

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTON BIO- JA YMPÄRISTÖTIETEIDEN LAI-
TOKSEN TIEDONANTOJA 90

Hanne Tähti, Jukka Rintala

BIOMETAANIN JA -VEDYN TUO- TANTOPOTENTIALIAALI SUOMESSA



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, 2010

Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja -sarjassa ilmestyneet julkaisut

- 1 SIENITALOUSSEMINAARI 7.–8.4.1975.
- 2 RAATIKAINEN M, SAARI V, KANKAALA P, KARILA V, KOVANEN J ja PULKKINEN E 1975: Korospohjan pumpu-
voimalaitosalueen kasvisto ja eläimistö.
- 3 KEVOJÄRVEN JA SEN LÄHILAMPIEN HYDROBIOLOGIASTA. Hydrobiologian laudaturkurssi Utsjoen Kevolla
15.–22.7.1974. 1976.
- 4 ELORANTA V 1976: Levätestit selluloosateollisuuden prosessi- ja pääkanaalijätevesien sekä eräiden limantorjun-
ta-aineiden vaikutusten selvittämisessä.
- 5 SAARI V ja OHENOJA E 1976: Korpilahden Vaarunvuorten suursienistä.
- 6 JUSSILAINEN M ja ELORANTA P 1976: Ilmakuviin perustuva tutkimus Konneveden ja Peurunkajärven vesikasvil-
lisuudesta.
- 7 VESAKONTORJUNTA-AINESYMPOSIUMI. 1977.
- 8 PALOKANGAS R 1977: Studies on avian thermoregulation with special reference to heat production in cold and
seasonal acclimatization.
- 9 SAARI V 1978: Korpilahden Vaarunvuorten lehtisammalkasvustosta.
- 10 ELORANTA P ja ELORANTA A 1978: Tutkimus kalaston rakenteesta ja kalojen kasvusta Kuusvedessä, Ahveni-
sessa ja Leivonvedessä (Laukaa).
- 11 HUHTA V, SUNDMAN V, IKONEN E, SIVELÄ S, WARTIOVAARA T ja VILKAMAA P 1978: Jäteliete-
kuorirouheseosten maatumisen biologia.
- 12 KOSKELA H 1979: Structure and dynamics of the beetle community inhabiting cow dung.
- 13 VIHKO V 1979: Response of the lysosomal system of skeletal muscle to exercise.
- 14 NORD-EUROPEISKA OGRÄSSYMPOSIET I DICKURSBY, FINLAND DEN 7.–10.9.1976 DEL I. 1979.
- 15 NORD-EUROPEISKA OGRÄSSYMPOSIET I DICKURSBY, FINLAND DEN 7.–10.9.1976 DEL II. 1979.
- 16 NURMELA P-L 1979: Jämsän ympäristönhoitotutkimus.
- 17 RÄSÄNEN L 1979: Elaboration of leukocyte inhibitory factor (LIF) by human peripheral blood lymphocytes and
cellular collaboration in LIF production.
- 18 SIHVONEN H 1979: Jämsänkosken kunnan ympäristönhoitosuunnitelma.
- 19 NCE-SYMPOSIUM "Ecology and fishery biology of small forest lakes" Lammi 15.–17.11.1978.
- 20 I. LUONNONTIETEELLISTEN MUSEOIDEN IV VALTAKUNNALLISET NEUVOTTELUPÄIVÄT 2.4.–3.4.1979 JY-
VÄSKYLÄSSÄ. II. YLIOPISTOJEN PUUTARHOJEN II VALTAKUNNALLISET NEUVOTTELUPÄIVÄT 2.4.–
3.4.1979 JYVÄSKYLÄSSÄ.
- 21 RAATIKAINEN T 1979: Jyväskylän yliopiston viheraluepuutarhan esiselvitys.
- 22 FINEM-79. SUOMALAISTEN ELEKTRONIMIKROSKOPISTIEN SYMPOSIUMI 27.-28.9.1979 JYVÄSKYLÄSSÄ.
- 23 HIRSIMÄKI P 1980: Studies on vinblastine-induced autophagocytosis in mouse liver.
- 24 KOLEHMAINEN K 1980: Saarijärvi-Kalmari. Kalmarin kyläkuva, suunnitelmia ja toimenpide-ehdotuksia.
- 25 JYVÄSKYLÄN YLIOPISTON BIOLOGIAN LAITOS 10 VUOTTA.
- 26 SELIN P, KOKKO H ja HAKKARI L 1981: Sulfiittiselluteollisuuden jätevesien likaaman Lievestuoreenjärven pelagi-
aalien ravintoketjututkimus.
- 27 VIHKO V ja SALMINEN A 1981: Raajalihaksen lysosomaalisen järjestelmän mukautuminen fyysiseen kuormituk-
seen. Loppuraportti Valtion liikuntatieteellisen toimikunnan rahoittamasta tutkimuksesta vuosina 1978-1980.
- 28 KÄPYLÄ M, TÖNNES P ja VEIJOLA H 1981: Siitepölyn, sieni-itiöiden ja puupölyn esiintyminen Jyväskylän kau-
punki-ilmassa.
- 29 Saarijärven Pyhä-Häkin kansallispuiston ja sen lähiympäristön metsäjärvien veden laatu, klorofyllipitoisuus, eläin-
plankton, pohjaeläimistö sekä vesihyönteis- ja vesipunkkilajisto. 1982.
- 30 ELORANTA A 1982: Tutkimuksia eräiden kivikkorantojen kalalajien biologiasta. I.
- 31 LAHTI T 1983: Ruoveden Siikanevan linnusto.
- 32 RAATIKAINEN M 1983: Kasvitieteellinen julkaisutoiminta Jyväskylän yliopistossa. RAATIKAINEN, M. ja NIEMELÄ,
M. 1983: Mustikan poimintatarkkuuden määrittäminen. RAATIKAINEN M, RAATIKAINEN T ja SAARI V 1983: Saa-
rijärven Voudinnemen kasvilajisto.
- 33 KONNEVESISYMPOSIO. I. 7.–8.4.1983.
- 34 KONNEVESISYMPOSIO. II. 7.–8.4.1983.
- 35 MARTTINEN KMJ 1983: Tutkimus Kynsiveden syvänteiden kalastosta touko-lokakuussa 1980.
- 36 HUHTA V, HYVÖNEN R, KOSKENNIEMI A, VILKAMAA P, KAASALAINEN P ja SULANDER M 1984: Metsänlan-
noituksen ja pH:n vaikutus maaperäeläimistöön.
- 37 LUOTOLA M 1984: Behaviour and effects of some xenobiotics as studied in laboratory model ecosystems.
- 38 JÄRVIEN JA JOKIEN POHJAELÄINTUTKIJOIDEN KOKOUS 13.–15.10.1983.
- 39 SAARI V, RAATIKAINEN T ja VÄLIVAARA R 1984: Korpilahden ja Muuramen uhanalaiset kasvit.
- 40 V EKOLOGIPÄIVÄT JYVÄSKYLÄSSÄ 12.–13.4.1984.
- 41 SALONEN HW 1985: Salamajärven kansallispuistossa sijaitsevan Koirajoen rantojen kasvillisuus ja kasvisto.

Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 90
Research reports in biological and environmental sciences 90

Hanne Tähti ja Jukka Rintala

BIOMETAANIN JA -VEDYN TUOTANTOPOTENTIAALI SUO-
MESSA

Jyväskylän yliopisto, 2010

Toimittaja:

Timo Ålander (timo.j.a.alander@jyu.fi)

Kansikuva: Nurmi ja biokaasulaitos, Jukka Rintala
Biojäte ja omenat, Hanne Tähti
Lehmät, Jusben, MorgueFile

ISBN 978-951-39-4043-0

ISSN 1795-6900

Copyright © 2010 by University of Jyväskylä
Jyväskylän yliopistopaino, 2010

Esipuhe

Tässä työssä arvioidaan Suomessa biometaanin ja vedyn tuotantoon soveltuvia erilaisia biomassoja, niiden määrää sekä metaanin ja vedyntuotantopotentiaaleja. Arvioinnit on tehty niin alueellisesti kuin koko Suomen osalta. Laskelmia varten on tehty useita oletuksia ja yleistyksiä. Nämä on pyritty esittämään mahdollisimman tarkasti, jotta lukija tietää arviointien lähtökohdat ja jotta arvioita voidaan mahdollisesti myöhemmin tarkentaa. Oletuksiin liittyy aina erilaista epätarkkuutta. Tämän vuoksi useimmat laskelmat on tehty käyttämällä lähtöarvoissa ja myös tuloksissa vaihteluvälejä. Käytännössä arvioita voidaan tarkentaa mm. massojen tilastointia kehitettäessä ja saataessa enemmän kokemusta erilaisten materiaalien käytöstä biokaasuprosesseissa. Mahdolliset tarkennus- ja korjausesitykset voi toimittaa tekijöille.

Työn on rahoittanut Gasumin maakaasurahasto ja se on osa Biometaanin- ja vedyn paikallinen tuotanto ja integrointi energiajärjestelmään - hanketta. Jyväskylän yliopiston lisäksi työstä osa tehdään Teknillisessä korkeakoulussa. Työn on tehnyt tohtoriopiskelija FM Hanne Tähti ja työtä on ohjannut professori TKT Jukka Rintala. Työ on tehty bio- ja ympäristötieteiden laitoksella Jyväskylän yliopistossa. VAHTI - tietokannan käytössä tehtiin yhteistyötä erityisesti ylitarkastaja Hannele Yli-Kauppilan kanssa Keski-Suomen ympäristökeskuksessa. Laskelmia ja julkaisua on tarkistanut ja kommentoinut erikoistutkija FT Sanna Marttinen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta. Lämpimät kiitokset kaikille avusta ja yhteistyöstä.

Jyväskylässä 12.8.2010

Tiivistelmä

Globaali tarve edistää kestäväää kehitystä, vähentää ympäristökuormitusta ja hidastaa ilmastonmuutosta edellyttää mm. materiaalivirtojen tehokasta hallintaa ja paluuta uusiutuvien ja kierrätettävien resurssien käyttöön. Biokaasuteknologia tarjoaa yhden ratkaisun, yhdistäen jätteiden käsittelyn ja energian tuotannon. Kiinnostus biokaasuteknologian käyttöön on lisääntynyt viime vuosina myös Suomessa. Suunnitteilla on useita biokaasulaitoksia. Lisäksi useat tahot ovat tehneet selvityksiä biokaasun hyödyntämiseksi.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää biokaasuprosessin raaka-aineeksi soveltuvien erilaisten biomassojen määrät ja sijainnit Suomessa. Tavoitteena oli myös selvittää näiden jakeiden metaanin ja vedyn tuotantopotentiaalit sekä teoreettisella, että teknistaloudellisella tasolla. Tietoa soveltuvien materiaalien määristä kerättiin eri lähteistä ja lisäksi tehtiin useita arvioita teknisesti hyödynnettävistä määristä.

Teoreettinen biokaasun energiapotentiaali Suomessa on 24,4 TWh, josta metaanin osuus 23,2 TWh ja vedyn osuus 1,2 TWh. Kaikkea materiaalia ei kuitenkaan voida teknisistä ja taloudellista syistä hyödyntää. Kun eri biomassajakeille arvioitiin hyödynnettävissä olevat osuudet, on biokaasun teknistaloudellinen potentiaali noin 9,2 TWh. Suurimmat jakeet ovat peltobiomassat ja lannat.

