

Bioenergiakeskuksen julkaisusarja
(BDC-Publications)
Nro 31



KESKITETYN BIOKAASULAITOKSEN KANNATTAVUUS POHJOISEN KESKI- SUOMEN BIOHAJOAVIEN JÄTTEIDEN KÄSITTELYSSÄ

Tuomo Vilkkilä

Opinnäytetyö

Marraskuu 2007



**JYVÄSKYLÄN
AMMATTIKORKEAKOULU**

Luonnonvarainstituutti

Tekijä(t) VILKKILÄ, Tuomo	Julkaisun laji Opinnäytetyö	
	Sivumäärä 48	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus <input type="checkbox"/> Salainen _____ saakka	
Työn nimi KESKITETYN BIOKAASULAITOKSEN KANNATTAVUUS POHJOISEN KESKI-SUOMEN BIOHAJOAVIEN JÄTTEIDEN KÄSITTELYSSÄ		
Koulutusohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) VESISENAHO, Tero		
Toimeksiantaja(t) Saarijärven kaupunki & "Hajautetut biomassapohjaiset energiatuotantoratkaisut ja niiden käytäntöön soveltaminen" -hanke		
Tiivistelmä <p>Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen tähtäävät ympäristömääräykset ovat luo- neet useille kunnille muutospaineita puhdistamolietteidensä ja biojätteidensä käsitte- lyyn. Jättemäärät kasvavat lähivuosina erilaisten säädösten myötä runsaasti, ja samalla niiden käsittelytavat tiukentuvat huomattavasti. Näiden seikkojen vuoksi Saarijärven kaupunki pyysi "Hajautetut biomassapohjaiset energiatuotantoratkaisut ja niiden käytän- töön soveltaminen" -hankkeelta esiselvitystä, jossa tavoitteena oli selvittää biojätteen käsittelylaitosten hankinnan kannattavuutta pohjoisen Keski-Suomen alueella.</p> <p>Kannattavuutta selvitettiin kartoittamalla pohjoisen Keski-Suomen yhdeksän kunnan alueella syntyvien puhdistamolietteiden ja biojätteiden määrät. Jättemäärien pohjalta laskettiin niiden energiasisältö sekä mitoitettiin biokaasulaitos. Työssä tarkasteltiin lai- toksen kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa ja saatuja tuloksia verrattiin jätteiden kul- jettamiseen Jyväskylän Mustankorkean kompostointilaitokseen. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin biokaasun ajoneuvokäytön kannattavuutta, lopputuotteen levitykseen vaadit- tavaa vähimmäispeltopinta-alaa, jätteiden kuljetuksista muodostuvia päästöjä sekä läm- pöenergian siirtokustannuksia.</p> <p>Selvityksen perusteella biokaasulaitoksen investointikustannukset ovat noin 2,2 miljo- naa euroa. Tähän perustuvien kannattavuuslaskelmien mukaan laitoksen takaisinmak- suaika on noin 10 vuotta vuoden 2006 jättemäärällä. Kannattavuus pohjautuu suurelta osin biohajoavien jätteiden vastaanottamisesta saataviin porttimaksuihin, joiden osuus kokonaistuloista on noin 80 %. Tästä johtuen Saarijärvelle suunnitella olevan biokaa- sulaitoksen kannattavuuden tärkein edellytys on, että kaikki kartoitetut jättemäärät saa- taisiin mukaan käsittelyyn. Kannattavuuteen vaikuttaa myös, että kaikelle tuotetulle energialle on käyttöä ja lopputuote saadaan hyödynnettyä esimerkiksi lannoitteena.</p>		
Avainsanat (asiasanat) biokaasu, anaerobinen jätteiden käsittely, jätehuolto, puhdistamoliete, biojäte		
Muut tiedot		

Author(s) VILKKILÄ, Tuomo	Type of Publication Bachelor´s Thesis	
	Pages 48	Language Finnish
	Confidential <input type="checkbox"/> Until _____	
Title THE PROFITABILITY OF A CENTRALIZED BIOGAS PLANT IN TREATING BIODISSOLUBLE WASTES OF THE NORTHERN CENTRAL FINLAND AREA		
Degree Programme Degree Programme in Agriculture and Rural Industries		
Tutor(s) VESISENAHO, Tero		
Assigned by City of Saarijärvi & “Decentralized biomass-based solutions of energy production and their application in practise” -project		
Abstract <p>The environmental need to diminish the greenhouse gas emissions will bring many pressures to municipalities, which are responsible for treating biodissoluble wastes of their own. The amount of waste will grow a lot in the years to come and the processing methods may also tighten remarkably. Because of these reasons, the city of Saarijärvi asked for a pre-study from the “Decentralized biomass-based solutions of energy production and their application in practise” -project. The aim of this study was to analyze the profitability of the acquisition of a treatment plant in the area of the northern central Finland.</p> <p>The profitability was analyzed by surveying the amount of sewage sludge and biowaste in nine municipalities in the northern central Finland. Based on the amount of waste their energy contents were calculated and biogas plant was dimensioned. The profitability and payback period of the biogas plant were estimated, and results were compared to transporting wastes to the compost plant of Mustankorkea in Jyväskylä. In addition, the profitability of the use of a biogas vehicle, the minimum field area needed for spreading the end-product, emissions of the waste transportation and the transfer expenses of the heat energy were studied.</p> <p>On the basis of the study, the cost of the investment of the biogas plant would be about 2.2 million €. Based on the profitability estimations, the payback period of the establishment would be about 10 years based on the amount of waste of the year 2006. The profitability is greatly based on the payments of the waste reception. Their share of the gross income of the plant is about 80 %. Due to this the most important prerequisite of the profitability of the biogas plant is that all waste surveyed could be incorporated into the anaerobic process. It is also crucial that there is use for the energy produced, and that the end-product can be utilized e.g. as a fertilizer.</p>		
Keywords biogas, anaerobic digestion, waste management, sewage sludge, biowaste		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	3
2	BIOHAJOAVIEN JÄTTEIDEN BIOKAASUTUS	4
2.1	Mitä on biokaasu?	4
2.2	Biokaasu Suomessa	6
2.3	Yhdyskuntajätteen biokaasutuksessa käytettyjä tekniikoita	8
2.4	Stormossenin biokaasulaitos Vaasassa	9
3	MENETELMÄT	13
3.1	Käsiteltävien materiaalien kartoittaminen	13
3.2	Käsiteltävien materiaalien ominaisuudet ja metaanintuottopotentiaali	14
3.3	Käsiteltävien materiaalien energiasisällön laskentaperusteet	16
3.4	Laitoksen sijoitus ja mitoitus	16
3.5	Lopputuotteen peltolevityspinta-alan laskentaperusteet	18
3.6	Kuljetuspäästöjen ja energiankulutuksen laskentaperusteet	19
3.7	Investointikustannusten selvittäminen	21
3.8	Kannattavuuslaskelmien lähtöarvot	21
4	TULOKSET	22
4.1	Puhdistamolietteiden ja biojätteen määrät pohjoisessa Keski-Suomessa	22
4.2	Biohajoavien jätteen energiasisältö	23
4.3	Biokaasulaitoksen mitat ja investointikustannus	24
4.4	Kannattavuuslaskelmat	25
4.5	Energian siirtokustannukset	28
4.6	Lopputuotteen levitykseen vaadittava peltopinta-ala	29
4.7	Päästöt biohajoavien jätteen kuljetuksista	31
5	TULOSTEN TARKASTELU	31
5.1	Käsiteltävien materiaalien prosessivaatimukset	31
5.2	Saarijärven biokaasulaitoksen prosessikuvaus	32
5.3	Lopputuotteen hyötykäyttö	35
5.4	Lisäenergiaa eläinten lannasta ja peltobiomassasta	36
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	38
	LÄHTEET	42
	LIITTEET	
	LIITE 1. Tarjouspyyntö biokaasulaitoksesta	47
	LIITE 2. Saarijärven biokaasulaitoksen prosessikaavio ja massatase (Mäkelä 2007.)	48

KUVIOT

<i>KUVIO 1. Biokaasuprosessi (Kymäläinen 2006, 4.)</i>	5
<i>KUVIO 2. Biokaasun tuotanto ja hyödyntäminen Suomessa vuosina 1994–2005 (Kuittinen ym. 2006, 8.)</i>	7
<i>KUVIO 3. Stormossenin biokaasulaitoksen prosessikuvaus (Halonen, Helynen, Flyktman, Kallio, E., Kallio, M., Paappanen & Vesterinen 2003, 41.)</i>	11
<i>KUVIO 4. Pohjoisen Keski-Suomen kunnat (Pohjoisen Keski-Suomen aluetieto- ja matkailusivut.)</i>	14
<i>KUVIO 5. Saarijärven jätevedenpuhdistamo</i>	17

TAULUKOT

<i>TAULUKKO 1. Keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet vuonna 1997 (Euroopan komissio 2000, 82) sekä suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet (P 14.4.1994/282)</i>	15
<i>TAULUKKO 2. Saarijärven puhdistamon jätevesilietteen raskasmetallipitoisuudet vuonna 2005 (Kulo 2007).</i>	19
<i>TAULUKKO 3. Yhdistelmärekan vuoden 2001 keskimääräiset yksikköpäästöarvot (Mäkelä 2002.)</i>	20
<i>TAULUKKO 4. Etäisyydet käsittelylaitoksille ja vuosittaiset kuljetuskerrat</i>	20
<i>TAULUKKO 5. Lähtötietoja kannattavuuslaskelmille</i>	22
<i>TAULUKKO 6. Biohajoavat jätemäärät pohjoisessa Keski-Suomessa</i>	23
<i>TAULUKKO 7. Puhdistamolietteiden ja biojätteiden energiasisältö</i>	23
<i>TAULUKKO 8. Biokaasulaitoksen nettotuotto eripituisilla takaisinmaksuajoilla</i>	26
<i>TAULUKKO 9. Käsittelyvaihtoehtojen kannattavuusvertailu</i>	27
<i>TAULUKKO 10. Ajoneuvokäytön nettotuotto erisuuruuksilla biometaanin myyntihinnoilla</i>	28
<i>TAULUKKO 11. Lämmön- ja kaasunsiirtokustannukset vuoden 2006 jätemäärillä</i>	29
<i>TAULUKKO 12. Lopputuotteen levitysala nitraattidirektiivin ja ympäristötukiasetuksen mukaan</i>	30
<i>TAULUKKO 13. Lopputuotteen levitysala raskasmetallien perusteella</i>	30
<i>TAULUKKO 14. Päästöt ja energiankulutus jätteiden kuljetuksista</i>	31
<i>TAULUKKO 15. Eläinten lannan metaanintuottopotentiali (Taavitsainen, Kapuinen & Survo 2002, 24.)</i>	37
<i>TAULUKKO 16. Esimerkkejä eri kasvien metaanintuottopotentialaaleista (Lehtomäki 2006, 27.)</i>	38

1 JOHDANTO

Lähivuosina kunnilla tulee olemaan suuria haasteita biohajoavien jätteiden käsittelyssä, koska hoidettavat jätemäärät kasvavat ja ne tulisi käsitellä niin, etteivät ne aiheuttaisi päästöjä ilmakehään ja maaperään. Käsiteltävien jätteiden määrää tulevat lisäämään erityisesti Euroopan neuvoston kaatopaikkadiirektiivi (D 26.4.1999/31, 5), joka rajoittaa biohajoavan yhdyskuntajätteen sijoittamista kaatopaikalle sekä talousjätevesiasetus (A 11.6.2003/542), joka edellyttää jätevedenkäsittelyjärjestelmiä kaikkiin vakituisesti asuttuihin kiinteistöihin ja loma-asuntoihin vuoteen 2014 mennessä.

Useissa kunnissa, kuten Saarijärvelläkin, jätevedenpuhdistamoilta tulevat yhdyskuntalietteet käsitellään aumakompostoinnilla. Aumakompostointi on halvin vaihtoehto jätteiden käsittelyssä, mutta sen huonoja puolia ovat hajuhaitat, suuri tilan tarve, epätäydellisessä hajoamisessa muodostuvat kasvihuonekaasupäästöt sekä ravinteiden valuminen vesistöön. Näiden edellä mainittujen haittapuolien ja tiukentuvien ympäristönormien myötä on noussut uhkakuva, että aumakompostointi saatettaisiin kieltää tulevaisuudessa. Tällöin esimerkiksi Saarijärvellä puhdistamolietteiden käsittelyssä vaihtoehdoksi jää joko kuljettaa ne lähimpään käsittelylaitokseen tai rakentaa niille oma käsittelylaitos.

Eri jätefraktiot ja -määrät vaativat erilaista käsittelyä, joten yhtä oikeaa taloudellisesti ja ympäristönsuojelullisesti soveltuvaa käsittelyratkaisua ei ole olemassa. Biohajoavien yhdyskuntajätteiden käsittelyssä perinteisiä käsittelytapoja ovat olleet laitos- ja aumakompostointi, biokaasutus ja kaatopaikkasijoitus. Uusia tekniikoita ovat erilaiset termiset tai biologiset kuivurit sekä polttaminen. Uudet tekniikat tuovat vaihtoehtoja jätteiden käsittelyyn, sillä kaatopaikkasijoitus ja aumakompostointi ovat ainakin hajuhaittojensa vuoksi vähentymässä tulevaisuudessa. (Lohiniva, Mäkinen & Sipilä 2001, 7–8.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää keskitetyn biokaasulaitoksen kannattavuutta pohjoisen Keski-Suomen biohajoavien jätteiden käsittelyssä. Kannattavuutta verrattiin biohajoavien jätteiden kuljettamiseen Jyväskylän kompostoin-

tilaitokseen. Biokaasutettaviksi materiaaleiksi valittiin pohjoisen Keski-Suomen alueen jätevedenpuhdistamoilta tulevat yhdyskuntalietteet sekä Saarijärven Sammakkokankaan kaatopaikalle tuodut erilliskerätyt biojätteet. Kartoitettujen biohajoavien jätteiden pohjalta laskettiin niiden energiasisällöt ja mitoitettiin biokaasulaitos. Biokaasulaitoksen kannattavuutta tarkasteltiin laskemalla vuotuinen nettotuotto eripituisilla takaisinmaksuajoilla. Selvitystyössä tutkittiin lisäksi biokaasun ajoneuvokäytön kannattavuutta, lopputuotteen levitykseen vaadittavaa vähimmäispeltopinta-alaa, jätteiden kuljetuksista muodostuvia päästöjä sekä energian siirtokustannuksia.

