

Pro gradu -tutkielma

**Pienten maaseutukuntien mahdollisuudet biokaasun
hyödyntämiseen – esimerkkinä Soinin kunta**

Kari Laasasenaho



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede ja -teknologia

28.10.2012

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Ympäristötiede ja -teknologia

Laasasenaho Kari: Pienten maaseutukuntien mahdollisuudet biokaasun hyödyntämiseen – esimerkkinä Soinin kunta

Pro gradu -tutkielma: 62 s., 2 liitettä (3 s.)
Työn ohjaajat: FT Saija Rasi ja FM Suvi Bayr
Tarkastajat: TkT Margareta Wihersaari ja FT Saija Rasi
Lokakuu 2012

Hakusanat: Biokaasu, lähienergia, anaerobinen hajoaminen, maatalouden lanta, jätevedenpuhdistamon liete, biojäte, pienet maaseutukunnat, harvaan asuttu maaseutu

TIIVISTELMÄ

Biokaasua voidaan tuottaa erilaisista orgaanisista materiaaleista kuten maatalouden lannasta, jätevesistä, energiakasveista tai biojätteistä. Orgaanisista jätteistä etenkin lantaa syntyy maaseudulla merkittäviä määriä, mutta pienissä maaseutukunnissa muiden orgaanisten jätteiden materiaalivirrat voivat olla pieniä. Pienten maaseutukuntien metaanipotentiaalia tutkittiin tapauskohtaisesti Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevassa Soinin kunnassa.

Soinin biokaasun tuotannon mahdollisuudet selvitettiin kunnallisen jäteveden, erilliskerätyn biojätteen, maatalouden lannan ja nurmipotentiaalain materiaalivirtojen avulla käyttäen apuna vuosien 2011 ja 2012 tietoja. Jäteveden kuivatun lietteen, naudon lietelannan ja erilliskerätyn biojätteen metaanintuotto tutkittiin laboratoriokokeella sekä yksittäin että seosuhteilla vuosien 2011 ja 2012 materiaalivirtojen perusteella. Soinin metaanipotentiaali on orgaanisille jätteille ja nurmelle 14,1–17,5 GWh vuodessa, mikä vastaa nettoenergiana n. 43–53 % kunnan kokonaissähkökulutuksesta vuonna 2011. Toisaalta kunnan nettometaanipotentiaali vastaa n. 650–800 henkilöauton vuosittaista polttoaineenkulutusta tai n. 450–550 omakotitalon vuosittaista lämmitysenergian tarvetta. Tutkimuksen esimerkkimaa-tila voisi tuottaa nettoenergiaa 290 MWh/v, mikäli erilliskerättyä biojätettä ja puhdistamon kuivattua lietettä hajotettaisiin samassa biokaasulaitoksessa. Tila voisi olla ylienergiaomavarainen lämmön, sähkön ja polttoaineiden suhteen. Yhteishajotus parantaa kaasuntuottoa tutkimuksen mukaan hieman yli 2 %.

Suomessa oli Soinin kaltaisia 2 000–3 000 asukkaan kuntia 43 vuoden 2011 lopulla. Mikäli oletetaan kaikkien kyseisten kuntien metaanipotentiaaliksi 10–20 GWh/v, voisi teoreettinen metaanipotentiaali olla kunnissa yhteensä 430–860 GWh/v. Muodostuvia jätevirtoja on mahdollista hyödyntää pienissä maaseutukunnissa yhteishajotuksen avulla, mikä parantaa tutkimusten mukaan biokaasulaitoksen kannattavuutta. Laitos voisi toimia esimerkiksi keskitettynä usean maatilalan lantaa ja nurmea käsittelevänä laitoksena. Biokaasun tuottaminen maaseudun paikallisista raaka-aineista voi lisätä pienten maaseutukuntien energiahuoltovarmuutta ja parantaa maaseudun työllisyysnäkyviä energiayrittäjyyden avulla. Tällaisella lähienergiantuotannolla voitaisiin tukea kestävää, ympäristöystävällistä ja hajautettua energiantuotantoa sekä tukea uusituvan energian tavoitteita.

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

Laasasenaho Kari: Possibilities to utilize biogas in small rural communes – a case study at Soini commune
Master thesis: 62 p., 2 appendices (3 p.)
Supervisors: Ph.D. Saija Rasi and M.Sc. Suvi Bayr
Inspectors: D.Sc. (Tech.) Margareta Wihersaari and Ph.D. Saija Rasi
October 2012

Key words: Biogas, local energy, anaerobic digestion, agricultural manure, sewage sludge, biowaste, small rural communes, sparsely inhabited countryside

ABSTRACT

Biogas can be produced from different kinds of organic materials as for example manures, sewage sludges, energy crops or organic wastes. Especially manures are formed significantly in rural areas, but in small rural communes other organic waste streams can be relatively small. Methane potential in small rural communes was studied by using as an example Soini commune in Southern Ostrobothnia.

Possibilities to produce biogas in Soini was studied by using material streams of municipal sewage sludge, separately collected biowaste, manure and energy crop potential from fallow fields from year 2011 and 2012. Methane potential from sewage sludge, cow manure and separately collected biowaste was studied. Methane potential of an example farm was studied from two mixtures (manure and sewage sludge as well as manure and separately collected biowaste) by using information for material ratios from year 2011 and 2012. Energy potential of different organic wastes and energy crops was ca. from 14.1 to 17.5 GWh/a in Soini which correspond as a net energy ca. from 43 to 53 % total electricity consumption of Soini in 2011. On the other hand the net methane potential corresponds ca. from 650 to 800 passenger cars fuel consumption or ca. from 450 to 550 detached houses heat energy demand annually. The example farm studied in this work could produce net energy 290 MWh/a if separately collected biowaste and municipal sewage sludge from Soini is used as raw material with manure. The farm could be self-sufficient with heat, electricity and fuel. Co-digestion gave little bit over 2 % better gas yield in this work corresponding to mono-digestion.

There were 43 communes in Finland, similar to Soini (2 000–3 000 inhabitants) in 2011. If assumed that these communes have same methane potential than Soini (from 10 to 20 GWh/a), could total theoretical methane potential be from 430 to 860 GWh/a. Waste streams can be utilized in small rural communes by using co-digestion with what which can improve biogas plants profitability according to studies. Biogas plants could be centralized plants which utilize manure and grass from many farms. Producing biogas in countryside with local resources could improve rural areas energy care certainty and employment views with energy entrepreneurship. This kind of local energy production could confirm sustainable, eco-friendly and decentralized energy production and support renewable energy goals.

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	1
2 TAUSTA	4
2.1 Biokaasun tuotanto	4
2.1.1 Anaerobinen hajoaminen	5
2.1.2 Biokaasun tuotannon raaka-aineet	7
2.1.3 Biokaasun tuotannon päävaiheet	10
2.1.4 Biokaasun hyödyntäminen	12
2.1.5 Käsittelyjäännöksen hyödyntäminen	14
2.1.6 Biokaasun tuotannon ympäristöhyödyt	15
2.2 Pienten maaseutukuntien erityispiirteet ja uusiutuvan energian potentiaali	17
2.2.1 Yleistä maaseudusta ja pienistä maaseutukunnista Suomessa	17
2.2.2 Uusiutuvan energian resurssit maaseudulla.....	19
2.2.3 Soinin kunta.....	21
3 AINEISTO JA MENETELMÄT	23
3.1 Materiaalivirtojen laskeminen	24
3.2 Laboratoriokokeen järjestelyt.....	25
3.2.1 Materiaalit.....	26
3.2.2 Tiheyden määrittäminen	28
3.2.3 TS- ja VS-pitoisuuksien määrittäminen.....	28
3.2.4 Liukoisen kemiallisen hapenkulutuksen (liukoinen-COD) mittaaminen	29
3.2.5 Kokonaistypen mittaaminen Kjehdahl-menetelmällä	29
3.2.6 Metaanintuottokokeen järjestelyt ja seossuhteet	29
3.2.7 Biokaasun tilavuusmittaukset ja metaanipitoisuuden määrittäminen	32
3.3 Teoreettisen metaanipotentialin laskeminen	34
4 TULOKSET	36
4.1. Materiaalivirrat Soinin kunnassa.....	36
4.2 Laboratoriokokeen tulokset	36
4.2.1 Tuoremateriaalien TS- ja VS-pitoisuudet, tiheys, liukoinen-COD ja kokonaistyyppi sekä pH.....	36
4.2.5 Metaanintuottopotentiali	38
4.2.6 TS ja VS poistuma kokeen aikana	39
4.3 Metaanipotentiali Soinin kunnassa	39
4.3.1 Maatilakohtaisen biokaasulaitoksen metaanipotentiali	40
5 TULOSTEN TARKASTELU	42
5.1 Materiaalivirrat ja metaanipotentiali jätejakeittain Soinin kunnassa.....	42
5.2 Esimerkkimaatilan metaanipotentiali	45
5.3 Maaseutukuntien rooli biokaasun tuotannon ja käytön edistäjänä.....	47
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	53
KIITOKSET	54

LIITTEET

LYHENTEET

MWh	megawattitunti (=10 ⁶ Wh)
GWh	gigawattitunti (=10 ⁹ Wh)
TWh	terawattitunti (=10 ¹² Wh)
CHP	yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto (Combined Heat and Power)
STD	keskihajonta (Standard Deviation)
ka.	keskiarvo
COD	kemiallinen hapenkulutus (Chemical Oxygen Demand)
OFMSW	yhdyskuntajätteen orgaaninen osa (Organic Fraction of Municipal Solid Waste)
VS	orgaaninen aine (Volatile Solids)
TS	kuiva-aine (Total Solids)
FM	tuoremateriaali (Fresh Matter)
HRT	hydraulinen viipymä (Hydraulic Retention Time)
OLR	orgaanisen aineen kuormitus (Organic Loading Rate)

1 JOHDANTO

Uusiutuvan energian kysyntä on ollut voimakkaassa kasvussa viime vuosina. Fossiilisten polttoaineiden riittävyys, ympäristöhaitat ja tiukentunut lainsäädäntö ovat olleet monessa tapauksessa voimistuneen kysynnän takana. Väestön kasvu ja talouden kehittyminen ovat aiheuttaneet energiankulutuksen lisääntymisen, mikä on kiihdyttänyt fossiilisten energiavarojen vähentymistä ja ympäristöhaittoja entisestään. Erityisesti huolissaan on oltu hiilidioksidipäästöjen voimakkaasta kasvusta ilmakehässä, mikä aiheuttaa ilmaston globaalin lämpenemisen. Esimerkiksi jo nyt lisääntyneet kasvihuonekaasupäästöt ovat nostaneet maapallon keskilämpötiloja n. 1 °C:een viimeisten sadan vuoden aikana (IPCC 2007a, IPCC 2011).

Maapallon energiantarpeen turvaamiseksi on kehitelty ympäristövaatimuksien tiukentuessa ja fossiilisten polttoaineiden vähentyessä varsin erilaisia ja monimuotoisia vaihtoehtoja. Yksi näistä on biokaasun hyödyntäminen. Biokaasun tuotannon on arvioitu olevan yksi potentiaalisimmista uusiutuvan energian muodoista, koska kasvihuonekaasut vähenevät fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyessä ja orgaanisen jätteen käsittelyn tehostuessa (Capponi ym. 2012). Biokaasua syntyy, kun orgaaninen aines hajoaa hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa pääasiassa hiilidioksidiksi (CO₂) ja metaaniksi (CH₄). Näistä metaani voidaan hyödyntää energiana. Yksi kuutio metaania normaalikaasutilassa vastaa energiasisällöltään 1 l bensiiniä eli n. 10 kWh:a (IEA Bioenergy 2000). Biokaasun käyttö ei lisää ilmakehän nettohiilidioksidipitoisuutta, sillä kaasun poltossa vapautuva hiilidioksidi on ollut sitoutuneena hyödynnettyyn biomassaan (IEA Bioenergy 2007). Orgaanisen aineen lähteitä voi olla useita. Biokaasua voidaan tuottaa maatalouden jätteistä, kuten lannasta, energiakasveista ja viljojen oljista, mutta yhtä hyvin myös esimerkiksi erilliskerätyistä biojätteistä tai teurasjätteistä (Di Corato & Moretto 2011).

Maaseutuvaltaisilla alueilla syntyy paljon orgaanista jätettä lannan muodossa ja sitä kautta ympäristöhaittoja. Esimerkiksi maataloilla syntyvä lanta on suuri kasvihuonekaasujen lähde, mikäli lietesäiliöitä ei ole katettu tai lietettä ei hajoteta metaanintuottoa varten. Maatalakohtaisten biokaasulaitosten perustamisen esteenä ovat kuitenkin usein olleet suuret laiteinvestoinnit sekä toiminnalliset esteet kuten työmäärän lisääntyminen ja tiedon puute. Biokaasulaitosten yleistymistä Suomessa voisi edistää se, että yhteen orgaaniseen jätejakeeseen keskittymisen sijasta hyödynnettäisiin monia orgaanisia jätejakeita yhteishajotuk-

sen avulla. Di Coraton & Moreton (2011) mukaan biokaasulaitosten tukeutuminen monipuoliseen ja joustavaan raaka-aineiden hyödyntämiseen on kannattavaa. Yhteishajotus voitaisiin toteuttaa biokaasulaitoksella, johon jätemateriaali tuotaisiin lähiympäristöstä. Lannan lisäksi biokaasulaitoksessa voitaisiin hajottaa esimerkiksi yhdyskuntajätevevettä ja erilliskerättyjä biojätteitä. Biokaasulaitoksella voitaisiin tukea hajautetumpaa uusiutuvan energian tuotantoa ja kohentaa työllisyystilannetta maaseudulla (Peura 2007, Peura & Hyttinen 2011). Poeschl ym. (2012) analyysien mukaan orgaanisten jätteiden yhteishajotus sopii hyvin sekä pienille että suurille biokaasulaitoksille. Lisäksi yhteishajotus parantaa tutkimusten mukaan kaasua tuottavan mikrobiyhdyskunnan toimintaa ja lisää tuotetun kaasun määrää (Edelmann ym. 2000, Hartmann & Ahring 2005, Holm-Nielsen ym. 2009). Monien jätevirtojen hyödyntäminen on myös taloudellisesti vakaampaa, koska laitoksen toiminta ei perustu ainoastaan yhteen jätevirtaan (Hartmann ym. 2002). Tällaisen laitoksen suunnittelussa ja toteutuksessa voisi paikallisella hallinnolla eli kunnilla ja kaupungeilla olla nykyistä suurempi rooli.

Tulevaisuudessa on tavoitteena kehittää yhä tehokkaampaa ja ympäristöystävällisempää energiateknologiaa. Suomen tavoite uusiutuvan energian osuudeksi energiankulutuksesta on 38 % vuoteen 2020 mennessä (Direktiivi 2003/30/EY). Esimerkiksi Ympäristöministeriö on asettanut biohajoavan jätteen energiakäytölle suurempia tavoitteita. Suomessa biohajoavia jätteitä ei käytetä vielä laajassa mittakaavassa energiana. Potentiaalia energiakäytön lisäämiseksi kuitenkin löytyy. Esimerkiksi v. 2007 biohajoavista eläin- ja kasvijätteistä käytettiin energiaksi vain 9 000 tonnia kun hyödyntämätöntä jätettä kertyi 51 000 tonnia. Vastaavasti v. 2007 lietteitä hyödynnettiin energiana 265 000 tonnia, kun hyödyntämättä jäi lähes saman verran eli 267 000 tonnia (Ympäristöministeriö 2010).

Tämän työn tarkoitus on tutkia pienten maaseutukuntien biokaasuntuotannon mahdollisuuksia käyttämällä esimerkkitapauksena Soinin kuntaa. Soini on 2 363 asukkaan (Väestörekisterikeskus 2012) kunta, jossa sijaitsee yksi jätevedenpuhdistamo ja 41 rekisteröitynyttä kotieläintilaa (IACS 2011). Erilliskerättyä biojätettä kerätään kiinteistöiltä, joilla ei kompostoida biojätettä. Soinin kunnan tuloksia yleistetään asukaslukuun perustuen pienten maaseutukuntien tilanteeseen Suomessa. Suomessa oli vuoden 2011 lopussa 43 kuntaa, joiden asukasluku oli 2 000–3 000 asukasta (Kuntaliitto 2012). Tutkimuksessa keskitytään erityisesti kuntiin, jotka sijaitsevat Soinin tavoin maaseudun kolmijaottelun (MMM 2012) mukaan harvaan asutulla maaseudulla. Harvaan asutun maaseudun muuttotappiokierteen

katkaiseminen on ollut ongelmallista, joten uusiutuvan energiantuotannon työllistävillä vaikutuksilla toivotaan helpotusta pitkään jatkuneeseen epäsuotuisaan kehitykseen (MMM 2012).

Aihetta selvitetään laskemalla Soinin sisäisiä materiaalivirtoja yhdyskuntajäteveden kuiva-
tun lietteen, maatalouden lannan ja erilliskerätyn biojätteen osalta. Lisäksi lasketaan kun-
nan viherkesantomaiden ja luonnonhoitopeltojen metaanipotentiali. Tutkittujen materiaa-
livoirtojen avulla lasketaan niiden sisältämä teoreettinen metaanipotentiali koko kunnan
sisällä sekä esimerkki maatilakohtaisesta biokaasulaitoksesta, joka voisi hyödyntää biokaa-
suntuotannossa lantaa, biojätettä ja puhdistamon kuivattua lietettä yhteishajotuksen avulla.
Kuntayksikköä käytetään tutkimuksessa rajaamaan paikallisia materiaalivirtoja, mutta sitä
tarkastellaan myös biokaasutuotantoa edistävänä paikallisena toimijana.

2 TAUSTA

2.1 Biokaasun tuotanto

Biokaasu on anaerobisessa hajoamisessa syntyvä kaasu, joka sisältää pääasiassa metaania (CH_4) ja hiilidioksidia (CO_2). Biokaasua syntyy luonnossa yleisesti hapettomissa oloissa, kuten vesistöjen pohjasedimenteissä, eliöiden suolistossa ja soilla. Biokaasun sisältämä energia eli metaanin poltossa vapautuva lämpö on ollut ihmiskäytössä jo hyvin pitkään ja nykyisin on arvioitu, että yksin Kiinassa, Intiassa ja Nepalissa on miljoonia pienimuotoisia, jätevesiä raaka-aineenaan käyttäviä kiinteistökohtaisia biokaasureaktoreita (kuva 1). Kiinteistöjen asukkaat hyödyntävät kaasua usein kaasupolttimissa, joita käytetään valaistukseen ja ruoanlaittoon (Al-Seadi ym. 2008).



Kuva 1. Kiinteistökohtainen biokaasureaktori Keralassa Intiassa. Reaktorin päältä lähtevä letku johtaa suoraan keittiön kaasukeittimelle (The Open University 2012).

Biokaasuntuotanto on yleistä myös Euroopan unionin (EU) alueella. Varsinkin Saksa ja Tanska ovat edelläkävijöitä biokaasun hyödyntämisessä (kuva 2). Näillä alueilla biokaasun tuottaminen lannasta ja/tai peltobiomassoista on kehittynyt tärkeäksi maataloilla jo 1950-luvulta lähtien (IEA Bioenergy 2011). Vuonna 2009 EU:n alueella oli yli 7000 biokaasulaitosta, joiden tuottama energia oli yhteensä n. 97 TWh (EurObserv'ER 2009).

Suomessa toimi vuoden 2010 lopussa Suomen Biokaasulaitosrekisterin mukaan 16 yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla toimivaa biokaasureaktoria ja kolme teollisuuden jätevesiä käsittelevää biokaasulaitosta. Maatilakohtaisia biokaasulaitoksia toimi 10 paikkakunnalla ja kiinteitä yhdyskuntajätteitä käsiteltiin kuudessa biokaasulaitoksessa. Kaatopaikkakaasua hyödynnettiin 39 kaatopaikalla. Vuonna 2010 biokaasulaitoksilla tuotettiin yhteensä 37,5 milj. m³ biokaasua, josta lämpö- ja sähköenergiana sekä mekaanisena energiana hyödynnettiin 179 GWh. Kaatopaikoilta kerättiin lisäksi kaatopaikkakaasua yhteensä 101,6 milj. m³, josta energiana hyödynnettiin 242,4 GWh. Biokaasusta saatavan energian hyödyntäminen sähkön ja lämmön tuotantoon on ollut selvästi yleisin kaasun käyttömuoto. Osa kerätystä biokaasusta poltetaan edelleen myös soihduissa esimerkiksi laitosten huoltotöiden takia. Biokaasua jalostettiin ajoneuvokäyttöön vuonna 2010 vain Laukaassa sijaitsevalla Kalmarin maatilakohtaisella biokaasulaitoksella (Huttunen & Kuittinen 2011). Vuodesta 2011 lähtien biokaasua on jalostettu maakaasuverkkoon Kouvolassa (Gasum 2011).



Kuva 2. Biokaasulaitos Steinfurtissa Saksassa (Biocycla 2012).

2.1.1 Anaerobinen hajoaminen

Biokaasua muodostuu, kun mikrobit hajottavat orgaanista ainetta anaerobisissa oloissa. Anaerobiseen hajoamiseen osallistuu useita eliöitä bakteereista arkkeihin. Biokaasun muodostuminen orgaanisesta aineesta sisältää monta eri biokemiallisen reaktion vaihetta, joiden tarkka biokemia on riippuvaista hajotettavan materiaalin laadusta ja ympäristötekijöistä (pH, lämpötila jne.). Anaerobisen hajoamisen biokemia voidaan kuitenkin jakaa neljään

eri päävaiheeseen: hydrolyysiin, asidogeneesiin, asetogeneesiin ja metanogeneesiin (kuva 3).

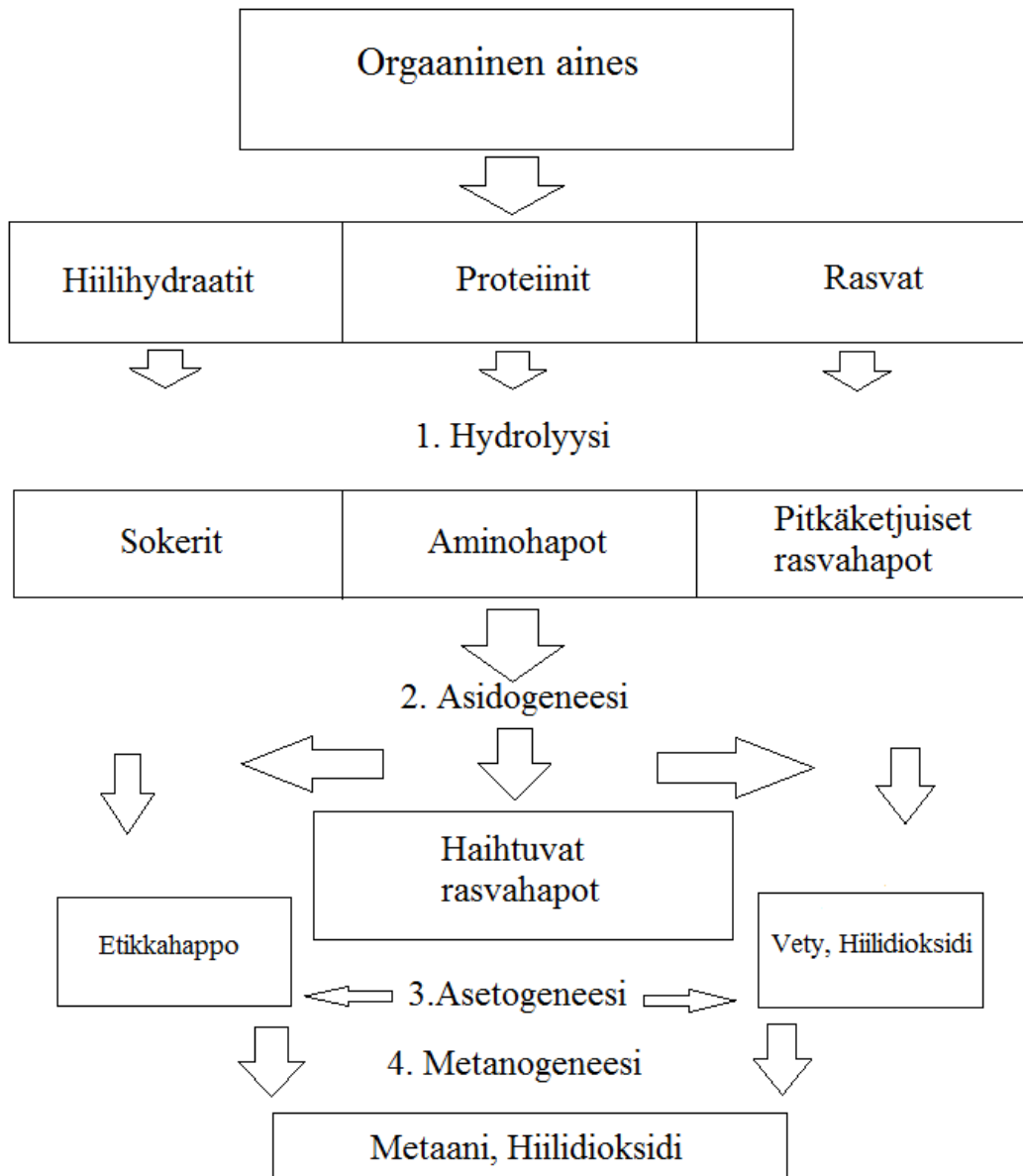
Ensimmäisessä vaiheessa eli hydrolyysissä orgaanisen aineen sisältämät hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat muuntuvat mono- ja oligomeerisiksi hiiliketjuiksi. Hiilihydraatit muodostavat sokereita, proteiinit aminohappoja ja rasvat pitkäketjuisia rasvahappoja. Bakteerit pilkkovat entsyymien avulla polymeerejä lyhyemmiksi ketjuiksi. Hydrolyysi on usein melko nopea reaktio, mutta riippuu hajotettavan aineen laadusta. Esimerkiksi hiilihydraattien hajoaminen voi kestää muutaman tunnin, kun taas rasvoilla vaihe voi viedä useita päiviä (Mata-Alvarez 2002, Al Seadi ym. 2008, Appeals ym. 2008).