Sisällysluettelo

Esipuhe

Tiivistelmä

1	Johdanto	1
2	Vedyn ja metaanin tuottoon soveltuvat raaka-aineet Suomessa.....	3
2.1	Yleistä raaka-aineiden metaanin- ja vedyntuottopotentiaaleista ja muista lähtötiedoista.....	3
2.2	Lannat.....	7
2.2.1	Yleistä laskentaperusteista	7
2.2.2	Suomen lantamäärät ja vety- ja metaanipotentiaalit.....	9
2.3	Peltobiomassat	12
2.4	Yhdyskuntien biohajoava jäte	16
2.5	Yhdyskuntien jätevesilietteet ja jätevedet	19
2.6	Elintarviketeollisuuden jätteet ja jätevedet	22
2.7	Sellu- ja paperiteollisuuden jätteet ja jätevedet.....	25
2.8	Muut jätteet	28
2.9	Kaatopaikat	28
3	Metaani- ja vetypotentiaalin tarkastelu	29

Lyhenteet

BOD	biologinen hapenkulutus, <i>biological oxygen demand</i>
CHP	yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto, <i>combined heat and power</i>
COD	kemiallinen hapenkulutus, <i>chemical oxygen demand</i>
GWh	gigawattitunti
kg	kilogramma
kWh	kilowattitunti
l	litra
TE	työ- ja elinkeino
TS	kuiva-aine, <i>total solids</i>
TSE	tarttuva spongiforminen enkefalopatia
TWh	terawattitunti
VS	orgaaninen aines, <i>volatile solids</i>
ww	märkápaino, <i>wet weight</i>

1 JOHDANTO

Globaali tarve edistää kestävästä kehitystä, vähentää ympäristökuormitusta ja hidastaa ilmastonmuutosta edellyttää mm. paluuta uusiutuvan energian käyttöön samoin kuin muutenkin uusiutuvien ja/tai kierrätettävien materiaalivirtojen käyttöön. Biotekninen anaerobisissa olosuhteissa tapahtuva mikrobiologinen metaanin tai sekä vedyn että metaanintuotanto (jatkossa käytetään nimitystä biokaasuteknologia) biohajoavista raaka-aineista on yksi kestävyystarkasteleissa hyvin menestynyt teknologia. Koska prosessissa voidaan käyttää raaka-aineina myös jättepohjaisia materiaaleja, voidaan teknologian käytössä yhdistää sekä jäte- ja energiahuollon lähtökohdat. Tyypillisiä raaka-aineita ovat energia-kasvit ja muut kasvibiomassat, lannat sekä teollisuuden ja yhdyskuntien biohajoavat jätteet ja jätevedenpuhdistamoiden lietteet sekä lähinnä teollisuuden väkevät ja lämpimät jätevedet.

Biokaasuprosessissa mikro-organismit hajottavat hapettomissa (anaerobisissa) olosuhteissa orgaanista ainesta biokaasuksi, jonka pääkomponentit ovat metaani (yleensä 55 – 70 %) ja hiilidioksidi (30 – 45 %). Hajoamisessa välituotteena muodostuu vetyä, jonka mikro-organismit käyttävät yleensä metaanin tuotantoon. Prosessiolosuhteet voidaan säätää myös niin, että osa orgaanisesta aineksestä voidaan hajottaa vedyksi. Vedyn ja metaanin tuotanto voidaan toteuttaa kaksivaiheisena prosessina, jolloin lopputuotteena on sekä vetyä että metaania. Vedyn tuotanto on lähinnä tutkimusvaiheessa laboratorio- ja pilotmittakaavassa, eikä toistaiseksi ole täydenmittakaavan sovelluksia. Sen sijaan metaanin tuotanto ja hyödyntäminen sähköinä, lämpönä ja liikennepolttoaineena ovat jo tällä hetkellä käytössä olevaa teknologiaa. Biokaasuprosessissa hajoamatta jäänyt aines sisältää hajoamatta jääneen hiilen ja pääsääntöisesti lähes kaikki raaka-aineiden ravinteet, joten sitä voidaan hyödyntää tapauskohtaisesti esimerkiksi lannoitteena.

Myös Suomessa kiinnostus biokaasuteknologian käyttöön biokaasun (metaanin) tuotantoon jätteistä ja teollisuuden jätevesistä sekä kasvibiomassasta on lisääntynyt viime vuosina. Useat tahot ovat tehneet selvityksiä biokaasun tuotannosta ja hyödyntämisestä ja lisäksi suunnitteilla on useita biokaasulaitoksia (Biokaasufoorumi 2008). Suomessa oli vuonna 2007 yhteensä 26 biokaasun

tuotantoyksikköä. Näistä 14 oli yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden liete-mädättäjäitä ja kaksi teollisuuden jätevedenkäsittelyprosesseja. Maatilojen biokaasulaitoksia oli kahdeksan. Muita laitoksia nk. yhteislaitoksia, jotka käsittelevät mm. yhdyskuntien biojätteitä, oli kolme. Lisäksi 33 kaatopaikalla kerätettiin talteen kaatopaikkakaasua. Kaatopaikkakaasujen keräyksen ensisijaisena lähtökohtana on ollut kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen, mutta nykyisin myös näitä kaasuja hyödynnetään energiana. Yhteensä biokaasua tuotettiin vuonna 2007 138,82 milj. m³ (jossa 40 – 70 % metaania), josta energiana hyödynnettiin 421,1 GWh (Kuittinen ym. 2008). Hyödyntämättä jäi 43,4 milj.m³ biokaasua. Aiemmin on arvioitu, että biokaasun kokonaistuotanto voitaisiin Suomessa lisätä 7 – 18 TWh:iin (Asplund ym. 2005, Lampinen 2003).

Tämän työn tavoite oli arvioida metaanin ja vedyn tuotantoon soveltuvat biomassalähteet, määrät ja sijainti Suomessa. Lisäksi tavoite oli arvioida vedyn ja metaanin tuotannon teoreettiset ja teknistaloudelliset energiapotentiaalit. Energiantuotannon lisäksi biokaasuprosessilla voidaan merkittävästi parantaa jätehuoltojärjestelmien energia- ja ympäristötaseita sekä korvata keinolannoitteita viljelyssä. Näiden näkökohtien ympäristövaikutuksia sekä vaikutuksia energian kulutukseen ei kuitenkaan huomioitu tässä työssä.

2 VEDYN JA METAANIN TUOTTOON SOVELTUVAT RAAKA-AINEET SUOMESSA

2.1 Yleistä raaka-aineiden metaanin- ja vedyntuottopotentialta ja muista lähtötiedoista

Biokaasuprosessin (metaanin tai vedyn ja metaanin tuotannon) raaka-aineiksi soveltuvat erilaiset anaerobisesti biohajoavat materiaalit. Tällaisia ovat monet orgaaniset jätemateriaalit, esimerkiksi yhdyskuntien ja teollisuuden biojätteet ja jätevedenpuhdistamoiden lietteet, maatalouden lannat ja kasvijätteet sekä biokaasun tuotantoa varten tuotetut energiakasvit.

Materiaalien teoreettiseen metaanin ja vedyn tuottoon vaikuttaa sen koostumus. Teoreettinen metaanisaanto on suurin rasvoista (1014 l/kg VS), ja proteiinien (496 l/kg VS) ja hiilihydraattien (415 l/kg VS) metaanintuotto on noin puolet tästä. Vedyn tuotantoon soveltuvat parhaiten helposti hajoavat yhdisteet, kuten hiilihydraatteja (glukoosi, sakkaroosi, tärkkelys) sisältävät materiaalit. Teoreettinen vedyn maksimisaanto glukoosista on 497 l/kg VS. Vedyn tuotantoa monimutkaisemmista yhdisteistä, kuten rasvoista ja proteiineista pidetään vaativampana ja saannot ovat toistaiseksi melko vähäiset.

Käytännössä materiaalien metaani- ja vetysaantoon vaikuttavat materiaalien koostumuksen lisäksi mm. materiaalien inhiboivat yhdisteet, prosessiolosuhteet ja prosessin operointi. Käytännön biokaasulaitoksilla prosessissa käsitellään usein yhdessä erilaisia raaka-aineita, mm. niiden saatavuuden, kuljetusmatkojen, kustannusten sekä alueellisen jätehuollon lähtökohdista. Biokaasuprosessin optimoinnin kannalta erilaisia materiaaleja yhdistämällä voidaan esimerkiksi tasapainottaa prosessin ravinnekoostumusta sekä tehdä kiinteästä jätteestä lietemäistä ja paremmin biokaasuprosessiin soveltuvaa.

Tässä työssä tutkittujen biokaasuprosessiin soveltuvien materiaalien TS- ja VS -pitoisuudet sekä metaanin- ja vedyntuottopotentialit ovat kirjallisuudesta ja osin käytettiin tutkimusryhmän omia kokeellisia tuloksia (taulukot 1-3). Materiaalien ominaisuuksista esitetään vaihteluvälit sekä keskiarvot. Työssä kar-

toitettujen materiaalien märkäpainot muutettiin kuiva-aineeksi (TS) ja orgaaniseksi aineeksi (VS) käyttäen taulukon 1 arvoja. Materiaalien energiapotentiaali laskettiin kaavalla 1,

$$\text{Materiaalin Energiapotentiaali} = m \cdot P \cdot HV \quad (1)$$

jossa m = massa (t TS, t VS tai t COD), P = metaanin/vedyn -tuottopotentiaali (m³/t TS, m³/t VS tai m³/t COD) ja HV = lämpöarvo, joka vedyllä on 3.54 kWh/m³ ja metaanilla 10.0 kWh/m³ (Kirk-Othmer 1984). Materiaalin energiapotentiaalin vaihteluväli laskettiin materiaalin metaanin- ja vedyntuottopotentiaalin maksimi- ja minimiarvolla. Peltobiomassojen energiapotentiaalin vaihteluvälin laskennassa huomioitiin myös satotason vaihtelut. Teknis-taloudellisiin energiapotentiaaleihin ei sisällytetty vedyn energiapotentiaalia, sillä vetyä ei vielä toistaiseksi tuoteta täyden mittakaavan laitoksissa. Laskelmissa ei huomioidu biokaasuprosessin kuluttamaa energiamäärää.

TAULUKKO 1 Biohajoavien jätteiden ja kasvien kuiva-aineen (TS) pitoisuudet sekä orgaanisen aineksen (VS) osuus kuiva-aineesta. Ominaisuuksista on esitetty keskiarvo sekä vaihteluväli (suluissa).

Jätteet	TS %	VS/TS %	Viitteet
Teurasjäte	26,4 (20,0 - 31,0)	90	Alvarez & Lidén 2008, Cuetos ym.2008, Salminen 2000
Kasvissjäte	11,3 (7,12 - 19,0)	92	Alvarez & Lidén 2008, Bouallaqui ym. 2004, Mtz.-Vituria ym. 1995, Parawira ym. 2005, Stabnikova ym. 2005
Yhdyskuntien biojäte	34,5 (33,5 - 35,0)	74	Kallunki & Koskenmäki 2004, Kurki 2008, Sokka ym. 2004
Puhdistamolietteet			
Yhdyskunnat	18,5 (3,0 - 50,0) ^{a)}	70	VAHTI ja ympäristöluvut
Elintarviketeollisuus	10,0 (2,0 - 30,0)	70	VAHTI, oma arvio
Metsä- ja paperiteollisuus	2,5 (2,0 - 3,0)	70	Oma arvio
Peltobiomassat			
Olki	89,8 (89,6 - 90,0)	92	Lehtomäki 2006
Nurmi	24,0 (17,4 - 43,7)	92	Lehtomäki 2006, Seppälä ym. 2009
Naatit	11,6 (-)	85	Lehtomäki ym. 2008

a)VAHTI -järjestelmässä lietteiden kuiva-ainepitoisuuksista osa on ilmoitettu raakalietteille, osa kuivatuille lietteille, mikä selittää TS:n suurehkon vaihteluvälin.

TAULUKKO 2 Biohajoavien jätteiden, kasvien ja lantojen metaanintuottopotentialit.