Esiselvityksen tilasi Saarijärven kaupunki, jonka edustajana toimi ympäristönsuojelusihteeriksi Kalle Laitinen. Selvitystyö tehtiin ”Hajautetut biomassapohjaiset energiatuotantoratkaisut ja niiden käytäntöön soveltaminen” -hankkeelle, jonka projektipäällikkönä toimii Jaakko Tukia. Työn toteuttamisesta vastasi Tuomo Vilkkilä, ja työn ohjaajana toimi Luonnonvarainstituutin yliopettaja Tero Vesisenaho.

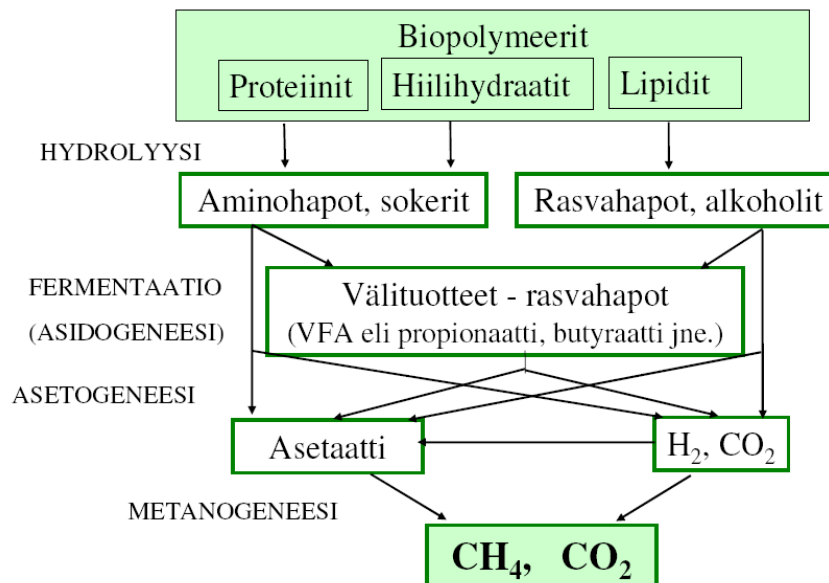
2 BIOHAJOAVIEN JÄTTEIDEN BIOKAASUTUS

2.1 Mitä on biokaasu?

Biokaasua syntyy hapettomassa tilassa orgaanisesta aineksestä useiden eri bakteerisukujen hajotustuotteena. Biokaasutukseen eli anaerobiseen käsittelyyn soveltuvia orgaanisia aineksia ovat maatalousjätteet, jätevedenpuhdistamojen prosessilietteet, yhdyskuntien kiinteät biojätteet, elintarviketeollisuuden jätteet, eräät prosessiteollisuuden jätteet, kaatopaikat sekä energiakasvit. Biokaasu koostuu metaanista (n. 55–75 %), hiilidioksidista (n. 30–45 %) ja pienistä määristä muista kaasuista (n. 5 %), kuten esimerkiksi vedystä, typestä ja rikkivedystä. (Hatsala 2004, 2.) Biokaasun energiasisältö on noin 5-7 kWh/m³. Biokaasu voidaan käyttää sellaisenaan lämmöntuotantoon tai CHP¹ -

¹ CHP = Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto

polttoaineeksi, mutta liikennepolttoaineeksi sitä voidaan käyttää vasta jalostuksen jälkeen. (Latvala 2005, 10.) Kuviossa 1 on nähtävillä kaaviokuva biokaasuprosessista.



KUVIO 1. Biokaasuprosessi (Kymäläinen 2006, 4.)

Luonnossa yleisesti esiintyvät metaanibakteerit osoittavat, että anaerobista hajoamista tapahtuu laajalla lämpötilavälillä, jopa 10 celsiuksesta yli 100 asteeseen, minkä lisäksi kosteuspitoisuus voi vaihdella noin 60 prosentista yli 99 prosenttiin. Tämän ison toleranssin ansiosta anaerobinen käsittely voidaan soveltaa mädättämään esimerkiksi kunnallisia kiinteitä biojätteitä tai teollisuudesta tulevia laimennettuja jätevesiä. Mädätyskammion rakenne täytyy kuitenkin optimoida kullekin käytettävälle raaka-aineelle, koska yksikään nykyisistä mädätysjärjestelmistä ei pysty käsittelemään kaikkia jätteitä tasapuolisesti yhtä hyvin. (IEA 2001, 1-2.)

Biokaasutuksessa, kuten kaikissa bioteknologisissa prosesseissa, on vain muutama rajoittava tekijä. Suurin rajoitus on prosessin kykenemättömyys hajottaa puun pääainetta eli ligniiniä. Tästä puutteesta huolimatta useat tutki-

musprojektit ovat onnistuneesti käyttäneet viljelykasveja, jotka koostuvat vesi- ja merikasveista sekä puumaisista biomassoista mahdollisina raaka-aineina biokaasun tuotannossa. (IEA 2001, 2.)

Hyötyjä anaerobisesta mädätyksestä:

Jätteenkäsittelyn hyödyt

- Luonnonmukainen jätteenkäsittelyprosessi
- Vaatii vähemmän maa-alaa kuin aerobinen kompostointi tai kaatopaikkasijoitus
- Vähentää kaatopaikalle sijoitettavan jätteen tilavuutta ja painoa

Energiahyödyt

- Tuottaa korkealaatuista uusiutuvaa polttoainetta
- Soveltuu useisiin loppukäyttömuotoihin

Ympäristöhyödyt

- Vähentää merkittävästi hiilidioksidi- ja metaanipäästöjä
- Vähentää hajuhaittoja
- Tuottaa puhdistettua ja ravinnerikasta lannoitetta
- Maksimoi kierrätysyödyt

Taloudelliset hyödyt

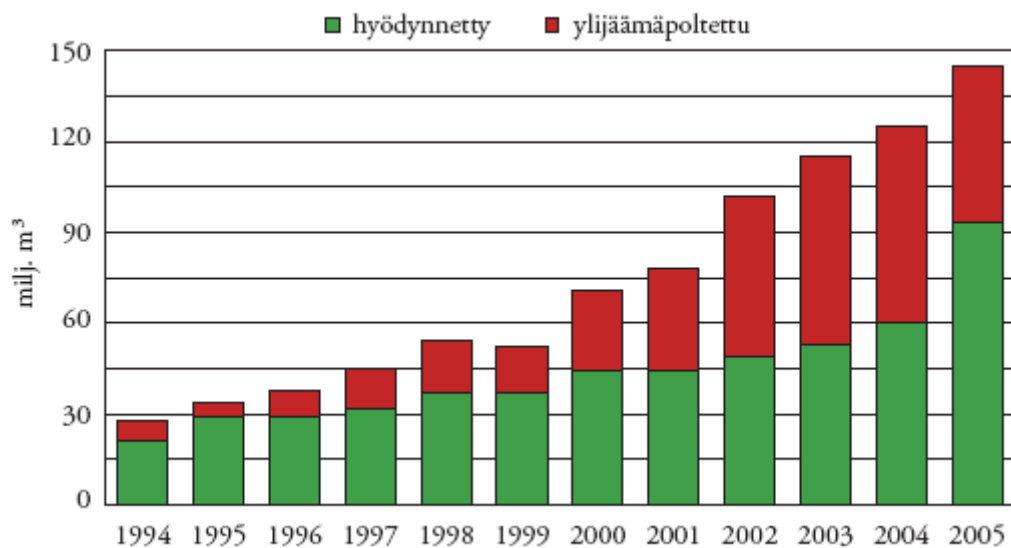
- Elinkaarinäkökulmasta katsottuna kannattavampi kuin muut käsittelyvaihtoehdot

(IEA 2001, 1.)

2.2 Biokaasu Suomessa

Vuoden 2005 lopussa Suomessa toimi 27 biokaasureaktorilaitosta, joista 15 toimi kaupunkien jätevedenpuhdistamoiden yhteydessä. Kiinteitä yhdyskuntajätteitä ja teollisuuden jätevesiä käsiteltiin kuudella biokaasulaitoksella ja maatilakohtaisia laitoksia oli kuusi kappaletta. Kaatopaikkakaasua kerättiin 33 kaa-

topaikalla. Biokaasureaktorilaitoksilla tuotettiin biokaasua vuonna 2005 noin 26,5 miljoonaa m³, josta ylijäämäpolttoon kului 3,3 miljoonaa m³. Tuotettua biokaasua hyödynnettiin lämpö-, sähkö- ja mekaanisena energiana yhteensä 126,1 GWh. Vanhoilta kaatopaikoilta kerättiin biokaasua vuonna 2005 yhteensä 118,4 miljoonaa m³, josta 70,3 miljoonaa m³ käytettiin sähkön ja lämmön tuotantoon. Kaatopaikoilta kerätystä biokaasusta saatiin energiaa yhteensä 298,5 GWh. Kuvioista 2 voidaan todeta, että biokaasun tuottaminen Suomessa lisääntyi lähes 14 prosenttia vuonna 2005 verrattuna vuoteen 2004. Biokaasun tuotannon ja hyötykäytön lisääntymisestä vastasi kuitenkin lähes kokonaisuudessaan Ämmässuon kaatopaikka. (Kuittinen, Huttunen & Leinonen 2006, 4, 8.)



KUVIO 2. Biokaasun tuotanto ja hyödyntäminen Suomessa vuosina 1994–2005 (Kuittinen ym. 2006, 8.)

Suomessa biokaasulle ei ole ollut vahvoja kannustimia, mutta nyt hallitus on suunnitellut syöttötariffia alle 20 MW laitoksissa tuotetulle sähkölle. Lisäksi vuoden 2007 kesäkuusta lähtien on ollut mahdollista hakea 20–35 % investointitukea biokaasulaitoksen rakentamiseen. Kiinnostus biokaasuun on lisääntynyt huomattavasti ja useita biokaasulaitoksia onkin rakenteilla. Monilla

kunnilla on myös suunnitelmissa rakentaa ensimmäinen julkinen biokaasun tankkausasema. (Lehtomäki, Paavola & Rintala 2007, 617–618.)

2.3 Yhdyskuntajätteiden biokaasutuksessa käytetyt teknii-koita

Yksivaiheinen märkäprosessi:

Tässä konseptissa kiinteät yhdyskuntajätteet lietetään prosessivedellä noin 10–15 prosentin kuiva-ainepitoisuuteen, jotta syöteliete saadaan pumpattua sekoitustankkimädättämöön. Kun käytetään pelkästään kiinteitä jätteitä, tulee märästä mädätyksestä tuleva lietevesi käyttää uudelleen syötteen valmistamiseen, jotta vältetään tuottamasta kohtuuttoman paljon mädätysjätettä. Tämä konsepti soveltuu hyvin yhteismädättämään kiinteiden yhdyskuntajätteiden kanssa eläinten lantaa, biojätteitä ja teollisuuden orgaanisia jätteitä. (IEA 2001, 5.)

Monivaiheinen märkäprosessi:

Useissa monivaiheisissa märkäprosesseissa kiinteät jätteet lietetään puhtaalla vedellä tai kierrätetyllä lietevedellä, jonka jälkeen jätteiden annetaan käydä hydrolyytisesti. Käymisen aikana bakteerit vapauttavat rasvahappoja, jotka muuttuvat biokaasuksi anaerobisessa mädättämöreaktorissa. Tämä prosessi soveltuu parhaiten mädättämään kotitalouksien biojätteitä ja teollisuudesta tulevia märkiä orgaanisia jätteitä, kuten esimerkiksi ruoantuotannon jätteitä. (emt.)

Jatkuvatoiminen kuivaprosessi:

Tämän konseptin periaate liittyy jatkuvatoimiseen syöttöprosessiin mädätys-säiliössä. Käsiteltävien jätteiden kuiva-ainepitoisuus on noin 20–40 %. Konseptissa on mahdollista käyttää sekä kokonaisekoitus- että tulppavirtausjärjestelmää. Molemmassa tapauksissa on suositeltavaa käyttää termofiilistä (50–55 °C) lämpötilaa, koska lisäveden tarve prosessissa on vähäistä. (emt.)

Yksivaiheinen panosprosessi:

Tässä konseptissa raaka-aine ladataan panoksittain mädätyssäiliöön, jossa siihen ympätään anaerobista käsittelyjäännöstä toisesta reaktorista. Tämän jälkeen raaka-ainetta mädätetään ilmatiiviissä säiliössä luonnonmukaisesti. Suljetun jakson aikana säiliön alaosassa oleva suodattunut jätevesi voidaan laittaa kiertoon uudelleen. Tällä pyritään saamaan tasalaatuinen kosteuspitoisuus sekä turvaamaan liukoisten substraattien ja metaanibakteerien uudelleen jakautuminen kaikkialla mädätyssäiliössä. Kun mädätys on suoritettu loppuun, säiliö avataan ja tyhjenetään, jonka jälkeen se taas täytetään uudelleen tuoreella raakajätteellä. (emt.)

Sarjapanosprosessi:

Sarjapanosprosessi -konsepti on pääpiirteissään samanlainen kuin yksivaiheinen panosprosessi. Poikkeuksena on, että säiliön pohjalle suodattunut jätevesi kierrätetään toiseen uudella raakajätteellä täytettyyn reaktoriin. Reaktorissa käynnistysvaiheen aikana muodostuvat haihtuvat aineet siirtyvät nesteen mukana aktiiviseen reaktoriin, jossa ne muuttuvat metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Käynnistysvaiheen jälkeen uusi reaktori muuntautuu metaanintuottoprosessiin, ja prosessin loppuvaiheessa kypsyneen reaktorin nestettä käytetään käynnistämään uusi reaktori. (emt.)

2.4 Stormossenin biokaasulaitos Vaasassa

Jo toimivista biokaasulaitoksista valitsin esimerkkikohteeksi Vaasan alueella toimivan Stormossenin, joka on toimintoiltaan samantyyppinen kuin mahdollisesti Saarijärven seudulle rakennettava biokaasulaitos.