Toisessa vaiheessa eli asidogeneesissä bakteerit hajottavat hydrolyysin kautta syntyneitä tuotteita mm. lyhytketjuisiksi haihtuviksi rasvahapoiksi. Muodostuvia rasvahappoja ovat esimerkiksi propionihappo ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$), voihappo ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) ja etikkahappo (CH_3COOH). Asidogeneesissä muuntuneet tuotteet ovat hyödynnettävissä seuraavassa vaiheessa eli asetogeneesissä, mikäli syntyneitä yhdisteitä ei voi käyttää suoraan metanogeneesissä. Esimerkiksi asidogeneesissä muodostunut etikkahappo on suoraan käytökelpoista metanogeneesissä (Mata-Alvarez 2002, Al Seadi ym. 2008).

Asetogeneesissä eli anaerobisen hajoamisen kolmannessa vaiheessa haihtuvat rasvahapot ja alkoholit muuntuvat etikkahapoksi (CH_3COOH), vedyksi (H_2) ja hiilidioksidiksi (CO_2). Haihtuvat rasvahapot, joilla on yli kahden hiiliketjun yksikkö, ja alkoholit, joilla on enemmän kuin yhden hiiliketjun yksikkö hapettuvat etikkahapoksi ja vedyksi. Syntynyt vety voi inhiboida eli rajoittaa asetogeneesiä, mikäli vedyn osapaine kasvaa liikaa (Al Seadi ym. 2008).

Viimeisessä vaiheessa eli metanogeneesissä asetogeneesin ja osa asidogeneesin tuotteista muuntuvat metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Tuotetusta metaanista n. 70 % on peräisin etikkahaposta ja n. 30 % vedystä ja hiilidioksidista. *Methanosarcina* ja *Methanotherix* sukujen mikrobit ovat tärkeimpiä metaania tuottavia eliöitä. Metanogeneesi on anaerobisen hajoamisen hitain vaihe. Mikrobin kaksinkertaistumisaika on n. 24 tuntia. Jos vedyn osapaine kasvaa liian suureksi, metanogeneesin teho laskee. Tämän takia asetogeneesin ja metanogeneesin mikrobin täytyy olla läheisissä tekemisissä aineenvaihdunnan aikana (Mata-Alvarez 2002, Al Seadi ym. 2008).

Koska anaerobinen hajoaminen on biologinen tapahtuma, prosessiolosuhteet vaikuttavat oleellisesti mikrobien toimintaan. Esimerkiksi lämpötila, pH ja raaka-aineen tasalaatuisuus ovat tärkeitä hajoamisreaktion oikeanlaisen toiminnan kannalta (Mata-Alvarez 2002).



Kuva 3. Anaerobisen hajoamisen vaiheet. (Appeals ym. 2008 mukaillen, Al Seadi 2008 mukaillen).

2.1.2 Biokaasun tuotannon raaka-aineet

Biokaasua voidaan tuottaa lähes mistä tahansa biohajoavasta materiaalista. Di Coraton & Moreton (2011) mukaan raaka-aineina biokaasulaitoksissa voidaan käyttää mm. kotieläinten tuotannosta syntyviä jätteitä, ihmisperäisiä ulosteita, paperijätteitä, vesikasveja, levää, heinää, maissia ja olkia. Al seadin ym. (2008) mukaan yleisimmät Euroopassa käytetyt

raaka-aineet ovat lannat, maatalouden korjuujätteet ja sivutuotteet, teollisuuden kasvi- ja eläinperäiset orgaaniset jätteet, yhdyskuntien biojätteet, jätevedet sekä energiakasvit. Suomessa biokaasupotentiaalista suurin osa koostuu peltobiomassoista ja lannasta. Peltobiomassoilla tarkoitetaan viljeltyjä energiakasveja, korjuutähteitä (esim. olki), hoidetuilta viljelemättömiltä pelloilta korjattua satoa (esim. kesanto), viljelystä syntyviä varastotappioita sekä muita viljelyssä syntyviä jätteitä (esim. naatit). Lisäksi eläinten rehuksi menevän nurmen toinen sato on mahdollista käyttää biokaasulaitoksen raaka-aineena. Biokaasun teoreettinen energiapotentiaali on Suomessa 24,4 TWh, josta 9,2 TWh on teknistaloudellisesti hyödynnettävissä (Tähti & Rintala 2010). Vuonna 2010 biokaasua tuotettiin energiaksi biokaasulaitoksissa ja kaatopaikoilla kuitenkin vain n. 0,42 TWh (Huttunen & Kuittinen 2011).

Orgaanisilla jätteillä on hyvin erilaisia energiapotentiaaleja riippuen niiden sisältämistä ainesosista. Suurin teoreettinen metaanipotentiaali on rasvoilla, joista voidaan tuottaa metaania jopa 1014 l/kg VS. Proteiinit ja hiilihydraatit tuottavat teoriassa rasvoihin verrattuna yli puolet vähemmän metaania: proteiinit 496 l/kg VS ja hiilihydraatit 415 l/kg VS. Eri jättejakeita yhdistelemällä, eli yhteishajotuksella, voidaan tasapainottaa mm. prosessin ravinnepitoisuutta ja tehdä kiinteästä jätteestä lietemäistä sekä paremmin prosessiin soveltuvaa. Käytännössä prosessissa käsitellään kuitenkin raaka-aineita mm. niiden saatavuuden, kuljetusmatkojen, kustannusten ja jätehuollollisten lähtökohtien perusteella (Tähti & Rintala 2010).

Yhdyskuntien biojätteellä on korkea metaanipotentiaali ja esimerkiksi ruokajätteestä voidaan tuottaa metaania jopa 424 m³ kuiva-ainetonna kohden (Lay ym 1997). Myös yhdyskuntajätteen orgaanisen osan (OFMSW) biokaasupotentiaalin on todettu olevan tanskalaisessa tutkimuksessa suuri: 180–230 m³ metaania tuorepainotonna kohden (Hartmann & Ahring 2005).

Myös erilaisilla kasviperäisillä raaka-aineilla voi olla korkea metaanintuottopotentiali. Lehtomäen ym. (2008) mukaan monien energiakasvien ja korjuujätteiden metaanipotentiaali vaihtelee 170–490 m³CH₄/tonni lisätty VS (100–200 päivän viipymä). Energiakasvien korjuutähteiden metaanipotentiaali riippuu kuitenkin jonkin verran korjuukertojen määrästä sekä korjuuajasta. Esimerkiksi maa-artistokan, timotei-apila-nurmiseoksen ja ruokohelven bruttometaanisaanto on hehtaaria kohden 2 900–5 400 m³. Tällä määrällä voi yksi ajoneuvo ajaa 40 000–60 000 km (Lehtomäki ym. 2008). Yhden hehtaarin sato voisi tuottaa

siis 2-3 auton (kulutus 7 m³ metaania/100 km) vuoden aikana tarvitseman energian, mikäli yhdelle autolle kertyisi ajoa keskimäärin 20 000 km vuodessa.

Lannat ja lietteet soveltuvat hyvin biokaasulaitoksen raaka-aineeksi, mutta sisältävät usein vähemmän orgaanista ainetta kuin tuoreet materiaalit, koska eliöiden aineenvaihdunta on hyödyntänyt jo osan orgaanisen aineen sisältämästä energiasta kulkeuduttuaan suoliston läpi. Toisaalta eri eläinten lannoissa on vaihtelua, ja esimerkiksi sikojen lannalla on melko korkea metaanipotentiaali. Myös erilaiset yhdyskuntien jätevedet tarjoavat biokaasuprosessiin soveltuvan raaka-aineen. Jätevesien käsitteleminen biokaasureaktorissa laskee puhdistamon käyttökustannuksia, koska itse tuotettu energia voidaan hyödyntää puhdistamalla. Lisäksi anaerobinen hajoaminen vähentää huomattavasti orgaanisen aineen määrää jäteveissä (Lew ym. 2011). Taulukossa 1 on yleisimpien biokaasulaitoksissa käytettyjen materiaalien metaanintuottopotentiaaleja.

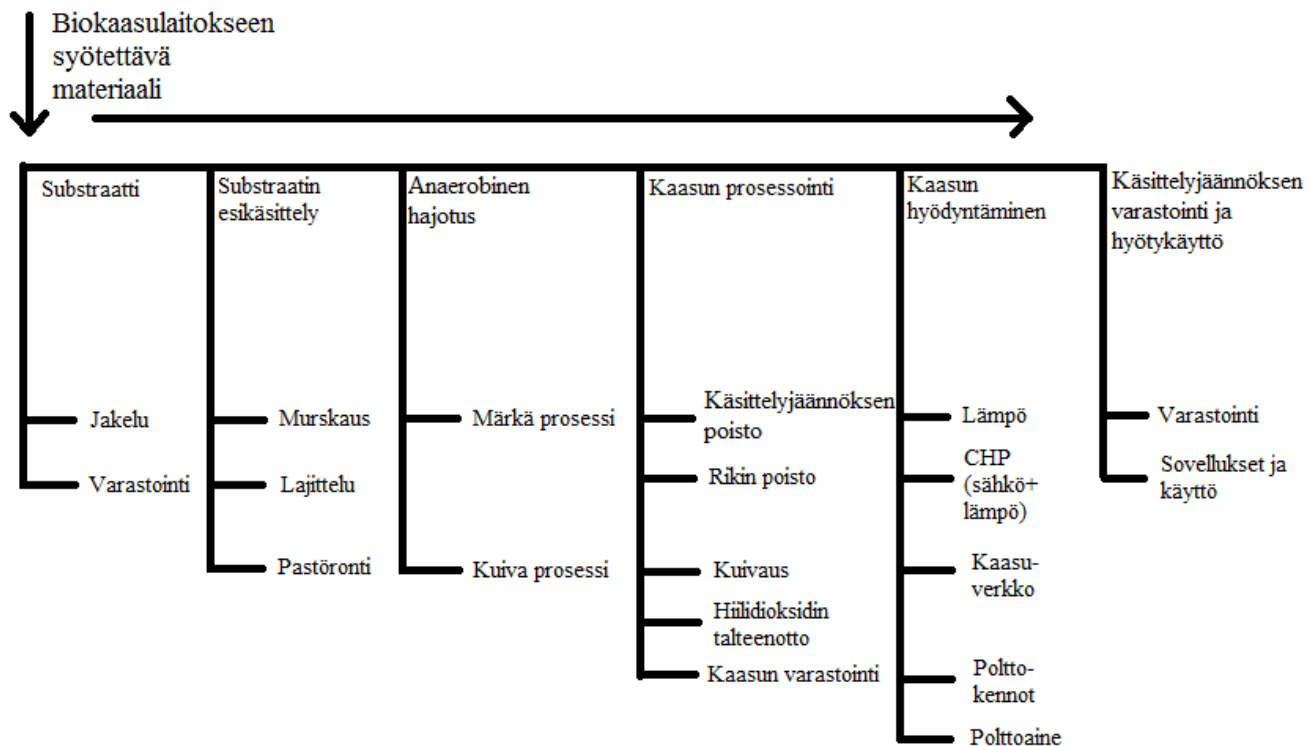
Taulukko 1. Lantojen, biohajoavien jätteiden ja kasvien metaanintuottopotentiaaleja.

Raaka-aine	CH₄ m³/t VS	Lähde
Lannat		
Nautaeläimet	148–233	Møller ym. 2004, Lehtomäki ym. 2007b
Siat	300–400	Lehtomäki ym. 2008
Siipikarja	200–300	Salminen & Rintala 2002
Hevoset	120–180	Kusch ym. 2008, Nilsson 2000
Jätteet		
Teurastamo	200–910	Salminen 2000
Kasvisjäte	180–514	Gunaseelan 2004
Yhdyskuntien biojäte	298–573	Davidsson ym. 2007, Hansen ym. 2004
Lietteet ja jätevedet		
Yhdyskunnat	200–300	Leinonen & Jormanainen 1992
Jätevedet *	300	Tähti & Rintala 2010
Peltobiomassat		
Olki	240–320	Lehtomäki 2006
Nurmi	213–360	Kaparaju ym. 2002, Lehtomäki ym. 2008, Seppälä ym. 2009

* m³/t COD

2.1.3 Biokaasun tuotannon päävaiheet

Biokaasulaitoksissa voidaan käyttää erilaisia tekniikoita riippuen laitoksen koosta ja käsiteltävien materiaalien laadusta. Lisäksi laitoksen kokoon ja tekniikkaan vaikuttavat paikalliset vaatimukset, kuten esimerkiksi käsittelyjäännöksen varastointiaika. Kuvassa 4 on esitelty biokaasun tuotannon päävaiheet, jotka voidaan jakaa käsiteltävän materiaalin (substraatin) jakeluun/varastointiin, esikäsitteilyyn, hajotukseen, kaasun prosessointiin, kaasun hyödyntämiseen sekä käsittelyjäännöksen varastointiin ja käyttöön (LfU 2007, Al-Seadi ym. 2008).



Kuva 4. Biokaasun tuotannon päävaiheet (LfU 2007, Al-Seadi ym. 2008).

Tarkemman tekniikan valitseminen vaatii aina tietoa materiaalin koostumuksesta. Esimerkiksi substraatin kosteuspitoisuus määrittelee käytetäänkö märkää vai kuivaa prosessia. Ero märän ja kuivan prosessin välillä on teoreettinen, sillä anaerobimikrobien toiminta tapahtuu aina nesteessä. Teoriassa reaktoriin syötettävän raaka-aineen kuiva-ainepitoisuuden tulee olla yli 15 %, jotta puhutaan kuivasta prosessista ja alle 15 % puhuttaessa märästä prosessista (Al-Seadi ym. 2008).

Raaka-aineen murskaaminen tasalaatuisiksi (karkeat jakeet) eli homogenointi on usein ensimmäinen biokaasun tuotannon vaihe. Hygienisointia vaativat raaka-aineet kuten jätevedenpuhdistamon lietteet hygienisoidaan usein osana esikäsitteilyä. Mekaanisesti erotetun

orgaanisen jätteen tapauksessa esikäsittelyyn saattaa kuulua lisäksi magneetti- ja painovoimaerottimia. Esikäsittelyn jälkeen raaka-aine hajotetaan reaktorissa, jonka tekniikka voi vaihdella paljon valmistajasta riippuen. Hajotus voidaan jakaa kiinteiden jätteiden osalta myös yksi- tai monivaiheisiksi prosesseiksi sekä panos- ja jatkuvatoimiseksi prosesseiksi. Yksivaiheisessa prosessissa kaikki anaerobisen hajoamisen vaiheet tapahtuvat samassa reaktorissa, kun taas monivaiheisessa prosessissa hajoaminen tapahtuu vähintään kahdessa reaktorissa. Panostoimisessa hajotuksessa materiaalin syöttö tapahtuu jatkuvan syöttämiseen sijaan vain kerran, ja uutta materiaalia syötetään reaktoriin vasta käsittelyjäännöksen poistamisen jälkeen (Vandevivere ym. 2002, Lehtomäki ym. 2007a, Al-Seadi ym. 2008).

Biokaasulaitoksen toimintaan ja hajoamistehokkuuteen vaikuttavat voimakkaasti pH, alkaliniteetti, lämpötila ja viipymä. Esimerkiksi laitoksen toimintalämpötilalla on huomattava vaikutus hajoamisnopeuteen ja tehoon. Hajoaminen tapahtuu usein joko mesofiilissä (n. +35 °C) tai termofiilissä (n. +55 °C) oloissa. Termofiilisen hajoamisen etuna on mm. tehokkaampi patogeenien vähennys ja nopeampi hajoamisnopeus, mutta termofiilinen prosessi tarvitsee reaktorin lämmittämiseen enemmän energiaa, joten käyttökustannukset saattavat kasvaa suuremman energiatarpeen takia (Al Seadi ym 2008, Appeals ym. 2008).

Yleisimpiä reaktorin toimintaa määrääviä tekijöitä on ns. hydraulinen viipymä (HRT) ja orgaanisen kuormituksen määrä (OLR). Hydraulisella viipymällä kuvataan raaka-aineen viipymäaika reaktorissa ja orgaanisen kuormituksen määrällä syötetyn orgaanisen aineen määrää. Mikäli halutaan tuottaa mahdollisimman paljon raaka-aineesta biokaasua, tulisi hydraulisen viipymän olla mahdollisimman pitkä ja orgaanisen kuormituksen mahdollisimman suurta. Käytännössä orgaanisen kuormituksen kasvattaminen lyhentää hydraulista viipymää jatkuvatoimisisa prosesseissa. Orgaanisen kuormituksen ja hydraulisen viipymän tulisi olla tasapainossa niin, että mikrobiyhteisö ehtisi uusiutumaan samassa tahdissa kuin mikrobeja poistuu käsittelyjäännöksen mukana (Lehtomäki ym. 2007a, Al-Seadi ym. 2008).

Biokaasulaitos sisältää raaka-aineen hajoamisen jälkeen kaasunvarastoinnin, mahdollisen kaasun puhdistuksen ja käsittelyjäännöksen varastoinnin. Prosessissa syntynyttä kaasua voidaan varastoida matala-, keski- tai korkeapaineisissa varastoissa, ja varastotila määräytyy tuotetun kaasumäärän perusteella. Varastointitiloissa käytetty materiaali tulee olla tiivistä ja turvallista, jotta turvallisuusriskit ja kaasuvuodot ovat mahdollisimman alhaiset. Koska biokaasu sisältää metaanin lisäksi myös hiilidioksidia, vesihöyryä ja rikkivetyä

(H₂S), täytyy biokaasu usein puhdistaa ennen käyttöä. Mikäli kaasua käytetään ajoneuvon polttoaineena, tulisi biokaasu jalostaa biometaaniksi (yli 95 % metaania). Käsittelyjäännöstä voidaan varastoida laguuneissa ja katetuissa altaissa (IEA Bioenergy 2000, IEA Bioenergy 2006, Lehtomäki ym. 2007a, Al-Seadi ym. 2008). Loppukäsittely saattaa sisältää käsittelyjäännöksen loppukäytön (kuten lannoitevalmistuksen) lisäksi jätevedenpuhdistuksen tai -kierrätyksen sekä mekaanisen vedenerottimen (Vandevivere ym. 2002). Toisaalta biokaasulaitoksella täytyy olla myös ns. soihtu, jossa voidaan polttaa kaasua ylituotannon varalta (Lehtomäki ym. 2007a, Al-Seadi ym. 2008).

Erilaisia biokaasulaitoksia voidaan jakaa niiden koon ja käytettävien materiaalien perusteella kiinteistö- tai maatilakohtaisiksi sekä keskitetyiksi biokaasulaitoksiksi. Lisäksi voidaan puhua kaatopaikkakaasua keräävistä biokaasulaitoksista (Al-Seadi ym. 2008).

2.1.4 Biokaasun hyödyntäminen

Biokaasulla on monipuoliset energiankäytön mahdollisuudet. Normaalipaineessa yksi kuutio metaania sisältää energiaa n. 10 kWh, mikä vastaa noin 1 l bensaa tai dieseliä (IEA Bioenergy 2000). Biokaasu voidaan hyödyntää voimalaitoksessa lämmöksi (kuva 5), sähköksi tai sekä sähköksi että lämmöksi CHP-laitoksessa (Combined Heat and Electricity). CHP-laitoksessa kokonaishyötysuhde voi olla jopa yli 90 %, kun energiasta 35 % muuntuu sähköenergiaksi ja 65 % lämpöenergiaksi (Al-Seadi ym. 2008). Biokaasua voidaan käyttää myös puhdistettuna biometaanina ajoneuvojen polttoaineena (kuva 6) tai biometaania voidaan syöttää biokaasulaitokselta maakaasuverkkoon. Biometaania voidaan myös paineistaa ja kuljettaa hyödynnettäväksi laitoksen ulkopuolella. Biokaasua voidaan käyttää lisäksi polttokennoissa (Al-Seadi ym. 2008). Gustafssonin & Stoorin (2008) mukaan maakaasuverkon alueella voidaan puhua jopa energianviennistä, jos maakaasuverkko on laaja.

Suomessa yleisin biokaasun hyödyntämistapa on nykyisin Suomen Biokaasuyhdistyksen (2012) mukaan sähkön ja lämmön yhteistuotanto, mutta biokaasun jalostus ajoneuvopolttoaineeksi on hyvä vaihtoehto paljon biokaasua tuottaville laitoksille. Ajoneuvopolttoaineeksi jalostaminen on taloudellisesti kannattavin biokaasun hyödyntämistapa, mikäli biometaanille on kysyntää (Edelmann 2002, Suomen Biokaasuyhdistys 2012). Biokaasun jalostaminen on erityisen kannattavaa alueilla, joilla ei ole tarvetta lisälämmön tuottamiselle (Edelmann 2002).



Kuva 5. Kaatopaikkakaasua energianlähteenä käyttävä aluelämpölaite Keltinmäessä Jyväskylässä. Kaasu ohjataan kaukolämpöä tuottavalle laitokselle läheiseltä Mustankorkean kaatopaikalta.



Kuva 6. Biokaasukäyttöinen auto (NorTech Oulu 2012).

2.1.5 Käsittelyjäännöksen hyödyntäminen

Anaerobisen hajoamisen lopputuotteena on biokaasun lisäksi ns. käsittelyjäännös. Käsittelyjäännöstä voidaan käyttää lannoitteena maataloilla, kompostoida tai käyttää maanparannusaineena. Käsittelyjäännös on hyvä lannoite, sillä se sisältää lähes kaikki raaka-aineiden ravinteet. Kun orgaaninen aine vähenee anaerobisen hajoamisen aikana, materiaalin sisältämän typen ja fosforin pitoisuus kasvaa suhteellisesti. Käsittelyjäännöksen koostumus riippuu paljon mm. biokaasulaitoksella käsitellystä materiaalista, reaktorityypistä, hydraulisesta viipymästä ja lämpötilasta (Al Seadi ym. 2008).

Hajonnutta materiaalia on usein helpompi käsitellä (kuten pumpata) verrattuna esimerkiksi käsittelemättömään lantaan, sillä käsittelyjäännös on tasalaatuisempaa ja sisältää vähemmän orgaanista ainetta. Hajoamattomaan lantaan verrattuna käsittelyjäännöksen etuna ovat mm. pienemmät hajuhaitat. Hajotuksen on todettu lieventävän hajuhaittoja jopa 80 % sekä vähentävän karpästen määrää. Tämä vähentää levityksen aikaista haittaa lähiympäristössä (Al-Seadi ym. 2008, IEA Bioenergy 2010).

Anaerobinen hajoaminen vaikuttaa merkittävästi myös hygieniariskiin (Edelmann 2002). Termofiilissä oloissa (50–55°C) ja pitkällä hydraulisella viipymällä on mahdollista saavuttaa joissain reaktorityypeissä jopa 99 % patogeenien vähennys. Tämä tekee käsittelyjäännöksen lannoitekäytöstä turvallisempaa. Käsittelyjäännöksen lannoiteominaisuuksia parantaa lisäksi rikkaruohojen itävyystehokkuuden pieneneminen (prosessin läpi kulkeutuneiden) sekä alhaisesta rasvahappopitoisuudesta johtuva kasvivaurioiden väheneminen (Al-Seadi ym. 2008).

Käsittelyjäännöksessä ravinteet ovat kasveille yleensä paremmin saatavassa muodossa verrattuna käsittelemättömään lietteeseen. Käsittelyjäännöksen tyyppi on usein epäorgaanisessa muodossa, mikä on orgaanisen typen sijaan helpommin kasvien hyödynnettävissä. Käsittelyjäännöksen käyttäminen lannoitteena vähentää mineraalilannoitteiden tarvetta (Al-Seadi ym. 2008). Joissain tapauksissa mineraalilannoitteita ei tarvita ollenkaan, ja tällöin maataloilla on mahdollista jopa ns. suljettu kierto. Suljetussa kierrossa maatilat saavat tarvitsemansa ravinteet omasta takaa, mikä tekee maataloudesta ympäristöystävällisempää, koska mineraalilannoitteiden tuotanto voidaan jättää maatalan tuottamien ympäristövaikutusten ulkopuolelle. Omien lannoitteiden käyttö pienentää myös maatalouden kuluja, koska ulkopuolisten lannoitteiden tarve vähenee (Lehtomäki ym. 2007a).

Koska käsittelyjäännös on usein hyvin nestemäistä, saattaa kuiva-aineen erotus olla tarpeen. Typpi esiintyy käsittelyjäännöksessä usein liukoisena, joten nesteen erottaminen kiintoaineesta on tarpeen erityisesti alueilla, joilla ei ole tarvetta suurelle typpilannoitukselle. Toisaalta esimerkiksi fosfori on usein sitoutuneena kiintoaineeseen, joten nesteen erottelu kuiva-aineesta helpottaa ravinteiden tehokkaampaa kohdentamista. Kiintoaineen ja nesteen erotus voidaan tehdä esimerkiksi mekaanisesti, suodattamalla tai haihduttamalla (Al-Seadi ym. 2008).

