.20	190,0	6333
21	2,3						317	5		21,1	552
22	14,8	303						42		12,1	745
23	12,2	256						30		10,2	555
24	12,6	201						72		8,04	444
25	12,9	306						60		12,24	687
26	13	972						120		38,88	2193
27	9,2	1830						95		73,2	3350
28	15	3540						255		141,6	8779
<b>Yhteensä</b>		<b>11731</b>	<b>231</b>	<b>6959</b>	<b>3235</b>	<b>544</b>	<b>950</b>	<b>1455</b>	<b>112</b>	<b>563,6</b>	<b>48933</b>

TAULUKKO. Puhtaiden syötteiden vähimmäispeltolevitysalat mitoitustarkastelussa

	Kok. N (ha)	Liuk. N (ha)	Kok. P (ha)
Eläinten lanta		249	475
Säilörehu ja vihhermassa	307		394
Ruokohelpi	8		18
Järviruoko	9		6
vihannesjäte	36		50
Yht.	360	249	942
Yht. P-40%			<b>377</b>

## Liite 8: Maanviljelijöiden haastattelupohja

### TILA

1. Päätuotantosuunta
2. Tuotantoeläimet ja niiden määrät
  - 2.1. Lypsylehmät
  - 2.2. Emolehmät
  - 2.3. Sonnit
  - 2.4. Hiehot
  - 2.5. Vasikat
  - 2.6. Siat
  - 2.7. Hevoset
  - 2.8. Muut tuotantoeläimet
3. Liete- vai kuiv alantajärjestelmä
4. Peltojen käyttö ja määrät
  - 4.1. Viljat
  - 4.2. Nurmiheinät
    - Säilörehu- vai kuivaheinämenetelmä
    - Paalaus-, aumaus vai muu säilytysmenetelmä
  - 4.3. Laitumet
  - 4.4. Kesannot
  - 4.5. Htv, ja muut maisemointialat
  - 4.6. Muut

### ULKOPUOLELLE TOIMITETTAVAT JA YLIMÄÄRÄISET RAAKA-AINEET

1. Oman tilan ulkopuolelle myytävät kasvit
2. Ylimääräisten kasvien tai niiden osien synty ja niiden tämän hetkinen hyödyntäminen
  - 2.1. Olki
  - 2.2. Ylimääräiset paalit
  - 2.3. Muut

### BIOKAASUHANKE

1. Ensiajatukset biokaasulaitoksen perustamisesta Pyhäjärvelle
2. Yhteistyöhalukkuus biokaasuhankkeessa
  - 2.1. Raaka-aineiden toimittaminen
  - 2.2. Lopputuotteen sijoittaminen
  - 2.3. Alustava mietintä yhteistyön toteuttamisesta (kuljetusten toteuttaminen [traktori/kuorma-auto], korvauksista, kausiluontoisuus)
3. Mahdolliset muut asiat
  - 3.1. Etäisyys Rönkön puutarhoille (järkevää kuljetusreittiä pitkin)
  - 3.2. Tilan tulevaisuuden toimintasuunnitelmat (laajennus- tai muut muutossuunnitelmat)
  - 3.3. Muut keskustelua herättävät asiat