Lannat	Keskiarvo (CH₄ m³/tVS)	Vaihteluväli (CH₄ m³/tVS)	Viitteet
Nautaeläimet	175	100 – 250	Lehtomäki ym. 2007
Siat	350	300 – 400	Lehtomäki ym. 2007
Siipikarja	250	200 – 300	Salminen & Rintala 2002
Lampaat ^a	100	88 ^b – 113 ^c	Batzias ym. 2005, Kanwar & Kalia 1993,
Hevoset	150	120 – 180	Kreuger & Björnsson 2006, Kusch ym. 2008, Nilsson 2000
Jätteet			
Teurastamo	570	200 – 910	Salminen 2000
Kasvisjäte	370	180 – 514	Gunaseelan 2004
Yhdyskuntien biojäte	550	500 – 600	Lehtomäki ym. 2007
Lietteet ja jätevedet			
Yhdyskunnat	300	200 – 400	Lehtomäki ym. 2007
Metsäteollisuus	180	100 – 300	Oma arvio
Elintarviketeollisuus	400	300 – 500	Oma arvio
Jätevedet ^d	300	–	Rintala 2008
Peltobiomassat			
Olki	280	240 – 320	Lehtomäki 2006
Nurmi	302	213 – 360	Kaparaju ym. 2002, Lehtomäki ym. 2008, Seppälä ym. 2009
Naatit	340	–	Lehtomäki ym. 2008

a) Viitteissä m³/t TS, tässä yksikkö muutettu käyttäen taulukon 1. arvoja, b) laskettu artikkelin arvoista, c) laskettu artikkelin arvoista, olettaen biokaasun sisältävän n. 70 % metaania, d) m³/tCOD

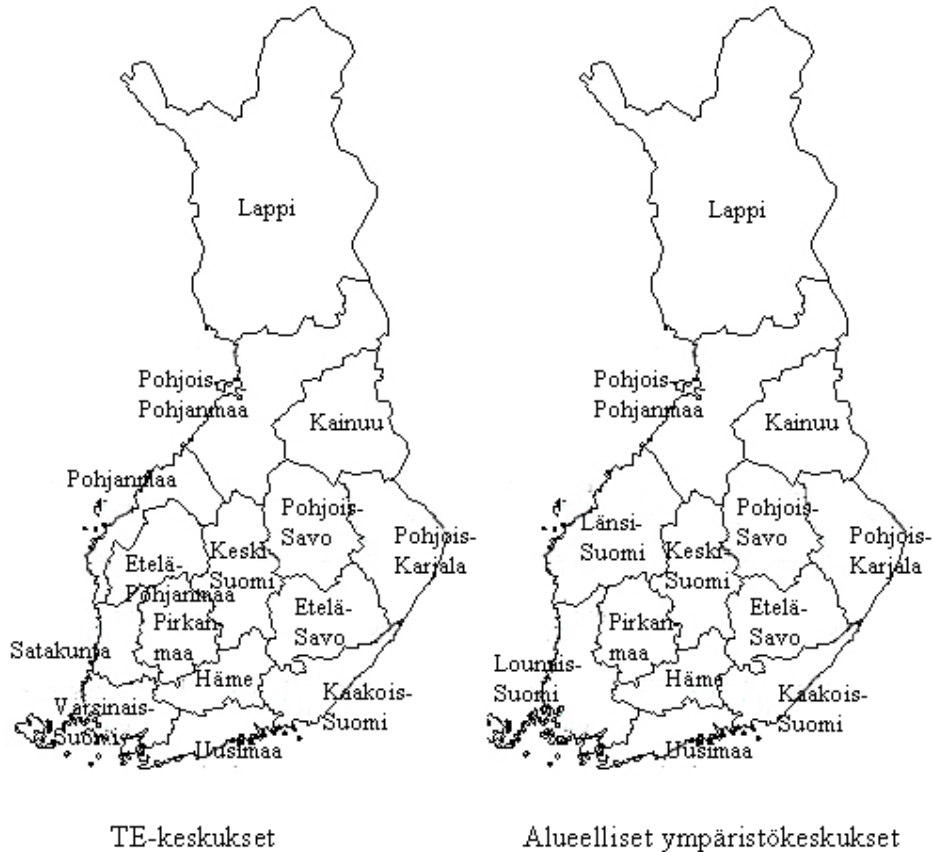
TAULUKKO 3 Biohajoavien jätteiden, kasvien ja lantojen vedyntuottopotentialit.

	Keskiarvo (H ₂ m ³ /tVS)	Vaihteluväli (H ₂ m ³ /tVS)	Viitteet
Biojäte	58,1	35,2 – 91,5	Gómez ym. 2006, Kim & Shin 2008, Liu ym. 2006, Shin ym. 2004
Teurasjäte	9,7	7,7 – 11,1	Okamoto ym. 2000
Vihannekset	49,1	14,2 – 71,0	Noike & Mizuno 2000, Okamoto ym. 2000
Jätevesiliete elintarviketeollisuus	35,0	20,0 – 50,0	Oma arvio
Peltokasvit ^a	44,5	16,0 – 82,2	Kyazze ym. 2008, Pakarinen ym. 2008, Tähti 2007
Lanta ^b	38,4	6,4 – 81,3	Gilroyed ym. 2008, Yokoyama ym. 2007a, Yokoyama ym. 2007b
Jätevesiliete ^a	21,3	13,0 – 25,9	Cai ym. 2004, Massanet-Nicolau 2008, Ting & Lee 2007
Jätevedet ^c	40,0	–	Van Ginkel ym. 2005

a) Viitteessä m³/tVS, tässä yksikkö muutettu käyttäen taulukon 1. arvoja. b) Viitteessä m³/tVS, tässä yksikkö muutettu käyttäen taulukon 4. arvoja kohdasta nautaeläimet. c) m³/t COD

Jätteiden (biojätteet, elintarviketeollisuuden jätteet) ja jätevesilietteiden määrät ja sijaintipaikat tähän tutkimukseen kerättiin ympäristökeskusten ylläpitämästä VAHTI-valvonta- ja kuormitustietojärjestelmästä, johon tallennetaan tietoja mm. ympäristösuojelulainsäädännön mukaisista luvista ja ilmoituksista. VAHTI-tietojärjestelmä sisältää jätetietoja kuitenkin vain alueellisten ympäristökeskusten ja lupavirastojen luvittamista ja alueellisten ympäristökeskusten valvomista laitoksista. Ts. tietojärjestelmästä puuttuvat kuntien luvittamat laitokset sekä laitokset, joiden toiminta ei edellytä ympäristölupaa (Tolppanen 2008). VAHTI:sta saatuja tietoja voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavina, sillä osa tiedoista puuttuu ja niissä saattaa olla virheitä (Turunen 2008). Esimerkiksi Keski-Suomen ja Etelä-Savon ympäristökeskuksista saatujen tietojen mukaan, osa näiden ympäristökeskusten jätevedenpuhdistamoiden lietetiedoista puuttui VAHTI:sta ja myös sellu- ja paperiteollisuuden lietetiedoissa oli puutteita (Angervuori 2008, Yli-Kauppila 2008). VAHTI - tietokannan puutteiden vuoksi kokonaispotentiaalien laskelmia tehtiin käyttäen muista lähteistä saatuja määriä.

Jätteiden (biojäte, elintarviketeollisuuden jätteet, jätevesilietteet, sellu- ja paperiteollisuuden jätteet) alueellinen tarkastelu tehtiin entisten ympäristökeskusten aluejaon mukaan. Lantojen ja peltobiomassojen tarkastelu tehtiin entisten TE-keskusten aluejaon mukaan (kuva 1).



KUVA 1 TE-keskukset ja alueelliset ympäristökeskukset (tilanne vuonna 2009).

2.2 Lannat

2.2.1 Yleistä laskentaperusteista

Naudan ja sian lanta ovat yleisesti käytettyjä biokaasuprosessien raaka-aineita ja myös muiden eläinten lantoja käytetään biokaasuprosessien syötteinä. Vedyn tuotantoa lannoista on toistaiseksi tutkittu vähän, mutta muutamissa tutkimuksissa sen on kuitenkin todettu olevan mahdollista (Gilroyed ym. 2008, Yokoama ym. 2007a, Zhu ym. 2007). Lannat sisältävät useita erilaisia mikrobeja ja ravinteita ja yleensä niiden puskurointikyky on korkea, mikä tasaa pH:n vaihtelua biokaasuprosessissa. Lannan määrä (per eläin) ja koostumus vaihtelevat paitsi eläinlajin, niin myös sen ruokinnan, eläimen koon, iän, käyttötarkoituksen ym. mukaan (ASAE 2003). Biokaasuprosessissa hyödynnettävän lannan määrään vaikuttavat mm. lannan kerättävyys, johon vaikuttaa mm. eläimen laidunkausi, tilojen koko ja välimatkat sekä muiden materiaalien saatavuus.

Suomessa lanta on joko liete- tai kuivikelantaa. Kuivikelantamenetelmässä lanta ja virtsa on sidottu kuivikkeeseen, Suomessa yleensä turpeeseen tai olkiin. Suomessa karjatiljoilla tulee olla lannalle vuoden lantamäärää vastaava va-

rastointikapasiteetti, esim. kattamattomat säiliöt riittävät. Suurin osa lannoista levitetään varastoinnin jälkeen pelloille kasvukaudella. Osa esimerkiksi siipikarjan lannasta myydään jatkojalostukseen, kuten kasviravinnetuotantoon tai kukkamullan valmistukseen (Siipikarjaliitto 2008).

Tässä työssä laskettiin nautojen, sikojen, siipikarjan, lampaiden, vuohien, hevosten ja turkiseläinten lantamäärät. Lantamäärät laskettiin kertomalla yhden eläimen tuottama lantamäärä vuodessa kunkin TE-keskuksen alueen eläinmäärällä. Nautojen, sikojen, siipikarjan, lampaiden ja vuohien eläinmäärät ovat Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE:n Matilda-tietokannasta, jossa eläinmäärät ja eläinten ikäluokat ovat julkaisuhetken tietoja. Tässä tutkimuksessa oletettiin eläinmäärien ja ikäjakaumien olevan samat koko vuoden. Hevosten kokonaismääränä käytettiin Suomen Hippos ry:n pitämän rekisterin tietoja (Hippos ry 2008,) ja turkiseläinten kokonaismääränä Suomen turkiseläinten kasvattajain liiton rekisterin tietoja (STKL 2008a). Eläinmäärät ovat vuodelta 2007.

Yksittäisen eläimen vuosittain tuottamana lantamääränä (m^3) käytettiin Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräyksissä annettujen kuivikelantalan ja lietalantasäiliöiden minimivarastointitilavuuksia, jotka on ilmoitettu m^3 /eläin/12 kk (MMM 1996). Säiliöiden tilavuudet sisältävät myös kuivikkeet ja pesuvedet. Nautojen lannasta 60 % ja sikojen lannasta 40 % oletettiin olevan kuivikelantaa ja loput lietalantaa (Mäenpää 2005). Muiden eläinten lannan oletettiin olevan kuivikelantaa. Kuivikelanta sisältää siis myös kuivikkeet ja lietalanta eläintilojen pesuvedet. Turkiseläinten tuottamat lantamäärät laskettiin samoin, kuin ne turkistarhojen ympäristöluvista on laskettu, eli eläinmääränä käytettiin ainoastaan siitoseläinten lukumäärää. Lisäksi turkiseläinten lannan metaanintuottopotentialina käytettiin lampaiden lannan metaanintuottopotentialia, koska muuta tietoa ei ollut saatavissa ja lampaiden lannan arveltiin vastaavan parhaiten turkiseläinten lantaa.

Tutkimuksessa käytetyt lantojen ominaisuudet sekä metaanin ja vedyn-tuottopotentialit on esitetty taulukoissa 2, 3 ja 4.

TAULUKKO 4 Tässä työssä käytetyt eläinten tuottamat vuosittaiset lantamäärät (m³) kuivikelantana, sisältäen kuivikkeet (lietelannan, sisältäen pesuvedet, arvot suluisissa) sekä lannan tiheys, kuiva-ainepitoisuus sekä orgaanisen aineksen osuus kuiva-aineesta.