Stormossenin jätteen esikäsittely- ja biokaasulaitos sijaitsee Ab Avfallsservice Stormossen Jätehuolto Oy:n jätteenkäsittelyalueella Mustasaassa lähellä Vaasan kaupunkia. Laitos otettiin käyttöön vuonna 1990 ja siinä käsitellään anaerobisesti biojätteitä ja puhdistamolietteitä. (Teir, Westergård & Åkers 1993, 63.) Tänä päivänä Stormossenin omistaa seitsemän kuntaa: Vaasa, Mustasaari, Isokyrö, Vähäkyrö, Vöyri-Maksamaa, Maalahti ja Korsnäs. Yhtiön

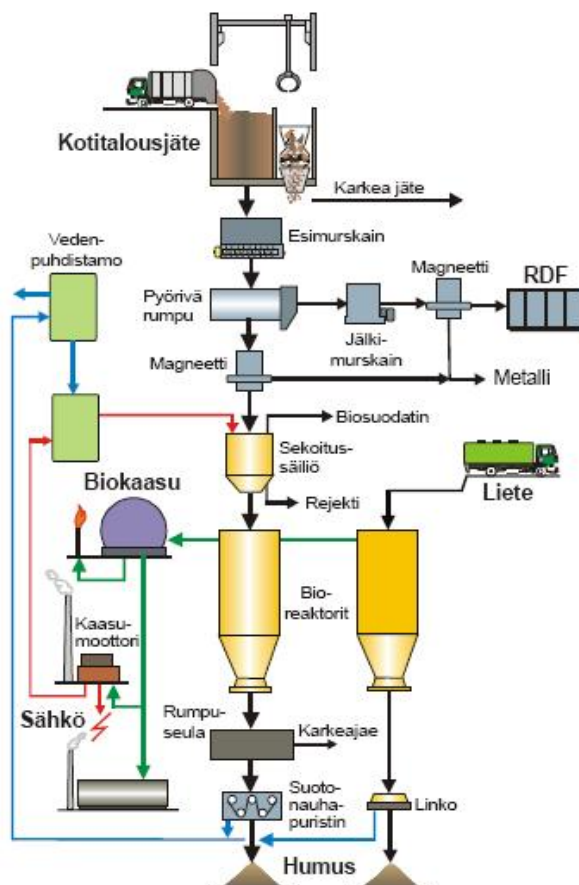
toimialueella on lähes 6000 yritystä ja ihmisiä alueella asuu noin 100 000. Osakaskuntien lisäksi Stormossenilla käsitellään bio- ja keittiöjätettä viiden muun jäteyhtiön alueelta. Stormossen Oy:n liikevaihto oli vuonna 2004 melkein 8,5 miljoonaa euroa. (Stormossen Oy:n kotisivut 2007.)

Stormossenin biokaasulaitos on kaksilinjainen laitos, jossa toisella linjastolla käsitellään jätevesilietettä ja toisella esikäsittelylaitoksessa eroteltua kotitalouksien biojätettä. Esikäsittelylaitos on niin sanottu RDF-laitos, jossa biojättees-tä erotellaan biokaasutukseen johdettava jäte ja polttoaineeksi toimitettava RDF-jäte (muovi, paperi ym.). Jätekuormat puretaan esikäsittelylaitoksessa siiloon, josta lamellikuljettimet siirtävät jätteen esimurskaimeen. Ennen esi-murskausta biologiseen prosessiin kuulumattomat kappaleet poistetaan nostu-rilla. Esimurskaimen jälkeen jäte johdetaan rumpuseulaan, jossa tapahtuu varsinainen jätejakeiden erotteleminen. Polttoaineeksi toimitettava seula- alite johdetaan tuulierottimen kautta jälkimurskaukseen, josta se lopulta siirretään magneettierottimen kautta välivarastoon odottamaan kuljetusta pelletöintilai- tokseen. Biokaasutukseen menevästä seula-alitteesta poistetaan epäpuhta- uksia tuuli- ja magneettierotuksella, jonka jälkeen jäte siirretään kuljettimilla biokaasutukseen. (Lehto, Ekholm & Nummela 2004, 17–18.)

Esikäsittelylaitoksesta tuleva eroteltu biojäte johdetaan syötteen valmistussäi- liöön, jossa siihen lisätään vettä ja seos lämmitetään termofiiliseen lämpöti- laan (55 °C). Syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus säädetään noin 12 prosenttiin. Lämmitetty syöteseos johdetaan biokaasureaktoriin, jossa sitä mädätetään noin kahden viikon ajan. Biokaasutuksen jälkeen mädäte johdetaan suoto- nauhapuristimelle, jossa se kuivataan noin 30 prosentin kuiva- ainepitoisuuteen. (emt., 18–19.)

Biokaasulaitoksen lietelinja toimii erillään biojätelinjasta. Jätevedenpuhdistu- moilta tuleva liete puretaan vastaanottosiiloon, josta se johdetaan erilliseen syötteenvalmistussäiliöön. Syötteen valmistussäiliössä lietteen lämpötila nos- tetaan 55 asteeseen ja kuiva-ainepitoisuus säädetään noin viiteen prosenttiin. Syötteenvalmistussäiliöstä liete johdetaan biokaasureaktoriin, josta se kahden viikon mädätyksen jälkeen siirretään lietteen kuivauslingolle. Sieltä mädäte siirretään jälkikypsytykseen, kun sen kuiva-ainepitoisuus saavuttaa noin 30

prosenttia. Kuviossa 3 on kuvailtu Stormossenin biokaasulaitoksen prosessi. (emt., 19.)



KUVIO 3. Stormossenin biokaasulaitoksen prosessikuvaus (Halonen, Helynen, Flyktman, Kallio, E., Kallio, M., Paappanen & Vesterinen 2003, 41.)

Stormossenin biokaasulaitoksen materiaalivirta

Vuonna 2006 biokaasulaitoksella vastaanotettiin yhteensä 73 175 tonnia jätettä, joka jakaantui eri jätefraktioihin seuraavasti: sakokaivolietettä 17 217 tonnia, puhdistamolietettä 14 689 tonnia, keittiö- ja biojätettä muilta jäteyhtiöiltä 22 218 tonnia, keittiöjätettä omistajakunnilta 17 799 tonnia ja muuta jätettä 1 252 tonnia. Biojätelinjastolla mädätettiin vuonna 2006 yhteensä 7 195 tonnia mekaanisesti lajiteltua, helposti hajoavaa biologista jätettä. Biokaasua tästä jättemäärästä tuotettiin lähes miljoona kuutiota, ja mädätysjäämää syntyi noin 3 000 tonnia. Lietelinjastolla käsiteltiin vuonna 2006 puhdistamolietettä yh-

teensä 14 688 tonnia, josta tuotettiin biokaasua vähän yli 400 000 kuutiota ja mädätysjätettä noin 4 100 tonnia. (Stormossen Oy:n vuosikertomus 2006, 8, 15.)

Käyttökokemuksia Stormossenin biokaasulaitoksesta

Teirin ym. (1993, 65) mukaan biokaasulaitoksen ensimmäisinä toimintavuosina biojätteiden esikäsittelyssä oli paljon ongelmia. Tämä johtui pääasiassa huonosta kotitalousjätteiden syntyapaikkalajittelusta, jonka vuoksi laitokselle tuleva materiaali sisälsi esimerkiksi auton moottoreita, polkupyöriä, renkaita ja puuta. Tämän tyyppisten materiaalien pääsy murskausmyllylle aiheutti paljon ylimääräisiä huoltotöitä. Vuodesta 1993 lähtien Vaasan alueella on ollut erilaisia kampanjoita kotitalouksien ongelmajätteiden keräämiseksi, mikä onkin vähentänyt esikäsittelylaitoksen vaikeuksia huomattavasti. (emt.; Stormossen Oy:n vuosikertomus 2007, 8.)

Myös itse laitoksen puolella on jouduttu tekemään huomattavia muutoksia toimivuuden parantamiseksi. Biokaasulaitoksen alkuperäiseen kokoonpanoon lisättiin jo laitoksen perustamisen alkuvaiheessa toinen bioreaktori biojätteen mädätystä varten, koska biojätteet ja lietteet kerrostuivat vain yhtä reaktoria käytettäessä. Esikäsittelylaitoksessa on jouduttu parantamaan kuljettimien toimivuutta ja niiden rakenteiden soveltuvuutta käsiteltävien jätteiden ominaisuuksille sekä lisätty tuuli- ja magneettierottimia. Laitoksessa esiintyneet mekaaniset ongelmat on pääosin korjattu ja toiminta on nykyään vakiintunut. Myös kokemusten kautta muodostuneella huolto-ohjelmalla on voitu vähentää käyttökatkoksia huomattavasti. (Lehto ym. 2004, 34.)

Mädätyslaitoksessa eniten ongelmia ovat aiheuttaneet käsiteltävän jätteen mukanaan tuomat epäpuhtaudet, kuten esimerkiksi hiekka, joka kuluttaa paljon putkistoja ja pumppuja. Eniten käyttökatkoksia aiheuttaviksi epäpuhtauksiksi ovat osoittautuneet paperin ja muovin kappaleet, jotka aiheuttavat tukkeumia putkistoon ja muodostavat biokaasureaktorin pintaan kerroksen, mikä estää materiaalin sekoittumisen ja kaasujen vaihtumisen. (emt.)

3 MENETELMÄT

3.1 Käsiteltävien materiaalien kartoittaminen

Biokaasutukseen tulevien puhdistamolietteiden kartoituksessa mukaan otettiin jätevedenpuhdistamot pohjoisen Keski-Suomen yhdeksältä kunnalta: Saarijärveltä, Pylkönmäeltä, Kannonkoskelta, Karstulasta, Kyyjärveltä, Kivijärveltä, Kinnulasta, Pihtiputaalta ja Viitasaarelta (kuvio 4). Tällä hetkellä kunnat käsittelevät puhdistamolietteet joko aumakompostoinnilla tai läjittämällä ne kaatopaikalle. Puhdistamolietteiden vuoden 2006 määrät on saatu puhdistamonhoitajilta (Kulo 2007; Turpeinen 2007; Hakanen 2007; Vesterinen 2007; Sorsamäki 2007; Parantainen 2007; Kinnunen 2007; Paananen 2007; Kahilainen 2007.) Puhdistamonhoitajien kanssa käytiin lisäksi keskusteluja vuoden 2014 jätemääristä. Heidän mielestään talousjätevesiasetus ei tulisi loppujen lopuksi kovin paljon nostamaan lietteiden määrää, koska samaan aikaan asukasmäärät vähenevät. Keskustelujen ja oman arvioni pohjalta päättelin, että vuonna 2014 puhdistamolietteitä saattaisi olla noin 20 % enemmän vuoteen 2006 verrattuna.

Saarijärven Sammakkokankaan kaatopaikalle erilliskerättyjä biojätteitä tuodaan Saarijärveltä, Karstulasta, Pylkönmäeltä, Kivijärveltä, Kannonkoskelta, Kinnulasta ja Äänekoskelta. Vuoden 2006 biojätteiden kokonaismäärät saatiin Sammakkokankaan kaatopaikalla toimivalta palvelupäälliköltä Outi Kauppinen. Kauppinen (2007) kertoi, että biojätteiden määrää vuonna 2014 on vaikea arvioida, koska siihen liittyy paljon epävarmuustekijöitä. Biojätteiden määrä voi jopa kaksinkertaistua, mikäli Sammakkokankaan suunnitelmien mukaisesti myös jotkut uudet kunnat toisivat jätteensä Sammakkokankaalle (Kauppinen 2007).



KUVIO 4. Pohjoisen Keski-Suomen kunnat (Pohjoisen Keski-Suomen aluetieto- ja matkailusivut.)

3.2 Käsiteltävien materiaalien ominaisuudet ja metaanintuottopotentiaali

Puhdistamoliete

Puhdistamoliete eli yhdyskuntien jätevesiliete on maanparannusaine ja orgaaninen lannoite, joka on ravinteiltaan verrattavissa karjanlantaan ja väkilannoitteisiin. Puhdistamolietettä syntyy, kun yhdyskuntien jätevesiä puhdistetaan jätevedenpuhdistamoilla. Asumajäteveden lisäksi puhdistettava jätevesi voi sisältää myös teollisuuden jätevesiä. Lietteen ominaisuuksiin vaikuttavat jäteveden laadun lisäksi puhdistamon käsittelymenetelmät sekä käytetyt puhdistuskemikaalit. (Vihersaari 2004, 2, 4.)

Vihersaaren (2002, 11–42) tutkimusten pohjalta tekemieni arvioiden mukaan puhdistamolietteen kuiva-aineessa on typpeä keskimäärin 41 g/kg ja fosforia 22 g/kg. Liette kuivataan yleensä lingolla tai suotonauhapuristimella, ja saavutettu kuiva-ainepitoisuus vaihtelee laitteistosta ja lietteen laadusta riippuen. Lingolla kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus on yleensä noin 20–30 %. Suotonauhapuristimella lietteen kuiva-ainepitoisuus jää yleensä hieman alhaisemmaksi. (emt, 45.) Taulukossa 1 on nähtävillä suomalaisen puhdistamoliet-

teen keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet sekä Valtioneuvoston päätöksessä (P 14.4.1994/282) määritetyt raskasmetallipitoisuuksien raja-arvot puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä. Puhdistamolietteen metaanintuotopotentiaali on noin 0,42 m³ CH₄/kg VS² (Kutinlahti 2007).

TAULUKKO 1. Keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet vuonna 1997 (Euroopan komissio 2000, 82) sekä suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet (P 14.4.1994/282)

Pitoisuus	Kadmium	Kromi	Kupari	Elohopea	Nikkeli	Lyijy	Sinkki
Keskimäärin mg/kg TS ³	1,04	84	290	1,3	34	39	606
Raja-arvo mg/kg TS	3,0	300	600	2,0	100	150	1500

Käsitlemättömässä puhdistamolietteessä esiintyy runsaasti erilaisia ulosteperäisiä ihmisille ja eläimille potentiaalisesti tauteja aiheuttavia bakteereita, kuten esimerkiksi Salmonellaa ja Listeriaa sekä erilaisia viruksia, kuten noro- ja astroviruksia. Tästä johtuen käsitlemätöntä puhdistamolietettä ei ole turvallista käyttää maataloudessa. Maatalouteen käytettävä puhdistamoliete on käsiteltävä niin, että taudinaiheuttajien määrät merkittävästi vähenevät. (Maa- ja metsätalousministeriö ja Kasvintuotannon tarkastuskeskus 2005, 2.)

Erilliskerätty biojäte

Biojätteitä ovat kotitalousjätteen lisäksi vähittäis- ja tukkukaupoissa sekä ravintoloiden, sairaaloiden ja koulujen keittiöissä sekä elintarviketeollisuudessa syntyvät orgaaniset jätteet. Biojätteen koostumus vaihtelee ruokajätteen osuuden ja keräyksen järjestämisen perusteella. (Tuovinen 2002, 16.) Kaup-pisen (2007) mukaan Sammakkokankaan kaatopaikalle tuodun erilliskerätyn biojätteen kuiva-aineessa on kokonaistyppeä keskimäärin noin 25 g/kg, kokonaisfosforia noin 3 g/kg ja liukoista typpeä 16 g/kg. Sammakkokankaalle tuodut biojätteet koostuvat pääasiassa kotitalousjätteistä tai muusta siihen rinnastettavasta jätteestä. Elintarviketeollisuudessa syntyvien biojätteiden osuus on

² VS = Orgaaninen kuiva-aine

³ TS = Kiinto-aine

murto-osa kokonaismäärästä. (emt.) Biojätteen metaanintuottopotentiali on keskimäärin noin $0,55 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}$ (Rintala, Lampinen, Luostarinen & Lehtomäki 2002, 31).