Käsittelyjäännöksen lannoitekäytöllä on positiivisia vaikutuksia myös pellon eliöihin. Orgaanisen aineen hajoamisen aikana kasveille haitalliset yhdisteet, kuten esim. orgaaniset hapot, hajoavat ja muuntuvat vähemmän ongelmallisiksi (Al Seadi ym. 2008). Käsittelyjäännöksen kemiallista laatua tulee tarkkailla kuitenkin hyvin. Esimerkiksi typen ja fosforin pitoisuutta tulisi mitata säännöllisesti. Mikäli biokaasulaitos käsittelee orgaanista jätettä yhteishajotuksella, tulee käsittelyjäännöksen raskasmetallipitoisuuksia seurata niin, etteivät pitoisuudet ylitä sallittuja raja-arvoja (Lehtomäki ym. 2007a, Al-Seadi ym. 2008). Käsittelyjäännös on joissain tapauksissa myös hygienisoitava (1h, 70°C) ennen hyötykäyttöä sivutuoteasetuksen mukaisesti (Direktiivi 2002/1774/L).

2.1.6 Biokaasun tuotannon ympäristöhyödyt

Biohajoavien jätteiden käsittelyllä biokaasulaitoksessa on monia ympäristöhyötyjä. Biokaasulla voidaan korvata mm. fossiilisia polttoaineita, millä on huomattavia vaikutuksia ilmakehän kasvihuonekaasupäästöihin. Metaani on vapaasti ilmakehään päästessään n. 25 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi, joten metaanin talteenotolla ja hyötykäytöllä on suuret ympäristövaikutukset (IPCC 2007b). Capponin ym. (2012) mukaan biokaasun tuotantoketjusta syntyvät hiilidioksidipäästöjen vähennykset voivat olla laskutavasta riippuen jopa yli 50 % verrattuna fossiilisten polttoaineiden käyttöön, kun laitoksen toimintasäde on 70 km. Biokaasun käyttäminen vähentää normaalisti kasvihuonekaasujen ohella myös muita haitallisia yhdisteitä kuten hiukkaspäästöjä tai typpipäästöjä, kun sillä korvataan fossiilisia polttoaineita tai muita jätteenkäsittelytapoja (Börjesson & Berglund 2007).

Orgaanisten jätteiden käsitteleminen biokaasulaitoksessa on kannattavaa erityisesti hyvän energiatasapainon ja ympäristösyiden takia (Edelmann ym. 2000). Liun ym. (2012) mukaan biokaasuntuotannossa säästetään biojätteiden kasvihuonekaasupäästöissä merkittävästi verrattuna kaatopaikkasijoittamiseen. Biohajoavien jätteiden kaatopaikkasijoittamisesta

ollaan esimerkiksi EU:n alueella luopumassa asteittain (Kaatopaikkadirektiivi 1999/31/EY). Toisaalta pelkästä biokaasulaitoksesta voi tapahtua kaasuvuotoja mm. prosessista ja käsittelyjäännöksen varastoinnista (ns. jälkikaasutusvaiheessa), mikä voi heikentää kasvihuonekaasujen talteenottoa (Meyer-Aurich ym. 2012). Mikäli laitoksessa kerätään talteen jälkivarastoinnissa syntyvän kaasu, käsittelyjäännöksen kasvihuonekaasupäästöt vähenevät jopa kymmenesosaan verrattuna tilanteeseen, jossa jälkivarastoinnissa syntyvän kaasun talteenottoa ei ole huomioitu (Poeschl ym. 2012).

Biokaasun tuotannossa voidaan hyödyntää myös vesistön ravinnekuormitusta vähentäviä kasveja. Esimerkiksi järviruokoa voidaan poistaa rannoilta ja käyttää biokaasulaitoksen raaka-aineena, mikä vähentää vesistöön kohdistuvaa ravinnekuormaa (Gustafsson & Stoor 2008, Joensuu 2012). Tällä keinolla puututaan sekä rehevöitymiseen että kasvihuonekaasujen vähentämiseen.

Biokaasulaitosten ympäristövaikutukset voivat olla hyvin erilaisia riippuen käytetyistä raaka-aineista. Energiakasvien anaerobisesta hajotuksesta on keskusteltu paljon, sillä energiakasvien on arveltu vievän peltoalaa ruoan kasvattamiselta ja vaikuttavan tätä kautta ruoan hintaan. Erilaisissa biokaasututkimuksissa pyritään kuitenkin tarkastelemaan resursseja niin, ettei ruoantuotannolta viedä tilaa (Tähti & Rintala 2010). Pelkkien energiakasvien hajotuksella ei saavuteta niin suuria ympäristöhyötyjä kuin orgaanisten jätteiden kuten yhdyskuntajätteiden, maatalouden lantojen ja korjuutähteiden yhteishajotuksella. Poeschlin ym. (2012) mukaan jätteiden ja korjuutähteiden yhteishajotus vähentää ilmastovaikutuksia ja vie 1 % siitä viljelyalasta, joka tarvittaisiin pelkkien energiakasvien kasvattamiseen saman energiamäärän saavuttamiseksi.

Saavutettavat ympäristöhyödyt ovat yksi perustelu biokaasutekniikan käytölle. Holm-Nielsen ym. (2009) jakaa biokaasulaitosten hyödyt ympäristöhyötyjen ohella myös maatalous- ja sosioekonomisiin hyötyihin. Hyvän lannoitteen saaminen käsittelyjäännöksestä parantaa maatalouden kannattavuutta, ja energiantuotanto hyödyttää paikallista yhteisöä. Biokaasun tuottaminen lannasta tarjoaa tavan ehkäistä ympäristöhaittoja maatalouden tehostumisen myötä (Holm-Nielsen ym. 2009).

2.2 Pienten maaseutukuntien erityispiirteet ja uusiutuvan energian potentiaali

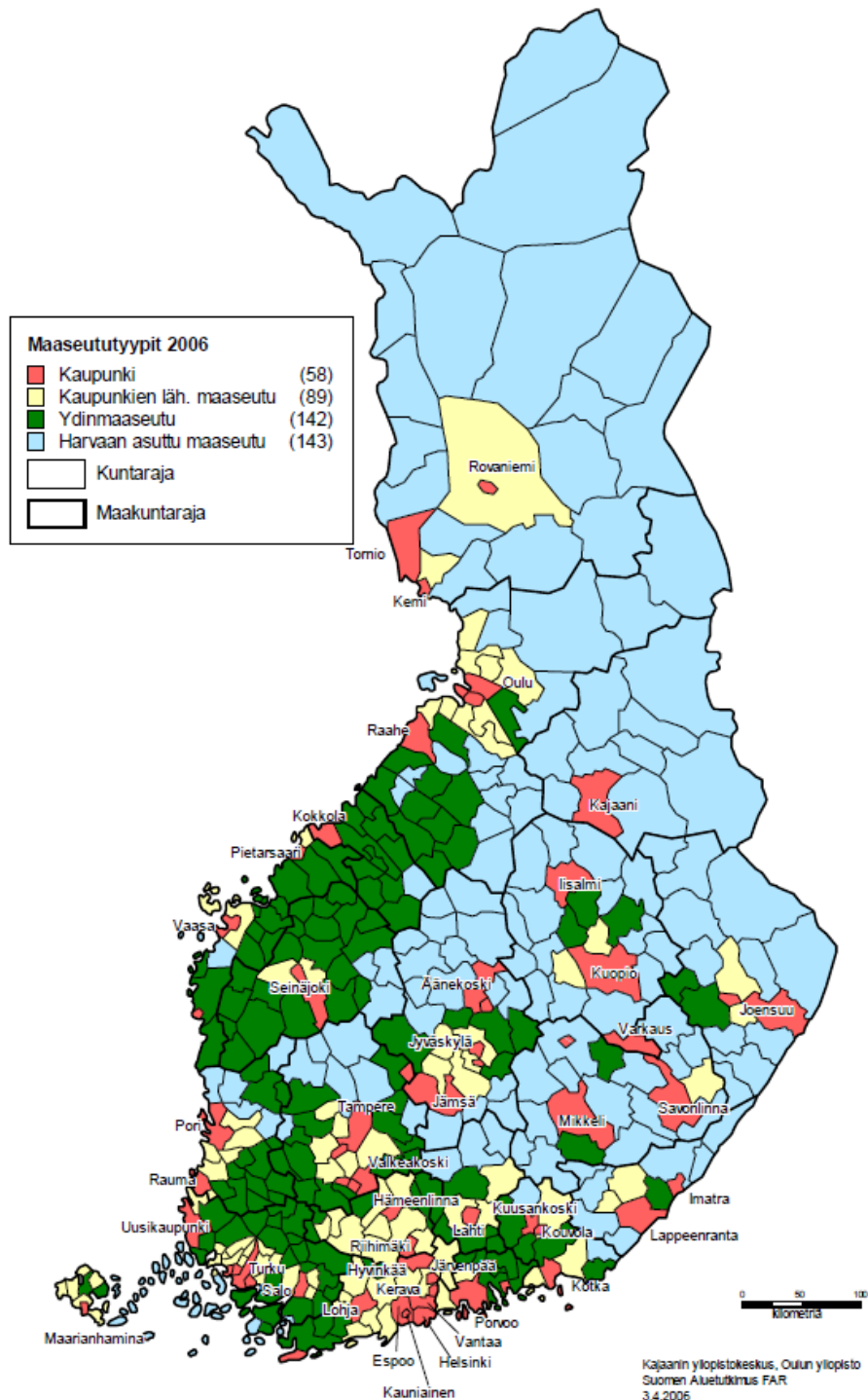
2.2.1 Yleistä maaseudusta ja pienistä maaseutukunnista Suomessa

Suomen pinta-alasta suurin osa on maaseutua. Suomi onkin Euroopan unionin (EU) maaseutumaisimpia valtioita. Maaseudun kolmijaottelun mukaan yli 90 % Suomen alueesta luokitellaan maaseudeksi. Maaseudulla asuu 42 % väestöstä, mutta ainoastaan 32 % työpaikoista sijaitsee alueella (MMM 2012).

Maaseutu on suomalaisessa politiikassa jaettu usein kolmeen eri tyyppiin: kaupunkien läheiseen maaseutuun, ydinmaaseutuun ja harvaanasuttuun maaseutuun (kuva 7). Kaupunkien läheisellä maaseudulla on parhaimmat toimintaedellytykset, sillä läheinen kaupunki tarjoaa lähimarkkinat ja työtä. Kaupunkien läheinen maaseutu sijaitsee Etelä- ja Länsi-Suomessa, missä on maatalouden harjoittamiselle muutenkin parhaimmat edellytykset. Kaupunkien läheinen maaseutu on usein muuttovoittoaluetta ja etenkin lapsiperheet muuttavat alueelle. Muuttovoiton ansiosta alueen kunnilla on hyvä taloudellinen liikkumavara, mikä mahdollistaa investoinnit ja monipuoliset palvelut (MMM 2012).

Ydinmaaseutu on vahvaa alkutuotantoaluetta. Alue sisältää paikoin teollisuuden toimialakeskittymiä sekä erikoistuneen alkutuotannon keskittymiä. Kuntakeskukset tarjoavat monipuolisia palveluja ja kylät ovat usein elinvoimaisia. Ydinmaaseudun kunnat sijaitsevat Etelä- ja Länsi-Suomessa (MMM 2012).

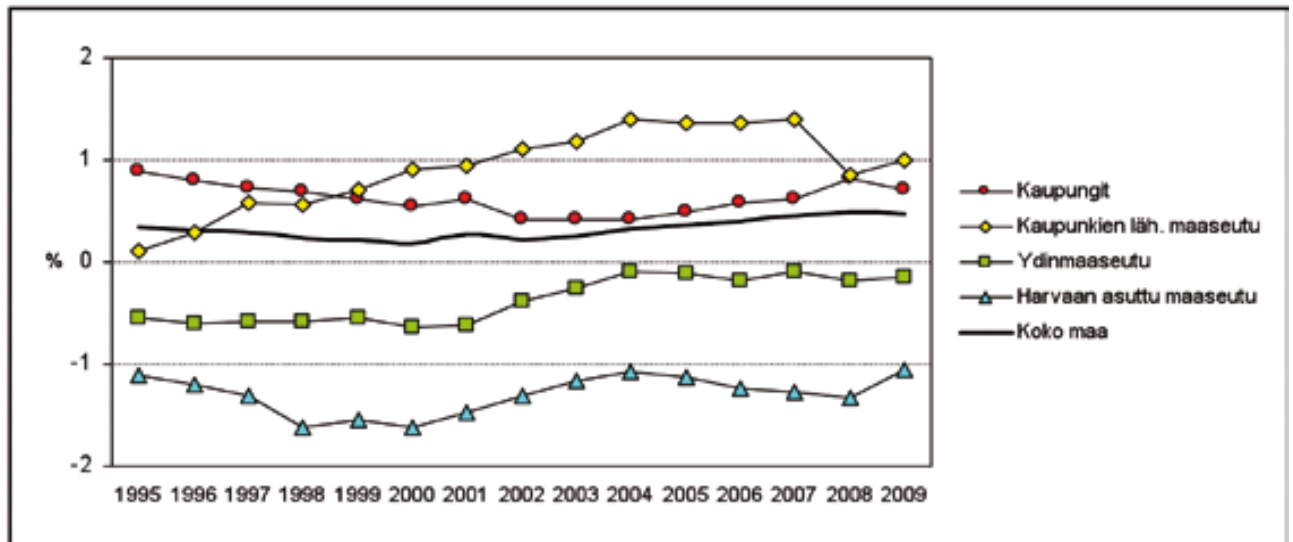
Harvaan asuttu maaseutu on maaseudun kolmijaottelun ongelmallisinta aluetta. Alue on tietynlaisessa noidankehässä, sillä nuoret muuttavat pois, palvelut heikentyvät, maatalous vähenee, uusia työpaikkoja ei synny tilalle ja vanhusten määrä lisääntyy. Tämä kaikki johtaa julkisen sektorin kestävämpään tilanteeseen, sillä verotulojen määrä ei riitä menojen kattamiseen. Lisäksi luonnon asettamat reunaehdot eivät välttämättä suosi alkutuotannon lisäämistä. Harvaan asutun maaseudun alueet sijaitsevat suurimmaksi osaksi Itä- ja Pohjois-Suomessa. Harvaan asuttu maaseutu kattaa Suomen pinta-alasta n. 62 %, mutta ainoastaan n. 11 % väestöstä asuu siellä (MMM 2012).



Kuva 7. Suomen maaseututyypit v. 2006 (MMM 2012).

Ydinmaaseudun ja harvaan asutun maaseudun ongelmana on jo pitkään ollut poismuutto. Maaseudulta on muutettu kaupunkeihin ja aluekeskuksiin enenevässä määrin 1950-luvulta lähtien. Voimakkainta muuttotrendi oli 1970-luvulla, kun kaupunkien työmahdollisuudet ja parempi palkka houkuttelivat väestöä puoleensa. Kaupungeista erityisesti Helsinki, Tampere, Turku, Oulu ja Jyväskylä ovat olleet suosituimpia muuttokohteita (Pekkala 2003). Pää-

syynä muuttotappioihin on ollut nuorten 15–29-vuotiaiden voimakas muutto alueilta (MMM 2012). Nuorten ikäluokkien poismuutto on vinouttanut maaseudun väestörakennetta usein niin, että alueella on enemmän miehiä kuin naisia. Lisäksi nuorten naisten poismuutto on alentanut syntyvyyttä (Maaseutupolitiikan yhteistyöryhmä 2009). Harvaan asutulla maaseudulla väestö onkin vähentynyt vuosittain yli 1 % (kuva 8).



Kuva 8. Vuotuinen väestömuutos prosentteina eri alueilla Suomessa vuosina 1995–2009 (Ponnikas ym. 2011).

Erityisesti harvaan asutun maaseudun ongelmat ovat hankalasti ratkaistavissa. Maaseudun aluepoliittisia epäkohtia on jo pitkään yritetty kohentaa maaseutupolitiikalla, jonka keskeisenä tavoitteena on ollut parantaa maaseudun asemaa yhteiskunnassa. Maaseutupolitiikan tavoitteena on ollut mm. rakenneongelmien lievittäminen sekä toimeentulon, palvelujen ja kilpailukyvyn parantaminen (MMM 2012). Ongelma kiteytyy erityisesti siihen, kuinka saada maaseudulle uusia tulonlähteitä, kun perinteinen maataloussektori on jatkuvasti taantunut. Lisäksi tällä vuosikymmenellä maaseudulta muuton odotetaan jopa kiihtyvän (Pekkala 2003). Harvaan asutun maaseudun ongelmat ovat usein pienten maaseutukuntien ongelmia, sillä monet pienet maaseutukunnat sijaitsevat harvaanasutulla maaseudulla.

2.2.2 Uusiutuvan energian resurssit maaseudulla

Hyödynnettävistä luonnonvaroista pääosa on alueilla, joilla ei ole intensiivistä infrastruktuuria. Maaseudun rooli uusiutuvan energian lisäämiseksi on ratkaiseva, sillä maatalojen oletetaan olevan mitä todennäköisimmin paikkoja, joissa uusiutuvan energian tuotanto otetaan laajamittaisena ensimmäisenä käyttöön. Tämä johtuu siitä, että maataloilla on paljon

energiapotentiaalia geotermisen energian, aurinko- ja tuulivoiman sekä biomassojen muodossa (Lampinen & Jokinen 2006, Peura & Hyttinen 2011).

Maaseutupolitiikan yhteistyöryhmän (2009) mukaan Suomen hallitus korostaa, että maaseudulla tulee hyödyntää hajautettua energiantuotantoa, joka perustuu paikallisiin ja uusiutuviin energialähteisiin. Tätä kautta osallistutaan koko maan energian huoltovarmuuden lisäämiseen sekä ilmastotavoitteiden saavuttamiseen. EU:n tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian osuutta merkittävästi lähitulevaisuudessa. Suomen tavoite uusiutuvan energian osuudeksi energiankulutuksesta on 38 % vuoteen 2020 mennessä (Direktiivi 2003/30/EY). Tavoitteiden saavuttamiseksi tulee perustaa suurten yksiköiden rinnalle koordinoituja hajautettuihin ratkaisuihin perustuvia energijärjestelmiä, sillä todellinen bioenergian lisäämisen mahdollisuudet ovat pientuotannon tehokkaassa ja organisoidussa hajauttamisessa. Tämä voidaan saavuttaa maaseudun voimavaroihin perustuvalla yritystoiminnan vahvistamisella, työskentelymahdollisuuksien kehittämällä ja neuvonnan lisäämisellä (Maaseutupolitiikan yhteistyöryhmä 2009, MMM 2007). MMM:n (2004a) mukaan uusiutuvien luonnonvarojen kestävä käyttö vaatii maaseudun kehittämistä. Kuntien merkitys on paikallisessa energiantuotannossa suuri, sillä se on usein tärkeässä roolissa yritystoiminnan ohjaamisessa.

Katajamäki (2012) kiteyttää uusiutuvan energian potentiaalin maaseudulle seuraavasti: ”...Maaseutupääoman ydintä ovat myös uusiutuvat energialähteet. Maaseutumme luonnonvara- ja tuotantoperustan kautta on mahdollista synnyttää maailmanluokan biotalous, joka kehittää hajautetusti sähköä ja lämpöä sekä jalostaa puuta ennen näkemättömiksi uusiksi tuotteiksi. Hajautetun energiamallin kehittäminen vastaa yhteiskunnan kysyntään ja synnyttää maaseudulle tuhansia työpaikkoja. Samalla hajautettuun energiantuotantoon liittyvä osaaminen vastaa globaaliin kysyntään ja biotaloudesta voi kehittyä merkittävä suomalainen vientituote. Ilman maaseutupääoman käyttämistä ja kehittämistä tämä ei kuitenkaan toteudu...”

Monet maaseudun etuja ajavat järjestöt ovat myös kiinnostuneita uusiutuvan energian mahdollisuuksista. Esimerkiksi Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK:n mukaan uusiutuvalla energialla on suuri aluetaloudellinen merkitys maaseudulle. Työpaikkoja olisi mahdollista luoda lisää 10 000–15 000 koko bioenergia-alan tuotantoketjulle (MTK 2012). Energiaomavaraisuuteen tähtääminen ja uusiutuvaan energiaan panostaminen on ollut esil-

lä myös erilaisten hankkeiden ja projektien teemoina. Esimerkiksi Pohjanmaan maakuntien alueella on panostettu energiaomavaraisuuteen (Energiakylä 2012).

Myös eloperäisten jätteiden ja jätevesilietteiden anaerobisella hajotuksella on nähty mahdollisuuksia maataloudessa. Maa- ja metsätalousministeriö ehdottaakin kehitystoimina selvittää maatilojen biokaasutuotannon yhdistämismahdollisuuksia haja-asutusalueiden jätehuoltoketjuihin (MMM 2007). Biokaasuntuotanto on tällä hetkellä yksi potentiaalisimmista uusiutuvan energian muodoista, koska biokaasun käytöllä vähennetään selvästi kasvihuonekaasupäästöjä (Capponi ym. 2012). Nykyisin vajaasti käytetyn biokaasupotentiaalin hyödyntäminen (Tähti & Rintala 2010) on maaseudulle suuri mahdollisuus muiden uusiutuvien energianlähteiden ohella.

2.2.3 Soinin kunta

Soinin kunta on 2 363 asukkaan (Väestörekisterikeskus 2012) harvaan asuttu maaseutupaikkakunta (MMM 2012), joka sijaitsee Länsi-Suomen läänissä Etelä-Pohjanmaalla (kuva 9). Naapurikuntia ovat Alajärvi, Ähtäri, Kyyjärvi, Karstula ja Saarijärvi. Kunnan maapinta-ala on 552 km² ja vesistöä on n. 20 km² (Soinin kunta 2012, Tilastokeskus 2012). Kunta sijaitsee lähes keskellä Suomenselän vedenjakaja-alueella, jonka luonto on melko karua (Ympäristöhallinto 2012). Alue on peruspiirteiltään loivien mäkien ja soiden vuorottelevaa ylänkömaata (monin paikoin yli 200 m meren pinnan yläpuolella). Kunta ei sijaitse maanviljelyn kannalta otollisella paikalla, koska alue on hallanarkaa. Kunta luetaan kasvuvyöhykkeeseen 5, joka ulottuu Suomenselkää pitkin Kainuun kautta kohti Oulun seutua (Ilmatieteen laitos 2012). Väestötiheys on maapinta-alaan suhteutettuna n. 4,3 asukasta/km².

Kunnan väestörakenne on tyypillistä harvaan asutulle maaseudulle (MMM 2012). Soinissa oli työikäisiä (15–64-vuotiaita) vuoden 2011 lopussa 6,8 prosenttiyksikköä vähemmän verrattuna maan keskitasoon, kun taas vanhusväestöä (65 vuotta täyttäneet) oli 6,9 prosenttiyksikköä enemmän kuin valtakunnassa keskimäärin (Tilastokeskus 2012). Soinilaisista työskenteli alkutuotannon parissa vuoden 2009 lopussa 14,0 %. Keskimääräinen alkutuotannon työpaikkojen osuus oli koko maassa selvästi pienempää (3,7 %). Palvelut työllistivät vuoden 2009 lopussa soinilaisista 63,8 %, mikä on 9,1 prosenttiyksikköä koko maan keskiarvoa vähemmän. Jalostuksen työpaikkojen osuus oli vuoden 2009 lopussa lähellä maan keskiarvoa. Työttömyysaste oli Soinissa vuoden 2010 lopussa 14,4 %. Korkea työt-

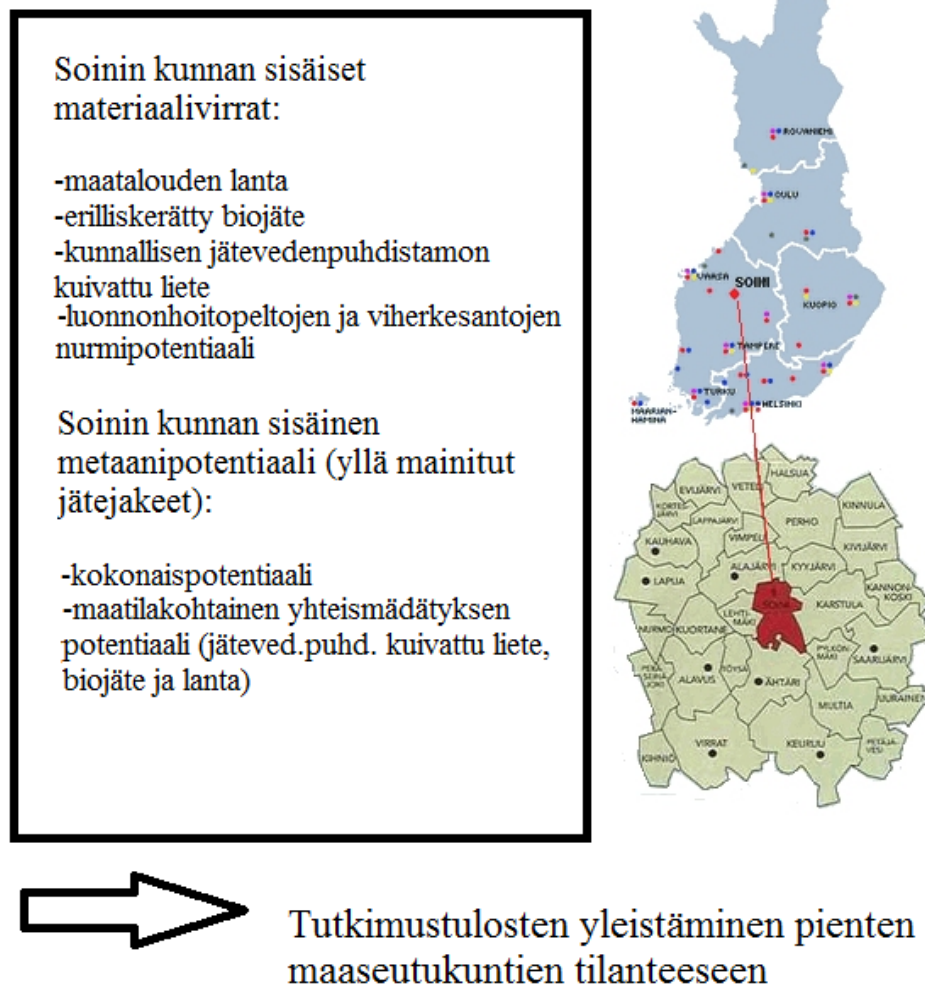
tömyysaste ja vanhusväestön suuri osuus ovat syynä maan keskiarvoa (1,2) suurempaan huoltosuhteeseen 1,75 (Tilastokeskus 2012).