Kotieläin	Lannantuotto ^a (m ³ /eläin/12 kk)	Tiheys ^b (t/m ³)	TS % ^b	VS/TS % ^c
Nautaeläimet				
Lypsylehmä	24 (24)	0,78 (0,99)	21,5 (5,5)	80
Emolehmä	15 (15)	0,78 (0,99)	21,5 (5,5)	80
Hiehot 2v ja yli	15 (15)	0,78 (0,99)	21,5 (5,5)	80
Hiehot 1- alle 2v	15 (15)	0,78 (0,99)	21,5 (5,5)	80
Sonnit 2v ja yli	15 (15)	0,78 (0,99)	21,5 (5,5)	80
Sonnit 1- alle 2v	15 (15)	0,78 (0,99)	21,5 (5,5)	80
Vasikat alle 1v	4 (4)	0,78 (0,99)	21,5 (5,5)	80
Siat				
Karjut 50 kg ja yli	2,4 (2,4)	0,64 (1,00)	29,3 (3,5)	75
Emakot 50 kg ja yli	2,4 (2,4)	0,64 (1,00)	29,3 (3,5)	75
Lhasiat 50 kg ja yli	2,4 (2)	0,64 (1,00)	29,3 (3,5)	75
Muut siat 20- alle 50 kg	1,2 (1)	0,64 (1,00)	29,3 (3,5)	75
Porsaat alle 20kg	1,2 (1)	0,64 (1,00)	29,3 (3,5)	75
Lampaat ja vuohet				
Uuhet 12 kk ja yli	1,5	0,59	34	-
Karitsoineet ja tiineet uuhet alle 12 kk	1,5	0,59	34	-
Muut lampaat	1,5	0,59	34	-
Vuohet	1,5	0,59	34	-
Siipikarja				
Munivat kanat väh. 20 viikkoa	0,050	0,62	48	75
Kananpoikaset alle 20 viikkoa	0,015	0,62	48	75
Kukot väh. 20 viikkoa	0,050	0,62	48	75
Broileriemot väh. 18 viikkoa	0,050	0,62	48	75
Broilerit	0,015	0,62	48	75
Kalkkunat	0,030	0,62	48	75
Turkiseläimet				
Minkki ja hilleri	0,25	0,74	47	-
Kettu ja supi	0,5	0,74	47	-
Hevoset	12	0,53	31	88 ^d

a) MMM 1996, b) Viljavuuspalvelu Oy 2009, c) Illeji ym. 2008, d) Kusch ym. 2008

2.2.2 Suomen lantamäärät ja vety- ja metaanipotentialit

Tässä työssä laskettu Suomessa vuosittain muodostuva kokonaislantamäärä (naudat, siat, siipikarja, lampaat, vuohet, hevoset ja turkiseläimet) on n. 2,25 milj. t TS (märkäpainona 17,3 milj. m³ ww). Nautojen lantaa tästä on 73 % eli n. 1,6 milj. t TS, josta noin 60 % muodostuu lypsykarjatiloilta. Nautakarjatiloi-
sta n. 30 % sijaitsee läntisessä Suomessa, Pohjois-Pohjanmaan, Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan alueilla. Myös Pohjois-Savoon on keskittynyt nautakarjan tuotantoa. Sian lantaa muodostuu vuosittain 237 000 t TS. Suomen sikatiloista n. 35 % on Varsinais-Suomen ja Satakunnan alueilla, ja myös Etelä-Pohjanmaalle ja Poh-

janmaalle on keskittynyt sianlihan tuotantoa. Siipikarjan lantaa muodostuu vuosittain n. 82 000 t TS. Siipikarjan ja munien tuotanto on keskittynyt pääasiassa Varsinais-Suomeen, jossa on lähes 40 % Suomen siipikarjasta ja johon sijoituu yli 60 % kananmunien tuotannosta. Broilerintuotanto on keskittynyt Etelä-Pohjanmaalle ja Satakuntaan. Lampaiden ja vuohien kasvatus on Suomessa vähäistä. Niitä kasvatetaan pääasiassa Lapissa, ja jonkin verran myös Varsinais-Suomessa ja Pohjois-Pohjanmaalla. Lampaiden ja vuohien tuottama lantamäärä on n. 34 000 tTS. Hevostalouden lantamääräksi on arvioitu n. 134 000 t TS, josta jopa 80 % on kuiviketta, joka usein on sahanpurua (Airaksinen 2000). Sahanpuru ei sovellu biokaasun tuotantoon. Mikäli hevosten lantaa haluttaisiin hyödyntää, olisi hevostiloilla siirryttävä toisenlaiseen kuivikemateriaaliin tai lanta olisi eroteltava kuivikkeista jonkinlaisen esikäsittelymenetelmän avulla. Turkiseläinten lantaa muodostuu n. 120 000 t TS (kuva 2, taulukko 5).

Käytännössä kaikkea lantaa ei kuitenkaan saada talteen. Eläinsuojeluasetus velvoittaa lypsylehmien ja pääasiassa maidontuotantoa varten kasvatettavien hiehojen, jotka pidetään kytkettyinä, jaloittelun vähintään 60 päivänä kesäaikaan, joko laitumella tai muussa jaloittelutilassa (7.6.1996/396). Usein eläimet kuitenkin ulkoilevat koko kesäajan eli n. 4 kk. Laitumelta lantaa ei pääasiassa kerätä talteen. Jos oletetaan kaikkien nautojen sekä lampaiden ja vuohien ulkoilevan 4 kk, sekä vähennetään hevosten että turkiseläinten tuottama lantamäärä kokonaismäärästä, on talteen saatu lantamäärä tällöin 1,4 milj. t TS (11,6 milj. m³ ww).

Muissa lantamäärä- (Tilastokeskus 2005) ja biokaasupotentiaaliselvityksissä (Lampinen 2003, Pahkala 2006) Suomessa muodostuvien lantojen määräksi on ilmoitettu n. 21 milj. m³, kun se tässä työssä oli 17,3 milj. m³. Lampisen selvityksessä lantamääränä on ilmeisesti käytetty Tilastokeskuksen aiemmin julkaisemaa lantamäärää. Tilastokeskuksen laskelmissa eläinmäärät ja näiden tuottamat lantamäärät on määritetty niin kutsutun eläinpaikkayksikön avulla (Kts. tarkempi määritelmä Mäenpää 2005), jolloin yhden eläinpaikan lantamäärään sisällytetään tietyillä kertoimilla myös jälkeläisten tuottamat lantamäärät. Tässä tutkimuksessa jälkeläisten tuottamat lantamäärät on laskettu erikseen sen perusteella, paljonko kullekin eläinlajille on jälkeläisiä tilastoitu.

Lantojen (mukaan lukien nautaeläimet, siat, siipikarja, lampaat, hevoset ja turkiseläimet) teoreettinen energiapotentiaali on 3,5 TWh/a (2,2 - 4,9 TWh/a), josta vedyn osuus on 185 GWh/a (30 - 390 GWh/a) ja metaanin osuus 3,4 TWh/a (2,2 - 4,5 TWh/a). Lantojen potentiaalista 13 % keskittyy Etelä-Pohjanmaalle. Pienin potentiaali on Kainuussa (taulukko 6).

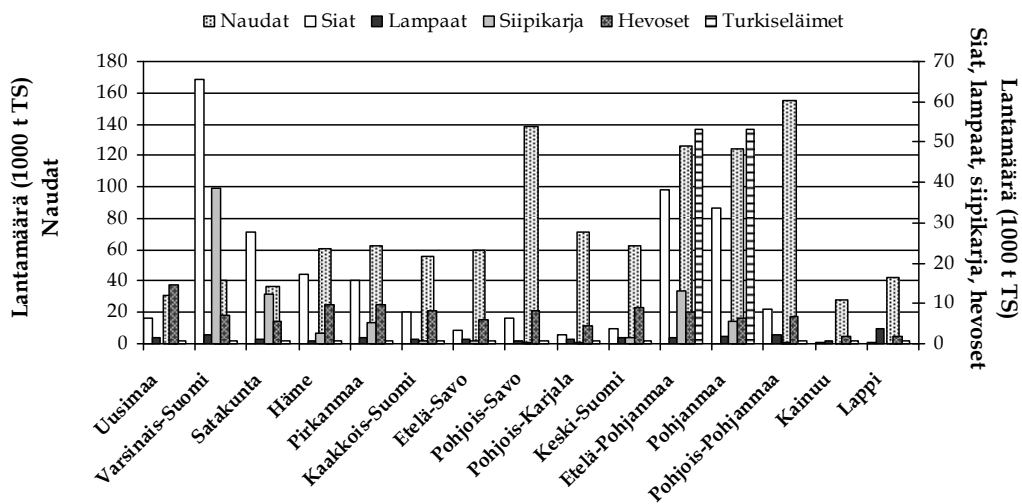
Teknistaloudellisessa tarkastelussa biokaasun tuotannossa nautojen, sikojen ja siipikarjan talteenkeräystä lannasta arvioidaan (arvio kirjoittajien) voitavan hyödyntää 60 % ja lampaiden 10 %. Tällöin lantojen teknis-taloudellinen energiapotentiaali olisi 1,4 TWh/a (0,9 - 1,8 TWh/a).

TAULUKKO 5 Eläinten lukumäärä, tuotettu lantamäärä, sekä näiden energiapotentiaalit.

	Lukumäärä (1000 kpl)	Lantamäärä (t TS/a)	Teoreettinen (GWh/a)	Teknis- taloudellinen (GWh/a)
Naudat	919	1 639	2 296	918
Siat	1 447	237	623	374
Siipikarja	9 776	82	154	92
Lampaat+vuohet	114 (6) ^a	34	26	2
Hevoset	68	134	190	-
Turkiseläimet	934 ^b	118	104	-

a) Suluissa vuohien osuus.

b) Vain siitoseläimet.



KUVA 2 Eri eläinten tuottamat laskennalliset teoreettiset lantamäärät TE -keskuksittain.

TAULUKKO 6

Lantojen (naudat, siat, siipikarja, lampaat ja vuohet, hevoset ja turkiseläimet) teoreettiset energiapotentiaalit vetynä, metaanina ja yhteensä, sekä teknis-taloudelliset (naudat, siat, siipikarja, lampaat ja vuohet) potentiaalit TE-keskuksittain.

	Teoreettinen			Teknis-taloudellinen
	H ₂ (GWh)	CH ₄ (GWh)	Yhteensä (GWh)	CH ₄ (GWh)
Uusimaa	8	109	117	36
Varsinais-Suomi	17	343	360	180
Satakunta	9	183	192	88
Häme	10	195	205	81
Pirkanmaa	10	200	211	83
Kaakkois-Suomi	8	154	162	60
Etelä-Savo	8	149	157	57
Pohjois-Savo	17	324	341	127
Pohjois-Karjala	9	165	174	64
Keski-Suomi	9	161	170	60
Etelä-Pohjanmaa	27	445	472	181
Pohjanmaa	25	413	438	164
Pohjois-Pohjanmaa	19	362	381	144
Kainuu	3	64	68	24
Lappi	5	97	103	36
Yhteensä	185	3 364	3 549	1 384

2.3 Peltobiomassat

Biokaasun tuotantoon soveltuvia peltobiomassoja ovat tarkoitukseen viljellyt kasvit, niin kutsutut energiakasvit, viljanviljelyn sivutuotteena muodostuva olki, hoidetuilta viljelemättömiltä pelloilta korjattava sato, sekä viljojen ja vihannesten viljelyssä muodostuvat varastotappiot ja muut vihannesten viljelyssä muodostuvat jätteet, kuten naatit. Lisäksi nurmien viljelyn toinen sato voitaisiin mahdollisesti käyttää biokaasuntuotantoon.

Energiakasvit, kuten esimerkiksi useimmat nurmikasvit ja perinteiset heinäkasvit soveltuvat vedyn ja metaanin tuottoon niiden korkean hiilihydraatti- ja alhaisen ligniinipitoisuuden ansioista. Erityisesti heinäkasvit, jotka on jalostettu alun perin rehuksi, hajoavat hyvin anaerobisissa olosuhteissa. Lisäksi niiden viljely on hyvin tunnettua ja hehtaarisadot suuria (Lehtomäki ym. 2007). Vedyntuotantoa varten kasvit tarvitsevat todennäköisesti esikäsitteilyn, jotta hiilihydraatit saataisiin helpommin hajoavaan muotoon.

Olkea muodostuu viljanviljelyn (ohra, kaura, vehnä ja ruis) sivutuotteena. Suomessa oljesta n. 20 % käytetään eläinten kuivikkeena ja jonkin verran eläinten ravinnoksi. Energian tuotantoon sitä on Suomessa toistaiseksi käytetty

vähän (Mäkinen ym. 2006, Nyholm ym. 2005). Maan ravinnetaloudellisista ja maaperärakenteellisista syistä voidaan olkea mahdollisesti korjata samalta paikalta vain joka toinen vuosi (Mäkinen ym. 2006).