3.3 Käsiteltävien materiaalien energiasisällön laskentaperusteet

Biokaasulaitoksessa tuotetun biokaasun määrä ja koostumus riippuvat paljon syötettävästä materiaalista ja käytettävästä prosessista. Jos biokaasulaitos X tuottaa biokaasua 100 m^3 vuorokaudessa, ja metaanin lämpöarvo on 7 kWh/m^3 ja metaanipitoisuus 65% , voidaan laitoksen tuottama lämpöarvo ja energiamäärä laskea seuraavasti:

Lämpöarvo: $65 \% * 7 \text{ kWh/m}^3 \approx 4,6 \text{ kWh/m}^3$

Energiamäärä: $100 \text{ m}^3 * 4,6 \text{ kWh/m}^3 \approx 460 \text{ kWh}$

Mikäli sähköä ja lämpöä tuotettaisiin 85% :n hyötysuhteella, saataisiin energiaa vuorokaudessa seuraavasti:

Energiamäärä 85% :n hyötysuhteella: $460 \text{ kWh} * 85 \% \approx 390 \text{ kWh}$

3.4 Laitoksen sijoitus ja mitoitus

Biokaasulaitoksen sijoittamisesta käytiin keskusteluja Kalle Laitisen kanssa. Keskustelujen pohjalta päädyttiin sijoittamaan laitos Saarijärven jätevedenpuhdistamon yhteyteen (kuvio 5), koska Saarijärvellä syntyy puhdistamolietettä eniten muihin kohdekuntiin verrattuna. Saarijärven puhdistamo sijaitsee lisäksi kohtuullisen lähellä Saarijärven keskustaa, joten tuotetulle energialle olisi käyttöä.



KUVIO 5. Saarijärven jätevedenpuhdistamo

Biokaasulaitos päätettiin mitoittaa vuoden 2014 arvioiduille puhdistamoliete- ja biojättemäärille. Bioreaktorin koko riippuu vuosittaisesta jätemäärästä ja viipymäajasta reaktorissa. Mikäli jätettä tulee päivässä esimerkiksi 50 m^3 ja viipymä reaktorissa on 25 päivää, on bioreaktorin koon oltava vähintään 1250 m^3 . Stormossenilla jätteiden kerrostumisen vuoksi jouduttiin hankkimaan toinen bioreaktori ensimmäisen rinnalle (Lehto ym. 2004, 34). Kutinlahden (2007) mukaan Saarijärvelle suunnitteilla olevaan biokaasulaitokseen kuitenkin riittäisi yksi bioreaktori, koska hyvin suunniteltu sekoitus huolehtii siitä, etteivät jätteet pääse kerrostumaan. Yleisesti ottaen tarvittavien reaktoreiden määrä riippuu jätteiden määrästä, ja kokonaistaloudellisesti on kannattavampaa rakentaa yksi iso reaktori kuin kaksi pientä (emt.).

Jälkivarastoallas mitoitettiin siten, että altaan koko riittää lietteiden peltolevityksen kieltoajan yli eli 15.10. – 15.4. välisen ajan. Lopputuotteen peltolevitys ajoittuisi näin ollen pääasiassa kevään ja syksyn kyntöaikoihin. Muut biokaasulaitokseen liittyvät laitteistojen mitoitukset laskivat tarjouspyyntöön vastanneet laitostoimittajat ja insinööritoimisto MK Protech Oy (ks. luku 3.7 Investointikustannusten selvittäminen). Liitteessä 1 on nähtävillä laitostoimittajille lähetetty tarjouspyyntö.

3.5 Lopputuotteen peltolevityspinta-alan laskentaperusteet

Biokaasulaitoksessa käsiteltyjen biomassojen peltolevitykseen tarvittava pinta-ala on laskettu sekä nitraattiasetuksen (A 9.11.2000/931) että MMM:n ympäristötukiasetuksen (A 5.7.2000/646) mukaisesti, koska perustukeen on sitoutunut Keski-Suomessa noin 95 % viljelijöistä (Keski-Suomen ympäristökeskus 2007). Peltolevitysalojen laskemiseen ei ollut käytettävissä tietoja maatalojen kasvilajikohtaisista peltopinta-aloista, joten laskelmissa on käytetty keskimääräisiä ravinnerajoituksia (kokonaistyppeä 170 kg/ha, liukoista typpeä 90 kg/ha ja kokonaisfosforia 15 kg/ha). Lopputuotteen peltolevitysalan laskennassa on lisäksi otettu huomioon suurin sallittu lietteen tai lieteseoksen käytöstä aiheutuva keskimääräinen vuosittainen raskasmetallikuormitus maanviljelyksessä (ks. taulukko 1).

Lopputuotteen levitykseen vaadittavan peltopinta-alan laskentaan ei ollut saatavilla puhdistamokohtaisia ravinnetietoja, joten esitetyt vähimmäispinta-alat eivät ole täysin tarkkoja. Puhdistamolietteiden kuiva-aineen ravinnepitoisuutena on käytetty kokonaistyppeä 41 g/kg ja kokonaisfosforia 22 g/kg (Vihersaari 2002, 11–42). Liukoisen typen osuudeksi kokonaistypestä on arvioitu 20 % tarkempien tietojen puuttuessa. Lietteiden keskimääräisenä kuiva-ainepitoisuutena on käytetty 19 %. Biojätteiden kuiva-aineen ravinnepitoisuutena on käytetty kokonaistyppeä⁴ 25 g/kg, kokonaisfosforia⁵ 3 g/kg ja liukoista typpeä⁶ 16 g/kg. Biojätteiden keskimääräisenä kuiva-ainepitoisuutena on käytetty 35 %. (Kauppinen 2007.)

Kokonaisfosforin laskennassa on huomioitu muuttumassa olevat laskentaperusteet. Aiemmin kokonaisfosforista huomioitiin 75 % kasveille käyttökelpoiseksi, mutta tulevassa laskentatavassa huomioidaan vain 40 %. Tämä muutos helpottanee huomattavasti puhdistamolietepohjaisten lannoitteiden käyttöä maataloudessa. (Salminen 2007, 53.)

⁴ Kokonaistyyppi = Sisältää sekä orgaanisen että epäorgaanisen typen muodot

⁵ Kokonaisfosfori = Sisältää sekä orgaanisen että epäorgaanisen fosforin muodot

⁶ Liukoinen typpi = Kasvien käytettävissä oleva epäorgaaninen typpi (BOING ensyklopedia 2002.)

Mikäli puhdistamolietteiden kuiva-aineen määrä olisi 10 000 m³ ja käytettäisiin edellä mainittuja lietteen ominaisuuksia, kokonaisfosforin pinta-alan tarve laskeutuisiin seuraavasti:

$$\frac{40 \% * 0,022 \text{ kg P kok.} * 19 \% * 10\,000 \text{ m}^3 * 1000 \text{ kg}}{15 \text{ kg/ha}} \approx 1110 \text{ ha}$$

Raskasmetallien rajoittaman peltolevitysalan laskennassa on käytetty Saarijärven puhdistamolla otettuja jätevesilietteen analyysituloksia (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Saarijärven puhdistamon jätevesilietteen raskasmetallipitoisuudet vuonna 2005 (Kulo 2007).

Pitoisuus	Kadmium	Kromi	Kupari	Elohopea	Nikkeli	Lyijy	Sinkki
mg/kg TS	0,5	14	300	0,1	10	15	300

3.6 Kuljetuspäästöjen ja energiankulutuksen laskentaperusteet

Jätteiden kuljettamisesta aiheutuvat päästöt ja energiankulutus on laskettu VTT:n Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa kehitellyllä tieliikenteen LIISA - laskentajärjestelmällä (Mäkelä 2002). Päästöjen laskentaperusteena (taulukko 3) on käytetty puoliperävaunulla varustetun yhdistelmärekan maantieajoa, sillä oletin kuorman lastauksen ja purkamisen olevan tällä ajoneuvolla kaikista nopeinta ja helpointa. Kyseisen rekan kokonaismassa on 40 tonnia ja kantavuus 25 tonnia. Laskelmissa on huomioitu hiilimonoksidin (CO), hiilivetyjen (HC), typpioksidin (NO_x) ja hiilidioksidin (CO₂) yksikköpäästöt (g/km) erilaisilla kuormilla sekä polttoaineen kulutus (g/km, l/100 km) ja energian kulutus (kWh/km).

TAULUKKO 3. Yhdistelmärekan vuoden 2001 keskimääräiset yksikköpäästöarvot (Mäkelä 2002.)

Päästö	Päästö ajoneuvokilometriä kohden	
	Tyhjä	Täysi (25t)
CO [g/km]	0,32	0,38
HC [g/km]	0,16	0,15
NO _x [g/km]	9,20	12,00
CO ₂ [g/km]	800,00	1087,00
Kulutus [g/km]	254,00	345,00
Kulutus [l/100 km]	30,10	40,90
Energiankulutus [kWh/km]	3,00	4,10

Puhdistamolietteiden ja biojätteiden vuodessa kuljetettavien kuormien lukumäärä ja päästöt laskettiin siten, että kuljetusauto kuljetti täysiä kuormia ja palasi tyhjänä takaisin. Päästöt on laskettu jätteiden kuljettamisesta Saarijärvelle ja Jyväskylään vuosien 2006 sekä 2014 jätemäärillä. Taulukossa 4 on nähtävillä etäisyydet kohdekunnista käsittelylaitoksille sekä vuosittaisten kuljetuskertojen määrät vuosille 2006 ja 2014.

TAULUKKO 4. Etäisyydet käsittelylaitoksille ja vuosittaiset kuljetuskerrat

Kohde	Ajomatka Saarijärvelle (km)	Ajomatka Jyväskylään (km)	Kuljetuskertoja v. 2006 (kpl)	Kuljetuskertoja v. 2014 (kpl)
Saarijärvi	0	71	54	65
Kivijärvi	62	130	9	11
Pyлкönmäki	29	85	4	5
Kannonkoski	38	105	10	12
Kyyjärvi	58	125	12	14
Karstula	38	105	24	29
Kinnula	93	160	24	29
Viitasaari	66	105	50	60
Pihtipudas	107	143	14	17
Sammakkokangas	15	83	49	80
YHTEENSÄ	506	1112	249	320

3.7 Investointikustannusten selvittäminen

Saarijärven jätevedenpuhdistamon yhteyteen suunnitteilla olevan biokaasulaitoksen investointikustannusta selvitettiin kahdeksalta suomalaiselta laitostoi-
mittajalta. Tarjouspyynnöt lähetettiin seuraaville laitosvalmistajille: Citec Oy,
Greenenvironment Oy, MetaEnergia Oy, Metener Oy, Preseco Oy, RMG Pointo
Oy, Skanska Oy ja YIT Environment Oy. Näistä yrityksistä RMG Pointo Oy,
Preseco Oy ja MetaEnergia Oy vastasivat tarjouspyyntöön. Tarjouspyyntöjen
lisäksi biokaasulaitoksen investointikustannusta arvioi Jyväskylässä toimiva
ympäristö-, yhdyskunta- ja prosessitekniikkaan erikoistunut insinööritoimisto
MK Protech Oy. Biokaasun ajoneuvokäytön mahdollistavien laitteistojen inves-
tointikustannuksia kysyttiin myös edellä mainituilta yrityksiltä.

3.8 Kannattavuuslaskelmien lähtöarvot

Kannattavuuslaskelmien lähtöarvoina käytettiin useista eri lähteistä kerättyjä
tietoja (Aho 2007a; Aho 2007b; Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy 2007; Kutinlahti
2007; Mykkänen 2007; Urakointihinnat 2005; Jormanainen 2007; Hagström,
Vartiainen & Vanhanen 2005). Kannattavuuslaskelmissa ei ole huomioitu
tuloja energian omasta käytöstä, koska niille ei laskettu myöskään tuotantoku-
luja. Ahon (2007a) mukaan puhdistamolietteen käsittelymaksu on sopi-
musasia, jonka suuruus vaihtelee muun muassa käsiteltävän materiaalin kui-
va-ainepitoisuuden, käsittelysopimuksen pituuden ja lietemäärän mukaan.
Keskimääräinen puhdistamolietteiden porttimaksu on noin 45 euroa (emt.).

Ajoneuvokäytön kannattavuutta on selvitetty 60 snt:n biometaanikuutiohinnan
lisäksi 70 snt:n ja 80 snt:n hinnoilla, jotta laskelmiin on saatu herkkyytstarkas-
telua. Kutinlahden (2007) mukaan vuoden 2014 jätemäärälle mitoitettu bio-
kaasulaitos työllistäisi noin yhden henkilön kokopäiväisesti (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Lähtötietoja kannattavuuslaskelmille

Energiatuotannon hyötysuhteet (kaasumoottori):	
sähkö, netto:	30 %
lämpö, netto:	55 %
häviöt:	15 %
Laitoksen oma sähkönkulutus (MWh/a)	6,0 %
Saarijärven puhdistamon sähkönkulutus (MWh)	347
Laitoksen oma lämmönkulutus (syötteen lämmitys+hygienisointi) (MWh)	20,0 %
Sähkön myyntihinta sähköverkkoon (€/MWh)	30,0
Sähkön arvo laitoksella (€/MWh)	75,0
Lämmön myyntihinta (€/MWh)	37,0
Porttimaksu (yhdyskuntaliete) (€/t)	45,0
Porttimaksu (biojäte) (€/t)	58,0
Investointikustannus (€)	2 200 000
Investointitukiprosentti (KTM:n energiatuki) (%)	20 %
Korkokanta (%)	4 %
Jätteiden kuljetuskustannus (€/km)	1,40
Lopputuotteen peltolevitys (ajo+levitys) (€/m ³)	1,80
Biometaanin myyntihinta (€/m ³)	0,60
Laitoksen työllistävyys (hlö/a)	1

4 TULOKSET

4.1 Puhdistamolietteiden ja biojätteiden määrät pohjoisessa Keski-Suomessa

Taulukossa 6 on nähtävillä pohjoisen Keski-Suomen yhdeksän kunnan jätevedenpuhdistamoilla syntyvät puhdistamolietteiden määrät sekä Saarijärven Sammakkokankaan kaatopaikalle viedyt erilliskerättyjen biojätteiden määrät. Vuoden 2006 tietojen mukaan eniten jätettä syntyi Saarijärven puhdistamolla (n. 1350 m³) ja vähiten Pylkönmäellä (n.100 m³). Vuoden 2014 jätemäärien arvioinnin perusteella biokaasutukseen tulisi eniten jätteitä Sammakkokankaan kaatopaikalta (n. 2000 m³).