Kunta saa sähköenergiansa pääosin kantaverkkoa pitkin muualla tuotettuna, mutta kiinteistökohtaiset/maatilakohtaiset lämpölaitokset sekä EJ Lämmön ylläpitämä aluelämpölaitos tuottavat osan kunnan tarvitsemasta lämpöenergiasta. EJ Lämpö tuottaa lähinnä turpeesta ja hakkeesta vuosittain 11–14 GWh (polttoainetehona) lämpöenergiaa kaukolämpöverkoon (Järvelä 2012). Soinin kunnan sähkön kokonaiskulutus oli 21 GWh vuonna 2011. Suurin sähkön kuluttaja oli asuminen ja maatalous (11 GWh). Teollisuus käytti sähköstä 6 GWh ja palvelut 4 GWh (Energiateollisuus ry 2012).

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

Soinin kunnassa on yksi kunnallinen jätevedenpuhdistamo ja 41 rekisteröitynyttä kotieläintilaa (IACS 2011). Erilliskerättyä biojätettä kerätään kiinteistöiltä, joilla ei kompostoida biojätettä. Yhdyskuntajätevesi, erilliskerätty biojäte, maatalouden lanta ja luonnonhoitopeltojen ja viherkesantojen nurmi valittiin tutkimuskohteiksi, koska vielä tällä hetkellä näitä jakeita ei hyödynnetä Soinissa paikalliseen energiantuotantoon. Biojäte hyödynnetään energiaksi Millespakka Oy:n kautta Ab Stormossen Oy:lla Mustasaaren biokaasulaitoksessa, mutta yhdyskuntajätevedenpuhdistamon liete kompostoidaan ja maatalouden lanta käytetään perinteiseen tapaan peltolannoitteeksi (Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon ympäristölupa 2001, Korkea-aho 2012). Tutkimuskysymyksiä on rajattu kuvassa 9.

Tutkimuskysymysten rajaus



Kuva 9. Tutkielman tutkimuskysymysten rajaus sekä Soinin sijainti kartalla (karttakuva: Soinin kunta 2012).

3.1 Materiaalivirtojen laskeminen

Soinin kunnan sisäisten materiaalivirtojen selvittämiseksi hyödynnettiin jätevesien osalta OIVA – ympäristö- ja paikkatietojärjestelmää, jossa on Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon seurantatietoa usean vuoden ajalta. Jäteveden tilavuuspainoksi oletettiin suuren vesipitoisuuden (>95 %) vuoksi 1000 kg/m³ (Suvilampi 2003). Jätevedenpuhdistamon piiriin kuuluvien asukkaiden ja puhdistamolla syntyvän kuivatun lietteen määrää sekä erillis-kerätyn biojätteen määrä ja jätteen koostumus selvitettiin (Korkea-aho 2012, Leipäjoki 2012, Leppänen 2012, Mäki 2012).

Soinilaisten karjatilojen eläinmäärä selvitettiin (IASC 2011). Eläinmäärästä karsittiin myös juuri lopettaneet tilat ja tilat, jotka sijaitsivat Ähtärin kaupungin puolella, mutta joilla oli maataloustukiin kuuluvia alueita Soinin puolella (Koski 2012a). Eläinmäärissä oli tapahtunut merkittäviä muutoksia jo alkuvuoteen 2012 mennessä, joten jatkuvasti muuttuvassa tilanteessa materiaalivirtoja laskettaessa ei hyödynnety useampien vuosien tilastoja tai keskiarvoja. Karjan tuottama lietelanta (hevosilla kuivikelanta) laskettiin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) kautta (Rasi ym. 2012) sekä lantalan ohjetilavuuksi- en (Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu 2012) avulla (taulukot 2 ja 3). Mikäli eläimen tuottaman lannan laskemisessa käytettiin lantalan ohjetilavuuksia, lietelannan tilavuuspainoksi oletettiin 1000 kg/m³, mikä on lähellä kokeellisesti määritettyä tulosta ainakin naudan lietelannan osalta (ks. luku 4.2.1).

Taulukko 2. Kotieläinten tuottama lietelanta ja kuivikelanta vuodessa (Rasi ym. 2012).

Kotieläin	Lietelanta t/eläin/v	Kuivikelanta t/eläin/v
Lypsylehmä	25,33	24,05
Imettävä lehmä	17,96	16,86
Hieho >12,<24 kk	10,02	10,87
Hieho >24 kk	10,02	10,87
Sonni >12,<24 kk	14,46	13,43
Sonni >24 kk	14,46	13,43
Sonnivasikka (<12 kk)	8,17	8,67
Lehmävasikka (<12 kk)	6,08	6,57
Emakko + porsaas < 11vko	7	5,37
Porsinut emakko	2,4	1,63
Karjut	2,4	1,63
Lhasiat 50-110 kg	2	1,49
Siat 20-50 kg	1,5	1,14
Hevoset		12,75

Taulukko 3. Lantalan ohjetilavuus (m³) 12 kk varastointiaikaa varten eläintä kohden (Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu 2012).

Eläinlaji	Kuivikelanta	Virtsa	Lietelanta	Kuivikelanta + virtsa (virtsa kuivikkeeseen imeytettynä)
Lypsylehmä*	12	8	24	24
Hieho, emolehmä, lihanauta, siitossonni	9	4	15	15
Nuorkarja <6 kk	2,4	1,2	4	4
Emakko porsaineen**	3	3,5	7	8,3
Satelliittimakko porsaineen***	4,4	5,2	9,6	12
Lihasika****(x), siitossika	0,7	1	2	2,4
Joutilas emakko*****	0,8	1,2	2,4	2,4
Vieroitettu porsas*****(xx)	0,5	0,5	1	1,2
Hevonen	-	-	-	12

*Korkeatuottoisille karjoille suositellaan taulukossa esitettyjä suurempia varastotilavuuksia

**Porsaat mukana n. 11 viikon ikään asti (normaali emakkosikala)

*** Koskee satelliittisikalaa, lantamäärät emakkopaikkaa kohti, kun emakkopaikassa porsituksia 8 tai enemmän vuodessa; porsaat huomioidaan vieroitukseen (n. 5 viikkoa) asti

****Eläinpaikkaa kohti vuodessa

*****Koskee ns. emakkorenkaiden keskusyüksikköä; eläinpaikkaa kohti vuodessa (x) Koskee lihasikoja, joiden keskimääräinen teuraspaino on enintään 90 kg. Jos teuraspaino on suurempi, käytetään joutilaan emakon arvoja.

(xx) Porsas kasvatuksessa, ikävaihe 5 – 11 viikkoa.

Soinin kunnan sisäinen kesantojen ja luonnonhoitopeltojen määrä (ha) on ollut viimeisten kolmen vuoden aikana melko samansuuruinen (Koski 2012b). Vuonna 2012 ennen kylvöalamuutosten ilmoittamista luonnonhoitopeltoja oli ilmoitettu 199 ha ja viherkesantoja 125 ha. Molemmissa peltotyypeissä kasvoi enimmäkseen säilörehuksi tulevaa nurmea, jossa typensitojakasvien osuus on alle 20 % (Koski 2012b). Keskimääräisenä nurmen hehtaarisatona käytettiin tuloksia (Kangas ym. 2012) timotein (*Phleum pratense*) ja puna-apilan (*Trifolium pratense*) hehtaarisadosta (8–11 tTS/ha) molemmille peltotyypeille.

3.2 Laboratoriokokeen järjestelyt

Yhdyskuntajäteveden puhdistamon kuivatun lietteen, naudannan ja erilliskerätyn biojätteen metaanipotentiali tutkittiin laboratoriokokeella. Lisäksi tutkittiin metaanituottoja Soinin kunnan materiaalivirtojen pohjalta lasketuilla seossuhteilla. Kaikki materiaalit hajotuskoetta varten hankittiin Soinin kunnasta lukuun ottamatta ympäriä. Näytteiden analysointi aloitettiin noin viikko näytteiden haun jälkeen. Kaikki analyysit tehtiin kolmena rinnakkaisena mittauksena, joista laskettiin keskiarvo ja keskihajonta. Näytteitä säilytettiin Jyväskylän yliopiston kylmähuoneessa (+4 °C).

3.2.1 Materiaalit

Kuivattu liete haettiin Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon tiloista. Jätevedenpuhdistamo käsittelee yhdyskuntajätevettä, joka on pääasiassa peräisin asumisjätevesistä. Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon jätevedet koostuvat noin 270 viemäriverkostoon liittyneen kiinteistön jätevesistä. Lisäksi puhdistamolle tuodaan vuosittain n. 910 m³ likavettä viemäriverkon ulkopuolisista kiinteistöistä..

Jätevedenpuhdistamon asukasvastineluku (av1) on 1 100 ja jätevesivirtaama on keskimäärin 420 m³/d. Laitokseen tuleva jätevesi välpätään, jonka jälkeen se johdetaan jakokaivoon. Jakokaivossa jäteveden sekaan lisätään ferrosulfaattia (FeSO₄ x 7 H₂O) fosforin pudistustehon lisäämiseksi. Kemikaalin lisäyksen jälkeen jätevesi käsitellään biologisesti (typenpoisto) kahdessa ilmastusaltaassa. Käsitelty jätevesi ohjataan biologisen vaiheen jälkeen jakokaivoon, josta se johdetaan edelleen kahteen selkeytysaltaaseen. Selkeytysaltaiden jälkeen vesi puretaan maastoon. Pudistuksen aikana syntynyt liete tiivistetään ja kuivataan lietteenkuivattimella (Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon ympäristölupapäätös 2001). Jätevedenpuhdistamolla syntyy vuodessa arviolta keskimäärin 160 m³ kuivattua lietettä, joka jatkokäsitellään kompostoimalla. Kuivatun lietteen vuosittaisen vaihtelun määrä on ollut pientä (Leppänen 2012, Mäki 2012). Kuivattu liete on koostumukseltaan hyvin multamaista (kuva 10). Jätevedenpuhdistamon piiriin kuuluvia kiinteistöjä, ulkopuolelta tuotavan jäteveden määrää ja syntynyttä kuivattua lietettä ei tilastoida kovinkaan tarkasti, joten ilmoitetut luvut ovat suuntaa antavia.



Kuva 10. Vaihtolava, johon liete ohjataan kuivauksen jälkeen odottamaan kompostointia.

Naudan lietelanta saatiin laboratoriokoetta varten eräältä soinilaiselta maitotilalta. Lietelantanäyte otettiin navetan puolella sijaitsevasta lietelantakourusta, joka on noin 2 metriä syvä (kuva 11). Kouru toimii lietelannan välivarastona, josta se pumpataan säännöllisesti lietelantasäiliöön. Näytteenottohetkellä kourussa oli arviolta 0,5 metriä lietelantaa. Tilalla käytetään jonkin verran kutterin lastuja eläinten kuivikkeina, mutta lietelannan koostumuksessa se ei juuri näkynyt.



Kuva 11. Maitotilalla sijaitseva lietelantakouru, josta lietelantanäyte saatiin laboratoriokoetta varten.

Erilliskerättyä biojätettä noudettiin Soinin keskuskeittiöltä ja samassa rakennuksessa sijaitsevasta vanhainkoti Kotivaarasta. Keskuskeittiöllä tehdään eri laitoksille, kuten kouluille, ruokaa ja pääosa biojätteestä onkin ruoanlaitosta syntyvää ns. keittiöjätettä, kun taas vanhainkodin puolelta kertyvä biojäte on tähteiksi jäänyttä ruokaa eli ns. ruokajätettä. Sekä vanhainkodilta että keskuskeittiöltä kertynyttä biojätettä varastoidaan erillisessä kylmätilassa, koska bioastioiden tyhjennysväli on pitkä (kuva 12). Keskuskeittiön ja vanhainkodin biojätettä käytettiin tutkimuksessa, koska suurin osa Soinin kunnan sisältä erilliskerätystä biojätteestä kerätään suurkeittiöistä ja erinäisistä laitoksista kuten kouluista. Biojätettä erilliskerätään vain hieman alle 10 yksityisestä taloudesta.. Syksyisin ja keväisin yksityisten kotitalouksien biojätteen seassa saattaa olla hieman puutarhajätteitä, kuten oksia. Kunnassa sijaitsevilla kaupoilla on järjestetty oma biojätteen keräys, joten kaupoista kertyvää biojätettä ei tässä työssä selvitetty (Leipäjoki 2012).



Kuva 12. Kahden biojäteastian päällimmäinen sisältö sekoitettiin niin, että puolet kahdeksan litran näytteenottosangon tilavuudesta otettiin puoliksi molemmista jäteastioista.

Laboratoriokokeessa käytetty ymppi eli metaanintuottoa tehostava bakteeribiomassa tuotiin Laukaassa sijaitsevalta Kalmarin biokaasutilalta, jossa käsitellään tilan omaa naudan lietelantaa, nurmisäilörehua sekä elintarviketeollisuuden jätettä. Ymppiä säilytettiin n. 4 viikkoa lämpökaapissa ($+35\pm 1^\circ\text{C}$) ennen metaanintuottokokeiden aloitusta, jotta ympin oma metaanintuotto olisi panoskokeen aikana mahdollisimman pientä.

3.2.2 Tiheyden määrittäminen

Jätevedenpuhdistamon kuivatun lietteen, naudan lietelannan ja biojätteen tiheydet mitattiin Mettler PL 1200 -vaa'alla (0,01 g tarkkuus) sekoituksen (biojätteelle myös homogenisointi Kenwood electronic -murskaimella, partikkelikoko alle 20 mm) jälkeen. Biojätteen ja lietelannan tiheyden määrittämisessä käytettiin 1 000 ml mittalasia. Mittaus 1000 ml mittalasiin tehtiin silmämääräisesti mahdollisimman tarkasti.

Jätevedenpuhdistamon kuivatun lietteen tiheys määritettiin standardin mukaisesti (European standard 13040:2006). Määrittämisessä käytettiin 20 mm seula sekä tasoitushatullista mitta-astiaa (hatullisen mitta-astian tilavuus yht. n. 1,3 l). Määrittämisessä käytettiin tiivistäjänä 650 g painoa.

3.2.3 TS- ja VS-pitoisuuksien määrittäminen

TS- ja VS-pitoisuudet (kuiva-ainepitoisuus ja orgaanisen aineen pitoisuus) määritettiin jätteistä ja ympistä standardin APHA 1998 mukaisesti. PAINO mitattiin OHAUS ANALYTIC PIUS -vaa'alla (tarkkuus 0,01 mg). Myös käsittelyjäännösten TS- ja VS-pitoisuudet laskettiin kokeen lopuksi edellä mainitulla tavalla. Seossuhteiden TS- ja VS-pitoisuudet laskettiin yksittäisten jakeiden pitoisuuksien perusteella.

3.2.4 Liukoisen kemiallisen hapenkulutuksen (liukoinen-COD) mittaaminen

Jätejakeittainen liukoinen kemiallinen hapenkulutus mitattiin standardin SFS 5504/1988 mukaisesti. Homogenoitu biojäte ja jätevedenpuhdistamon kuivattu liete uutettiin pyörösekoittajalla (11 kierrosta minuutissa) lasipulloissa (1 l) 24 tuntia ennen mittaamista. Uutossa jätteiden TS-vesi-suhde oli 1:10.

Kaikki aineet mitattiin lasipulloihin Mettler PL 1200 (0,01 g tarkkuus) vaa'alla. Uuton jälkeen puhdistamon kuivattu liete ja biojäte sentrifugoitiin (n. 15 min 4000 kierrosta/min). Kaikki jätejakeet suodatettiin imupullon ja suodatinpaperin (VWR European Cat. No. 516-0864, suodatinkoko 1,6 µm) avulla sentrifugoiduista (HARRIER 18/80, 15 min 3500 kierrosta/min) näytteistä.

Liukoisen kemiallisen hapenkulutuksen määrittämisessä käytettiin Bürette Digital Easy Calibration titrausbyrettiä sekä HACH COD Reactor -polttolaitetta. Ennen polttoa näytteet sekoitettiin Vortex Genie 2 sekoittimella ja titrauksen aikana magneetilla ja Heidolph MR Hei-Mix S -magneettisekoittimella.

3.2.5 Kokonaistypen mittaaminen Kjeldahl-menetelmällä

Kokonaistyyppi määritettiin Tecatorin (1995) ohjeen mukaisesti. Analysointiin tarvittavat aineet mitattiin OHAUS PRECISION Advanced -vaa'alla (0,001 g tarkkuus). Ennen näytteiden polttamista TECATOR 2020 DIGESTOR -polttolaitteessa, jokaiseen koelasiin lisättiin rikkihappoa (H₂SO₄) Dispensette Easy Calibration 1-10 ml -byretillä. Tislaus tehtiin TECATOR KJELTEC SYSTEM 1002 Distilling unit -laitteistolla. Titrauksen aikana pH:ta tarkkailtiin PHM 220 Lab pH METER -mittarilla ja näytettä sekoitettiin jatkuvasti magneettinamulla ja -sekoittimella (Heidolph MR 3000).

3.2.6 Metaanintuottokokeen järjestelyt ja seossuhteet

Metaanintuotto eri jätejakeille mitattiin panoskokeilla. Lisäksi määritettiin kahden seoksen metaanintuotto (kuva 13). Seossuhteet laskettiin niin, että esimerkkinä oletettiin yhden soinilaisen maitotilan tuottavan biokaasua omasta naudanlannasta ja erilliskerätystä biojätteestä sekä jätevedenpuhdistamon kuivatusta lietteestä yhteishajotuksen avulla. Tilan laskettu teoreettinen lantamäärä jaettiin metaanintuottokoetta varten todellisten suhteiden perusteella puoliksi kunnassa muodostuvien biojätteiden ja jätevedenpuhdistamon kuivatun lietteen kesken. Tällä lailla pystyttiin päättämään tilan mahdollista metaanintuottoa aitojen seossuhteiden avulla todellisilla materiaalivirroilla. Biojäte ja puhdistamon kuivattu liete

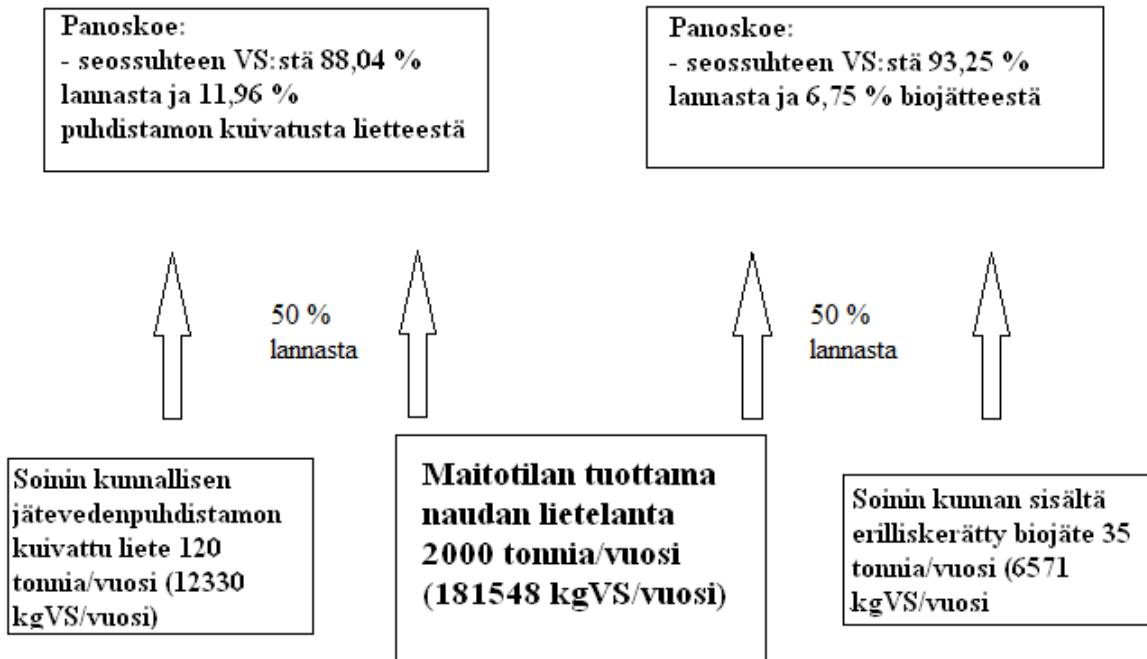
pidettiin kuitenkin erillään, jotta saatiin selville niiden yksilölliset vaikutukset yhteishajotuksessa lietelannan kanssa. Tilalla muodostuva teoreettinen lantamäärä jaettiin puoliksi myös sen takia, että lannan suhde muihin jätteisiin olisi pienempää ja erot metaanipotentialissa selvempiä verrattuna pelkän lietelannan metaanipotentialiin. Esimerkkinä käytetty maitotila valittiin tutkimuskohteeksi edullisten kuljetusyhteyksien ja suuren eläinmäärän johdosta (n. 7,6 % Soinin maatalouden lannasta). Kyseisellä soinilaisella maitotilalla tuotettiin v. 2011 eläinmäärien ja Rasin ym. (2012) ja Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelun (2012) laskentatavan perusteella hieman alle 2 000 tonnia lietelantaa vuosittain (taulukko 4). Lisäksi tilalla on yli 100 nautaa, mitä pidetään rajana taloudellisesti kannattavalle biokaasulaitokselle (MMM 2004b).

Taulukko 4. Arvio erään soinilaisen maitotilan tuottamasta naudan lietelannasta vuodessa v. 2011 tietojen perusteella (IACS 2011).

Eläin	Kpl v. 2011	Lietelanta t/eläin/v	Lähde
Lehmävasikat ja hiehot 6kk-12kk, lypsylehmiksi	12	73	1
Hiehot 24kk- (ei poikineet), maidontuotantoon	3	30	1
Lehmävasikat ja hiehot 12kk-24kk, lypsylehmiksi	24	240	1
Lypsylehmä 24kk-	60	1 520	1
Lehmävasikat ja hiehot alle 6kk, lypsylehmiksi	14	56	2
< 24 kk poikanut lypsylehmähieho	1	10	1
Sonni alle 6kk, lihantuotantoon	1	4	2
Yht.	115	1 933	

Lähde 1 = Rasi ym. (2012), lähde 2 = Ympäristöhallinnon verkkopalvelu (2012)

Tilan lietelannan tiheydeksi oletettiin vaihtelevan eläinmäärän tuoman epävarmuuden sekä tiheyden mittaamisen perusteella 1 000 kg/m³ (ks. kappale 4.2.1). Metaanintuottoa varten lantamääräksi oletettiin 2 000 t vuodessa todellisen lantamäärän epävarmuuden takia. Erilliskerätyn biojätteen määräksi arvioitiin materiaalivirtojen osalta 35 tonnia/vuosi ja kuivatun lietteen osuudeksi 120 tonnia/vuosi.



Kuva 13. Panoskokeen seossuhteiden määrittely erään soinilaisen maitotilan todellisen tilakoon/tuotetun lannan ja lasketun kuivatun lietteen sekä erilliskerätyn biojätteen määrien avulla.

Jokainen panosnäyte laitettiin 1 litran lasipulloon (yhteensä 18 pulloa). Jokaiseen pulloon mitattiin (AND EK-2000 g, tarkkuus 0,1 g) 250 g ymppiä (VS-pitoisuus 3,7 %) ja loput massasta hanavettä. Lasipullot suljettiin muovikorkeilla ympin lisäämisen jälkeen. Lasipulloihin laitettiin substraattia substraatti-ymppi-VS-suhteella 1 eli jätteen orgaanisen aineen määrä oli sama kuin lisättävän ympin orgaanisen aineen määrä (taulukko 5).

Ympistä tehtiin erillinen kolmen toiston panoskoe, jotta nähtiin kuinka paljon pelkkä ympi tuottaa biokaasua ja metaania. Ympin osuus vähennettiin jätteiden tuottamasta biokaasusta ja metaanista.

Taulukko 5. Panoskoepulloihin laitetut ympin, jätteiden ja veden määrät (substraatti-ympin-suhde 1).