Hoidettua viljelemätöntä peltoa on tuotantoon käyttämätön pelto, joka säilytetään siinä kunnossa, ettei sen käyttö maataloudellisiin tarkoituksiin vaarannu. Koska hoidettu viljelemätön pelto on pidettävä nurmipeitteisenä, ja kasvusto on niitettävä kerran kasvukaudessa (189/2009), voidaan tätäkin satoa hyödyntää biokaasuntuotannon raaka-aineena.

Juuresten ja vihannesten kasvatuksessa muodostuu jätteitä mm. myyntiin kelpaamattomista kasviksista, naateista, poistetuista lehdistä ja hedelmistä sekä käytetyistä kasvualustoista (Jaakkola 2008). Tuholaiset ja muu pilaantumisen aiheuttavat viljojen ja vihannesten varastoinnissa tappioita. Esimerkiksi avomaavihannesten keskimääräinen hävikki varastointikauden aikana on 15 – 30 % ww (Karhula ym. 2004).

Tässä tutkimuksessa käytetyt tiedot peltobiomassan tuotannon peltopinta-aloista on Maa- ja metsätalous ministeriön tietopalvelukeskus TIKE:n Matilda-tietokannasta vuodelta 2007. Laskelmissa kesantoalojen ja hoidettujen viljelemättömien peltojen oletettiin olevan nurmiviljelyssä. Nurmen ja olkien vuosisadot ovat taulukossa 7 ja vedyn- ja metaanintuottopotentialit taulukoissa 2 ja 3. Vuosittaiset viljojen ja perunoiden varastotappiot sekä vihannesten ja juuresten sadot, sekä perunan ja sokerijuurikaan viljelypinta-alat ovat Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelu TIKE:stä (TIKE 2006, TIKE 2007). Juuresten ja vihannesten varastotappioiden määrä laskettiin sadon perusteella olettaen varastotappion olevan n. 20 % sadosta (Karhula ym. 2004). Viljan kuiva-ainepitoisuuden arvioitiin olevan 80 % ja metaanintuottopotentialina käytettiin oljen metaanintuottopotentialia (taulukko 2).

TAULUKKO 7 Tässä työssä käytetyt nurmen ja olkien sadot t TS/ha, sekä vihannesten ja juuresten kokonaissato t ww.

	Sato (t TS/ha)	Viitteet
Nurmi	9,7 (6,5 – 11,5)	Seppälä ym. 2009
Nurmi 2. sato	3,3 (1,5 – 5,2)	Seppälä ym. 2009
Oljet	2 (1 – 3)	Mäkinen ym. 2006
Naatit, peruna	2,7	Börjesson 2007
Naatit, sokerijuurikas	3,0	Linné ym. 2008
Vihannekset ja juurekset	150 000 ^{a)}	TIKE 2006

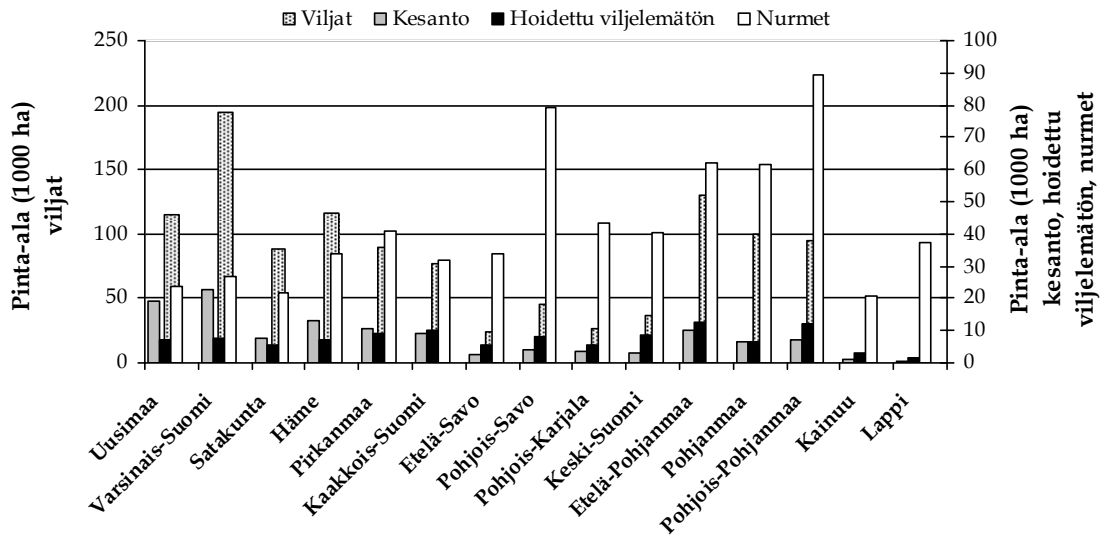
a) t ww, poislukien Ahvenanmaa

Suomessa oli vuonna 2007 maatalousmaata yhteensä 2 306 972 ha. Kasvien viljely on keskittynyt Varsinais-Suomeen, jossa n. 30 % pinta-alasta on viljelykäytössä. Myös Uudellamaalla, Etelä-Pohjanmaalla, Pohjanmaalla, Hämeessä ja Satakunnassa viljelykäytössä on n. 20 % pinta-alasta. Vähiten viljelykäytössä olevaa maata on Lapissa ja Kainuussa.

Viljoja viljeltiin vuonna 2007 1,15 milj. ha. Tältä alalta muodostui laskennallisesti olkea 2,3 milj. t TS, josta n. 17 % eli n. 390 000 t TS muodostui Varsi-

nais-Suomessa. Kesantopeltoa oli vuonna 2007 120 000 ha. Jos kaikki kesantopellot otettaisiin nurmiviljelykäyttöön, saataisiin niiltä vuosittain satoa n. 1,17 milj. t TS. Kesantopelloista 19 % sijaitsee Varsinais-Suomessa (kuva 3). Hoidettuja viljelemättömiä peltoja oli vuonna 2007 110 000 ha. Jos hoidetuilta viljelemättömillä pelloilta voitaisiin hyödyntää koko nurmisato, saataisiin niiltä vuosittain satoa n. 1,07 milj. t TS. Hoidetuista viljelemättömistä pelloista 12 % sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla.

Nurmia viljeltiin vuonna 2007 noin 650 000 ha. Nurmien viljely on yleisintä Pohjois-Pohjanmaalla, jossa sijaitsee 14 % kaikista nurmista. Laskennallinen nurmien toinen sato oli vuonna 2007 2,14 milj. t TS.



KUVA 3 Viljojen, kesannon, hoidetun viljelemättömän pellon ja nurmien pinta-alat TE-keskuksittain.

Yhteensä biokaasuprosessiin soveltuvia peltobiomassoja, mukaan lukien kesannoilla ja hoidetuilla viljelemättömillä pelloilla kasvatettu nurmi, olkisato sekä varsinaisen nurmiviljelyn toinen sato, muodostuu laskennallisesti vuosittain n. 3,4 – 8,8 t TS, riippuen satotasosta eli keskimäärin n. 6,21 milj. t TS. Tästä määrässä on vähennetty 20 % olkien sadosta, sillä tämä osuus on huomioitu lasketuissa lantamäärissä eläinten kuivikkeina. Peltobiomassojen teoreettinen energiapotentiaali on 17,8 TWh/a (7,0 – 31,4 TWh/a), josta vedyn osuus on 0,9 TWh/a (0,2 – 2,3 TWh/a) ja metaanin osuus on 16,7 TWh/a (6,9 – 29,0 TWh) (taulukko 8).

Edellisessä laskelmassa oletettiin kaikkien kestanto- ja hoidettujen viljelemättömiä peltoalojen (230 000 ha) olevan peltobioenergian tuotannossa. Lisäksi oletettiin, että nurmien (650 000 ha) toisen sadon ja viljan viljelyssä (1,15 milj. ha) muodostuvien olkien olevan hyödynnettävissä. Maa- ja metsätalousministeriön asettaman työryhmän arvioiden mukaan Suomen nykyisestä (vuosi 2008) peltoalasta voitaisiin noin 500 000 hehtaaria ottaa peltobioenergian tuotantoon (MMM 2005). Jos koko tämä ala olisi nurmiviljelyssä ja koko sato voi-

taisiin hyödyntää biokaasun tuotannossa, olisi peltokasveista saatava primaarienergia n. 13,5 TWh/a. Tällöin koko kesantoala olisi myös peltobioenergian tuotannossa.

TAULUKKO 8 Peltobiomassojen teoreettiset energiapotentiaalit vetynä, metaanina ja yhteensä, sekä teknis-taloudelliset potentiaalit. Laskennassa huomioitu kaikki kesantoala, kaikki sato hoidetuilta viljelemättömiltä pelloilta, 80 % oljista, sekä nurmien toinen sato.

	Teoreettinen			Teknis-taloudellinen
	H ₂ (GWh)	CH ₄ (TWh)	Yhteensä (TWh)	CH ₄ (TWh)
Uusimaa	75	1,4	1,5	0,5
Varsinais-Suomi	101	1,9	2,0	0,6
Satakunta	50	0,9	1,0	0,3
Häme	71	1,3	1,4	0,4
Pirkanmaa	68	1,3	1,3	0,4
Kaakkois-Suomi	60	1,1	1,2	0,4
Etelä-Savo	33	0,6	0,6	0,2
Pohjois-Savo	66	1,2	1,3	0,5
Pohjois-Karjala	40	0,8	0,8	0,3
Keski-Suomi	44	0,8	0,9	0,3
Etelä-Pohjanmaa	92	1,7	1,8	0,6
Pohjanmaa	71	1,3	1,4	0,4
Pohjois-Pohjanmaa	92	1,7	1,8	0,6
Kainuu	16	0,3	0,3	0,1
Lappi	22	0,4	0,4	0,2
Yhteensä	899	16,9	17,8	5,8
MMM	-	-	13,5	-

Peltobiomassoista saatavan energiamäärä vaihtelee riippuen viljeltävästä kasvilajikkeesta ja kasvien korjuuajasta. Myös prosessiolosuhteilla ja kasvien esikäsitelyllä on vaikutusta tuotettuihin energiamääriin. Tässä työssä pelloilla oletettiin viljeltävän nurmea, jonka sato on 6,50–11,5 t TS/ha. Joillain kasveilla satotaso saattaa kuitenkin olla jopa kolminkertainen tähän verrattuna. Toisaalta osa kesantopelloista saattaa olla huomommin viljelyyn soveltuvaa maata, jolloin sadot näiltä saattavat olla alhaisempia. Lisäksi vertailtaessa eri kasvilajikkeita, on otettava huomioon niiden vaatima viljelypanos eli viljelyyn kulunut energia. Esimerkiksi sokerijuurikkaan sato sekä metaanintuottopotentiali ovat korkeat, mutta myös viljelypanos on suuri, sillä sokerijuurikkaan kasvusto uusitaan vuosittain ja lisäksi se on herkkä rikkakasveille ja tuholaisille.

Tarkalleen ei tiedetä, kuinka paljon peltopinta-alasta olisi todellisuudessa mahdollista hyödyntää energiakasvien kasvatukseen. Esimerkiksi hoidetuilta viljelemättömiltä pelloilta voidaan korjata satoa eläinten rehuksi, eivätkä ne välttämättä ole käytettävissä energiakasvien viljelyyn (183/2006). Kaikkia energiakasveja ei voitane hyödyntää pelkästään biokaasuntuotantoon, sillä pelto-

biomassoja käyttöä myös muiden kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden tuotantoon tutkitaan.

Peltokasvien teknis-taloudellisen potentiaalin laskelmassa arvioitiin tässä työssä, että 40 % kesannoista ja hoidetuista viljelemättömistä pelloista voidaan hyödyntää biokaasun tuotantoon soveltuvien kasvien tuotannossa. Lisäksi arvioitiin, että 40 % nurmiviljelyn toisesta sadosta olisi mahdollista hyödyntää. Oljista 20 % käytetään tällä hetkellä kuivikkeina, joten tämä määrä sisältyy eläinten kuivikelantamääriin. Kuivikkeiden lisäksi arvioidaan, että olkien käyttöä voidaan lisätä 20 %. Näin laskettaessa peltobiomassojen teknis-taloudellinen energiapotentiaali olisi 5,8 TWh/a (2,9 – 9,3 TWh/a).