TAULUKKO 6. Biohajoavat jätemäärät pohjoisessa Keski-Suomessa

	Kohde	Vuonna 2006 (m ³ /a)	Vuonna 2014 (m ³ /a)	Kiintoainepitoisuus (%)
Puhdistamolietteet	Saarijärvi	1350	1620	18
	Kivijärvi	220	264	19
	Pylkönmäki	100	120	20
	Kannonkoski	240	288	19
	Kyyjärvi	290	348	19
	Karstula	600	720	16
	Kinnula	600	720	24
	Viitasaari	1250	1500	18
	Pihtipudas	350	420	18
Biojäte	Sammakkokangas	1215	2000	35
YHTEENSÄ		6215	8000	

4.2 Biohajoavien jätteiden energiasisältö

Kartoitettujen biohajoavien jätteiden energiasisällöt ja biokaasumäärä on esitelty taulukossa 7. Biokaasua muodostuu vuoden 2006 jätemäärällä yhteensä noin 446 000 m³ ja vuoden 2014 jätemäärällä noin 619 000 m³. Näin ollen energiaa tuotettaisiin vuoden 2014 jätemäärällä noin 1100 MWh enemmän vuoden 2006 jätemäärään verrattuna.

TAULUKKO 7. Puhdistamolietteiden ja biojätteiden energiasisältö

	Vuoden 2006 jätemäärät:			Vuoden 2014 jätemäärät:		
	Määrä (m ³)	Kuiva-aine (%)	VS-%	Määrä (m ³)	Kuiva-aine (%)	VS-%
Puhdistamoliete	5000	19 %	65 %	6000	19 %	65 %
Biojäte	1215	35 %	80 %	2000	35 %	80 %
Kuiva-aine määrät	kg TS	kg VS	Biokaasua (Nm ³)	kg TS	kg VS	Biokaasua (Nm ³)
Puhdistamoliete	950 000	617 500	259 350	1 140 000	741 000	311 220
Biojäte	425 250	340 200	187 110	700 000	560 000	308 000
YHTEENSÄ	1 375 250	957 700	446 460	1 840 000	1 301 000	619 220
Metaanin energiasisältö	9,9 kWh/Nm ³					
Metaanipitoisuus	65 %					
Energiasisältö	2 873 MWh			Energiasisältö	3 985 MWh	
Biokaasun tuotto	51 m ³ /h			Biokaasun tuotto	71 m ³ /h	

4.3 Biokaasulaitoksen mitat ja investointikustannus

Kutinlahden (2007) mukaan vuoden 2014 jätemäärälle mitoitettun laitoksen bioreaktorin kooksi riittää 750 m³. Jätkivarastoaltaan kooksi mitoitettiin puolet vuoden 2014 jätemäärästä eli 4000 m³, mikä on ehkä hieman alimitoitettu, koska puhdistamolietteitä ja biojätteitä jouduttaisiin laimentamaan tehtäessä syöteliettä reaktoriin. Muita biokaasulaitokseen liittyvien laitteistojen mittoja on nähtävillä liitteessä 2. Liitteen prosessikaaviossa ja massataseessa tulee huomioida, että jätteiden kiintoainepitoisuus on laimennettu noin 13 %:iin, joten syöteliettä tulee vuodessa yhteensä noin 13 900 m³.

Biokaasulaitoksen investointikustannus vaihteli kolmen laitostoimittajan välillä noin 1,7 miljoonasta eurosta noin 5 miljoonan euroon. Iso ero investointikustannuksessa aiheutti hieman hämmennystä, mutta tutkittuani tarjouksia huomasin, että jonkin verran kustannuseroihin vaikuttivat erilailla mitoitettut laitteistot sekä laitoksen varustelutaso. Useamman miljoonan erolle en kuitenkaan löytänyt selitystä. Lopulta laitoksen investointikustannuksessa päädyttiin MK Protechin laskemaan hinta-arvioon, joka oli 2,2 miljoonaa euroa (Kutinlahti 2007). MK Protech Oy:n toimitusjohtaja Heikki Kutinlahti vakuutti, että investointikustannus on määritelty 10 % tarkkuudella suuntaan tai toiseen.

Esiselvityksessä tuli lisäksi kartoittaa, paljonko biokaasun puhdistaminen ja paineistaminen ajoneuvokäyttöön maksaisi jatkoinvestointina. Kustannusarviot vaihtelivat eri laitostoimittajien mukaan 250 000 eurosta 550 000 euroon. Myös tässä päädyttiin luotettavalta kuulostavan MK Protechin hinta-arvioon, joka oli 230 000 € vuoden 2006 jätemäärälle ja 250 000 € vuoden 2014 jätemäärälle. Hinta sisältää kaasunpuhdistuslaitteistot, rakennukset ja muut oheislaitteet (Kutinlahti 2007.)

4.4 Kannattavuuslaskelmat

Biokaasulaitoksen kannattavuus

Taulukossa 8 on nähtävillä Saarijärvelle suunnitteilla olevan biokaasulaitoksen nettotuotto eripituisilla takaisinmaksuajoilla. Taulukossa tulee ottaa huomioon, että peruslaskelmat on laskettu viiden vuoden takaisinmaksuajalla. Kun tarkastellaan nettotuottoja eripituisilla takaisinmaksuajoilla, voidaan todeta, että 8000 kuution jätemäärällä nettotuotto olisi 10 vuoden maksuajalla jopa yli 100 000 €. Laitoksen kannattavuus pohjautuu suurelta osin biohajoavien jätteen vastaanottamisesta saataviin porttimaksuihin, joiden osuus kokonaistuloista on noin 80 %.

TAULUKKO 8. Biokaasulaitoksen nettotuotto eripituisilla takaisinmaksuajoilla

	2006	2014
Biohajoavia jätteitä yht. (m ³ /a)	6 215	8 000
Biokaasua (m ³ /h)	51	71
Biokaasua (m ³ /a)	446 460	619 220
Metaanipitoisuus (%)	65 %	65 %
Metaania (m ³ /a)	290 199	402 493
Biokaasun energiasisältö (MWh)	2 873	3 985
Sähköntuotanto kaasumootorissa (MWh)	862	1 195
Lämmöntuotanto kaasumootorissa (MWh)	1 580	2 192
Häviöt (MWh)	431	598
Laitoksen sähkön kulutus (MWh)	172	239
Puhdistamon sähkön kulutus (MWh)	347	347
Sähköä jää myyntiin (MWh)	343	609
Laitoksen lämmön kulutus (MWh)	575	797
Lämpöä jää myyntiin (MWh)	1 006	1 395
Laitoksen investointikustannus (€)	2 200 000	2 200 000
Investointituki %	20 %	20 %
Laitoksen hinta tuen jälkeen (€)	1 760 000	1 760 000
Takaisinmaksuaika (a)	5	5
Pääomakulut (€/a)	389 541	389 541
Käyttökulut (€/a)	60 000	70 000
Palkkakulut (€/a)	30 000	30 000
Jätteiden kuljetuskustannukset (€/a)	29 037	35 754
Lopputuotteen levityskustannukset (€/a)	18 657	25 020
VUOSIKULUT YHTEENSÄ (€/a)	527 234	550 315
Sähkön tuotanto myyntiin (€/vuosi)	10 275	18 280
Sähkön tuotanto puhdistamolle (€/vuosi)	26 025	26 025
Lämmön tuotanto myyntiin (€/vuosi)	37 295	51 727
Porttimaksut (€/vuosi)	295 470	388 697
VUOSITULOT YHTEENSÄ (€/a)	369 066	484 729
Nettotuotto 5 vuoden takaisinmaksuajalla (€/a)	-158 168	-65 586
Nettotuotto 10 vuoden takaisinmaksuajalla (€/a)	17 254	109 836
Nettotuotto 15 vuoden takaisinmaksuajalla (€/a)	74 961	167 543
Nettotuotto 20 vuoden takaisinmaksuajalla (€/a)	103 250	195 833

Kannattavuusvertailu Saarijärvi vs. Jyväskylä

Biohajoavien jätteiden käsittelyn kannattavuutta Saarijärvellä on verrattu Jyväskylän kompostointilaitokseen porttimaksujen kautta (taulukko 9). Saarijärven porttimaksujen perusteena oli, minkä suuruisella porttimaksutulolla laitoksen nettotuotoksi tulee 0 € eli laitos on vielä kannattava. Esitetyt porttimaksut on laskettu eripituisilla takaisinmaksuajoilla, ja ne sisältävät myös jätteiden kuljetuksista aiheutuvat kustannukset. Taulukosta 9 voidaan todeta, että vuo-

den 2014 jätemäärällä ja 10 vuoden takaisinmaksuajalla Saarijärven biokaasulaitoksen porttimaksujen suuruus olisi noin 24 €/t pienempi Jyväskylään verrattuna. Vuositasolla tämä tarkoittaisi noin 190 000 € säästöjä.

TAULUKKO 9. Käsittelyvaihtoehtojen kannattavuusvertailu

Takaisinmaksu-aika	Porttimaksut €/t (sis. kuljetuskustannukset)		
	Jyväskylä	Saarijärvi (v. 2006)	Saarijärvi (v. 2014)
5	58,99	73,0	56,8
10	58,99	44,8	34,9
15	58,99	35,5	27,7
20	58,99	31,0	24,1

Ajoneuvokäytön kannattavuus

Ajoneuvokäytön kannattavuutta on selvitetty laskemalla nettotuotto erisuuruisille biometaanin myyntihinnoille. Taulukosta 10 voidaan todeta, että 10 vuoden takaisinmaksuajalla ajoneuvokäytön investointi olisi kannattava jo vuoden 2006 jätemäärällä ja 60 snt/m³ biometaanin myyntihinnalla. Laskelmien mukaan vuoden 2014 jätemäärällä olisi mahdollista tuottaa polttoainetta noin 200 autolle vuosittain (keskikulutus 8 m³/100 km, 25 000 km/a).

TAULUKKO 10. Ajoneuvokäytön nettotuotto erisuuruisilla biometaanin myyntihinnoilla

	2006	2014
Jätettä yht. (m ³ /a)	6215	8000
Biokaasua (m ³ /h)	50,97	70,69
Biokaasua (m ³ /a)	446460	619220
Metaanipitoisuus (%)	65 %	65 %
Metaania (m ³ /a)	290199	402493
Biometaanin myyntihinta (€/m ³)	0,60	0,60
Biokaasun energiasisältö (MWh)	2873	3985
Biokaasulaitoksen prosessiin 60 % (MWh)	1724	2391
Biometaanin tuotantoon 40 % (MWh)	1149	1594
Biometaania jää ajoneuvokäyttöön (m³)	116 080	160 997
Ajoneuvokäytön investointikustannus (€)	230 000	250 000
Takaisinmaksuaika (a)	10	10
Pääomakulut (€/a)	19 587	21 290
Käyttökulut (€/a)	23 000	25 000
Yleiskulut (€/a)	23 000	25 000
VUOSIKULUT YHTEENSÄ (€/vuosi)	65 587	71 290
Biometaanin tuotanto myyntiin (€/a)	69 648	96 598
VUOSITULOT YHTEENSÄ (€/vuosi)	69 648	96 598
Nettotuotto: biometaanin 60 snt/m³ (€/a)	4 061	25 308
Nettotuotto: biometaanin 70 snt/m³ (€/a)	15 669	41 408
Nettotuotto: biometaanin 80 snt/m³ (€/a)	27 277	57 508

4.5 Energian siirtokustannukset

Saarijärven puhdistamon läheisyydessä asutus on niin harvaa, että energia pitäisi siirtää Saarijärven Kaukolämmön verkkoon. Matkaa kaukolämmön verkkoon tulee noin 1,6 kilometriä. Tuomisen (2007) mukaan lämpöä siirrettäessä putken tulisi olla kooltaan 2x80 millimetriä. Tällöin lämpökanaalin rakentamiskuluja muodostuisi 119 €/m eli yhteensä noin 190 400 € (Suomen Kaukolämpö ry 2004, 4). Lämpöä siirrettäessä tapahtuu jonkin verran lämpöhäviötä, ja edellä mainitun kokoisella putkella lämpöhäviötä tulee 20 W/m eli vuosittain yhteensä noin 280 MWh (Kaukolämpökäsikirja 2003, 46). Hävikin osuus on noin 28 % myyntiin menevästä lämpöenergiasta (taulukko 11).

Jos energia siirrettäisiin kaasuna kaukolämpöverkon läheisyyteen ja muutettaisiin sen läheisyydessä lämmöksi, olisivat kaasunsiirtoputkiston rakentamiskulut noin 85 €/m eli yhteensä noin 136 000 € (Nuutinen 2007). Kaasunsiirto olisi lämmönsiirtoa kannattavampaa, koska silloin ei tule energiahäviöitä. Kaasunsiirron haittapuolena on, että lämpökeskus jouduttaisiin rakentamaan erillisen biokaasulaitoksesta. Tällöin tuotettua lämpöä ei voitaisi hyödyntää biokaasutusprosessissa.

Lämmön- tai kaasunsiirtokustannuksia ei otettu huomioon biokaasulaitoksen kannattavuuslaskelmissa, mutta tarkasteltaessa siirtolinjaston rakentamiskuluja ja lämmön myynnistä tulevia tuloja, voidaan todeta, että lämmöntuotanto myyntiin ei näytä kovin kannattavalta (taulukko 11). Energiansiirto tulisi kannattavammaksi, jos biokaasua tuotettaisiin enemmän tai biokaasulaitos olisi lähempänä kaukolämpöverkosta.

TAULUKKO 11. Lämmön- ja kaasunsiirtokustannukset vuoden 2006 jätemäärillä

	LÄMMÖNSIIRTO	KAASUNSIIRTO
Lämpökanaalin pituus (m)	1 600	1 600
Kanaalin rakentamiskulut (€/m)	119	85
Rakentamiskulut yhteensä (€)	190 400	136 000
Lämpöhäviö W/m (DN 2x80 mm)	20	0
Lämpöhäviöt yhteensä (MWh/a)	280	0
Osuus myyntienergiasta % (MWh)	28 %	0 %
Lämpöä jää myytäväksi (MWh)	725	1 006
Lämmön tuotanto myyntiin (€/a)	26 898	37 295

4.6 Lopputuotteen levitykseen vaadittava peltopinta-ala

Taulukossa 12 voidaan nähdä lopputuotteen levitykseen vaadittavat peltopinta-alat nitraattidirektiivin ja ympäristötukiasetuksen mukaan. Laskelmien mukaan vaadittavan levityspinta-alan rajoittavin ravinne on kokonaisfosfori. Näin ollen vuoden 2006 jätemäärillä levityspinta-alaa tulisi olla yhteensä noin 591 ha ja vuoden 2014 jätemäärillä noin 725 ha.