Panoskokeet	Ympin	Jäte (seoksissa lanta), g	Biojätettä tai kuivattua lietettä, g	Vettä, g	Paino, yht., g	Toistoja, kpl
Ympin	250			500	750	3
Lanta	250	102,7		397,3	750	3
Biojäte	250	49,7		450,3	750	3
Kuivattu liete	250	90,8		409,2	750	3
Lanta+biojäte	250	95,8	3,4	400,9	750	3
Lanta+kuivattu liete	250	90,4	10,9	398,7	750	3
yht.						18

Kokeen aikana syntynyt biokaasu kerättiin koepulloista alumiinisiin kaasupusseihin. Ennen panospullojen sulkemista niiden sisällön pH mitattiin (SevenEasy METTLER TOLEDO) ennen ja jälkeen puskurin lisäämistä (joka pulloon 2,25 g natriumhydroksikarbonaattia) sekä panoskokeen päätyttyä. Lopuksi jokainen panospullo huuhdeltiin tyypellä vetokaapissa 3 minuutin ajan. Jokainen pullo suljettiin nopeasti tämän jälkeen yhdistämällä pullo näytteenottoputkeen ja kaasupussiin. Kun panoskoepullot (kuva 14) olivat valmiit, niitä varastoitettiin lämpökaapissa mesofiilisissä oloissa ($+35\pm 1^\circ\text{C}$).



Kuva 14. Panoskoepulloihin (edessä) oli liitetty ilmatiivis näytteenottoelinjasto, joka sisälsi kaasunkeräysputken, lasivialin ja kaasupussin. Kertyneen biokaasun metaanipitoisuus mitattiin kaasukromatografilla (takana).

3.2.7 Biokaasun tilavuusmittaukset ja metaanipitoisuuden määrittäminen

Muodostuneen biokaasun tilavuus ja metaanisisältö mitattiin 2,5 ensimmäisen viikon aikana kolmen kertaa viikossa. Kun kaasuntuotto alkoi laskea, mittaukset tehtiin kahdesti vii-

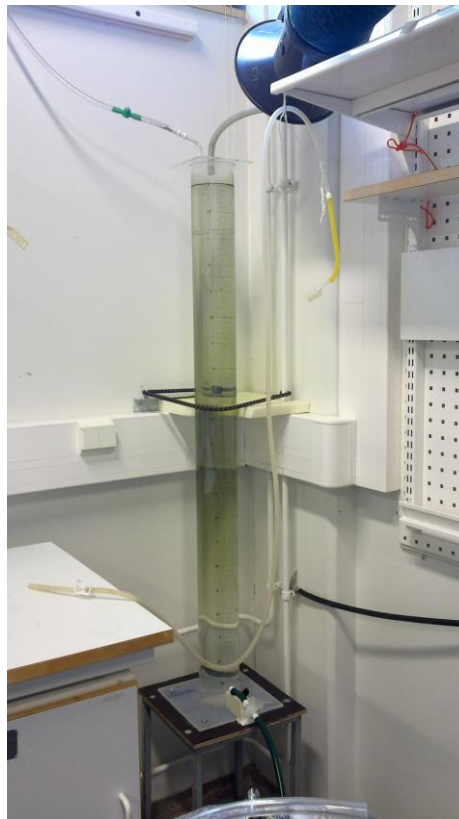
kossa ja lopuksi vain kerran viikossa. Biokaasun tilavuus ja metaanisisältö mitattiin samalla kerralla.

Kaasun koostumus analysoitiin kaasukromatografilla (Clarus500, kuva 14) liekki-ionisaatiodetektorilla (kolonni: Perkin Elmer Elite Alumina 30 m x 0,53 mm). Mittausolosuhteet olivat: uunissa 100 °C, detektorissa 225 °C ja injektorissa 250 °C. Argonia (14 ml/min) käytettiin kantaja-aineena. Kromatografian antamien pinta-alojen avulla laskettiin metaanipitoisuus kaavalla 1. Näytteiden metaanipitoisuus laskettiin toistojen keskiarvoista.

$$\text{Näytteen metaanipitoisuus (\%)} = A(N)/A(S)*C, \quad (1)$$

jossa $A(N)$ = ka. näytteen muodostamasta pinta-alasta
 $A(S)$ = ka. standardin muodostamasta pinta-alasta
 C = standardin metaanipitoisuus (%)

Biokaasun tilavuus mitattiin veden syrjäytys periaatteella (kuva 15). Tulokset on ilmoitettu normaaliolosuhteissa (21,0 °C ja 1,0048 bar). Biokaasukoe kesti yhteensä 50 päivää.



Kuva 15. Biokaasun tilavuus mitattiin vesipylvään avulla veden syrjäyttämisperiaatteella.

3.3 Teoreettisen metaanipotentialin laskeminen

Soinin kunnan teoreettinen metaanipotentiali jätejakeille laskettiin kaavalla 2.

$$\text{Materiaalin metaanipotentiali} = m * P * HV, \quad (2)$$

jossa m = massa (tFM)
 P = metaanintuottopotentiali (m³ /tFM)
 HV = lämpöarvo (10.0 kWh/m³ CH₄)

Naudan lietalannalle käytettiin laboratoriokokeesta saatua metaanintuottopotentialia. Sian lietalannalle ja hevosen kuivikelannalle laskettiin metaanintuottopotentialin vaihteluväli Palvan ym. (2009) ilmoittamien arvojen pohjalta (sian lietalanta 17–22 m³CH₄/tFM ja hevosen kuivikelanta 40–70 m³CH₄/tFM).

Yhdyskuntajäteveden metaanipotentiali laskettiin vuoden aikana muodostuneen kuivatun lietteen määrän perusteella niin, että metaanintuottopotentialin saatiin laboratoriokokeista. Myös kunnan sisällä erilliskerätyn biojätteen keskimääräinen metaanipotentiali laskettiin laboratoriokokeen tuloksista.

Kunnan sisäistä nurmen metaanipotentialia selvitettiin viherkesantojen ja luonnonhoitopeltojen hehtaarimäärien avulla. Viherkesantojen ja luonnonhoitopeltojen määrä on ollut viimeisten kolmen vuoden aikana suhteellisen vakiota (Koski 2012b), joten teoreettinen nurmipotentiali laskettiin vuoden 2012 tukihakemusten perusteella. Luonnonhoitopellon ja viherkesantojen oletettiin kasvavan nurmi-apilaseosta (67.5 % timoteita *Phleum pratense*, 22,5 % nurminataa *Festuca pratensis*, 10,0 % puna-apila *Trifolium pratense*). Nurmen metaanipotentialiksi oletettiin 28–38 MWh/ha (Lehtomäki ym. 2008) ja teoreettisen metaanisaannon vaihteluväli laskettiin kaavalla 3.

$$\text{Viherkesanto-/luonnonhoitopelto CH}_4\text{-potentiali} = S * P, \quad (3)$$

jossa S = metaanin bruttoenergiasaanto hehtaarilta (MWh)
 P = peltopinta-ala (ha)

Maatilakohtaisen biokaasulaitoksen (kuva 13) tuottama teoreettinen metaanipotentiali laskettiin niin, että biojätteen ja lietalannan seoksen sekä jätevedenpuhdistamon kuivatun lietteen ja lietalannan seoksen kokeellisesti määritetty metaanipotentialin keskiarvo (m³CH₄/tFM) kerrottiin näiden jätteiden materiaali- ja lämpöarvoilla. Lisäksi yhteishajotuksen metaanintuottoa vertailtiin erillishajotukseen metaanintuottoon kaavalla 4.

$$\text{Yhteishajotuksen metaanintuoton suhde erillishajotukseen (\%)} = T_1 - T_2 / T_2 * 100 \%, \quad (4)$$

jossa T_1 = yhteishajotuksen metaanintuotto (MWh)
 T_2 = erillishajotuksen metaanintuotto (MWh)

4 TULOKSET

4.1. Materiaalivirrat Soinin kunnassa

Tässä työssä selvitettiin Soinin kunnan sisällä muodostuneet erilliskerätyn biojätteen, maatalouden erilaisten lantajakeiden ja kunnallisen jätevedenpuhdistamon raakajätevesien määrät sekä teoreettinen timotei-apila-nurmen sato vuoden aikana. Kaikkia jakeita kertyy yhteensä vuoden aikana n. 156 000 tonnia (taulukko 6). Suurin yksittäinen orgaanisen jätteen lähde on kunnallisen jätevedenpuhdistamon raakajätevesi. Viimeisten vuosien aikana biojätteen ja jätevesien materiaalivirroissa on ollut melko suurta vaihtelua (liite 1).

Taulukko 6. Erilliskerätyn biojätteen, puhdistamon jäteveden ja maatalouden lannan materiaalivirrat (FM = tuoremateriaali) sekä teoreettinen timotei-apila-nurmi sato Soinin kunnassa vuoden 2011 ja 2012 tietojen perusteella.

Materiaali	tFM/v
Biojäte	35
Kunnallisen jäteved.puhd. yhdyskuntajätevesi	129 575
Jäteved.puhd. kuivattu liete	120
Maatalouden lanta	26 396
timotei-apila-nurmi*	2 592–3 564**
Yht.***	156 000

*ensimmäinen sato luonnonhoito- ja viherkesantopelloilta

** tTS/v

*** ei sisällä kuivatun lietteen määrää ja timotei-apila-nurmi laskettu mukaan kuiva-aineena

Maatalouden lantavirrat koostuvat vaihtelevasti nautojen, sikojen ja hevosten lantamääristä (IACS 2011, Koski 2012a). Suurin osa lannasta syntyy nautatiloilla, jossa lietelantaa syntyy vuosien 2011 ja 2012 tietojen perusteella 24 913 tonnia. Siat tuottavat lietelantaa 1 241 tonnia ja hevoset kuivikelantaa 242 tonnia. Kunnan sisäiset tarkemmat maatalouden lannan materiaalivirrat löytyvät liitteestä 2.

4.2 Laboratoriokokeen tulokset

4.2.1 Tuoremateriaalien TS- ja VS-pitoisuudet, tiheys, liukoinen-COD ja kokonaistyyppi sekä pH

Eri jättejakeille laskettiin kuiva-ainepitoisuudet ja orgaanisen aineen pitoisuudet. Selvästi eniten kuiva-ainetta oli erilliskerätystä biojätteestä (lähes 20 %). Lisäksi suurin osa biojätteen kuiva-aineesta oli orgaanista ainetta. Muiden jakeiden TS-pitoisuus vaihteli 5–15 %

välillä ja orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta oli pienempää kuin biojätteellä (taulukko 7).

Taulukko 7. Eri jätejakeille lasketut keskimääräiset TS- ja VS-pitoisuudet sekä keskihajonnat (P.liete = puhdistamon kuivattu liete, bio+lanta = biojätteen ja lannan seossuhde, p.liete+lanta = puhdistamon kuivatun lietteen ja lannan seossuhde).

Näyte	TS, ka.		VS, ka. (% tuore-		VS/TS (%)	STD (%)
	(%)	STD	materiaalista)	STD		
Ymppe	5,0	0,0	3,7	0,0	74,5	0,1
Biojäte	19,7	0,3	18,8	0,3	95,4	0
Lanta	10,6	0,0	9,1	0,0	86,0	0,1
P.liete	15,0	0,1	10,3	0,1	68,1	0,3
Bio+lanta	10,8	*	9,4	*	86,8	*
P.liete+lanta	11,1	*	9,2	*	83,4	*

* TS- ja VS-pitoisuudet laskettu eri jätejakeiden keskiarvoilla ja suhteilla (ei ko-keellisesti), joten keskihajonta ei ole laskettavissa

Tiheys määritettiin biojätteelle, lannalle ja Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon kuivatulle lietteelle (taulukko 8). Suurin tiheys oli biojätteellä (hieman yli 1000 g/l) ja pienin tiheys puhdistamon kuivatulla lietteellä (alle 800 g/l).

Liukoinen-COD ja kokonaistyyppi määritettiin kaikille yksittäisille jätejakeille (taulukko 8). Biojäte sisälsi selvästi eniten liukoista-COD:tä (n. 25 g/l). Ymppe sisälsi vähiten liukoista-COD:tä (hieman alle 6 g/l). Eniten tyyppiä oli jätevedenpuhdistamon kuivatussa lietteessä ja biojätteessä. Sen sijaan naudun lietelanta sisälsi tyyppiä hieman yli puolet vähemmän kuin puhdistamon kuivattu liete.

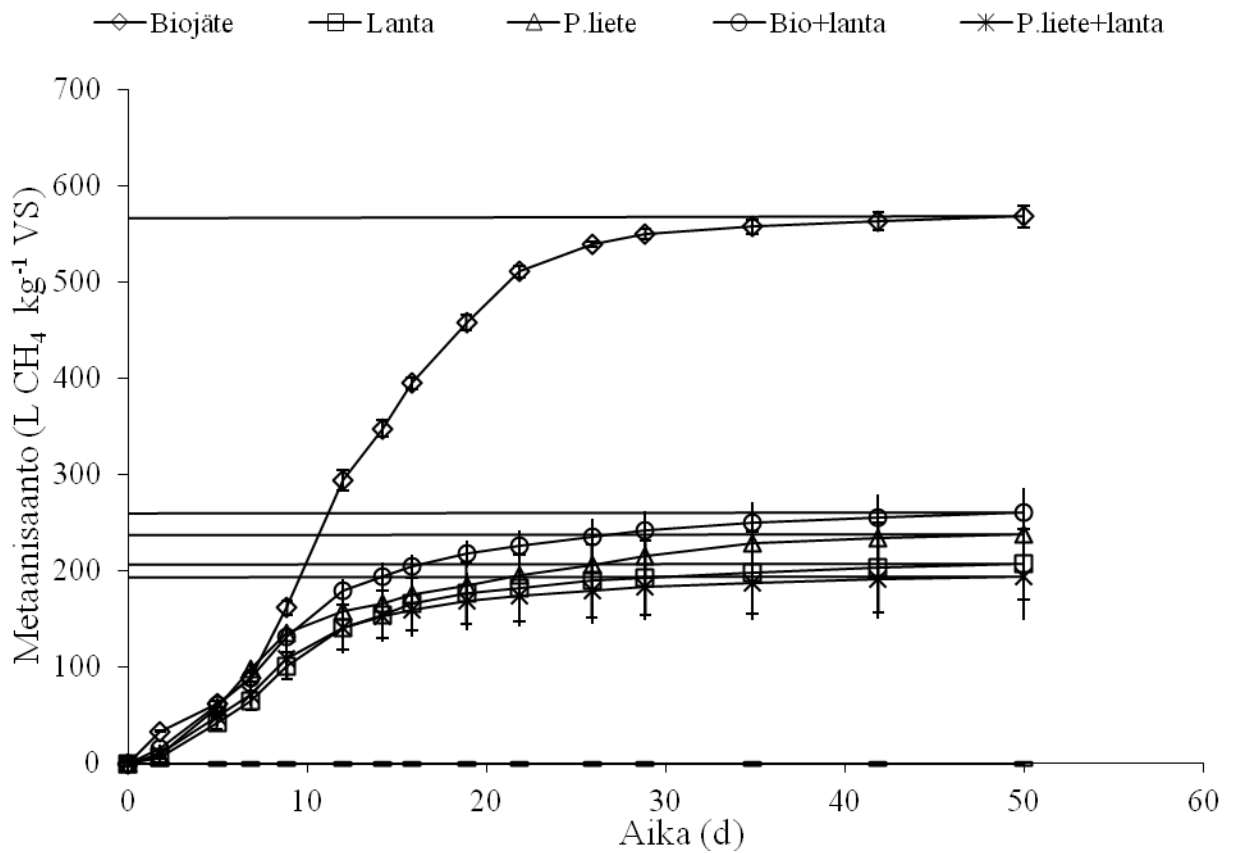
Taulukko 8. Keskimääräinen tiheys, liukoinen-COD ja kokonaistyyppi keskihajontoineen ympille, biojätteelle, lannalle ja puhdistamon kuivatulle lietteelle (P.liete = puhdistamon kuivattu liete).

Jätejake	Tiheys,		Liukoinen-		Kokonaistyyppi,	
	ka. (g/l)	STD	COD, ka. (g/l)	STD	ka. (g/l)	STD
Ymppe	-	-	5,6	1,1	3,4	0,1
Biojäte	1003	3,0	25,0	0,7	5,8	0,2
Lanta	938	7,9	12,1	0,6	4,4	0,0
P.liete	750	21,5	7,5	0,2	7,6	0,5

Panoskoepulloista mitattiin pH ennen ja jälkeen kokeen. pH mitattiin myös alussa lisätyn puskurin (NaHCO₃) jälkeen. Kaikkien panoskoepullojen pH vaihteli alkumittauksessa 7,33–7,94 välillä. Kokeen loputtua pH vaihteli 7,38–7,57 välillä.

4.2.5 Metaanintuottopotentiaali

Korkein metaanintuottopotentiaali tutkituista jättejakeista oli Soinin keskuskeittiöltä ja vanhainkoti Kotivaarasta haetulla erilliskerätyllä biojätteellä. Se tuotti metaania hieman alle 600 l/kgVS. Loput jätteet ovat metaanintuottopotentiaaliltaan hyvin lähellä toisiaan. Biojätteen ja lannan seossuhde, lanta sekä jäteveden puhdistamon kuivattu liete tuottivat metaania 200–300 l/kgVS. Puhdistamon kuivatun lietteen ja lannan seossuhde tuotti metaania alle 200 l/kgVS (kuva 16 ja taulukko 9).



Kuva 16. Keskimääräinen kumulatiivinen metaanintuotto ja vaihteluväli panoskoikeesta jättejakeittain (p.liete = jätevedenpuhdistamon kuivattu liete, bio+lanta = biojätteen ja lannan seossuhde, p.liete+lanta = jätevedenpuhdistamon kuivatun lietteen ja lannan seossuhde).

Taulukko 9. Jätejakeiden ja seossuhteiden metaanintuottopotentiali sekä keskihajonta TS- ja VS-pitoisuuksiin sekä tuoremateriaaleihin suhteutettuna.

Jätejake	L-CH ₄ /kg-VS	STD	L-CH ₄ /kg-TS	STD	L-CH ₄ /kg-FM	STD
Biojäte	568	11	542	11	107	2
Lanta	207	37	178	32	19	3
P.liete	238	13	162	9	25	1
Bio+lanta	260	25	226	22	25	2
P.liete+lanta	194	45	162	38	18	4

4.2.6 TS ja VS poistuma kokeen aikana

Laboratoriokokeen jälkeen laskettiin mitatuista tuloksista jokaisen jätejakeen kuiva-aineen ja orgaanisen aineen poistuma. Erityisen paljon poistumaa oli biojätteessä (yli 80 %), kun taas muissa jätejakeissa ja seossuhteissa TS poistuma oli 32–40 % ja VS poistuma 44–48 % (taulukko 10).

Taulukko 10. TS ja VS poistuma (%) panoskokeen aikana jätejakeittain/seossuhteittain (ympin osuus vähennetty; p. liete = puhdistamon kuivattu liete).

Poistuma	Naudan liete-				
	Biojäte	lanta	P. liete	Biojäte+lietelanta	P.liete+lietelanta
TS poistuma (%)	83	32	32	40	36
VS poistuma (%)	88	44	46	48	44

4.3 Metaanipotentiali Soinin kunnassa

Erilliskerätyn biojätteen, yhdyskuntajäteveden kuivatun lietteen ja maatalouden lannan teoreettinen metaanipotentiali kunnan sisällä on n. 5,1–5,2 GWh. Lisäksi luonnonhoitopeltojen ja viherkesantojen metaanipotentiali (timotei-apila-nurmiseoksella laskettuna) ensimmäisen korjuukerran osalta on n. 9,1–12,3 GWh. Yhteensä Soinin kunnan sisäinen metaanipotentiali on yllä mainituille materiaaleille n. 14,1–17,5 GWh (taulukko 11). Maatalouden lannan eläinkohtainen metaanipotentiali löytyy liitteestä 2.

Taulukko 11. Soinin kunnan vuosittaiset materiaalivirrat ja niiden teoreettisen metaanipotentiali erilliskerätyn biojätteen, yhdyskuntajäteveden, maatalouden lannan ja timotei-apila-nurmen osalta (vuosien 2011–2012 tietojen perusteella).

Materiaali	Tonnia,v	Teor. CH₄ -saanto, m³	Energiaa, MWh
Biojäte ¹	35	3 700	37
Yhdyskuntajätevesi ²	130 000		
Puhdistamon kuivattu liete ³	120	2 900	29
Maatalouden lanta ⁴	26 400	500 000	5 000
timotei-apila-nurmi ⁵	2 600–3 600 TS ⁶	900 000–1 200 000	9 000–12 300
Yht.	156 000 ⁷	1 400 000–1 750 000	14 100–17 500

¹ Materiaalivirrat: Korkea-aho 2012, metaanipotentiali: laboratoriotutkimus

² OIVA 2012

³ Materiaalivirrat: Leppänen 2012, Mäki 2012, metaanipotentiali: laboratoriotutkimus

⁴ Materiaalivirrat: IACS 2011, Metaanipotentiali: naudan liettelanta laboratorioskokeella, Sian liettelanta ja hevosen kuivikelanta Palva ym. 2009

⁵ Ensimmäinen sato, saanto/ha: Lähteet: Kangas ym. 2012, metaanipotentiali: Lehtomäki ym. 2008

⁶ Kuiva-ainetonnina

⁷ Puhdistamon kuivattua liete sisältyy yhdyskuntajäteveeseen

4.3.1 Maatilakohtaisen biokaasulaitoksen metaanipotentiali

Tässä tutkimuksessa esimerkkinä käytetty maitotila tuottaa n. 2000 tonnia naudan liettelantaa vuodessa (taulukko 4). Mikäli tämä liettelantamäärä hajotettaisiin anaerobisesti erilliskerätyn biojätteen (35 t) ja kunnallisen jätevedenpuhdistamon kuivatun lietteen (120 t) kanssa erikseen omissa reaktoreissa, tuottaisi se energiaa kokeellisen tutkimuksen mukaan yhteensä 453 MWh vuodessa (taulukko 12 ja kuva 17). Yhteishajotus antaa n. 2,3 % paremman metaanisaannon erillishajotukseen verrattuna.

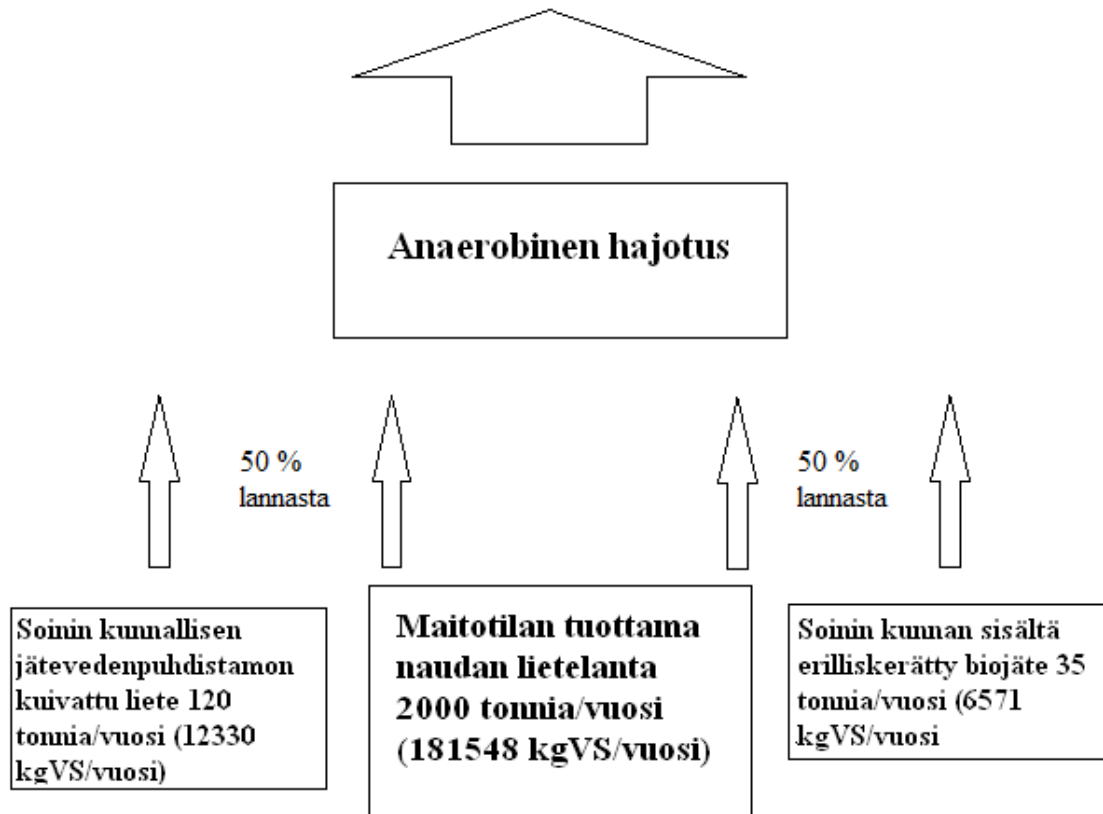
Taulukko 12. Seossuhteiden määrät, teoreettinen metaanisaanto ja energiamäärä esimerkkinä käytetyllä maitotilalla.