Varsinaisten peltobiomassojen lisäksi maataloudessa muodostuu kasviperäisiä jätteitä varastotappioiden sekä vihannesten viljelyssä esimerkiksi naatteina. Perunan varastotappiot ovat n. 20 000 t ww, viljojen n. 5000 t ww ja avomaan vihannesten n. 30 000 t ww (taulukko 7). Lisäksi vihannesten ja juuresten viljelyssä muodostuu n. 20 000 t ww kasviperäistä jätettä vuodessa (jätettä muodostuu keskimäärin 8,5 t /tila (Virtanen & Salo 2005), vihannestiloja n. 2000 (TIKE 2007)). Sokerijuurikkaan ja perunanviljelyssä muodostuu naatteja 117 000 t TS (taulukko 7). Avomaan vihannesten viljely on keskittynyt pääasiassa Varsinais-Suomen ja Satakunnan alueille. Perunaa kasvatetaan lähinnä Etelä-Pohjanmaalla ja Pohjanmaalla ja viljoja Varsinais-Suomessa. Sokerijuurikkaan viljely on keskittynyt Varsinais-Suomeen ja Satakuntaan. Vihannesten ja viljojen varastotappioiden, vihannesten viljelyssä muodostuvien jätteiden, sekä perunan ja sokerijuurikkaan viljelyssä muodostuvien naattien teoreettinen energiapotentiaali on n. 385 GWh/a metaania ja n. 19 GWh/a vetyä. Tässä työssä näitä määriä ei laskettu mukaan peltobiomassojen kokonaismääriin. Vihannesten ja viljojen varastotappiot ovat suhteessa pieniä ja niiden merkitys voi olla lähinnä paikallinen. Perunoiden varret eivät useinkaan ole korjuukelpoisia, sillä varret tuhotaan usein ruiskuttamalla ennen korjuuta, kuoren vahvistamiseksi ja perunanaruton torjumiseksi (Ahvenniemi ym. 2006, Kasvinsuojeluseura ry 2010). Sokerijuurikkaan naateista n. 10 % käytetään eläintenrehuna, joten 90 % olisi mahdollisesti käytettävissä muuhun käyttöön (Sokerijuurikkaan tutkimuskeskus 2010). Tässä työssä arvioidaan, että n. 70 % sokerijuurikkaan naateista voitaisiin hyödyntää, joten naattien teknistaloudellinen potentiaali on 94 GWh.

2.4 Yhdyskuntien biohajoava jäte

Yhdyskunnissa kerättävää biohajoavaa jätettä ovat niin (erilliskerätty) biojäte (keittiö- ja puutarhajäte,) kuin muussa jakeessa (esim. kuivajae) oleva biohajoava aines kuten paperi ja kartonki. Biojätteestä noin 75 % on keittiöjätettä ja noin 25 % puutarha- ja puisto-jätettä (VAHTI 2006). Biojäte sisältää runsaasti erilaisia hiilihydraatteja, rasvoja ja proteiineja, ja sen metaanin- ja vedyntuottopotentiaali on korkea. Suomessa vähintään yhtä paljon biojätettä kulkeutuu sekajätteen mukana kaatopaikoille, kuin sitä saadaan erilliskeräyksellä talteen ja lisäksi n. 20 % erilliskerätystä biojätteestä päätyy kaatopaikoille (Mroueh ym. 2007). Bio-

jätteen erilliskeräystä sekä hyötykäyttöä tehostamalla voitaisiin biojätteestä tuotettavissa olevan metaanin määrää kasvattaa.

Erilliskerätyn biojätteen kokonaismäärä saatiin useasta eri lähteestä, mutta aluekohtainen tarkastelu tehtiin perustuen Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämässä VAHTI - tietojärjestelmässä raportoituuihin määriin, jossa määrät ovat jätehuoltoyhtiöiden sekä muiden käsittelylaitosten vastaanottamiksi ilmoittamia syntypaikkalajitellun biojätteen määriä. Vastaanotettujen biojätteiden määriin on laskettu mukaan biohajoavan keittiö- ja ruokajätteen lisäksi myös öljyt ja rasvat, sen sijaan biohajoavat puutarha- ja puistojätteet on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Tässä työssä käytetyt biojätteiden ominaisuudet sekä metaanin-, että vedyntuottopotentialit on esitetty taulukoissa 1,2 ja 3.

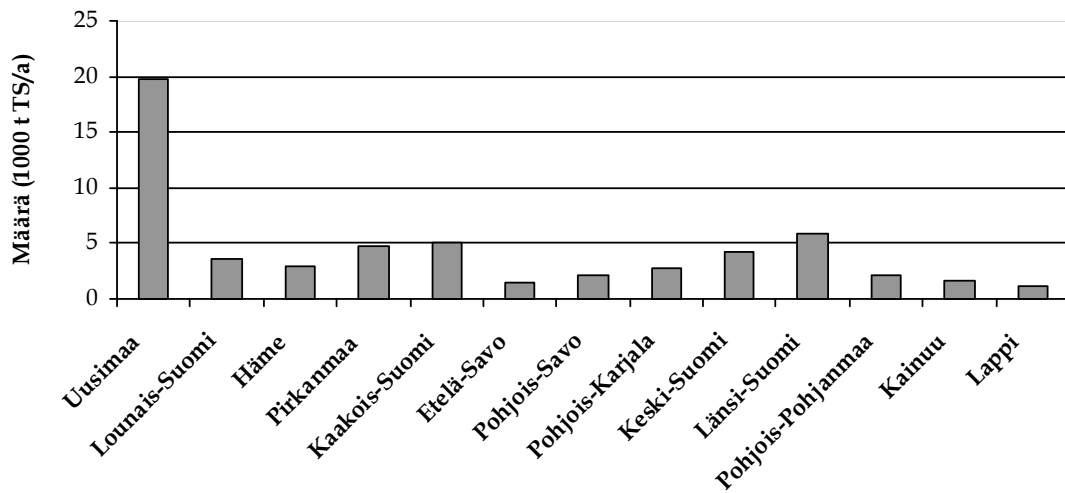
VAHTI:iin perustuvan laskelmien mukaan yhdyskuntien biojätettä erilliskerättiin vuonna 2006 n. 186 000 t ww (64 000 t TS), josta keittiö- ja ruokajätettä n. 176 000 t ww (60 720 t TS) sekä rasvoja ja öljyjä 9 300 t ww (3 200 t TS). Biojätettä erilliskerätään pääsääntöisesti eniten suurimman asukastiheyden alueilla eli Uudellamaalla ja vähiten pienen asukastiheyden alueella eli Lapissa. Toisaalta raportoitu erilliskerätyn biojätteen määrä vaihtelee ympäristökeskuksittain riippumatta väestömäärästä/tiheydestä, koska jätteitä saatetaan toimittaa myös toisen ympäristökeskuksen alueelle (kuva 4).

Keräysjärjestelmästä riippuen biojäte voi sisältää epäpuhtauksia, kuten muoviovia, lasia ja metallia, jotka on poistettava ennen biojätteen hyödyntämistä. Esikäsittelyn seurauksena myös osa orgaanisesta aineesta siirtyy esikäsittelyssä muodostuvaan rejektiin, joka toimitetaan esim. kaatopaikalle. Tässä työssä oletettiin, että 10 % erilliskerätyn biojätteen määrästä päätyy esikäsittelyn seurauksena rejektiin.

VAHTI-tietojen perusteella laskettu erilliskerätyn biojätteen (64 000 t TS) teoreettinen energiapotentiaali on 240 GWh/a (220 - 270 GWh/a), josta vedyn osuus 9 GWh/a (5 - 14 GWh) ja metaanin osuus 235 GWh/a (210 - 260 GWh/a). Biojätteen energiapotentiaalista 33 % on Uudellamaalla (taulukko 9). Erilliskeräytystä biojätteestä hyödynnettiin vuonna 2007 noin 85 % (Suomen Ympäristökeskus 2007). Jos ko. määrä hyödynnettäisiin biokaasun tuotantoon, olisi biojätteen teknistaloudellinen energiapotentiaali 200 GWh/a (180 - 220 GWh/a). Toisaalta Suomessa muodostuvista ja erilliskeräytyistä biojätteiden määristä on vaihtelevaa tietoa. Ympäristökeskuksen tekemän selvityksen mukaan Suomessa erilliskerättiin biojätettä vuonna 2006 350 000 t ww (Suomen ympäristökeskus 2007) ja tilastokeskuksen mukaan 197 000 t ww (Tilastokeskus 2007a). Vuonna 2007 erilliskerätyn biojätteen määrä oli Tilastokeskuksen mukaan noussut 277 400 t ww (Tilastokeskus 2007b). Erot määrissä voivat johtua mm. siitä, miten tiedot jätemääristä on kerätty ja mitä jäte-eriä biojätteeseen on laskettu (esim. rasvat ja puutarha- ja puistojätteet) ja ovatko mukana myös kiinteistökohtaisesti kompostoidut biojätteet. Biojätteen määrä voi myös olla laskennallinen, jolloin on arvioitu tuotetun biojätteen määrä keskimäärin per henkilö sekä biojätteen keräysaste. Jos biojätettä arvioidaan muodostuvan vuosittain n. 100 kg/hlö/a (YTV 2009), niin biojätteen kokonaismäärä (sisältäen erilliskerätyn sekä sekajätteen mukana kaatopaikalla joutuvan biojätteen määrän) olisi yhteensä n. 540 000 t ww eli 186 000 tTS. Tällöin biojätteen teoreettinen energiapo-

tentiaali on 787 GWh, josta vedyn osuus 28 GWh ja metaanin 758 GWh (taulukko 9).

Voidaan karkeasti arvioida, että erilliskerätyn biojätteen lisäksi kuiva-/energiajätteen energiapotentiaali on vähintään yhtä suuri kuin erilliskerätyn biojätteen, todennäköisesti suuruusluokka voi olla kaksinkertainen. Ko. potentiaali voitaisiin hyödyntää esimerkiksi anaerobivaiheen sisältävällä mekaanis-biologisella käsittelyllä tai osin kaatopaikalle sijoitettuna. YTV:n selvityksen mukaan sekajätteen mukana kaatopaikoille kulkeutuu n. 42 kg keittiöjätettä per henkilö vuodessa (YTV 2007). Näin Suomessa kaatopaikoille kulkeutuisi kotitalouksista n. 210 000 t ww keittiöjätettä vuosittain. Tämän teoreettinen energiapotentiaali on n. 310 GWh, josta vedyn osuus n. 10 GWh ja metaanin 300 GWh.



KUVA 4

Erilliskerätyn biojätteen määrät ympäristökeskuksittain.

TAULUKKO 9 Erilliskerätyn biojätteen sekä laskennallisen kokonaismäärän teoreettiset energiapotentiaalit vetynä, metaanina ja yhteensä, sekä teknistaloudelliset potentiaalit.

	Teoreettinen			Teknistaloudellinen
	H ₂ (GWh)	CH ₄ (GWh)	Yhteensä (GWh)	CH ₄ (GWh)
Etelä-Savo	0,2	6,2	6,5	5,3
Pirkanmaa	0,7	19,0	19,7	16,2
Lounais-Suomi	0,5	14,4	14,9	12,2
Kaakois-Suomi	0,8	20,6	21,4	17,5
Häme	0,4	11,8	12,2	10,0
Länsi-Suomi	0,9	23,9	24,8	20,3
Pohjois-Karjala	0,4	11,5	11,9	9,8
Pohjois-Savo	0,3	8,9	9,2	7,6
Uusimaa	3,0	80,3	83,3	68,2
Kainuu	0,3	6,8	7,0	5,7
Pohjois-Pohjanmaa	0,3	8,8	9,2	7,5
Lappi	0,2	4,8	5,0	4,1
Keski-Suomi	0,7	17,6	18,2	14,9
Yhteensä (VAHTI)	8,8	235	243	199
Suomen ymp.kesk. 2007	17	442	459	376
Tilastokeskus 2007b	13	350	364	298
Laskennallinen^{a)}	28	758	787	258^{b)}

a) Laskettu arvolla 100 kg/hlö/a

b) Erilliskeräysasteen oletettu olevan n. 40 %, josta 85 % hyödynnetään.