TAULUKKO 12. Lopputuotteen levitysala nitraattidirektiivin ja ympäristötu-
kiasetuksen mukaan

Materiaalit	Nitraattidi- rektiivi	MMMa ympäristötues- ta	
	Kokonais- N (kg)	Liukoinen N (kg)	Kokonais- P (kg)
Puhdistamoliete v. 2006	38950	7790	8360
Biojäte v. 2006	10631	6804	510
Puhdistamoliete v. 2014	46740	9348	10032
Biojäte v. 2014	17500	11200	840
Levityspinta-ala v. 2006 (ha)	292	162	591
Levityspinta-ala v. 2014 (ha)	378	228	725

Saarijärven jätevedenpuhdistamon vuoden 2005 lieteanalyysin perusteella maatalouskäyttöä rajoittavin raskasmetalli on kupari, jonka pitoisuus vaatii vuoden 2006 jätemäärillä vähintään 688 ha levityspinta-alan ja vuoden 2014 jätemäärillä 920 ha (taulukko 13).

TAULUKKO 13. Lopputuotteen levitysala raskasmetallien perusteella

	Kadmium	Kromi	Kupari	Elohopea	Nikkeli	Lyijy	Sinkki
Levityspinta-ala v. 2006 (ha)	458	64	688	138	138	206	275
Levityspinta-ala v. 2014 (ha)	613	86	920	184	184	276	368

Kuten taulukoiden 12 ja 13 perusteella voidaan todeta, kokonaisfosforin las-
kennassa muuttumassa olevat laskentaperusteet johtavat siihen, että peltole-
vityksessä rajoittavimmaksi tekijäksi tulee tässä tapauksessa kupari, kun se
aiemmin olisi ollut fosfori. Rimmin (2006, 1-3) mukaan Saarijärvellä oli vuonna
2005 peltoalaa yhteensä noin 7 530 ha. Tästä määrästä noin 4 400 hehtaaria
voisi soveltua lopputuotteen levitykseen, eli kuparipitoisuuden vaatima vä-
himmäispeltopinta-ala riittäisi hyvin käsitellyille jätemäärille. Lopputuotteen
levityksessä tulee kuitenkin ottaa huomioon, ettei lietettä esimerkiksi ruoko-
helpipelloille voida joka vuosi levittää, koska pellot tulee levityksen jälkeen
kyntää tai jollain muulla tavoin mullata. Kuljetusmatkat eri puolille kuntaa saat-
taisivat myös olla pitkät.

4.7 Päästöt biohajoavien jätteiden kuljetuksista

Taulukosta 14 voidaan todeta, että vuoden 2006 jätemäärällä jätteiden kuljetamisesta Jyväskylään tulee esimerkiksi CO-päästöjä noin 11 kg enemmän kuin jätteiden käsittelystä Saarijärvellä. Myös energiaa säästyisi huomattavasti, jos rakennettaisiin oma biokaasulaitos. Esimerkiksi vuoden 2014 jätemäärällä energiaa säästyisi noin 140 MWh.

TAULUKKO 14. Päästöt ja energiankulutus jätteiden kuljetuksista

Vaihtoehto	Päästöt (kg/a)				Polttoaineen kulutus		Energiankulutus kWh/a
	CO	HC	NOx	CO ²	kg/a	l/a	
Saarijärvi 2006	7	3	220	19569	6212	7363	73628
Jyväskylä 2006	18	8	539	47971	15228	18049	180495
Saarijärvi 2014	9	4	271	24096	7649	9066	90663
Jyväskylä 2014	23	10	685	60961	19351	22937	229370

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Käsiteltävien materiaalien prosessivaatimukset

Lainsäädännöllisesti merkittävimmät rajoitukset biokaasuprosessille annetaan sivutuoteasetuksessa, jossa määritellään biokaasutukseen soveltuvat materiaalit ja käsittelyvaatimukset sekä lopputuotteen hygieeniset laatuvaatimukset ja käyttökohteet. Biokaasutuksessa käsiteltävien materiaalien peltolevitykseen vaikuttavat myös Valtioneuvoston asetus (A 9.11.2000/931) maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta ja Valtioneuvoston päätös (P 14.4.1994/282) puhdistamolietteen käytöstä maataloudessa. Lisäksi maatalouden ympäristötukijärjestelmän piiriin kuuluvien tilojen tulee huomioida MMM asetus (A 5.7.2000/646) ympäristötuesta. (Paavola 2005, 48.)

Puhdistamolietteiden ja biojätteiden käsittely biokaasulaitoksessa edellyttää aina sivutuoteasetuksen (A 3.10.2002/1774) mukaista hygienisointia vähin-

tään yhden tunnin ajan 70 °C lämpötilassa sekä prosessiin menevien jätteiden 12 millimetrin enimmäispartikkelikokoa. Hygienisointia ei tarvita, mikäli kaikki käsiteltävä eläinperäinen materiaali on aiemmin käsitelty vähintään 133 °C lämpötilassa ja 3 barin paineessa 20 minuutin ajan (Maa- ja metsätalousministeriö ja Kasvintuotannon tarkastuskeskus 2004, 18).

5.2 Saarijärven biokaasulaitoksen prosessikuvaus

RMG Pointo Oy:n tarjoukseen sisältynyt prosessikuvaus on suunniteltu Saarijärven biokaasulaitokselle, ja se on mitoitettu noin 6000 m³:lle puhdistamoliettä ja 2000 m³:lle erilliskerättyä biojätettä. Prosessikuvauksen (liite 2) on toteuttanut Envipro Ky.

Anaerobisen jätteenkäsittelyn yleisiä perusteita

Anaerobisessa prosessissa (happo- ja metaanikäyminen) orgaaninen aine hajotetaan mikrobiologisesti biokaasuksi. Happokäymisen aikana monimutkaiset orgaaniset yhdisteet muuttuvat yksinkertaisemmiksi orgaanisiksi molekyyleiksi, joista yleisin välituote on orgaaniset hapot. Happokäymisen seurauksena pH laskee, eikä sen aikana biologisen (BHK) ja kemiallisen (KHK) hapentarve juuri alene. Organismit, jotka muuttavat monimutkaisia orgaanisia yhdisteitä, kutsutaan yleisesti haponmuodostajiksi. Nämä bakteerit toimivat sekä anaerobisissa että aerobisissa olosuhteissa. (Jormanainen 2007, 1.)

Metaanikäymisessä tapahtuu huomattavaa BHK- ja KHK-arvojen alenemista. Anaerobisten metaanibakteerien muodostaessa metaania eri lajit rakentavat keskenään niin sanottuja sukkessioketjuja. Metaanibakteerit ovat herkkiä lämpötilan ja pH:n muutoksille sekä korkeille raskasmetallipitoisuuksille, ja ne ovat aktiivisia mesofiilisellä⁷ ja termofiilisellä⁸ lämpötila-alueella. Kun lämpötila on 40–50 asteen välissä, metaanintuotto on voimakkaasti estynyt. PH:n ollessa yli 8 tai alle 6, metaanibakteereiden kasvu alenee nopeasti. (emt.)

⁷ Mesofiilinen prosessi = lämpötila n. 35–37 °C

⁸ Termofiilinen prosessi = lämpötila n. 50–55 °C

Jätevesilietteen ja biojätteen vastaanotto ja esikäsittely

Jormanaisen (2007, 1) mukaan kaikki biojätteiden ja jätevesilietteiden vastaanotto- ja käsittelytoiminnot tapahtuvat sisätiloissa. Erilliskerätyn biojätteen vastaanotto ja esikäsittely on suunniteltu tapahtuvan seuraavasti: laitokselle tulevat biojätekuormat punnitaan autovaa'alla ja puretaan vastaanottohallissa jätesiihloon. Jätesiihlon pohjalla on kaksoisruuvikuljetin, jonka avulla biojäte siirretään esimurskaimeen. Kuljettimen purkupäässä on metallinilmaisim, joka tunnistaa jätteessä mahdollisesti olevat isommat metalliesineet ja pysäyttää kuljettimen niiden poistamista varten. (emt., 2.)

Esimurskaimessa biojäte siirretään ruuvikuljettimella rumpuseulaan, jonka seulontaraja on 50 millimetriä. Rumpuseulalle jäänyt aine siirretään hihnakuljettimella kuormahuoneeseen sijoitetulle siirtolavalle. Rumpuseulan läpäissyt aine siirretään jälkimurskaimeen hihnakuljettimella, jonka päälle asennetulla magneetilla poistetaan magneettiset metallit. Jälkimurskaimessa rumpuseulan läpäissyt aine murskataan alle 12 millimetrin palakokoon. Jälkimurskattu biojäte siirretään kolakuljettimella syöttösuppiloon ja sieltä edelleen ruuvikuljettimella syötteenvalmistussäiliöön. Esikäsittelylaitosta voidaan ajaa sekä automaattisesti että manuaalisesti. (emt.)

Jätevesilietteen vastaanotto

Kuljetuslavalla tai -säiliössä tuotu puhdistamoliete lasketaan konekäyttöisen purkausluukun kautta lietteiden vastaanottosäiliöön. Vastaanottosäiliö on teräsbetonirakenteinen, ja siinä on pohjakaavin materiaalin ulostulon varmistamiseksi. Puhdistamoliete siirretään vastaanottosäiliöstä ruuvikuljettimella syötteenvalmistussäiliöön. (emt., 2.)

Syötelietteen valmistus

Puhdistamoliete ja esikäsitelty biojäte sekoitetaan syötteenvalmistussäiliössä panoksittain lämpimään seosveteen. Seosvetenä voidaan käyttää esimerkiksi puhdistettua jätevettä, joka on lämmitetty vuodenajasta riippuen 70–80 asteeseen. Puhdistamoliete ja biojäte syötetään säiliöön ruuvikuljettimella ennalta pumpatun seosvesipinnan alapuolelle niin, että puhdistamoliete ja biojäte sekoittuvat seosveteen välittömästi. Sekoittumista tehostetaan lisäksi lapasekoit-

timella. Sekoituksen jälkeen syötteen lämpötila on noin 40 °C ja kiintoainepitoisuus noin 13 %. (emt., 2-3.)

Bioreaktori

Bioreaktori toimii mesofiilisella lämpötila-alueella (33–38 °C) ja jätteiden laskeutu viipymäaika on 27,7 vuorokautta. Biokaasu (metaanipitoisuus n. 65 %) poistetaan reaktorin yläosasta, ja se käytetään vedenerotuksen jälkeen kaasumoottorin polttoaineena. Mädätetty liete poistetaan reaktorin alaosasta hygienisointisäiliöön. (emt., 3.)

Mädätetyn lietteen hygienisointi

Hygieenisyyden varmistamiseksi mädätetty liete hygienisoidaan lämmittämällä se 72 °C:een vähintään tunnin ajaksi. Hygienisointi toteutetaan lämpöeristetyssä terässäiliössä, ja lietteen lämmitys tapahtuu säiliön sisään asennettavan lämmitysputkiston avulla. Lämmitysputkissa kiertää kaasumoottorin jäähdytysveden ja pakokaasujen avulla noin 90 asteinen vesi. Hygienisoitu liete laskeetaan tunnin pitoajan jälkeen mädätetyn lietteen jälkivarastosäiliöön, jonka tilavuus on 4000 m³. Siellä muodostunut biokaasu otetaan myös talteen. (emt., 4.)

Biokaasulaitteet

Bioreaktorissa tuotettu biokaasu siirretään reaktorin paineella (25 mbar) kaasuväkästään. Reaktorista poistuva biokaasu on kylläistä sisältäen vesihöyryä noin 42 g/m³. Osa vesihöyrystä kondensoidaan ennen kaasuväkästään sijaitsevassa vedenerottimessa. Kaasuväkästään kondensoitunut vesi poistuu vesilukkosäiliön kautta viemäriin. Biokaasuväkästään tilavuus on 400 m³ ja sen käyttöpainetta on 20 mbar. Biokaasuväkästo on rakenteeltaan kaksoiskalvoinen, josta ulompi kalvo toimii sääsuojana ja sisempi kalvo muodostaa kaasutiiviin väkästään. Painetta pidetään yllä puhaltamalla kalvojen väkästään ilmaa ilmapuhaltimella. (emt., 4.)

Biokaasu hyödynnetään kaasumoottorissa, jota varten kaasuväkästään lähtevän biokaasun painetta korotetaan biokaasupuhaltimella. Hyötykäytön ollessa estynyt, biokaasu poltetaan soihutoplttimessa, jonka kapasiteetti on 100 m³/h. (emt.)

5.3 Lopputuotteen hyötykäyttö

Biokaasutus parantaa käsiteltävien materiaalien lannoitevaikutusta, koska keskimäärin 25–40 % materiaalien orgaanisesta aineesta muunnetaan metaaniksi ja hiilidioksidiksi, minkä ansiosta typpipitoisuus suhteessa hiileen nousee. Lisäksi osa orgaanisesta tuestä muuttuu ammoniumtypeksi, jonka kasvit pystyvät suoraan hyödyntämään. Orgaanisten lannoitteiden käyttö ei myöskään köyhdytä maaperää kuten mineraalilannoitteet, koska ne lisäävät maaperän humuspitoisuutta. (Paavola 2005, 27.)

Anaerobisesti käsitellyn lopputuotteen laatu on tasaisempaa ja juoksevampaa, koska materiaalien kuiva-ainepitoisuus pienenee ja viskositeetti nousee. Biokaasutuksessa käsitellyt materiaalit imeytyvät nopeammin maahan, jolloin typpien haihtuminen vähenee, ja hajut katoavat nopeasti levityksen jälkeen. Anaerobinen käsittely lisäksi hygienisoi materiaaleja sekä hajottaa tuholaisia ja rikkaruohonsiemeniä. (emt.)

Lannoitteiden valmistaminen ja myynti edellyttää KTTK:n hyväksyntää laitoksesta. Biokaasuprosessissa käsitellyt materiaalit tulee lisäksi jatkokäsitellä, jos niitä aiotaan markkinoida tai luovuttaa lannoitevalmisteena. Jatkokäsittely voi olla esimerkiksi jälkikypsytyks kompostoimalla (2-4 kk), pelletointi tai rakeistus. Puhdistamolietteitä sisältäviä tuotteita käytettäessä tulee lisäksi huomioida, että viljelmillä ei saa kahteen vuoteen kasvattaa perunaa ja vihanneksia eikä käyttää kasvualustaa taimikasvatukseen. (Maa- ja metsätalousministeriö ja Kasvintuotannon tarkastuskeskus 2004, 13, 19.)