Seossuhde	Tonnia/v	Metaanisaanto,ka., m³	Energiasaanto, ka., MWh
Biojäte+liettelanta*	1035	25 358	254
Puhdistamon liete+liettelanta**	1120	19 936	199
Yht.	2155	45 294	453

*Oletuksena 35 tonnia erilliskerättyä biojätettä ja 1000 tonnia liettelantaa vuodessa

**Oletuksena 120 tonnia jätevedenpuhdistamon kuivattua lietettä ja 1000 tonnia liettelantaa vuodessa

Teoreettinen metaanipotentiaali 453 MWh vuodessa



Kuva 17. Panoskoikeiden metaanintuottopotentialeilla laskettu teoreettinen metaanipotentiaali esimerkikimaatilalla.

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Materiaalivirrat ja metaanipotentiali jätejakeittain Soinin kunnassa

Materiaalivirrat ja sitä kautta teoreettinen metaanipotentiali ovat tutkimuksen kannalta haasteellisia, sillä viime vuosina niiden määrissä on ollut ainakin erilliskerätyn biojätteen osalta hyvin suurta vaihtelua (liite 1). On hyvin mielenkiintoista, miksi erilliskerätyn biojätteen määrä on laskenut niin voimakkaasti viimeisten vuosien aikana. Leipäjoen (2012) mukaan syynä voi olla einesten lisääntynyt käyttö ruoanlaitossa tai parantunut jätteiden lajittelu. Toisaalta halu kompostoida biojätteet erilliskeräyksen sijaan voi tulevaisuudessa lisääntyä, jos jätehuoltomaksut nousevat. Korkea-ahon (2012) mukaan Soinista erilliskerätyn biojätteen määrä on ollut pienempää verrattuna esimerkiksi Alajärven (154,42 t), Vimpelin (79,34 t) tai Lappajärven (101,02 t) erilliskerätyn biojätteen määrään vuonna 2011. Soinissa kerättiin asukasta kohden biojätettä vuonna 2011 (suhteutettu v. 2012 asukasluvuun) n. 14,7 kg, Alajärvellä n. 14,9 kg, Vimpelissä n. 24,7 kg ja Lappajärvellä n. 29,5 kg (Korkea-aho 2012, Väestörekisterikeskus 2012).

Sen sijaan taantunut maatalous on vähentänyt lannan määrää. Tästä antoi viitteitä lopettaneiden maatilojen karsiminen vuoden 2011 tiedoista (IACS 2011). Toisaalta lannan laskentatapa olettaa eläinten iän ja tilojen eläinmäärään vakioksi, mikä ei vastaa todellista tilannetta. Esimerkiksi vuoden alussa syntynyt nauta tuottaa loppuvuodesta enemmän lantaa kuin alkuvuonna. Laskuissa ei lisäksi huomioitu, minkälaisissa navetoissa eläimet oleskelevat, ja kuinka paljon eläimet laiduntavat vuoden aikana. Laidunnus vaikeuttaisi lannan keruuta merkittävästi. Toisaalta laskuissa ei esimerkiksi kiinnitetty eläinten käyttämien kuivikkeiden määrää muuta kuin hevosenlantaa laskettaessa. Lisäksi maitotiloilla syntyvien ns. maito-ohoneiden jätevesien määrää ei huomioitu. Maito-ohoneiden jätevedet johdetaan monessa tapauksessa lietesäiliöön, jolloin lannan sekaan voi päästä lisää hajoavaa orgaanista ainesta. Maatalouden teoreettinen metaanipotentiali voi siis olla todellisuudessa suurempi kuin tässä tutkielmassa annetaan olettaa, sillä orgaanista alkuperää olevat kuivikkeet ja maito-ohoneiden jätevedet voivat parantaa hajotusta.

Vaikka jätevedenpuhdistamon virtaamisissa on ollut vaihtelua, on Mäen (2012) ja Leppäsen (2012) mukaan kuivatun lietteen määrä ollut viime vuosina melko samansuuruisia. Jätevedenpuhdistamon virtaamisissa on itse asiassa ollut pitkällä aikavälillä jopa nouseva trendi, mikä selittyisi uusilla viemäriverkostoon liittyneillä kiinteistöillä. On siis paljon mahdollista, että puhdistamon kuivatun lietteen määrä saattaa lisääntyä seuraavien vuosien aikana,

sillä jätevesilainsäädännön tiukennukset voivat houkutella kiinteistöjä liittymään viemäriverkkoon. Lisäksi väestön ikääntyessä syrjäkylien väestöstä yhä suurempi osa saattaa muuttaa keskustan alueen asuntoihin, jotka kuuluvat viemäriverkon piiriin. Tuloksiin tuo epävarmuutta toisaalta se, ettei kuivatun lietteen määrää ole tilastoitu tarkasti.

Myös kunnan nurmipotentiaaliin liittyy epävarmuutta. Laskuissa oletettiin nurmisaannoksi 8–11 tTS/ha (Kangas ym. 2012), vaikka nurmisaannot ovat olleet viimeaikoina todellisuudessa valtakunnallisesti paljon pienempiä. ProAgrian (2012) mukaan keskimääräinen nurmisato hehtaarilta on vaihdellut viimeisten 10 vuoden aikana n. 5–6 tTS/ha välillä. Mikäli lasketaan kunnan nurmipotentiaalia pienemmillä saannoilla, alentaa se kunnan kokonaismetaanipotentiaalia jopa useita gigawattitunteja.

Aikaisemmat tutkimukset tukivat tämän tutkimuksen laboratoriokokeiden tuloksia varsin hyvin. Tiheyden määrittämisessä epävarmuutta toi kuitenkin biojätteen ja puhdistamon lietteen mittaustavat. Biojäte ei ollut riittävän nestemäistä sopimaan 1000 ml mittalasiin, vaan sitä jouduttiin koputtamaan jonkin verran pöydän pinnalle ilmataskujen umpeen kuromiseksi. Sen sijaan standardi (European standard 13040:2006) ei sopinut kovinkaan hyvin puhdistamon kuivatun lietteen tiheyden määrittämiseen. Lietettä jouduttiin painamaan määrittämisessä käytetyn silmikon läpi varsin voimakkaasti, mikä ei standardin mukaan ole sallittua. Liette oli lisäksi tahmeaa, mikä vaikeutti standardin tarkkaa noudattamista entisestään.

Liukoisen-COD:n ja kokonaistypen määrittämisestä saadut pienet keskihajonnat kertovat sen sijaan onnistuneista tutkimustuloksista. Saaduissa pitoisuuksissa on suhteellisen vähän vaihtelua, joten näytteet olivat tasalaatuisia ja määrittämisajan aikana ei tullut suuria mittausvirheitä. Vertailemalla jätteiden keskinäisiä pitoisuuksia toisiinsa, huomataan lisäksi pitoisuuksissa oikea suuruusluokka. Esimerkiksi vielä hajoamattomana olleessa biojätteessä on huomattavasti enemmän orgaanista ainetta (liukoinen-COD) kuin lannassa tai puhdistamon kuivatussa lietteessä.

Myös hajotuskokeita voidaan pitää onnistuneina, koska panoskokeen lopussa määritetyt pH:t vaihtelivat 7,38–7,57 välillä. Tämä kertoo siitä, että metanogeneesi on toiminut oikein, eivätkä näytteet sisältäneet merkittävästi hajoamattomia orgaanisia happoja. pH olisi ollut alhaisempi, mikäli hajoamattomia orgaanisia happoja olisi ollut runsaasti. Kaikki yksittäiset jätejakeet osuivat lisäksi taulukossa 1 annettujen metaanipotentiaalien vaihteluvä-

lien alueelle. Erilliskerätty biojäte tuotti jopa huomattavasti keskimääräistä enemmän metaania.

Soinin kunnan teoreettinen metaanipotentiali on tutkittujen materiaalien osalta 14,1–17,5 GWh (ka. 15,8 GWh). Mikäli metaanipotentialista vähennetään Tuppuraisen (2012) mukaan biokaasulaitoksen energiantuotannon hyötysuhde (0,8) ja laitoksen ylläpitoon vaadittava energia (20 % tuotetusta energiasta), luku vastaa 43–53 % kunnan vuoden 2011 kokonaissähkönkulutuksesta (21 GWh). Toisaalta se vastaa 82–102 % pelkän maatalouden ja asumisen kokonaissähkönkulutuksesta (11 GWh) vuonna 2011. Mikäli lasketaan EJ Lämmön tuottama vuosittainen nettolämpöenergia (n. 11 GWh) ja kunnan kokonaissähkönkulutus vuonna 2011 yhteen, vastaa teoreettinen metaanipotentiali energiankulutuksesta 28–35 %. Toisaalta kunnan metaanipotentiali vastaa nettona n. 650–800 henkilöauton vuosittaista polttoaineenkulutusta (14 MWh/auto) tai n. 450–550 omakotitalon vuosittaista lämmitysenergian tarvetta (20 MWh/talo).

Peura & Hyttinen (2011) ovat laskeneet, että Soinin kunnan biokaasupotentiali olisi 16 GWh vuodessa, jos lasketaan yhteen maatalouden lanta ja kesantomaiden nurmipotentiali. Tässä tutkielmassa saatu metaanipotentiali antaa viitteitä hyvin samankaltaisesta biokaasupotentialista, ja 16 GWh biokaasupotentiali osuu tässä tutkielmassa saadun vaihteluvälillä alueelle (14,1–17,5 GWh/v). Puhdistamon kuivatun lietteen ja biojätteen materiaalivirrat ovat suhteessa paljon pienempiä nurmi- ja lantapotentialiin verrattuna, joten niiden metaanipotentiali ei vaikuta juurikaan kunnan kokonaismetaanipotentialiin. Yhdyskuntien orgaaniset jätteet voivat tarjota kuitenkin biokaasuprosessia tasapainottavan raaka-aineen sekä tehostaa orgaanisten jätteiden käsittelyä. Peuran & Hyttisen (2011) mukaan Soinin kunnan uusiutuvan energian potentiali on yhteensä 96 GWh, kun lukuun lasketaan peltoenergia (oljet ja rapsin korjuujätteet), biokaasu (maatalouden lanta ja kesantomaat) ja metsäenergia (hakkuutähteet). Tässä tutkielmassa saatu biokaasupotentiali vastaa bruttona siis n. 15–18 % koko kunnan uusiutuvan energian potentialista biomassojen osalta.

Biokaasupotentiali on alue- ja maakuntatasolla varsin iso energioresurssi, jota voitaisiin hyödyntää lähienergiantuotantoon. Järvi-Pohjanmaan yhteistoiminta-alueella (Alajärvi, Vimpeli ja Soini) biokaasupotentiali (maatalouden lanta ja kesantomaat) on 41 GWh, josta Soinin osuus on n. 39 %. Sen sijaan koko Etelä-Pohjanmaan biokaasupotentialiksi on arvioitu samalla laskentatavalla 609 GWh, josta Järvipohjanmaan yhteistoiminta-alueen osuus on n. 6,7 % ja Soinin n. 2,6 % (Peura & Hyttinen 2011).

Kunnan materiaalivirtojen ja metaanipotentialin kehitys näyttää pitkällä aikavälillä epävarmalta. Soini on pitkään ollut muuttotappioaluetta ja karjatilojen määrä on ollut voimakkaassa laskussa. Nämä tekijät vaikuttavat orgaanisen jätteen materiaalivirtoihin merkittävästi. Käytännössä tilanne voisi tarkoittaa sitä, että jätevedenpuhdistamon kuormitus heikenee ja lannan sekä erilliskerätyn biojätteen määrät laskevat tulevien vuosikymmenien kuluessa. Lisäksi osa kunnan sisällä sijaitsevista pelloista voi joutua tulevaisuudessa maatalouden ulkopuolelle esim. metsittämisen johdosta, millä on suoria vaikutuksia nurmipotentialiin. Toisaalta entisillä turvetuotantoalueilla on mahdollista viljellä ruokohelpeä tai nurmea (Vapo 2012). Tämä voi kasvattaa kunnan energiakasvipotentialia merkittävästi, mikäli turvetuotantoalueita ei metsitetä tai ennallisteta. Soinissa on merkittävä määrä turvetuotantoalueita, joista osa poistuu turvetuotannon piiristä tulevien vuosikymmenien kuluessa.

5.2 Esimerkkimaatilan metaanipotentiali

Tässä työssä tutkittiin esimerkkimaatilan teoreettista metaanipotentialia laboratorionkokeella. Laboratorionkokeesta saadut tulokset kertovat teoreettisesta metaanipotentialista, mikäli puhdistamon kuivattua lietettä ja biojätettä hajotettaisiin maatilalla erillään lietelantaa sekoitettuna. Seossuhteiden metaanipotentialit näyttäisivät olevan realistisia yksittäisten jättejakeiden suhteellisiin määriin verrattuna. Lisäksi tutkimus tukee aikaisempia tutkimuksia yhteishajotuksen kaasuntuottoa lisäävästä vaikutuksesta (esim. Edelman ym. 2000, Hartmann & Ahring 2005, Holm-Nielsen ym. 2009). Yhteishajotus antaisi laboratorionkokeen perusteella n. 2,3 % paremman metaanisaannon yksittäisten jätteiden hajotukseen verrattuna. Esimerkiksi Hartmannin & Ahringin (2005) tutkimukset antavat hyvin samankaltaisia tuloksia naudan lannan ja biojätteen yhteishajotuksesta samoilla seossuhteilla. Jos erilliskerättyä biojätettä, puhdistamon kuivattua lietettä ja naudan lietelantaa hajotettaisiin anaerobisesti yksittäin samalla määrällä, tuottaisi se laboratorionkokeen perusteella energiaa samalla laskutavalla teoriassa 443 MWh vuodessa (yhteishajotus 453 MWh vuodessa). Maranon ym. (2012) mukaan parhain metaanisaanto lannan, orgaanisen jätteen ja jätevedenpuhdistamon lietteen seoksella saadaan, kun hajotettavan seoksen VS osuudesta on 70 % naudan lantaa, 20 % orgaanista yhdyskuntajätettä ja 10 % jätevesilietteitä.

Maatilakohtainen biokaasulaitos sisältäisi materiaalin vastaanoton ja varastoinnin, mahdollisen esikäsittelyn ja hygieniasoinnin, reaktorikäsittelyn, jälkikäsittelyn ja käsittelyjäännöksen peltotelevityksen sekä biokaasun käsittelyn (kuva 4). Sivutuoteasetus (Direktiivi

2002/1774/EY) vaatii aina puhdistamo-, sako- ja umpikaivolietteen hygienisointia, joten biojätteen ja puhdistamon kuivatun lietteen pitäminen erillään säästäisi kustannuksia. Hygienisointi voidaan tehdä ennen tai jälkeen reaktorikäsittelyn. Jätevedenpuhdistamon lietteelle ei vaadita hygienisointia biokaasulaitoksella, jos se on tehty jo muualla (esim. jätevedenpuhdistamolla). Toisaalta myös biojäte vaatii erillisen hygienisoinnin, jos prosessi toimii mesofiilisesti ($+35^{\circ}\text{C}$) (Lehtomäki ym. 2007a). Yksinkertaisimmin maatilakohtainen biokaasulaitos sisältäisi siis esikäsittelyssä puhdistamon kuivatun lietteen hygienisoinnin ($+70^{\circ}\text{C}$, 1 tunti) ja sen jälkeen kaikkien materiaalien yhteishajotuksen termofiilissä oloissa samassa reaktorissa.

Mikäli tilalla käytetään puhdistamon lietteitä lannoituksessa, tulee käytön yhteydessä huomioida VNp 282/1994, jossa määritellään sallitut levityskohteet ja haitallisten aineiden pitoisuudet. Biokaasuyrittäjää koskee myös Lannoitevalmistelaki 539/2006, jota sovelletaan lannoitevalmisteiden raaka-aineiden valmistukseen, markkinointiin, käyttöön, kuljetamiseen sekä osittain myös niiden valmistamiseen omaan käyttöön.

Esimerkkinä käytetyn maatilakohtaisen biokaasulaitoksen metaanipotentialiin täytyy suhtautua varovasti, sillä esim. Tähten & Rintalan (2010) mukaan biojätteiden esikäsittelystä syntyvä rejektivesi saattaa viedä biojätteistä 10 % pois ja vähentää näin ollen hajoavan orgaanisen aineen määrää. Toisaalta maatilakohtaisten biokaasulaitosten reaktorityyppi vaikuttaa oleellisesti hydrauliseen viipymään ja sitä kautta metaanisaantoon. Ilmoitettu metaanipotentiali kertoo lähinnä teoreettisesta saannosta, ei siis jonkin käytetyn prosessitekniikan tuottamasta metaanista.

Taulukossa 13 on verrattu soinilaisen maitotilan teoreettista metaanipotentialia muutamiin muihin Suomessa toimivien maatilakohtaisten biokaasulaitosten tuotettuihin energiamääriin. Soinilaisen tilan metaanituottoa olisi mahdollista parantaa huomattavasti esimerkiksi syöttämällä nurmea reaktorin lisäraaka-aineeksi. Esimerkkinä käytetyn soinilaisen maatilalan energiankulutus oli 224 MWh (tilan sähkönkulutus, käytetty polttoöljy ja maidon hukkalämmöllä tuotettu energia) vuonna 2010 (Laasasenaho 2011). Näin ollen maatila voisi olla yliomavarainen energian suhteen. Teoreettisesti, energiankulutusta ja energiasaantoa vertaamalla, tila voisi tuottaa lämpöä ja sähköä (taulukko 13) tilan ulkopuolelle myytäväksi oma sähkönkulutuksen (160 MWh/v, tilan asunto sähkölämmityksellä ilmoitetun sähkönkulutuksen aikana; lämmitys nykyisin maalämmöllä, joka kuluttaa jonkin verran sähköä) vähentämisen jälkeen laboratoriotutkimuksen metaanisaannon perusteella 130 MWh.

Energiamäärä vastaa hieman alle 10 auton vuosittaista polttoaineen kulutusta (7 m³ metaania/100 km, 20 000 km/v) tai 6,5 omakotitalon vuosittaista lämmitysenergian tarvetta (20 MWh/talo/v).

Taulukko 13. Soinilaisen maitotilan teoreettisen metaanipotentialin vertailu eräiden suomalaisten maatilakohtaisten biokaasureaktoreiden tuotetun sähkön ja lämmön määrään vuonna 2010 (Huttunen & Kuittinen 2011).

Maatila	Tuotettu biokaasu (1000 m ³)	Tuotettu energia yht., MWh/v (sähkö+lämpö tai pelkkä lämpö)
Soinilainen maitotila (yhteishajotus)	75*	290***
Hannula, Ylivieska	65 **	294
Junttila, Nivala	40 **	239
Kalmari, Laukaa	150**	780
Koivunen, Virrat	200**	976
Kotimäki, Halsua	150**	777
MTT, Maaninka	82	399
Virtaala, Haapavesi	36**	203
Haapajärven ammattiopisto	44	239

*jos biokaasusta 60 % metaania

**arvio

*** jos tuotettu metaani palaa CHP-laitoksella hyötysuhteella 0,8 ja reaktorin ylläpito kuluttaa tuotetusta energiasta 20 % (Tuppurainen 2012)

5.3 Maaseutukuntien rooli biokaasun tuotannon ja käytön edistäjinä

Maaseudun kolmijaottelun mukaan yli 90 % Suomen alueesta luokitellaan maaseudeksi. Maaseudulla asuu 42 % väestöstä, mutta ainoastaan 32 % työpaikoista sijaitsee alueella (MMM 2012). Suomessa oli Soinin kaltaisia 2000–3000 asukkaan kuntia 43 vuoden 2011 lopussa. Näiden kuntien maapinta-ala oli yhteensä n. 5,1 % koko maan maapinta-alasta. Asukkaita kunnissa oli hieman yli 100 000, mikä oli koko maan väkiluvusta n. 2 % vuoden 2011 lopussa (Kuntaliitto 2012). Bioenergia on maaseudulle aluetaloudellisesti tärkeä tekijä ja uusiutuva energia voi tarjota maaseudulle tuhansia työpaikkoja tulevaisuudessa (MTK 2012). Uusiutuvan energian hyödyntäminen maaseudulla paikalliseen käyttöön voisi hillitä poismuuttoa ja tuoda kuntiin verotuloja. Materiaalivirtoihin pohjautuvia metaanipotentialitarkasteluja on tehty valtakunnallisesti (Tähti & Rintala 2010) ja alueellisesti maakuntatasolla (esim. Vääntinen 2010 ja Kinnunen 2011). Tämä tutkielma auttaa hahmottamaan metaanipotentialin mahdollisuuksia paikallisesti kuntatasolla etenkin harvaan asutulla maaseudulla. Pienten maaseutukuntien ongelmana ovat erityisesti yksittäisten orgaanisten jättejakeiden pienet materiaalivirrat (muut kuin lanta). Monipuolisella hyödyntämisellä voi-

daan kuitenkin kasvattaa laitospöytä, tuotetun energian määrää ja taloudellista kannattavuutta.

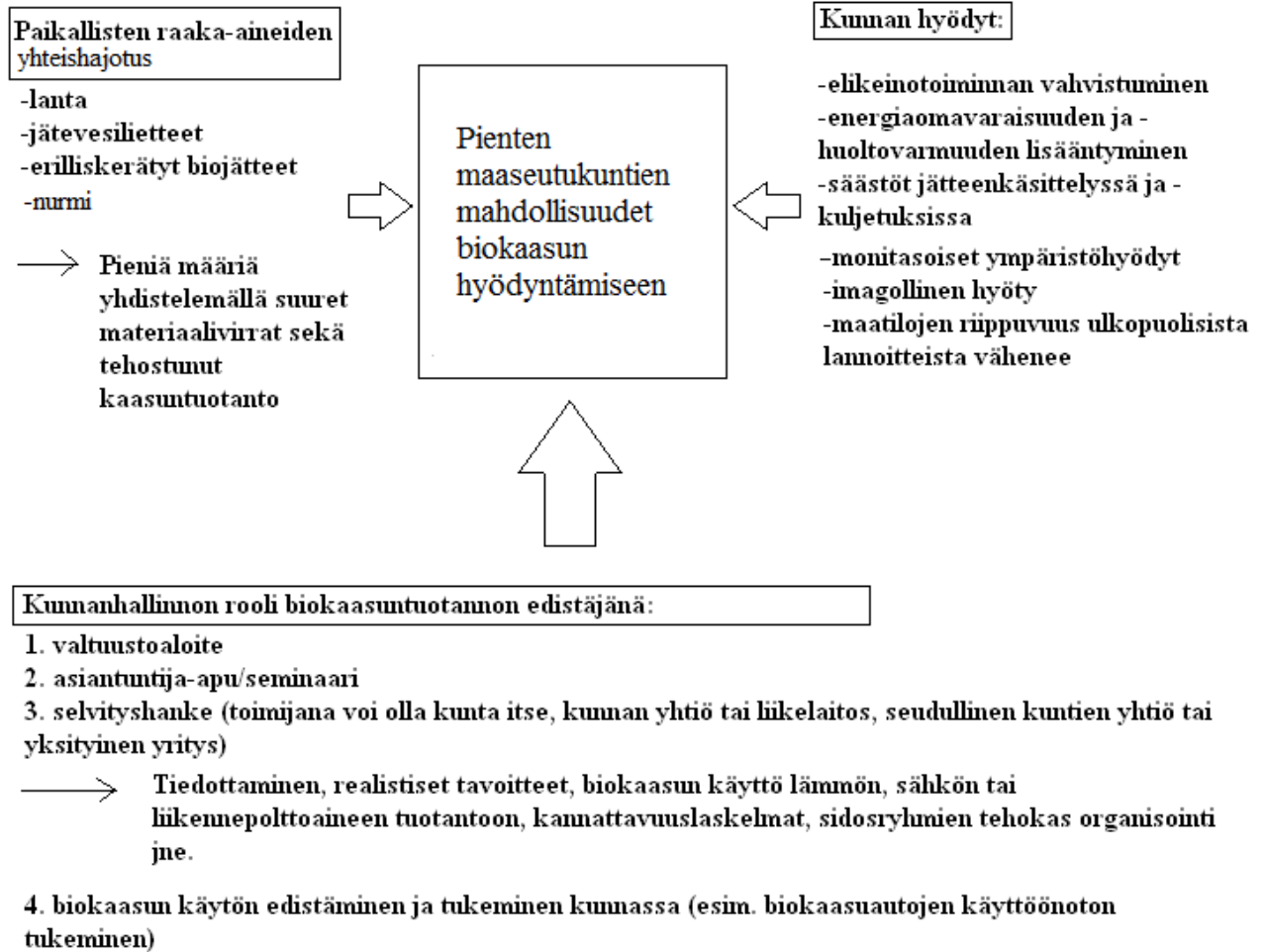
Suomen tavoite uusiutuvan energian osuudeksi energiankulutuksesta on 38 % vuoteen 2020 mennessä (Direktiivi 2003/30/EY). Tavoitteiden saavuttamiseksi tulee perustaa suurten yksiköiden rinnalle koordinoituja hajautettuihin ratkaisuihin perustuvia energiajärjestelmiä, sillä bioenergian lisäämisen mahdollisuudet ovat pientuotannon hajauttamisessa. Tämä voidaan saavuttaa maaseudun voimavaroihin perustuvalla yritystoiminnan vahvistamisella, työskentelymahdollisuuksien kehittämällä ja neuvonnan lisäämisellä (Maaseutupolitiikan yhteistyöryhmä 2009, MMM 2007). MMM:n (2004a) mukaan uusiutuvien luonnonvarojen kestävä käyttö vaatii maaseudun kehittämistä. Esimerkiksi Soinin kunnan suhteellisen korkeaan työttömyysasteeseen (Tilastokeskus 2012) voidaan puuttua uusiutuvan energian työllistävillä vaikutuksilla.