2.5 Yhdyskuntien jätevesilietteet ja jätevedet

Suomessa yli 80 prosenttia asukkaista on keskitetyn viemäröinnin ja jätevedenkäsittelyn piirissä. Kaikissa asutuskeskuksissa jätevedet käsitellään pääsääntöisesti aerobisesti biologis-kemiallisella prosessilla. Käsittelyssä muodostuu biologista ja kemiallista lietettä, joka käsitellään esim. anaerobisesti, kompostoimalla tai kalkitsemalla (Suomen ympäristökeskus 2006, Suomen ympäristökeskus 2009b). Lietettä muodostuu myös esimerkiksi haja-asutuksen sako- ja umpikaivoista, joista iso osa toimitetaan kunnallisille jätevedenpuhdistamoille. Kunnallisille jätevedenpuhdistamoille toimitetaan jonkin verran myös teollisuuden jätevesiä ja lietteitä. Jätevesien käsittelyssä lietteitä muodostuu prosessin eri vaiheissa yhteensä 0,7 – 1,2 kg TS poistettua BOD₇ kg:a kohti ja sen tuotanto keskittyy suurien väestökeskusten puhdistamoille (Suomen Ympäristökeskus 2009a).

Liete sisältää runsaasti orgaanista ainetta, kuten hiilihydraatteja ja proteiineja sekä ravinteita. Lieite voi sisältää myös haitallisia aineita kuten raskasmetalleja, pysyviä orgaanisia yhdisteitä ja taudinaiheuttajia. Lietteestä noin 80 % hyödynnetään viherrakentamisessa ja maisemoinnissa. Maatalouskäyttöön menee noin 12 % ja noin 6 % sijoitetaan kaatopaikoille (Rantanen ym. 2008).

Tähän tutkimukseen tiedot jätevesilietteiden määrästä on kerätty VAHTI-tietojärjestelmästä. Jätevesilietteet on jaettu VAHTI:ssa seitsemään luokkaan (ei stabiloitu liete, lahotettu liete, mädätetty liete, kalkkistabiloitu liete, termisesti käsitelty liete, muulla taudinaiheuttajia vähentävällä menetelmällä käsitelty liete, kompostoitu asumisjätevesien käsittelyssä muodostunut liete). Näiden lietteiden kuiva-ainepitoisuus vaihtelee 3 – 50 % välillä, mutta koska tarkempaa tietoa kunkin jätevesiliete-erän kuiva-ainepitoisuudesta ei ollut saatavilla, käytettiin tässä laskelmassa keskimääräistä arvoa 18,5 %. Mädätetyt lietteet VAHTI:ssa ovat lietemääriä mädätysprosessin jälkeen. Mädätysprosessin aikana noin puolet lietteen sisältämästä orgaanisesta aineesta hajoaa, joten alkuperäinen lietemäärä ennen mädätysprosessia on suurempi. Siksi mädätettyjen lietteiden todelliset määrät laskettiin hyödyntämällä kunkin laitoksen kaasuntuotantotietoja. Eli tuotettu kaasumäärä jaettiin jätevesilietteiden keskimääräisellä metaanintuotolla ($300 \text{ m}^3/\text{tVS}$). Jätevesilietteen metaanin- ja vedyntuottopotentiaalit ja ominaisuudet on esitetty taulukoissa 1, 2 ja 3.

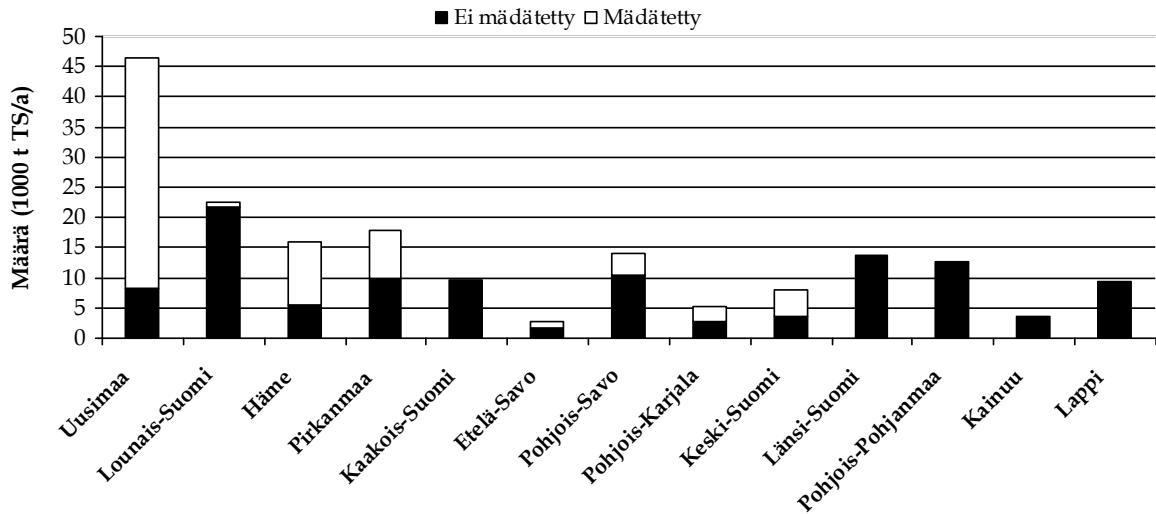
Tämän työn laskelmien mukaan jätevesilietteitä muodostui vuonna 2006 n. 980 000 t ww (180 000 t TS). Jätevesilietteitä muodostuu eniten Uudellamaalla ja Lounais-Suomessa (kuva 5). Mikäli kaikki muodostuva jätevesiliete voitaisiin hyödyntää, on lietteiden teoreettinen energiapotentiaali n. 390 GWh/a (260-520 GWh/a), josta vedyn osuus 10 GWh/a (6 – 12 GWh/a) ja metaanin osuus 380 GWh (250 –510 GWh/a) (taulukko 10).

Suomessa toimi vuonna 2006 13 biokaasulaitosta (lietemädättämöä) jätevedenpuhdistamoilla. Näissä käsiteltiin vuonna 2006 375 000 t ww (70 000 t TS) jätevesilietteitä. Biokaasua tuotettiin yhteensä 23,02 milj. m^3 (primaarienergiana 150 GWh), josta hyödynnettiin n. 110 GWh sähköinä, lämpönä ja mekaanisena energiana. Tuotetusta biokaasusta hyödyntämättä jäi n. 15 %, joka poltettiin soihtuna (Kuittinen ym. 2007). Jätevedenpuhdistamon lietteitä jää vielä hyödyntämättä 60 % eli 610 000 t ww (110 000 t TS). Vielä hyödyntämättömän jätevesilietteen teoreettinen energiapotentiaali on 240 GWh/a (160 – 320 GWh/a), josta vedyn osuus on 6 GWh/a (4 – 7 GWh/a) ja metaanin osuus 235 GWh/a (160-310 GWh/a). Suurin hyödynnettävissä oleva potentiaali on Lounais-Suomessa, jossa muodostui vuonna 2006 jätevedenpuhdistamon lietteitä 122 300 t ww (22 600 t TS), mutta joista vuonna 2006 hyödynnettiin biokaasun tuotannossa n. 4 % (kuva 5).

Jos kaikkien suurimpien kaupunkien jätevedenpuhdistamoiden lietteet hyödynnettäisiin biokaasuntuotannossa ja kaikki tällä hetkellä jätevedenpuhdistamoilla tuotettu biokaasu hyödynnettäisiin, olisi yhdyskuntien jätevesilietteiden teknistaloudellinen potentiaali n. 220 GWh/a (150 – 300 GWh/a).

Suomessa yhdyskuntien jätevesiä muodostuu noin 500 milj. m^3 vuodessa (Suomen ympäristökeskus 2009b) ja ne sisältävät orgaanista ainesta 0,15 – 0,80 kgCOD/m^3 eli keskimäärin 0,49 kgCOD/m^3 (Ympäristöhallinto 2008). Yhdyskuntien jätevesien vuosittainen laskennallinen COD -kuorma on siis n. 245 000 t. Jos nämä jätevedet voitaisiin hyödyntää suoraan anaerobitekniikoilla, saataisiin niistä metaania n. 73,5 milj. m^3 . Tämä vastaa primaarienergiana n. 740 GWh. Energian tuottamisen lisäksi menetelmä vähentäisi nykyisten puhdistusprosessien ja prosesseissa muodostuneiden lietteiden käsittelyn energiankulu-

tusta, sillä anaerobisessa jäteveden käsittelyssä muodostuu lietettä n. 10 % aerobisen käsittelyn lietemäärästä. Anaerobitekniikkaa käytetään yhdyskuntajätevesien käsittelyyn kuitenkin toistaiseksi lähinnä olosuhteissa, joissa jätevedet ovat lämpimiä ja väkeviä, kuten esim. Etelä-Amerikassa. Tiettävästi esim. Euroopassa ei ole merkittäviä anaerobitekniikan sovelluksia yhdyskuntien jätevesille.



KUVA 5

Yhdyskuntien jätevesilietteiden määrä ympäristökeskuksittain.

TAULUKKO 10 Yhdyskuntien jätevesilietteiden teoreettiset potentiaalit vetynä, metaanina ja yhteensä, sekä teknistaloudelliset potentiaalit.

	Teoreettinen			Teknistaloudellinen
	H ₂ (GWh)	CH ₄ (GWh)	Yhteensä (GWh)	CH ₄ (GWh)
Uusimaa	2,5	97,8	100,2	80,3
Lounais-Suomi	1,2	47,5	48,7	22,8
Häme	0,8	33,4	34,3	22,1
Pirkanmaa	0,9	37,5	38,5	16,9
Kaakois-Suomi	0,5	19,9	20,4	14,8
Etelä-Savo	0,1	5,9	6,0	2,5
Pohjois-Savo	0,7	29,3	30,0	10,1
Pohjois-Karjala	0,3	10,9	11,1	5,2
Keski-Suomi	0,4	17,0	17,4	9,3
Länsi-Suomi	0,7	28,8	29,5	10,4
Pohjois-Pohjanmaa	0,7	26,6	27,2	9,1
Kainuu	0,2	7,3	7,5	3,6
Lappi	0,5	19,5	20,0	16,6
Yhteensä	9,6	381	391	224
Jätevedet	-	740	-	-

2.6 Elintarviketeollisuuden jätteet ja jätevedet

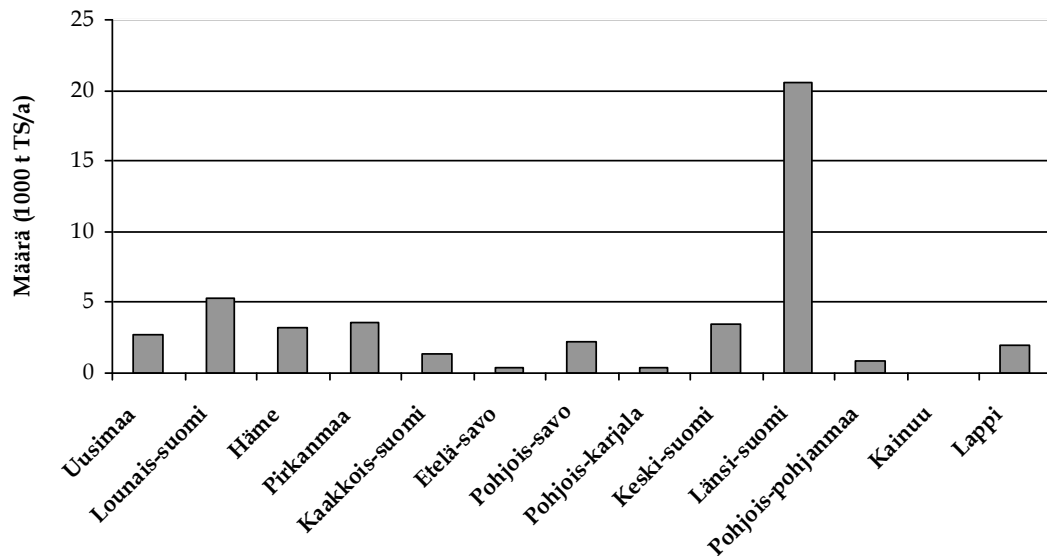
Elintarviketeollisuudessa muodostuu sivutuotteena biohajoavia jätteitä, kuten rasvoja ja tärkkelysperäisiä jätteitä. Suomessa suurimmat elintarviketeollisuuden alat ovat teurastus ja lihanjalostus, meijerituotteiden valmistus, myllytuotteiden, tärkkelyksen valmistus sekä alkoholi- ja virvoitusjuomien valmistus (Elintarviketeollisuus ry 2009).