Sivutuoteasetuksen mukaan biokaasutuksessa käsiteltyjen jätteiden on täytettävä seuraavat mikrobiologiset laatuvaatimukset (A 3.10.2002/1774):

- Puhtaita Salmonellasta (ei todettu/25 g)
- Puhtaita enterobakteereista (viidessä perättäisessä näytteessä yhdessäkään ei saa olla yli 300 PMY/g⁹ eikä useammassa kuin kahdessa 10–300 PMY/g)

⁹ PMY/g = Pesäkkeitä muodostavaa yksikköä grammassa

Lopputuotteen separointi/linkoaminen

Kurosen (2007) mukaan käsiteltyjen materiaalien ravinnepitoisuuksia kannattaisi hallita separoimalla tai linkoamalla niitä, jolloin pääosa fosforista jäisi kiintoaineeseen. Tällöin jäljelle jäävä kiintoaine voidaan jälkikypsyttää kentällä (hajutonta) ja haluttaessa sekoittaa turpeeseen tai muuhun vastaavaan. Näin saatu multa voitaisiin markkinoida esimerkiksi maanparannusaineeksi kaupungin työmaille, tienpenkoille sekä yksityisille ihmisille pihatöihin ja -rakentamiseen. Separoinnista jäljelle jäävä nesteosa, joka sisältää lannoittamisen kannalta tärkeän typen, voidaan levittää pelloille. (emt.)

Lopputuotteen rakeistaminen

Anaerobisen käsittelyn lopputuotteena syntyy humusta, jota voidaan jalostaa rakeistamalla sitä lannoitevalmisteeiksi. Rakeistusta varten humuksen kuiva-ainepitoisuus tulisi nostaa noin 80 prosenttiin termisellä kuivauksella. Ennen kuivausta lopputuotteen lannoitevaikutusta on mahdollista parantaa lisäämällä siihen tyyppiyhdisteitä. Termisen kuivauksen tarvetta kuiva-ainepitoisuuden lisäämisessä voidaan jonkin verran vähentää tuhcaseostuksella, mutta lopputuotteen hygieenisen laadun varmistamiseksi terminen vaihe jalostusprosessissa on kuitenkin eduksi. (Karjalainen, Laine, Kymäläinen, Kautola, Peltola, Siukola, Näsi, Väisänen & Enwald 2005, 14.)

5.4 Lisäenergiaa eläinten lannasta ja peltobiomassasta

Eläinten lanta

Eläinten lanta on hyvä perusmateriaali biokaasutukseen, koska se sisältää useimpia mikrobien tarvitsemista ravinteista, ja sillä on korkea puskurikapasiteetti. Lannan metaanintuottopotentiaali on keskimäärin 0,3 m³ metaania/kg VS, mikä vastaa noin 10–20 m³ metaania/tonni märkää jätettä. (Lehtomäki 2006, 26–27.) Taulukossa 15 on nähtävillä lehmän-, sian- ja kananlannan kaasuntuottopotentiaalit.

TAULUKKO 15. Eläinten lannan metaanintuottopotentialiaali (Taavitsainen, Kaupinen & Survo 2002, 24.)

Materiaali	Kaasun tuotto m ³ /kg VS
Lehmänlanta	0,2–0,6
Sianlanta	0,4–0,9
Kananlanta	0,3–0,8

Peltobiomassat

Kasvibiomassat soveltuvat hyvin biokaasun tuotantoon, sillä useissa tutkimuksissa biokaasutus on todettu tehokkaimmaksi menetelmäksi tuottaa kasveista biopolttoainetta. Englantilaisessa elinkaaritutkimuksessa peltobiomassasta tuotetun biokaasun energiatehokkuus oli noin kaksi kertaa korkeampi kuin kasveista tuotetun biodieselin ja bioetanolin. Biokaasutukseen voidaan lisäksi hyödyntää kasvituotannossa syntyvät kasvijätteet ja esimerkiksi kesantomaila, ylituotantona ja vuoroviljelyssä syntyvät kasvibiomassat. (Lehtomäki 2006, 26–27.) Kiinnostus kasvibiomassojen käyttöön biokaasun tuotannossa on lisääntymässä useissa EU-maissa, ja esimerkiksi Suomessa Maa- ja Metsätalousministeriö on arvioinut, että vuonna 2012 noin 500 000 hehtaaria voitaisiin tarvittaessa käyttää peltoenergiantuotantoon. (Vainio-Mattila, Ginström, Haaranen, Luomanperä, Lähdetie, Oravuo, Pietola, Suojanen, Virolainen, Knuutila & Ovaska 2005, 39.)

Useimmilla kasveilla metaanintuottopotentialiaali on 0,30–0,45 m³ metaania/kg VS (taulukko 16). Hehtaarin heinäsadosta on mahdollista tuottaa noin 2 000–3 000 kuutiota metaania, mikä vastaa noin 20–30 MWh bruttoenergiasaantoa. Jos henkilöauton keskipulutus olisi 8 m³ metaania/100 km, riittäisi yhden hehtaarin heinäsaato noin 25 000–40 000 ajokilometrille vuosittain. Biokaasuprosessiin kulunut energia kasvien tuotannosta biokaasun puhdistamiseen vastaa ruotsalaisen tutkimuksen mukaan noin 15–40 % prosessissa tuotetun metaanin energiasisällöstä. (Lehtomäki 2006, 27.)

TAULUKKO 16. Esimerkkejä eri kasvien metaanintuottopotentiaaleista (Lehtomäki 2006, 27.)

Kasvi	Metaanintuottopotentiaali
	m ³ CH ₄ / kg VS
Ruokohelpi	0,34–0,43
Timotei-apila-nurmi	0,37–0,38
Maa-artisokka	0,36–0,37
Virna-kaura	0,40–0,41
Nokkonen	0,21–0,42
Lupiini	0,31–0,36
Rehukaali	0,31–0,32
Apila	0,28–0,30
Sokerijuurikas (juurikas+naatit)	0,45
Sokerijuurikas (pelkät naatit)	0,34
Olki	0,4–0,32

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Käsiteltävät materiaalit

Anaerobisesti käsiteltävien jätteen kasvua tulevaisuudessa on hankala arvioida, koska siihen liittyy useita epävarmuustekijöitä. Kiristyvät jätemääräykset tulevat varmasti nostamaan käsiteltävien jätteen määrää, mutta toisaalta maaseutumaisten kuntien asukasmäärät vähenevät. Tulee myös huomioida, että biohajoavia jätteitä voi karata muualle. Työn edetessä esimerkiksi Kyyjärven kunta ehti jo sitoutua mukaan etelä-pohjanmaalaisen Millespakka Oy:n suunnitteilla olevaan biokaasulaitoshankkeeseen.

Biokaasutettavien materiaalien määrää voisivat nostaa jonkin verran eläinten lannat ja peltobiomassat. Pohjoisen Keski-Suomen alueelle Karunen (2006) onkin jo tehnyt esiselvityksen, jossa selvitettiin kuntien eläinmäärät sekä biokaasun tuotantoon eläinyksikkömäärän perusteella soveltuvien karjatilojen määrä. Lisäksi Hintikka (2005) on opinnäytetyössään selvittänyt kuuden nautakarjatiljan keskitetyn biokaasulaitoksen kannattavuutta Saarijärven Peltokylällä. Mielestäni myös mahdollisten peltobiomassojen määrät olisi hyvä kartoittaa pohjoisen Keski-Suomen alueella, koska tulevaisuudessa yhä useampi

kotieläintila todennäköisesti muuttaa tuotantosuuntansa kasvinviljelyyn. Lisäsyötteiden käyttö biokaasutuksessa edellyttää kuitenkin, että energialle on kysyntää kannattavuuden kannalta riittävällä hinnalla.

Laitoksen sijoitus

Saarijärvelle suunnitteilla olevan biokaasulaitoksen sijoituspaikkaa kannattaa miettiä tarkkaan, koska sillä on suuri vaikutus sekä kannattavuuteen että laitoksen sujuvaan toimintaan. Saarijärven puhdistamon yhteydessä laitoksen sijainti olisi mielestäni melko hyvä, koska sieltä on alle 2 km 13-tielle, ja suurimmat jätteiden tuottajat ovat kohtuullisen lähellä. Haittapuoli tälle sijainnille on, että puhdistamon läheisyydessä asutus on harvaa, joten lämpöenergia jouduttaisiin siirtämään Saarijärven kaukolämpöverkkoon. Lämpöverkon rakentaminen on kallista ja suuri osa myytävästä energiasta menisi lämmönsiirtoputkien lämmittämiseen. Toinen vaihtoehto olisi siirtää kaasu kaukolämpöverkon läheisyyteen Hietalahteen ja muuttaa kaasu lämmöksi erillisessä lämpökeskuksessa. Kaasunsiirtoputkisto olisi hieman halvempi rakentaa eikä kaasunsiirrosta tulisi lämpöhäviöitä, mutta haittapuolena olisi, ettei tuotettua lämpöenergiaa voitaisi käyttää biokaasuprosessissa.

Mahdollinen laitoksen sijoituspaikka voisi olla myös Sammakkokankaan kaatopaikka. Sammakkokankaan sijainti on jätteiden kuljetusta ajatellen hyvä ja siellä syntyy iso osa käsiteltävistä jätteistä. Kaatopaikan läheisyydessä ei myöskään ole asutusta, joten mahdollisia hajuhaittoja ei tulisi naapureille. Sammakkokankaan syrjäisellä sijainnilla on kuitenkin myös haittapuolensa, koska tuotetulle energialle ei löytyisi lähettyviltä käyttöä. Myös biometaanin tankkauspaikkana se olisi mielestäni liian kaukana Saarijärven keskustasta.

Saarijärvellä kannattaisi miettiä, voisiko laitosta sijoittaa jollekin teollisuusalueelle, jossa tuotetulle energialle olisi suoraan käyttöä. Yksi mahdollinen sijoituspaikka voisi olla esimerkiksi Sara-ahon teollisuusalue.

Laitoksen mitoitus ja investointikustannus

Esiselvityksessä biokaasulaitos mitoitettiin vuoden 2014 arvioidulle jätemäärälle. Todellisuudessa laitos kannattaisi kuitenkin mielestäni mitoittaa hieman isommalle jätemäärälle, jotta esimerkiksi peltobiomassoja voitaisiin käyttää.

Mahdollisten lisäsyötteiden avulla laitos tulisi entistä kannattavammaksi, vaikka investointikustannukset olisivatkin hieman suuremmat. Investointikustannukset eivät kuitenkaan suhteessa enää paljon nousisi, koska biokaasulaitosten rakentamisessa bioreaktorin ensimmäiset kuutiot ovat kalleimpia.

Kannattavuusvertailu

Esiselvityksessä tekemieni laskelmien mukaan oman käsittelylaitoksen rakentaminen Saarijärvelle tulisi kannattavammaksi kuin jätteen kuljettaminen Jyväskylään. Biokaasulaitoksesta olisi hyötyä myös yksityisille ihmisille halvempien jätemaksujen kautta. Laitos lisäksi työllistäisi välillisesti useita ihmisiä esimerkiksi rakentamisvaiheessa sekä välittömästi ainakin yhden henkilön biokaasulaitoksen käytössä.

Ajoneuvokäytön kannattavuus

Ajoneuvokäyttö on laskelmieni mukaan kannattavaa, mutta sen edellytyksenä on, että biometaanille löytyisi ostajia ja käyttäjiä. Tällä hetkellä biometaanin jakeluasemia on Suomessa vain muutamia, mutta niiden määrä tulee varmasti lisääntymään tulevaisuudessa.

Lopputuote

Biohajoavien yhdyskuntajätteen maatalouskäytössä voi olla ongelmia niissä mahdollisesti olevien prosessissa häviämättömien haitta-aineiden, kuten kadmiumin vuoksi. Peltolevitystä varten on todennäköisesti otettava jatkuvasti laboratorionäytteitä ja varauduttava toimenpiteisiin, joilla mahdollisesti saastunut lietemäärä käsitellään.

Loppuyhteenveto

Saarijärvelle suunniteilla olevan biokaasulaitoksen kannattavuuden tärkein edellytys on, että kaikista pohjoisen Keski-Suomen kunnista saadaan biohajoavat jätteet käsittelyyn. Kannattavuuteen vaikuttavat oleellisesti myös, että tuotetulle energialle on käyttöä ja lopputuote saadaan peltolevitykseen tai muulla tavoin hyödynnettyä. Yleisesti ottaen biokaasulaitosten rakentamisessa ei kuitenkaan tule mielestäni katsoa pelkkää taloudellista tulosta, sillä ne toimivat taloudellisen hyödyn lisäksi ympäristölle haitallisten jätteen käsittelylaitoksina. Olenkin sitä mieltä, että biokaasulaitos kannattaisi Saarijärvelle ra-

kentaa, vaikka nettotuotto olisi plussalla vasta esimerkiksi 15 vuoden takaisinmaksuajalla.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen prosessi, jossa tutkimuksellisten valmiuksien lisäksi opin paljon uusia asioita erityisesti yhdyskuntien biohajovien jätteiden biokaasutuksesta. Työtä tehdessä sain myös useita kontakteja työelämään, mistä voi myöhemmin olla paljon hyötyä.

Mielestäni haastavinta työssä oli erilaisten laskelmien tekeminen, koska niitä varten oli kerättävä melko paljon lähtöarvoja. Lisäksi suurimpaan osaan laskelmista jouduin itse kehittelemään laskutavat. Saamiini tuloksiin olen kuitenkin tyytyväinen ja luotan tekemiini laskelmiin. Halusin pitää työn sopivan ytimekkäänä, joten taustateoriaa ei työssä ole kovin paljon. Toisaalta työhöni soveltuvaa aiempaa kirjallisuutta ei ollut myöskään paljon saatavilla. Teorian etsimisessä oli omat haasteensa, koska halusin löytää juuri työhöni soveltuvaa materiaalia. Vastaaventyypisiä selvityksiä yhdyskuntajätteiden biokaasutuksesta olisi hyvä tehdä enemmän, jotta esimerkiksi biokaasulaitoksen takaisinmaksuajoista olisi vertailukelpoista tietoa.

Opinnäytetyön aikataulutukseen olen tyytyväinen. Työn tilaajan vaatimusten mukaan tein työn kahdessa osassa: selvitin ensin työn tulokset ja vasta sitten keräsin teoriaosuuden. Molemmat osiot sain tehtyä valmiiksi aikataulun mukaisesti, vaikka olinkin lähes koko opinnäytetyön tekemisen ajan samanaikaisesti töissä.

Haluan kiittää kaikkia niitä tahoja, jotka osallistuivat työni aineiston kerryttämiseen. Lisäksi haluan kiittää työn ohjaajaa Tero Vesisenahoa sekä työn tilaajia Kalle Laitista ja Jaakko Tukiaa aktiivisesta osallistumisesta opinnäytetyöni kommentoimiseen. Erityiskiitokset haluan välittää vaimolleni Minna-Marialle, joka jaksoi kärsivällisesti olla tukenani koko tutkimusprosessin ajan.