Pienten maaseutukuntien metaanipotentiaali on merkittävä energiaressurssi. Mikäli oletettaisiin, että Suomen kaikkien 2 000–3 000 asukkaan kuntien metaanipotentiaali vaihtelisi 10–20 GWh välillä vuodessa, vastaisi energiamäärä 430–860 GWh:a eli n. 30 000–60 000 auton vuosittaista polttoaineen kulutusta tai n. 20 000–40 000 omakotitalon lämmitysenergian tarvetta. Toisaalta jos oletettaisiin, että kaikissa 2 000–3 000 asukkaan kunnissa olisi yksi esimerkkimaatilan kokoluokan biokaasulaitos (nettoenergiaa 290 MWh/v), voisi kokonaisenergiatuotanto olla vuodessa 12,5 GWh. Pienissä maaseutukunnissa sijaitsevilla maatilakohtaisilla biokaasulaitoksilla olisi mahdollista tyydyttää useiden satojen omakotitalojen ja autojen energiankulutus vuodessa. Oletus kuitenkin sisältää sen, että kaikissa näissä kunnissa olisi resursseja biojätteiden, jätevedenpuhdistamoiden lietteiden, lantojen ja nurmen osalta. Tämä ei kuitenkaan välttämättä toteudu, sillä pienissä maaseutukunnissa on huomattavia maantieteellisiä eroja (ks. kuva 7). Asukasluvun perusteella voidaan tehdä karkeita arvioita esimerkiksi vain biojätteen ja jätevedenpuhdistamon lietteiden määrille. Maatalous ja sitä kautta nurmipotentiaali sekä lantamäärät ovat kuntakohtaisia. Laajempaa tarkastelua kuntakohtaisista eroista ei tässä työssä kuitenkaan tehty.

Kunnan rooli on tärkeä, sillä se on mukana paikallisen liiketoiminnan ohjaamisessa. Jotta biokaasun käyttö ja tuotanto yleistyisivät, tulisi kuntien huomioida biokaasuntuotanto nykyistä paremmin. Biokaasun tuotanto ja käyttö saattavat hyödyttää paikallista yritystoimintaa ja vähentää energiantuontia kunnan ulkopuolelta. Orgaanisten jätteiden käsittelymaksut saattavat pienentyä, sillä jätteitä ei tarvitse kuljettaa kauaksi käsiteltäväksi. Toisaalta bio-

jätteiden anaerobinen hajottaminen on taloudellisesti kannattavampaa kuin kompostointi tai jätteiden poltto (Edelmann ym. 2000, Suomen Biokaasuyhdistys 2012). Maakaasuverkon alueella voidaan puhua jopa energiaviennistä, jos biometaanua pumpataan verkoston putkeen. Kunta voi tukea biokaasun tuotantoa esimerkiksi hankkimalla käyttöönsä kaasuautoja tai ostamalla ympäristöystävällistä sähköä ja lämpöä (Gustafsson & Stoor 2008, Suomen Biokaasuyhdistys ry 2012). Kunnat voivat tätä kautta olla tukemassa kestävästi tuotettua uusiutuvaa energiaa.

Kunta voi laukaista biokaasun tuotantoon liittyvän esiselvityshankkeen tai olla osapuolena sellaisessa. Eurooppalaisten kuntien tapauksessa esim. liikennebiokaasuprojekteissa aloittajana on usein kunnallinen jäteyhtiö, mutta monesti toiminnan edistyessä uudelle liiketoiminnalle perustetaan oma yhtiö. Biokaasuliiketoiminnan edistyessä ja hahmottuessa on syytä asettaa realistiset tavoitteet ja tehdä kannattavuuslaskelmia. Toisaalta esimerkiksi liikennebiokaasuhankkeissa toiminnalle on syytä tehdä jatkosuunnitelmia jo hyvissä ajoin, ettei kysyntä ylitä tarjontaa (Suomen Biokaasuyhdistys ry 2012). Esimerkiksi Ruotsissa kunnat ovat tarttuneet toimeen biokaasulaitosten perustamiseksi. Syventävän kuntapäätäjän oppaan mukaan monta kymmentä ruotsalaista kuntaa joko omisti kokonaan tai osittain biokaasun tankkausasemia vuonna 2009 (Lampinen & Laakkonen 2010). Kuvassa 18 on koottu pienten maaseutukuntien mahdollisuuksia biokaasun hyödyntämiseen.



Kuva 18. Pienten maaseutukuntien mahdollisuudet biokaasun hyödyntämiseen. Kunnan rooli materiaalivirtoja rajaavana tekijänä ja biokaasun käyttöönottoa edistävänä toimijana sekä kunnan saavuttamat hyödyt biokaasuntuotannosta (Suomen Biokaasuyhdistys ry 2012 ja Gustafsson & Stoor 2008 mukailten).

Biojätteiden ja lietteiden käsittely maatilakohtaisella biokaasulaitoksella hyödyttää sekä maatilayrittäjää että kuntaa. Kunnat voivat säästää jätteenkäsittelymaksuissa ja kuljetuksissa. Esimerkiksi Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon ympäristölupapäätöksessä (2001) mainitaan, että kuivattu liete tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää hyödyksi esim. viherrakentamisessa. Lietteen käsitteleminen biokaasulaitoksessa tarjoaisi sekä energian talteenoton että paremmat lietteen hyödyntämismahdollisuudet. Käsittelyjäännöksen myötä mineraalilannoitteiden tarve maatilalla saattaa vähentyä, kun lannoitetta saadaan omasta takaa. Toisaalta biokaasulaitos tarjoaa hyvän tavan käsitellä lantaa, mikäli maatilalla ei ole tarpeeksi peltopinta-alaa lannan levitystä varten. Lisäksi maatalousyrittäjä voi saada tuloja jätteenkäsittelyn porttimaksuista ja energiasta. Tätä kautta kunta voi olla edesauttamassa maatilayrittäjän toimintaedellytyksiä Maatilakohtaisen biokaasulaitoksen kannattavuutta voi parantaa lisäksi korjuujätteiden ja energiakasvien yhteishajotuksella (Paavola

2005). Holm-Nielsen ym. (2009) mukaan lannan ja sopivien orgaanisten jätteiden yhteishajotuksella on paljon mahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Biokaasulaitosten perustamista varten on mahdollista hakea myös Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) sekä Maa- ja metsätalousministeriön (MMM) kautta biokaasulaitosten rakentamista varten investointitukea, joka voi alueesta riippuen olla suuruudeltaan 20–45 % (Tuppurainen 2012). Energiayrittäjien on mahdollista hyödyntää investointituen sijaan myös syöttötariffia, joka tasapainottaa energiasta maksettavaa korvausta sähkön hinnan heilahdellessa. Tosin syöttötariffia voivat hakea ainoastaan biokaasulaitokset, joiden nimellisteho on vähintään 19 megavoltiampeeria. Samalla laitoksella ei kuitenkaan voi hyödyntää sekä investointitukea että syöttötariffia (Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010).

Paavolan (2005) mukaan käsiteltävien jätteiden kuljetusmatkan kannattavuus riippuu käsiteltävien materiaalien energiasisällöstä. Eli mitä korkeampi metaanintuottopotentiaali, sen kauempaa jätteitä kannattaa tuoda. Pienten kuntien tapauksessa esimerkiksi metaanintuottopotentiaaliltaan korkeaa biojätettä voitaisiin tuoda myös kunnan ulkopuolelta käsiteltäväksi. Soinin kunnan tapauksessa erilliskerättyä biojätettä voitaisiin tuoda esimerkiksi Alajärven kaupungin puoleiselta Lehtimäen kylän alueelta, joka on lähin kunnan ulkopuolinen taajama. Esimerkiksi Dagnall ym. (2000) mukaan hyvät kulkuyhteydet ja lähiympäristöstä saatava materiaali ovat tärkeitä suunniteltaessa biokaasulaitosten sijaintia. Kuljetusmatkojen ympäristöystävällisyyttä voisi edesauttaa lisäksi se, että raaka-aineita kuljettavat jäteautot käyttäisivät polttoaineena biokaasulaitoksen tuottamaa biometaania. Toisaalta kunnat voivat esimerkiksi kuljetuspalveluita kilpailuttaessaan asettaa yhdeksi valintakriteeriksi biometaanikäyttöiset autot (Suomen Biokaasuyhdistys ry 2012).

Maatilojen lantojen anaerobisesta hajottamisesta voi vastata myös ulkopuolinen yrittäjä. Esimerkiksi tutkimuksen esimerkkimaatilan isäntä ei ollut toistaiseksi aikonut perustaa biokaasulaitosta, mutta hän oli valmis tarjoamaan lannan ulkopuoliselle energiayrittäjälle. Jos biokaasulaitoksen perustamisesta vastaisi ulkopuolinen energiayrittäjä, työtaakka voisi vähetä maatilalliselta ja alentaa biokaasulaitosten perustamisen kynnystä. Maatilat voisivat hyödyntää tuotettua energiaa ja saada lantansa takaisin lannoitteena. Esimerkiksi Tuppuraisen (2012) mukaan taloudellisesti kannattavan yhtiömuotoisen biokaasulaitoksen ja siihen yhdistetyn CHP-voimalan investointikustannukset ovat n. miljoona euroa. Mikäli laitos jalostaisi kaasua liikennekäyttöön, olisivat investointikustannukset arviolta kaksi kertaa

suuremmat. Biokaasulaitoksen kannattavuuden rajana voidaan pitää laitosta, joka käsittelee vuodessa 5000 t naudan liettelantaa ja 2500 t nurmirehua (Tuppurainen 2012). Lisäksi laitoksen tulisi olla syöttötariffin piirissä tai jalostaa kaasua liikennekäyttöön. Tämän kokoluokan laitos vuosi tuottaa vuodessa n. 3 GWh energiaa (oletuksena laboratoriokokeen tulos naudan liettelannan metaanipotentialiksi ja timotei-apilanurmi seoksen kuiva-ainepitoisuudeksi 25 % ja VS/TS-suhde 90 % (Lehtomäki ym. 2008) sekä metaanipotentialiksi $302 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tVS}$ (Kaparaju ym. 2002, Lehtomäki ym. 2008, Seppälä ym. 2009)). Tämän lantamäärän tuottamiseksi tarvittaisiin siis n. 2,5 esimerkkimaatilan kokoista maatilaa sekä 125 ha nurmipeltoa ensimmäisen korjuukerran osalta (oletuksena nurmirehun korjuuhetken kuiva-ainepitoisuus 25 % (Lehtomäki ym. 2008) ja nurmen hehtaarisato 5000 kgTS/ha (ProAgria 2010)). Mikäli korjuukertoja olisi kasvukauden aikana kaksi, voisi pelto-pinta-ala olla karkeasti puolta pienempi. Lisäksi esimerkiksi nurmea ei ole taloudellisesti kannattavaa tuoda biokaasulaitoksen lisäraaka-aineeksi 10–20 km kauempaa (Tuppurainen 2012). Täytyy kuitenkin muistaa, että kannattavuusarvioidussa käytetyt raja-arvot eivät huomioi esimerkiksi mahdollisia biojätteiden tai jätevesilietteiden käsittelymaksuja. Tuppuraisen (2012) mukaan paras tuotto biokaasulaitoksella saadaan siitä, jos tuotettu kaasu voidaan myydä teollisuudelle korvaamaan öljyä (kun biokaasu on sidottu öljyn hintaan).

Kuntien rooli pienten kuntien biokaasutuotannon aloittamiseksi voi olla ratkaiseva, joten tiedottaminen sekä osaava henkilöstö ovat tärkeitä. Biokaasulaitosten selvityshankkeita varten on olemassa kirjallisuutta, johon esim. kuntapäättäjäien kannattaa tutustua (esim. Lehtomäki ym. 2007a, Al-Seadi ym. 2008, Gustafsson & Stoor 2008). Paikallisten resursien oikeanlainen hyödyntäminen on avainasemassa, jotta pienet maaseutukunnat hyötyvät biokaasuntuotannosta. Väestön työllisyyttä ja poismuuton hillitsemistä voidaan tukea maaseudulla aluepolitiikalla (Pekkala 2003). Eiston (2009) mukaan kestävän kehityksen ja ympäristölähtöisen kehittämistoiminnan pitkäjänteinen vakiintuminen harvaan asutulla maaseudulla ei välttämättä ole yksinkertaista. Maaseudun aluekehittäminen ei ole muutenkaan ollut täysin tehokasta erityisesti harvaan asutulla maaseudulla. Lisääntyvää huomiota pitäisi kohdistaa yksilökohtaisiin kehittämismenetelmiin (Laasasenaho 2010, Voutilainen 2012). Biokaasun hyödyntäminen pienissä maalaiskunnissa tukisi kuitenkin kaikin puolin kestävästä kehityksestä – täyttäen sen vaatimukset sosiaalisesta, taloudellisesta ja ekologisesta ulottuvuudesta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomen pinta-alasta yli 90 % on luokiteltu maaseuduksi. Suomessa oli vuoden 2011 lopulla 43 Soinin kaltaisia pieniä 2 000–3 000 asukkaan maaseutukuntia, joiden yhteenlaskettu asukasluku oli hieman yli 100 000. Jotta Suomessa saavutetaan uusiutuvan energian tuotantotavoitteet vuoteen 2020 mennessä, täytyy nykyisen keskitetyn energiajärjestelmän ohella kehittää toimivaa hajautetun energiantuotannon verkostoa maaseudulla.

Uusiutuvista energialähteistä etenkin biokaasua pidetään potentiaalisena ympäristöhaittojen vähentäjänä. Maaseudulla on suuri biokaasupotentiaali, joka on toistaiseksi vajaasti käytetty. Pienissä maaseutukunnissa biokaasulaitosten toiminta voisi perustua pienten materiaalivirtojen takia yhteishajotukseen. Yhteishajotus lisää biokaasulaitosten taloudellista kannattavuutta suuremman kaasumäärän ja monipuolisempien materiaalilähteiden avulla. Biokaasutuotannolla voidaan parantaa mm. kuntien elinkeinotoimintaa, tehostaa jätteenkäsittelyä sekä tuottaa ympäristöystävällistä uusiutuvaa lähienergiaa. Biokaasun tuotantoa voidaan harjoittaa maaseudulla esimerkiksi maatilakohtaisesti tai keskitetysti sekoittamalla lannan sekaan jätevedenpuhdistamoiden lietteitä, erilliskerättyjä biojätteitä tai energiakasveja (kuten nurmea). Biokaasutuotanto voi antaa maataloilille mahdollisuuden myös parempaan lannoiteomavaraisuuteen, jos käsittelyjäännöstä hyödynnetään lannoitteena tilan omaan käyttöön. Erityisesti keskitettyjä useamman maatalan lantaa ja nurmea hyödyntäviä biokaasulaitoksia pidetään taloudellisesti kannattavina.

Esimerkiksi harvaan asutulla maaseudulla sijaitsevassa Soinissa kertyy vuoden aikana erilliskerätyn biojätteen, kunnallisen yhdyskuntajäteveden ja maatalouden lannan osalta n. 156 000 tonnia orgaanista jätettä. Tästä jätemäärästä olisi teoriassa mahdollista tuottaa energiaa anaerobisen hajotuksen kautta n. 5,1–5,2 GWh. Luonnonhoitopeltojen ja viherkesantojen teoreettinen nurmisato (n. 2600–3600 kuiva-ainetonna vuodessa) voisi kasvatata orgaanisten jätteiden ohella kunnan metaanipotentialin vuodessa n. 14,1–17,5 GWh:iin. Kokonaispotentiaali vastaa energiantuotannosta koituvien hävikkien jälkeen n. 43–53 % Soinin kokonaissähkökulutuksesta vuonna 2011. Toisaalta kunnan metaanipotentiali vastaa n. 650–800 henkilöauton vuosittaista polttoainekulutusta tai n. 450–550 omakotitalon vuosittaista lämmitysenergian tarvetta. Erilliskerätty biojäte, yhdyskuntajätevesi ja nurmi voitaisiin ottaa suhteellisen helposti biokaasukäyttöön esimerkiksi maataloilla. Kunnan biokaasupotentiaali on huomattava uusiutuvan energian lähde, joka teoriassa mahdollistaisi EU:n uusiutuvan energian tavoitteeseen pääsemisen kunnassa esimerkiksi

sähkönkulutuksen osalta (38 % vuoteen 2020 mennessä, Direktiivi 2003/30/EY). Toisaalta esimerkiksi kaikkea maatalouden lantaa tai syntyvää nurmea ei kuitenkaan voida käytännössä hyödyntää biokaasulaitoksessa, sillä se on logistisesti haastavaa.

Tutkimuksessa käytetty soinilainen esimerkkitalo voisi tuottaa teoriassa metaania lannasta, erilliskerätystä biojätteestä ja jätevedenpuhdistamon kuivatusta lietteestä vuodessa 453 MWh. Mikäli tuotetusta energiamäärästä vähennetään reaktorin ylläpitoon kuluva energia sekä lämmön ja sähkön tuottamisen hyötysuhde, voisi biokaasulaitoksen tuotettu nettoenergia olla teoriassa 290 MWh. Maatilan olisi mahdollista olla sähkön, lämmön ja polttoaineiden osalta energiayliomavarainen ja tuottaa uusiutuvaa energiaa paikalliseen käyttöön.

Pienten maaseutukuntien biokaasupotentiaali on merkittävä uusiutuvan energian resurssi. Mikäli oletettaisiin, että Suomen kaikkien 2 000–3 000 asukkaan kuntien nettobiokaasupotentiaali vaihtelisi 10–20 GWh välillä vuodessa, vastaisi energiamäärä 430–860 GWh:a eli n. 30 000–60 000 auton vuosittaista polttoaineen kulutusta tai n. 20 000–40 000 omakotitalon lämmitysenergian tarvetta. Mikäli jokaisessa suomalaisessa 2 000–3 000 asukkaan kunnassa olisi yksi tutkimuksen esimerkkimaatilan kaltainen biokaasulaitos, voitaisiin vuosittain kattaa useiden satojen omakotitalojen lämmitysenergian tarve tai tuottaa useille sadoille autoille vuosittaiset liikennepolttoaineet.

Jatkotutkimusta tarvittaisiin Soinessa erityisesti siitä, saadaanko useamman tilan lantamäärillä sekä biojätteellä, jätevedenpuhdistamon lietteillä ja nurmella aikaiseksi logistisesti ja taloudellisesti kannattavaa biokaasulaitosta. Lisäksi tarvittaisiin lisäselvityksiä siitä, voidaanko turvetuotannosta vapautuvia alueita hyödyntää energiakasvien viljelyssä tulevaisuudessa. Mikäli pienet maaseutukunnat ovat kiinnostuneita ajamaan biokaasulaitoksen perustamista, on ensimmäinen mahdollinen vaihe käynnistää esiselvityshanke ja tutkia paikallisia materiaalivirtoja sekä etsiä potentiaalista energiayrittäjää.

KIITOKSET

Tutkielma sai rahoitusta 4000 € Suomen Kulttuurirahaston Etelä-Pohjanmaan maakuntarahastosta, jolle osoitan kohteliaimman kiitoksen. Suuri kiitos työn valmistumisesta kuuluu ohjaajalleni Saija Rasille sekä toiselle ohjaajalleni Suvi Bayrille, jotka antoivat käytännön apua tutkielman teon aikana sekä ohjeita laboratoriovälineiden käytössä. Laboratoriovälineiden käytössä minua ohjeistivat myös laboratoriomestarit Mervi Koistinen ja Leena Siitonen sekä tohtorikoulutettava Mari Seppälä. Laboratoriotutkimuksen aikana sain erittäin paljon apua omaa pro gradu -tutkielmaa tekevältä Olli-Pekka Nykäseltä, jonka kanssa saimme auttaa samankaltaisten laboratoriotyövaiheiden kanssa toisiamme puolin ja toisin.

Haluan kiittää erityisesti Soinin maaseutuasiamies/ympäristönsuojelusihteri Ari Koskea, joka on ollut aina valmis (jälleen kerran) auttamaan tiedonhaussa. Hän auttoi myös päivittämään karjan määrän vuoden 2011 tilastoista vuodelle 2012. Sain tärkeää taustatietoa myös isältäni Martti Laasasenaholta maaseudun tilasta. Kiitos myös Thermopolis Oy:n toimitusjohtaja Mika Yli-Petäykselle, joka antoi ideoita ja jakoi ajatuksia rahoituslähteiden hankinnassa sekä lupautui kommentoimaan tutkielmaa. Suuri kiitos kuuluu lisäksi Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon tekniselle huoltajalle Aimo Leppäselle sekä teknisen toimen sihteerille Hannu Mäelle, jotka auttoivat valaisemaan jätevedenpuhdistamon kuorimitustietoja. Kiitos myös Millespakka Oy:n toimitusjohtajalle Matti Korkea-aholle ja Soinin Puhtaanapito Oy:n Seppo Leipäjoelle biojätteitä koskevissa selvityksissä. Suuri kiitos soinilaisen maitotilan isännälle naudan lietelannasta ja oivallisesta mahdollisuudesta hyödyntää teoreettisen metaanipotentialin tarkastelussa aidon esimerkin maatilaa. Erityiskiitos lisäksi Esa Järvelälle, joka antoi uusimman tiedon kaukolämpöverkkoon tuotetun lämpöenergian määrästä.

Kiitos Piry-pojalleni ja toista lastamme odottavalle vaimolleni Mirkalle tuesta! Jollakin kumman tavalla sain kirjoitettua tutkielmaa viemättä aikaa perheen yhteisiltä hetkiltä...

LÄHDELUETTELO

- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. & Janssen, R. 2008: Biogas Handbook. Big>East Biogas for Eastern Europe -project. University of Southern Denmark Esbjerg. Saatavilla [www-osoitteesta: http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf](http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf) (14.6.2012).
- APHA 1998: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, twentyth ed. American Public Health Association, Washington DC
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J. & Dewil, R. 2008: Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. – *Progress in Energy and Combustion Science* 34: 755–781.
- Biocycla 2012: Kuva biokaasulaitoksesta Saksan Steinfurtissa. Saatavilla osoitteesta: http://www.biocycla.eu/en/?page=On_Site_Demonstration (8.6.2012).
- Börjesson, P. & Berglund, M. 2007: Environmental systems analysis of biogas systems— Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. – *Biomass and Bioenergy* 31: 326–34.
- Capponi, S., Fazio, S. & Barbanti, L. 2012: CO₂ savings affect the break-even distance of feedstock supply and digestate placement in biogas production. – *Renewable Energy* 37: 45–52.
- Dagnall, S., Hill, J. & Pegg, D. 2000: Resource mapping and analysis of farma livestock manures - assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes. – *Bioresource Technology* 71:255–234.
- Davidsson, A., Gruvberger, C., Christensen, T.H., Hansen, T.L. & Jansen, J.L.C. 2007: Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste. – *Waste Management* 27(3):406–414.
- Di Corato, L. & Moretto, M. 2011: Investing in biogas: Timing, technological choice and the value of flexibility from input mix. – *Energy Economics* 33: 1186–1193.

- Direktiivi 2002/1774/L: Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1774/2002 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveyssäännöistä. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti. L273/1, 10.10.2002. Saatavilla [www-osoitteesta: http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:273:0001:0095:FI:PDF](http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:273:0001:0095:FI:PDF) (5.7.2012).
- Direktiivi 2003/30/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä. Euroopan unionin virallinen lehti L 123/42, 8.5.2003. Saatavilla [www-osoitteesta: http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:123:0042:0042:FI:PDF](http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:123:0042:0042:FI:PDF) (22.8.2012).
- Edelmann, W. 2002: Products, impacts and economy of anaerobic digestion of OFMSW. Teoksessa: Mata-Alvarez, J. 2003: Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Department of Chemical Engineering. University of Barcelona. Barcelona. Spain.
- Edelmann, W., Schleiss, K. & Joss, A. 2000: Ecological, energetic and economic comparison of anaerobic digestion with different competing technologies to treat biogenic wastes. – *Water Science and Technology* 41 (3): 263–273.
- Eisto, I. 2009: Kylläpä kestää: paikallisesti kestävän kehityksen ja ympäristölähtöisen kehittämistoiminnan suhde harvaanasutulla maaseudulla. Väitöskirja. – Joensuun yliopiston yhteiskuntatieteellisiä julkaisuja nro. 101.
- Energiakylä 2012: Energiakylä-projekti – Kylien kehittäminen kohti energiaomavaraisuutta Pohjanmaan maakunnissa. Hankkeen esittely [www-osoitteessa: http://energiby.novia.fi/materiaalia/Energiakyla_hanke_esittely.pdf](http://energiby.novia.fi/materiaalia/Energiakyla_hanke_esittely.pdf) (29.8.2012).
- Energiateollisuus ry 2012: Kunnat sähkön käytön suuruuden mukaan. Saatavilla [www-osoitteesta: http://www.energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkonkulutus/sahkon-kaytto-kunnittain](http://www.energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkonkulutus/sahkon-kaytto-kunnittain) (6.7.2012).
- EurObserv'ER 2009: Biogas Barometer. Saatavilla [www-osoitteesta: http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro200b.pdf](http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro200b.pdf) (7.7.2012).
- European standard 13040:2006: Determination of laboratory compacted bulk density. European Committee for Standardization.
- Gunaseelan, V.N. 2004: Biochemical methane potential of fruits and vegetable solidwaste feedstocks. – *Biomass and Bioenergy* 26: 389–399.
- Gasum 2011: Artikkelit ”Kouvolan biokaasulaitos tuotti ensimmäistä kertaa biokaasua”. Saatavilla [www-osoitteesta: http://www.gasum.fi/yrittysinfo/media/uutiset/Sivut/Kouvolanbiokaasulaitostuotti.aspx](http://www.gasum.fi/yrittysinfo/media/uutiset/Sivut/Kouvolanbiokaasulaitostuotti.aspx) (28.8.2012).
- Gustafsson, M. & Stoor, R. 2008: Biokaasun hyödyntämisen käsikirja – jätteestä energiaksi ja polttoaineeksi. PBI - Research Institute for Project-Based Industry. Åbo Akademin Teollisuustalouden Laboratorio.
- Hansen, T.L., Schmidt, J.E., Angelidaki, I., Marca, E., Jansen, J.L.C., Mosbæk, H. & Christensen, T.H. 2004: Method for determination of methane potentials of solid organic waste. – *Waste Management* 24(4):393–400.