LÄHTEET

A 5.7.2000/646. Maa- ja metsätalousministeriön asetus ympäristötuen perus ja lisätoimenpiteistä annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta. Viitattu 19.5.2007. Valtion säädöstietopankki Finlex. <http://www.finlex.fi>, ajantasainen lainsäädäntö.

A 9.11.2000/931. Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta. Viitattu 25.5.2007. Valtion säädöstietopankki Finlex. <http://www.finlex.fi>, ajantasainen lainsäädäntö.

A 3.10.2002/1774. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveys-säännöistä. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti. L 273. Viitattu 27.5.2007. http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/oj/2002/l_273/l_27320021010fi00010095.pdf.

A 11.6.2003/542. Valtioneuvoston asetus talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla. Viitattu 25.5.2007. Valtion säädöstietopankki Finlex. <http://www.finlex.fi>, ajantasainen lainsäädäntö.

Aho, J. 2007a. Tuotepäällikkö. Vapo Oy. Puhelinkeskustelu 1.6.2007.

Aho, P. 2007b. Palvelupäällikkö. Mustankorkea Oy. VS: Porttimaksut. Sähköpostiviesti 18.5.2007. Vastaanottaja T. Viikkilä.

BOING ensyklopedia. 2002. Viitattu 3.6.2007. Rehevöitymis- ja merisanastoa. <https://jolly.fimr.fi/boing/FINencyclopaedia.nsf>.

D 26.4.1999/31. Euroopan neuvoston direktiivi (EY) kaatopaikoista. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti. L 182. Viitattu 29.5.2007. http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/oj/1999/l_182/l_18219990716fi00010019.pdf.

Euroopan komissio. 2000. Komission kertomus neuvostolle ja Euroopan parlamentille yhteisön jätelainsäädännön täytäntöönpanosta ajalta 1995–1997. KOM (1999) 752 lopullinen. Viitattu 17.5.2007. http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/com/1999/com1999_0752fi01.pdf.

Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy. 2007. Jätteiden vastaanottomaksut vuonna 2007. Viitattu 23.5.2007. http://www.ekjh.fi/hinnasto_ajohje.html.

Hagström, M., Vartiainen, E. & Vanhanen, J. 2005. Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. Gaia Group Oy. Viitattu 19.5.2007. http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuuistioid/2006/siirto/trm2006_1_Biokaasun%20maatilatuotannon%20kannattavuusselvitys_julkinen.pdf.

Halonen, P., Helynen, S., Flyktman, M., Kallio, E., Kallio, M., Paappanen, T. & Vesterinen, P. 2003. Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat

työllisyysvaikutukset. VTT Tiedotteita. Espoo. Viitattu 5.10.2007.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2219.pdf>.

Hakanen, E. 2007. Pylkönmäen jätevedenpuhdistamo. Puhelinkeskustelu 23.3.2007.

Hatsala, A. 2004. Biokaasuntuotanto- ja käyttömahdollisuudet Kanta-Hämeessä. Viitattu 26.2.2007.

<http://www.greenetfinland.fi/attachment/ee246cbb04c1da363116122aebb56633/19264351e78bffb4327fe0f8f522694/Biokaasun+tuotanto-+ja+hy%C3%83%C2%B6tyk%C3%83%C2%A4ytt%C3%83%C2%B6mahdollisuudet>.

Hintikka, J. 2005. Biokaasuako Peltokylälle? Opinnäytetyö. 2. painos. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Luonnonvarainstituutti. Viitattu 22.10.2007.

http://www.jamk.fi/luva/tutkimus_ja_kehitys/materiaalia/biokaasuako_peltokylalle_nro10.pdf.

IEA. 2001. Biogas and More! Systems and Markets Overview of Anaerobic digestion. UK. Viitattu 10.9.2007. <http://websrv5.sdu.dk/bio/pdf/biogas.pdf>.

Jormanainen, M. 2007. Envipro Ky. Prosessiselostus Saarijärven biokaasulaitokselle. Julkaisematon.

Kahilainen, A. 2007. Yhdyskuntatekniikan päällikkö. Pihtiputaan jätevedenpuhdistamo. VS: Yhdyskuntalietteiden määrä. Sähköpostiviesti 23.3.2007. Vastaanottaja T. Vilkkilä.

Kangas, J-V. 2007. Preseco Oy. VS: Biokaasulaitostarjous. Sähköpostiviesti 27.4.2007. Vastaanottaja T. Vilkkilä.

Karjalainen, J., Laine, V., Kymäläinen, M., Kautola, H., Peltola, R., Siukola, K., Näsi, J., Väisänen, A. & Enwald, H. 2005. Etanoli- ja biokaasulaitos Hämeeseen -esiselvitys. Hämeen ammattikorkeakoulu - Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma.

Karunen, L. 2006. Biokaasun tuotantomahdollisuudet eläinten lannasta pohjoisen Keski-Suomen alueella. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Luonnonvarainstituutti. Viitattu 22.10.2007.

http://www.jamk.fi/luva/tutkimus_ja_kehitys/materiaalia/karunen_23.pdf.

Kauppinen, O. 2007. Sammakkokangas Oy. VS: Biojätteet. Sähköpostiviestejä 27.3. – 18.5.2007 välisenä aikana. Vastaanottaja T. Vilkkilä.

Keski-Suomen ympäristökeskus. 2007. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Viitattu 20.5.2007.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=11643&lan=fi>.

Kinnunen, T. 2007. Kinnulan jätevedenpuhdistamo. Puhelinkeskustelu 23.3.2007.

- Kuittinen, V., Huttunen, M. & Leinonen, S. 2006. Suomen biokaasulaitosrekisteri IX - tiedot vuodelta 2005. Joensuu. Viitattu 30.9.2007
<http://www.biokaasuyhdistys.net/docs/Rek9.pdf>.
- Kulo, J. 2007. Saarijärven jätevedenpuhdistamo. Haastattelu 23.3.2007.
- Kuronen, U. 2007. MetaEnergia Oy. VS: Saarijärven biokaasulaitos. Sähköpostiviesti 3.5.2007. Vastaanottaja T. Vilkkilä.
- Kutinlahti, H. 2007. Toimitusjohtaja. MK Protech Oy. VS: Biokaasulaitos. Sähköpostiviestejä 10.5.–25.5.2007 välisenä aikana. Vastaanottaja T. Vilkkilä.
- Kymäläinen, M. 2006. Biokaasutus -perusteita. Biokaasun tuotanto maatilalla - koulutuspäivä. Mustiala. Viitattu 26.2.2007.
http://www.agropolis.fi/esitysmateriaalit/HAMK_Maritta_Kymalainen.pdf.
- Latvala, M. 2005. Jätevesilietteen anaerobinen käsittely ja biokaasun hyötykäyttö. Viitattu 20.5.2007.
<http://www.motiva.fi/fi/julkaisut/ilmastonmuutos/ilmastonmuutos/jatevesiliete.html>.
- Lehto, T., Ekholm, E. & Nummela, E. 2004. Seurantaselvitys biologisten jätteenkäsittelylaitosten toimivuudesta. Jaakko Pöyry Infra, Maa- ja Vesi Oy. Jätelaitosyhdistys ry. Viitattu 5.10.2007. <http://www.jly.fi/biolaitosselvitys04.pdf>.
- Lehtomäki, A. 2006. Biokaasuteknologia maataloudessa - raaka-aineet ja mahdollisuudet tuotantoon. Bioenergia, nro 3, 26–27.
- Lehtomäki, A., Paavola, T. & Rintala, J. 2007. Recent developments in biogas technology. Teoksessa Bioenergy 2007 - 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition. Book of proceedings. Toim. M. Savolainen. Jyväskylä: FINBIO, nro 36, 617–625.
- Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely - Uudet ja käytössä olevat tekniikat. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Espoo. Viitattu 1.6.2007. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>.
- Maa- ja metsätalousministeriö ja Kasvintuotannon tarkastuskeskus. 2004. Kompostointi- ja biokaasulaitokset sekä lantaa teknisesti käsittelevät laitokset. Soveltamisopas V.
- Maa- ja metsätalousministeriö ja Kasvintuotannon tarkastuskeskus. 2005. Ohje maataloudessa käytettävälle puhdistamolietteelle. MMELO 2915/835/2005.
- Mykkänen, E. 2007. Toimitusjohtaja. Saarijärven Kaukolämpö Oy. Haastattelu 21.5.2007.
- Mäkelä, K. 2002. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan yksikköpäästöprojektin tulosten kotisivut. Viitattu 20.5.2007.
<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/puoliperavaunumaantiet.htm>.

Mäkelä, L. 2007. Toimitusjohtaja. RMG Pointo Oy. VS: Budjettitarjous, bio-kaasulaitos. Sähköpostiviesti 19.4.2007. Vastaanottaja T. Vilkkilä.

Nuutinen, M. 2007. Jyväskylän Energia Oy. VS: Biokaasuputkiston kustannus. Sähköpostiviesti 23.5.2007. Vastaanottaja T. Vilkkilä.

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

Paananen, P. 2007. Viitasaaren jätevedenpuhdistamo. Puhelinkeskustelu 23.3.2007.

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

Parantainen, E. 2007. Karstulan jätevedenpuhdistamo. Puhelinkeskustelu 23.3.2007.

Pohjoisen Keski-Suomen aluetieto- ja matkailusivut. Viitattu 27.5.2007. <http://www.aloha.fi/index.php>.

Rimmi, M. 2006. Kasvilajiyhteenveto. Saarijärven kaupunki. Julkaisematon.

Rintala, J., Lampinen, A., Luostarinen, S., Lehtomäki, A. 2002. Biokaasusta uusiutuvaa energiaa maataloilla. Viitattu 20.5.2007. <http://www.replan.org/downloadsfi/biokaasukirjanen.pdf>.

Salminen, P. 2007. Lannoitevalmisteiden laatuvaatimuksilla edistetään maa-
perän suojelua. Kuntatekniikka, nro 4, 52–53.

Sorsamäki, E. 2007. Kyyjärven jätevedenpuhdistamo. VS: Yhdyskuntalietteiden määrä. Sähköpostiviesti 2.4.2007. Vastaanottaja T. Vilkkilä.

Stormossen Oy:n kotisivut. 2007. Viitattu 5.10.2007. <http://www.stormossen.fi/>.

Stormossen Oy:n vuosikertomus. 2007. Viitattu 5.10.2007. http://www.stormossen.fi/contentlibrary/stormossen_2006.pdf.

Suomen Kaukolämpö ry. 2004. Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukoläm-
pöjohtojen rakentamiskustannukset 2003.

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

Teir, J., Westergård, R. & Åkers, L. 1993. Operating Experiences of the Bio-
gas Plant in Vaasa, Finland. Teoksessa Anaerobic treatment of municipal
solid waste and sludge for energy production and recycling of nutrients: The

second Nordic workshop 1-2 october 1992, Joensuu, Finland. Toim. S. Leinonen. Joensuu: Joensuun Yliopisto, 63–70.

Tuominen, R. 2007. Saarijärven Kaukolämpö Oy. Tiedonanto 11.5.2007.

Tuovinen, H. 2002. Biohajoavan jätteen hallintastrategian lähtökohdat. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki.

Turpeinen, R. 2007. Kivijärven jätevedenpuhdistamo. VS: Yhdyskuntalietteen määrä. Sähköpostiviesti 29.3.2007. Vastaanottaja T. Vilkkilä.

Urakointihinnat. 2005. Työteho-seura. Viitattu 20.5.2007.
<http://www.tts.fi/maatalous/tyt/files/urakointihinnat2005.pdf>.

Vainio-Mattila, B., Ginström, T., Haaranen, T., Luomanperä, S., Lähdetie, P., Oravuo, M., Pietola, K., Suojanen, M., Virolainen, J., Knuutila, K. & Ovaska, S. 2005. Peltoviljelyn tulevaisuuden linjaukset Suomessa. Maa- ja metsätalousministeriö. Työryhmämuistio 2005:15. Helsinki. Viitattu 30.9.2007.
http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2005/trm2005_15.pdf.

Vesterinen, E. 2007. Kannonkosken jätevedenpuhdistamo. Puhelinkeskustelu 23.3.2007.

Vihersaari, T. 2002. Puhdistamoliete -parasta pellolle. Varsinais-Suomen Agenda 21:n julkaisuja. Viitattu 17.5.2007
<http://www.vsagendatoimisto.fi/vesiensuojelu/liete/Puhdistamoliete-parastapellolle.pdf>.

Vihersaari, T. 2004. Opas puhdistamolietteen maanviljelykäytöstä. Varsinais-Suomen Agenda 21:n julkaisuja. Viitattu 17.5. 2007.
http://www.vsagendatoimisto.fi/vesiensuojelu/liete/Opas_puhdistamolietteen_maanviljelykaytosta.pdf.

LIITE 1. Tarjouspyyntö biokaasulaitoksesta

BIOKAASULAITOS SAARIJÄRVEN KAUPUNGILLE

Pyydän Teiltä tarjoustu biokaasulaitoksesta, jolla käsiteltäisiin kuivattuja yhdyskuntalietteitä ja elintarvikebiojätteitä. Toimeksiannon on antanut Saarijärven kaupunki, jonka vastuuhenkilönä toimii ympäristönsuojelusihteeri Kalle Laitinen. Saarijärven kaupungille tekemässäni esiselvityksessä kartoitan biokaasulaitoksen investointikustannuksia karkeasti, joten tarjoukseksi riittää suuntaa antava arvio.

Olen laskenut, että laitoksen reaktori tulisi mitoittaa 6 000 kuutiolle kuivattua yhdyskuntalietettä (kiintoainepitoisuus 19 %) sekä 2 000 kuutiolle biojätettä (kiintoainepitoisuus 35 %) eli yhteensä **8 000 kuution vuosittaiselle jätemäärälle**. Jälkivaraston/-kaasuuntumisaltaan koon tulisi olla noin 4000 m³. Tuotettu kaasu käytettäisiin sekä lämmön- että sähköntuotantoon. Tarjouksen tulisi sisältää biokaasulaitoksen kustannukset ”avaimet käteen” -periaatteella.

Biokaasulaitoksella tulisi lisäksi olla myöhemmin lisäinvestoinnin kautta valmius biokaasun puhdistamiseen ajoneuvokäyttöön. Onko Teillä tarjota puhdistuslaitteistoja, ja paljonko niiden lisäkustannukset olisivat?

Vastausaika:

Pyydän toimittamaan tarjouksen viimeistään 20.4. joko sähköpostilla tai kirjeellä

Lisätiedot:

Tuomo Vilkkilä, tuomo.vilkkila.lma@jamk.fi, puh. 040 767 76962

LIITE 2. Saarijärven biokaasulaitoksen prosessikaavio ja massatase (Mäkelä 2007.)