- Hartmann, H. & Ahring, B. K. 2005: Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of co-digestion with manure. – *Water Research* 39: 1543–1552.
- Hartmann, H., Angelidaki, I. & Ahring, B. K. 2002: Co-digestion of the organic fraction of municipal waste with other waste types. Teoksessa: Mata-Alvarez, J. 2003: Biomechanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Department of Chemical Engineering. University of Barcelona. Barcelona. Spain.
- Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T. & Oleskowicz-Popiel, P. 2009: The future of anaerobic digestion and biogas utilization. – *Bioresource Technology* 100: 5478–5484.
- Huttunen, V. & Kuittinen, M. J. 2011: Suomen Biokaasulaitosrekisteri n:o 14. Tiedot vuodelta 2010. Publications of the University of Eastern Finland. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences. University of Eastern Finland. Saataavilla [www-osoitteesta: http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0630-4/urn_isbn_978-952-61-0630-4.pdf](http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0630-4/urn_isbn_978-952-61-0630-4.pdf) (11.6.2012).
- IACS 2011: Soinin kunnan karjatilat ja eläinmäärät vuodelta 2011.
- IEA Bioenergy 2006: Biogas Upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection. Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas. Saataavilla [www-osoitteesta: http://www.iea-biogas.net/_content/publications/publications.php](http://www.iea-biogas.net/_content/publications/publications.php) (7.7.2012).
- IEA Bioenergy 2007: Biomass for Power Generation and CHP. IEA Energy Technology Essentials. Saataavilla [www-osoitteesta: http://www.iea.org/techno/essentials3.pdf](http://www.iea.org/techno/essentials3.pdf) (14.6.2012).
- IEA Bioenergy 2000: Biogas upgrading and utilisation. Task 24: Energy from biological conversion of organic waste. Saataavilla [www-osoitteesta: http://www.iea-biogas.net/_content/publications/publications.php](http://www.iea-biogas.net/_content/publications/publications.php) (7.7.2012).
- IEA Bioenergy 2011: Biogas from Crop Digestion. Task 37 – Energy from Biogas. Saataavilla [www-osoitteesta: http://www.iea-biogas.net/_content/publications/publications.php](http://www.iea-biogas.net/_content/publications/publications.php) (19.6.2012).
- IEA Bioenergy 2010: Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. Saataavilla [www-osoitteesta: http://www.iea-biogas.net/_content/publications/publications.php](http://www.iea-biogas.net/_content/publications/publications.php) (7.7.2012).
- Ilmasto-opas 2012: Artikkelit ”Biomassan tuotanto ja polttoaineen käyttö ratkaisevassa roolissa bioenergian ilmastohyötyjä arvioitaessa” sekä ”Mittaukset kertovat ilmaston muuttuvan”. Saataavilla [www-osoitteesta: http://ilmasto-opas.fi](http://ilmasto-opas.fi) (13.8.2012).
- Ilmatieteen laitos 2012: Kasvuvyöhykkeet. Saataavilla [www-osoitteesta: http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvuvyohykkeet](http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvuvyohykkeet) (6.7.2012).
- IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) 2007a: IPCC:n neljännen arviointiraportin kolmas luku: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. 366 s. Saataavilla [www-osoitteesta: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter3.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter3.pdf) (28.8.2012).
- IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) 2007b: IPCC:n neljännen arviointiraportin toinen luku: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. 234 s. Saataavilla [www-osoitteesta: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf) (14.8.2012).

- IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) 2011: Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation – Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1075 s. Saatavilla [www-osoitteesta: http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Full_Report.pdf](http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Full_Report.pdf) (28.8.2012).
- Joensuu, I. 2012: Seminaariesitys aiheesta ”Kunnostuksessa on monta ulottuvuutta - Saako ympäristöhoidosta myös kaasua?”. Suomen ympäristökeskus. Biokaasua ja bio-kaasutusta -seminaari Alajärvellä 8.8.2012. Järjestäjänä: Bioenergia-asiantuntijuuden kehittäminen työelämälähtöisesti -hanke.
- Järvelä, E. 2012: Henkilökohtainen tiedonanto EJ Lämmön tuottamasta vuosittaisesta lämpöenergiasta 2.8.2012.
- Kaatopaikkadirektiivi 1999/31/EY Saatavilla [www-osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:182:0001:0019:FI:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:182:0001:0019:FI:PDF) (15.8.2012).
- Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. & Nikander, H.: Virallisten lajikekokeiden tulokset 2004–2011. – MTT Kasvu 18: 170 s. 2. korjattu painos. Saatavilla [www-osoitteesta: http://www.mtt.fi/mttkasvu/pdf/mttkasvu18a.pdf](http://www.mtt.fi/mttkasvu/pdf/mttkasvu18a.pdf) (30.8.2012).
- Kaparaju P., Luostarinen S., Kalmari E., Kalmari J. & Rintala J. 2002: Co-digestion of energy crops and industrial confectionery by-products with cow manure: batch scale and farm-scale evaluation. – Water Science Technology 45(10): 275–280. (ei tarkistettu!)
- Katajamäki, H. 2012: Blogikirjoitus aiheesta ”Maaseutupääoma” Saatavilla [www-osoitteesta: http://blog.uwasa.fi/aluekehitys/maaseutupaaoma/](http://blog.uwasa.fi/aluekehitys/maaseutupaaoma/)
- Kinnunen, M. 2011: Bioenergian potentiaalitarkastelu Pirkanmaan alueelta - energiaomavaraisuuden jäljillä. Ympäristötieteen ja -teknologian pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto.
- Korkea-aho, M. 2012: Henkilökohtainen tiedoksianto Soinista erilliskerätyn biojätteen määrästä 19.3–11.4.2012.
- Koski, A. 2012a: Henkilökohtainen tiedoksianto maatalouden tilasta Soinissa 10.2.2012.
- Koski, A. 2012b: Henkilökohtainen tiedoksianto Soinin kunnan nurmipotentiaalista 8.6.2012.
- Kuntaliitto 2012: Väestötietoja. Kuntajaot ja asukasluvut 2000–2012 -excel-tiedosto. Saatavilla [www-osoitteesta: http://www.kunnat.net/fi/tietopankit/tilastot/vaestotietoja/Sivut/default.aspx](http://www.kunnat.net/fi/tietopankit/tilastot/vaestotietoja/Sivut/default.aspx) (17.8.2012).
- Kusch, S., Oechsner, H. & Jungbluth, T. 2008: Biogas production with horse dung in solid-phase digestion systems. – Bioresource Technology 99: 1280–1292.
- Laasasenaho, K. 2011: Keskisuurten soinilaisten maatilojen energiaomavaraisuus ja tulevaisuuden energiasuunnitelmat – kohti hajautetumpaa energiantuotantoa. Ympäristötieteen ja -teknologian kandidaatintutkielma. Jyväskylän yliopisto.
- Laasasenaho, M. 2010: Ohjelmakeskeisestä kehittämissuunnitelmasta yksilökeskeiseen kehittämissuunnitelmaan harvaan asutulla maaseudulla: Elämänurasopimus kunnan ja kehittäjäyksilön välillä. Tohtorinväitöskirja. Informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunta. Teknillinen korkeakoulu. Helsingin yliopisto. Sivut 3, 34-50.

- Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 30.12.2010/1396.
- Lampinen, A & Jokinen, E. 2006: Suomen maatalojen energiantuotantopotentiaalit - ekologinen perspektiivi. – Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteen laitoksen tiedonantoja 84.
- Lampinen, A. & Laakkonen, A. 2010: Kunnat liikennebiokaasun tuottajina ja käyttäjinä - Syventävä opas. – Suomen Biokaasuyhdistys ry. Saatavilla [www-osoitteesta: http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=40&Itemid=66](http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=40&Itemid=66) (19.6.2012).
- Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539.
- Lay, J., Li, Y., Noike, T., Endo, J. & Ishimoto, S. 1997: Analysis of environmental factors affecting methane production from high-solids organic waste. – *Water science and technology* 36 (6-7): 493–500.
- Lehtomäki, A. 2006: Biogas production from energy crops and crop residues. – *Jyväskylä studies in biological and environmental science* 163.
- Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007a: Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. – Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85.
- Lehtomäki, A., Huttunen, S. & Rintala, J.A. 2007b: Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect of crop to manure ratio. – *Resources, Conservation and Recycling* 51: 591–609.
- Lehtomäki, A., Viinikainen, T. A. & Rintala, J. A. 2008: Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production. – *Biomass and Bioenergy* 32: 541 – 550.
- Leinonen, S., Jormanainen, M. 1992: Jätevesilietteen, yhdyskuntajätteen ja metsäteollisuuden biolietteen anaerobinen käsittely (mädätyskokeet). – Karjalan tutkimuslaitoksen monisteita. Joensuun yliopisto N:o 6/1992. 50 s.
- Leipäjoki, S. 2012: Henkilökohtainen tiedoksianto erilliskerätyn biojätteen koostumuksesta 16.4.2012.
- Leppänen, A. 2012: Henkilökohtainen tiedoksianto jätevedenpuhdistamon kuormituksesta 3.5.2012.
- Lew, B., Lustig, I., Beliavski, M., Tarre, S. & Green, M., 2011: An integrated UASB-sludge digester system for raw domestic wastewater treatment in temperate climates. – *Bioresource Technology* 102 (7): 4921.
- LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) 2007: Biogashandbuch Bayern - Materialienband. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg. Germany. Saatavilla [www-osoitteessa: http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm) (15.6.2012).
- Liu, X., Gao, X., Wang, W., Zhen, L., Zhou, Y. & Sun, Y. 2012: Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste: Focusing on biogas production and GHG reduction. – *Renewable Energy* 44: 463–468.
- Maaseutupolitiikan yhteistyöryhmä 2009: Maaseutu ja hyvinvoiva Suomi – Valtionneuvoston maaseutupoliittinen selonteko eduskunnalle. Saatavilla www-osoitteesta:

- http://www.maaseutupolitiikka.fi/files/987/Maaseutu_ja_hyvinvoiva_Suomi.pdf (20.6.2012).
- Maranon, E., Castrillon, L., Quiroga, G., Fernandez-Nava, Y., Gomez, L. & Garzia, M.M. 2012: Co-digestion of cattle manure with food waste and sludge to increase biogas production. – *Waste Management* 32: 1821-1825.
- Mata-Alvarez, J. 2002: Fundamentals of the anaerobic digestion process. Teoksessa: Mata-Alvarez, J. 2003: Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Department of Chemical Engineering. University of Barcelona. Barcelona. Spain.
- Meyer-Aurich, A., Schattauer, A., Hellebrand, H. J., Klauss, H., Plöchl, M. & Berg, W. 2012: Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. – *Renewable Energy* 37: 277–284.
- MMM (Maa- ja metsätalousministeriö) 2004a: Johannesburgin kestävän kehityksen huipukokouksen päätökset: Strateginen arvio uusiutuvia luonnonvaroja ja maaseutua koskevista toimista. – MMM:n julkaisuja 13/2004. 155 s.
- MMM (Maa- ja metsätalousministeriö) 2004b: Peltobiomassa, liikenteen biopolttonesteet ja biokaasu -jaosto. Väkiraportti. Helsinki. 51 s.
- MMM (Maa- ja metsätalousministeriö) 2007: Peltobiomassa, liikenteen biopolttoaineet ja biokaasu -jaosto. Loppuraportti. Helsinki. 64 s.
- MMM (Maa- ja metsätalousministeriö) 2012: Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma 2007–2013 (hyväksytty 10.8.2007, päivitetty viimeksi 20.2.2012). Saatavilla www.osoitteesta: http://www.maaseutu.fi/attachments/68ZzdaSj6/Manner-Suomen_maaseudun_kehittamissuunnitelma_20072013_FI.pdf (22.8.2012).
- MTK (Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto) 2012: Vihreää energiaa maalta. Saatavilla www.osoitteesta: http://www.mtk.fi/energia/energiaa_maalta/fi_FI/energiaa_maalta/ (25.6.2012).
- Mäki, H. 2012: Henkilökohtainen tiedoksianto Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon kuormitustiedoista 16.4.2012.
- Møller, H.B., Sommer, S.G. & Ahring, B.K. 2004: Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. – *Biomass and Bioenergy* 26: 485–495.
- Nilsson, S. 2000: Gårdsbaserad biogas på plönnige naturbruksgymnasium. Endförstudie med det tyska konceptet som grund. JTI-rapport Kretslopp & Avfall. Nr 21. Saatavilla www.osoitteesta: http://www.jti.se/uploads/jti/RKA-21sn.pdf (20.7.2012).
- NorTech Oulu 2012: Kuva artikkelista “High turnout at the MicrE regional seminar in Oulu”. Saatavilla www.osoitteesta: http://nortech oulu.fi/eng/MicrE/Biogas%20seminar%20in%20Oulu.html (19.6.2012).
- OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012: Suomen jätevedenpuhdistamot – Soinin jätevedenpuhdistamon päästötiedot. Ympäristösuojelun tietojärjestelmä Vahti (aineiston ottopäivä 30.3.2012).
- Paavola, T. 2005: Kunnallisten lietteiden ja biojätteiden käsittely maatilakohtaisessa biokaasulaitoksessa. Ympäristötieteen ja -teknologian pro gradu -tutkielma. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Jyväskylän yliopisto.

- Palva, R., Alasuutari, S. & Harmoinen, T. (toim.) 2009: Lannan käsittely ja käyttö. – ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja, 1798–5307 ; 1073. Tieto tuottamaan, 0357-7295; 128. ProAgria keskusten liitto.
- Pekkala, S. 2003: Migration flows in Finland: regional differences in migration determinants and migrant types. Jyväskylän yliopisto. Taloustieteiden tiedekunta. Working paper 263.
- Peura, P. 2007: Maaseudun Voima -liiketoiminta hajautetussa energiantuotannossa. Julkaisu no. 124. Levon-instituutti. Vaasan yliopisto.
- Peura, P. & Hyttinen, T. 2011: The potential and economics of bioenergy in Finland. – Journal of Cleaner Production 19: 927–945.
- Poeschl, M., Ward, S. & Owende, P. 2012: Environmental impacts of biogas deployment e Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. – Journal of Cleaner Production 24: 184–201.
- Ponnikas, J., Korhonen, S., Kuhmonen, H-M., Leinamo, K., Lundström, N., Rehunen, A. & Siirilä, H. 2011: Maaseutukatsaus 2011. Maaseutupolitiikan yhteistyöryhmän julkaisu 3/2011. Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print.
- ProAgria 2010: Nurmentuotannon tulokset 2010. Saatavilla [www-osoitteesta: ftp://ftp.proagria.fi/pub/tuloksia/maidonjanurmentuotannontulosseminaari/nurmentuotanto_peltonen.pdf](http://www-osoitteesta:ftp://ftp.proagria.fi/pub/tuloksia/maidonjanurmentuotannontulosseminaari/nurmentuotanto_peltonen.pdf) (18.8.2012).
- Rasi, S., Lehtonen, E., Aro-Heinilä, E., Höhn, J., Ojanen, H., Havukainen, J., Uusitalo, V., Manninen, K., Heino, E., Teerioja, N., Andersson, R., Pyykkönen, V., Ahonen, S., Marttinen, S., Pitkänen, S., Hellstedt, M. & Rintala, J. 2012: From Waste to Traffic Fuel –projects final report. Finnish case regions. MTT Report 50.
- Salminen, E. 2000: Anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse byproducts and wastes. – Jyväskylä studies in biological and environmental science 90.
- Salminen, E. & Rintala, J. 2002: Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review. – Bioresource Technology 83: 13–26.
- Seppälä, M., Paavola, T., Lehtomäki, A. & Rintala, J. 2009: Biogas production from boreal herbaceous grasses – Specific methane yield and methane yield per hectare. – Bioresource Technology 100: 2952–2958.
- SFS 5504/1988: Veden kemiallisen hapenkulutuksen (CODCr) määrittäminen suljetulla putkimenetelmällä. Hapetus dikromaatilla. Suomen Standardiliitto.
- Sipilä, I., Klemola, E. & Rastas, R. 1995: Lannan määrän mittaus punnitsemalla yleisperävaunussa. – Maatalousteknologian julkaisuja, 1235–3957; 5. Helsingin yliopisto, maa- ja kotitalousteknologian laitos.
- Soinin kunnallisen jätevedenpuhdistamon ympäristölupa 2001: Länsi-Suomen ympäristökeskus. Ympäristölupapäätös 1.2.2001. Saatavissa [www-osoitteesta: http://www.environment.fi/download.asp?contentid=21335&lan=fi](http://www.environment.fi/download.asp?contentid=21335&lan=fi) (1.4.2012)
- Soinin kunta 2012: Soinin kunnan Internet-sivut. Saatavilla osoitteessa: <http://www.soini.fi/> (6.6.2012).
- Suomen Biokaasuyhdistys 2012: Kuntapäätäjän opas - Kunnat liikennebiokaasun tuottajina ja käyttäjinä. Saatavilla [www-osoitteesta: http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=40&Itemid=66](http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=40&Itemid=66) (19.6.2012).

- Suvilampi, J. 2003: Aerobic wastewater treatment under high and varying temperatures: thermophilic process performance and effluent quality. Väitöskirja. – Jyväskylä studies in biological and environmental science 119. 59 s.
- Tecator 1995: Determination of nitrogen according to kjeldahl using block digestion and steam distillation. Tecator application note. Perstorp analytical Tecator ab.
- The Open University 2012: Kuva artikkelista ” A biogas plant used in a home in Kerala, India, can teach the west some lessons about sustainability”. Saatavilla www-osoitteesta: <http://www.open.edu/openlearn/society/international-development/environmental-science/the-green-green-gas-home> (8.6.2012).
- Tilastokeskus 2012: Yleistilastoja kunnittain – Soini. Saatavilla www-osoitteesta: <http://tilastokeskus.fi/tup/kunnat/kuntatiedot/759.html> (3.7.2012).
- Tuppurainen, K. 2012: ”Rakentaisinko biokaasulaitoksen?”. Biokaasua ja biokaasutusta – seminaari. Alajärvi 8.8.2012.
- Tähti, H. & Rintala, J. 2010: Biometaanin ja -vedyn tuotantopotentiaali Suomessa. – Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 90. Jyväskylän yliopisto.
- Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu 2012: Lantalan ohjetilavuus (m³) 12 kk varastointiaikaa varten eläintä kohden (taulukko). Saatavilla www-osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22947&lan=fi> (4.4.2012).
- Vandevivere, P., De Baere, L. & Verstraete, W. 2002: Types of anaerobic digester for solid wastes. Teoksessa: Mata-Alvarez, J. 2003: Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Department of Chemical Engineering. University of Barcelona. Barcelona. Spain.
- Vapo 2012: Turvetuotantoalueiden jälkikäyttö – tiivistelmä alan toimijoille. Saatavilla www-osoitteesta: http://www.vapo.fi/filebank/673-jalkikaytto_tiivistelma_pieni.pdf (31.8.2012).
- VNp 282/1994: Valtionneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä. Saatavilla www-osoitteesta: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940282> (10.7.2012).
- Voutilainen, O. 2012: Relationship between Agricultural and Rural Development within the Context of the European Union's Common Agricultural Policy: the Case of Finland. Doctoral Dissertation. – MTT Science 19. 135 s. Saatavilla www-osoitteesta: <http://www.mtt.fi/mtttiede/pdf/mtttiede19.pdf> (19.7.2012).
- Väestörekisterikeskus 2012: Kuntien asukasluvut aakkosjärjestyksessä. Väestötietojärjestelmä. Rekisteritilanne 31.5.2012. Saatavilla www-osoitteesta: <http://vrk.fi/default.aspx?docid=802&site=3&id=0> (19.7.2012).
- Vänttinen, V.-H. 2010: Biokaasuteknologian alueellinen hyödyntämispotentiaali: esimerkitapauksena Keski-Suomen maakunta. Pro gradu -tutkielma. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Jyväskylän yliopisto.
- Ympäristöhallinto 2012: Maisema-alueiden kuvaukset - Suomenselkä. Saatavilla www-osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=26079&lan=fi> (6.7.2012).
- Ympäristöministeriö 2010: Biohajoavista jätteistä enemmän energiaa – Biojäte-energiatyöryhmän raportti. Ympäristöministeriön raportteja 3/2010. Saatavilla www-osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=115426> (1.4.2012).

Liite 1. Erilliskerätyn biojätteen ja kunnallisen jätevedenpuhdistamon raakajäteveden materiaalivirrat Soinin kunnassa vuosina 2003–2011.

Vuosi	Erilliskerättyä biojätettä kg/v *	Jätevesiä t/v **
2011	34 800	129 575
2010	36 920	100 996
2009	42 760	84 972
2008	43 000	117 596
2007	48 000	93 075
2006	54 860	69 715
2005	51 780	78 475
2004	54 320	86 505
2003	17 780***	76 650

Lähde: *Korkea-aho 2012; **OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012 (ilmoitettu m³)

***Erilliskeräys alkanut

Liite 2. Maatalouden lannan kertymät ja metaanipotentiaali Soinin kunnassa vuoden 2011–2012 tietojen perusteella (IACS 2011; Koski, A. 2012a; Palva ym. 2009, Rasi ym. 2012, Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu 2012).

Eläin	Lkm	Lietelanta tilavuudet (hevosilla kuivikelanta), m ³ /v	Lähde	Lietelanta (hevosilla kuivikelanta) t/v/yht./eläinlaji	CH ₄ potentiaali, m ³	energia (MWh)
Lypsylehmä 24kk-	623	15 780,59	1			
< 24 kk poikinuut lypsylehmähieho	4	40,08	1			
Emolehmä 24kk-	34	610,64	1			
Sonni alle 6kk, lihantuotantoon	223	892	2			
Sonni väh. 6kk, alle 8kk, lihantuotantoon	15	122,55	1			
Sonni väh. 8kk, alle 12kk, lihantuotantoon	54	441,18	1			
Sonni väh. 8kk, alle 12kk, jalostukseen	0	0	1			
Sonni väh. 12kk, alle 16kk, lihantuotantoon	57	824,22	1			
Sonni väh. 16kk, alle 21kk, lihantuotantoon	65	939,9	1			
Sonni väh. 21kk, alle 24kk, lihantuotantoon	20	289,2	1			
Sonni väh. 24kk, lihantuotantoon	10	144,6	1			
Sonni väh. 24kk, jalostukseen	4	57,84	1			
Lehmävasikat ja hiehot alle 6kk, lihantuot./emol.	4	16	2			
Lehmävasikat alle 6kk, emolehmäksi	10	40	2			
Lehmävasikat ja hiehot alle 6kk, lypsylehmiksi	144	576	2			
Lehmävasikat ja hiehot 6kk-12kk, lihantuot./emol.	1	6,08	1			
Lehmävasikat 6kk-12kk, emolehmäksi	15	91,2	1			
Lehmävasikat ja hiehot 6kk-12kk, lypsylehmiksi	118	717,44	1			
Lehmävasikat ja hiehot 12kk-24kk, lihantuot./emol.	6	60,12	1			
Hiehot 12kk-24kk (ei poikineet), emolehmäksi	11	110,22	1			
Lehmävasikat ja hiehot 12kk-24kk, lypsylehmiksi	270	2 705,4	1			
Hiehot 24kk- (ei poikineet), lihantuotantoon	2	20,04	1			

Hiehot 24kk- (ei poikineet), maidon- tuotantoon	39	390,78	1 1 (kes- kiarvo >24kk sonnista ja hiehos- ta)			
Muu nauta yli 24kk	3	36,72		24 912,8	468 360,6	4 683,6
Hevoset	19	242,25	1	242,25	9 690–16 958	97–170
Lihasiat, elopaino 50-80 kg	9	18	1			
Lihasiat, elopaino 80-110 kg	2	4	1			
Tiineet, väh. kerran porsineet emakot	235	564	1			
Emakoiksi tarkoit. siat, alle 8kk	4	8		1 (lihasiat 50–110 kg)		
Siitoskarjut, elopaino 50 kg-	3	7,2	1			
Siat, elopaino 20 kg-50 kg	285	427,5	1			
Porsaat, elopaino alle 20 kg	212	212	2	1240,7	21 092–27 295	211–273
Yht.	2 501	26 395,75		26 395,75	499 143–512 614	4 991–5 127

Lähde 1: Rasi ym. 2012

Lähde 2: Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu 2012

2012