Elintarviketeollisuuden jätteet jakaantuvat pääasiassa kasviperäisiin, eläinperäisiin ja erilaisiin lietteisiin. Kasviperäistä jätettä muodostuu huomattavia määriä perunan ja juuresten kuorimotoiminnasta, jossa kuorittavasta raaka-aineesta 30 - 40 % päätyy jätteeksi (Lehto ym. 2006). Eläinperäisestä jätteestä suurin osa muodostuu teurastamoilla. Pienempiä määriä muodostuu lisäksi maataloudessa ja turkistarhauksessa. TSE -materiaalia eläinperäisestä jätteestä on n. 15 000 t ww (Suomen ympäristökeskus 2002). Elintarviketeollisuuden jätteistä reilu puolet käytetään eläinten rehuna, loput kompostoidaan, jatkojalostetaan uusiksi tuotteiksi, hyödynnetään energiana tai sijoitetaan kaatopaikalle (VAHTI 2006).

Tiedot elintarviketeollisuuden jätemääristä on kerätty VAHTI-tietojärjestelmästä ja Tilastokeskukselta. Vuosittain teurastettujen porojen lukumäärä on Paliskuntain yhdistykseltä ja porojen teurastuksessa muodostuvan teurasjätteen määrä Suomen ympäristökeskukselta (Paliskuntain yhdistys ry 2008a, Yli-Kauppara & Rainio 2000). Vuosittain muodostuvien turkiseläinten ruhojen määrä on Maa- ja metsätalousministeriön julkaisusta (MMM 2002).

Elintarviketeollisuuden jätteet ovat koostumukseltaan vaihtelevia riippuen tuotantoalasta. Näissä laskelmissa elintarviketeollisuuden jätteet jaoteltiin karkeasti kasvi- ja eläinperäisiin sekä lietteisiin. Tässä työssä käytetyt elintarviketeollisuuden jätteiden ominaisuudet ja vedyn- ja metaanintuottopotentialit on esitetty taulukoissa 1, 2 ja 3.

VAHTI:in mukaan Suomessa muodostui vuonna 2006 310 000 t ww (46 000 t TS) elintarviketeollisuuden jätteitä. Näistä eläinperäisiä jätteitä muodostui 83 000 t ww (22 000 t TS), kasviperäisiä jätteitä n. 113 000 t ww (13 000 t TS) ja jätevedenpuhdistamolietteitä n. 111 000 t ww (11 000 t TS). Kaikesta elintarviketeollisuuden jätteistä 45 % muodostui Länsi-Suomessa (Etelä-Pohjanmaa ja Pohjanmaa), sillä alueelle on keskittynyt paljon lihanjalostus- sekä perunanjalostusteollisuutta (kuva 6).



KUVA 6 Elintarviketeollisuudessa muodostuvat jätemäärät ympäristökeskussittain.

VAHTI:in määriin perustuva elintarviketeollisuuden jätteiden teoreettinen energiapotentiaali on 190 GWh/a (85 - 283 GWh/a), josta vedyn osuus 3,7 GWh/a (1,7 - 5,1 GWh/a) ja metaanin osuus 186 GWh/a (84 - 278 GWh/a) (taulukko 11).

TAULUKKO 11 Elintarviketeollisuudessa muodostuvien jätteiden teoreettiset energia-
 potentiaalit vetynä, metaanina ja yhteensä sekä teknistaloudelliset po-
 tentiaalit ympäristökeskuksittain.

	Teoreettinen		Teknistaloudellinen	
	H ₂ (GWh)	CH ₄ (GWh)	Yhteensä (GWh)	CH ₄ (GWh)
Uusimaa	0,4	9,5	9,9	4,8
Lounais-suomi	0,5	18,3	18,8	9,1
Häme	0,4	11,6	12,0	5,8
Pirkanmaa	0,1	17,9	18,0	8,9
Kaakkois-suomi	0,1	6,0	6,1	3,0
Etelä-savo	0,0	1,7	1,7	0,9
Pohjois-savo	0,1	10,3	10,4	5,1
Pohjois-karjala	0,0	1,7	1,7	0,8
Keski-suomi	0,1	17,4	17,5	8,7
Länsi-suomi	1,6	82,6	84,1	41,3
Pohjois- pohjanmaa	0,06	3,0	3,1	1,5
Kainuu	0,001	0,03	0,03	0,02
Lappi	0,3	6,5	6,9	3,3
Yhteensä	4	186	190	93
Tilastokeskus	8	550	558	275
Jätevesi	-	24	-	-

Tilastokeskuksen mukaan Suomessa muodostui elintarviketeollisuudessa vuonna 2006 622 100 t ww eläin- ja kasvijätettä ja 14 400 t ww lietteitä, eli 50 % enemmän, mitä VAHTI:iin on kirjattu. Iso osa elintarvikealan yrityksistä on kooltaan niin pieniä, että ne eivät kuulu VAHTI:n piiriin. Esimerkiksi leipomojätteitä VAHTI:sta löytyy yhteensä 2600 t ww, mutta jo Fazer-leipomot yksinään tuotti vuonna 2006 5270 t ww todennäköisesti biokaasuprosessiin soveltuvaa jätettä (Fazer leipomot Suomi 2006). Toisaalta osa pienempien yritysten biojätteistä saatetaan toimittaa kunnallisille kaatopaikoille, joten silloin niiden tuottamat biojätteet näkyvät VAHTI:ssa kaatopaikkojen vastaanotetuissa jätteissä. Käyttäen Tilastokeskuksen raportoimia elintarviketeollisuuden tuottamia jätemääriä, olisi elintarviketeollisuuden jätteiden teoreettinen energiapotentiaali 558 GWh. Toisaalta osa tästä jätemäärästä saattaa sisältyä kaatopaikoilla vastaanotettuihin biojätteisiin.

Yli 50 % elintarviketeollisuuden jätteistä hyödynnetään tällä hetkellä eläinten rehuna ja lisäksi osasta jätteistä jalostetaan muita tuotteita. Esimerkiksi elintarvikejäteöljyistä voidaan jalostaa biologisesti hajoavia voiteluaineita, diesel- ja lämmitysöljyjä ja teknisten tuotteiden raaka-aineita (SKK Oy 2008). Kaikkea muodostuvaa jätettä ei myöskään ole teknisistä ja taloudellisista syistä kannattavaa hyödyntää. Jos oletetaan, että elintarviketeollisuuden jätteistä voitaisiin hyödyntää metaanin tuotossa n. 50 %, on teknistaloudellinen energiapotentiaali VAHTI:in määriin perustuen 93 GWh/a (42 - 139 GWh/a).

Turkistarhauksessa muodostuu eläinten nahkomisen yhteydessä ruhoja n. 25 000 - 30 000 t ww vuodessa. Tässä työssä tätä määrää ei huomioitu elin-

tarviketeollisuudessa muodostuvien jätteiden määrässä. Turkistarhaus on keskittynyt pienelle alueelle Länsi-Suomeen, joten sen merkitys on paikallinen. Ruhojen teoreettinen energiapotentiaali 37,5 GWh/a, josta vedyn osuus 0,2 GWh/a ja metaanin 37,2 GWh/a.

Suomessa on noin 200 000 poroa, joista teurastetaan vuosittain n. 100 000 (Paliskuntain yhdistys ry 2008a). Teurasjätettä muodostuu n. 20 kg ww /teurastettu poro, eli n. 2000 t ww. Tätä määrää ei huomioitu elintarviketeollisuudessa muodostuvien jätteiden määrässä (Paliskuntain yhdistys ry 2008b). Porojen teurasjätteiden teoreettinen energiapotentiaali on 2,6 GWh/a, josta metaanin osuus 2,6 GWh/a ja vedyn osuus 16 MWh/a.

Elintarviketeollisuudessa muodostuu jätevesiä n. 3.5 milj. m³/a, ja vesistökuormitus on 752 tCOD/a (Suomen ympäristökeskus 2008). Jos arvioidaan, että puhdistamot poistavat 90 % COD:sta olisi tehtailta tuleva COD -kuormitus 7520 tCOD/a ja jos metaanintuotto olisi 350 m³/tCOD, olisi jätevesien metaanipotentiaali 2 368 800 m³ metaania eli 23,7 GWh. Useimmille elintarviketeollisuuden jätevesille anaerobista käsittelyä pidetään yleensä hyvin soveltuvana ja käsittely vähentäisi myös jätevedenpuhdistamoiden lietteiden määrää.

2.7 Sellu- ja paperiteollisuuden jätteet ja jätevedet

Suomessa oli vuonna 2008 26 paperitehdasta sekä 17 sellutehdasta, jotka tuottivat paperia 10,2 milj. t ja sellua 7,2 milj. t (Metsäteollisuus ry 2009). Sellun ja paperin valmistus on keskittynyt Kaakkois-Suomeen, jossa sijaitsee 21 % kaikista Suomen paperitehtaista ja 41 % Suomen sellutehtaista.

Sellu- ja paperiteollisuus kuluttavat prosesseihinsa paljon vettä, joten myös jätevesimäärät ovat suuria. Jätevedet sisältävät erilaisia orgaanisia yhdisteitä, kuituja ja vähäisiä määriä ravinteita ja niiden COD vaihtelee 7 – 130 kg / tuotettu t (EIPPCB 2001). Sellu- ja paperiteollisuuden jätevedet puhdistetaan pääasiassa aerobisella aktiivilietemenetelmällä. Ainoastaan Stora Enson tehtaila Kotkassa on anaerobinen jätevedenpuhdistamo (Kuittinen ym. 2008).

Sellu- ja paperiteollisuudessa muodostuu erilaisten prosessien eri vaiheissa jätteinä erilaisia lietteitä, kuten kuitu-, täyteaine- ja päällystysaine- ja jätevedenpuhdistamonlietteitä. Biokaasuprosessiin näistä lietteistä soveltuvat jätevedenpuhdistuksessa muodostuvat primaari- eli kuituliete sekä bio- eli aktiiviliete. Primaariliete sisältää puun kuori- ja kuituaineita, kuten selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä. Lisäksi se sisältää prosessikemikaaleja, kuten täyte- ja lisäaineita sekä pigmenttejä. Biolietteissä on mikrobimassan lisäksi puun uutaineita, ligniiniyhdisteitä sekä adsorboituneita klooriyhdisteitä. Ravinnepitoisuus on pienempi kuin yhdyskuntien jätevesilietteissä.

Sellu- ja paperiteollisuuden jätevedenpuhdistamolietteiden hyötykäyttö on n. 96 % (Metsäteollisuus ry 2008a). Lietteistä suurin osa poltetaan tehtaiden voimalaitoksilla, joskaan poltolla ei ole suurta merkitystä tehtaiden energiantuotannossa lietteiden suuren kosteuspitoisuuden ja alhaisen lämpöarvon takia. Kaatopaikoille toimitetaan noin 21 000 t TS sellu- ja paperitehtaiden jäteveden-

puhdistamon lietteitä vuosittain (Metsäteollisuus ry 2008b). Suomessa sellu- ja paperiteollisuuden jätevedenpuhdistamon lietteitä ei toistaiseksi ole hyödynnetty biokaasuntuotannossa.

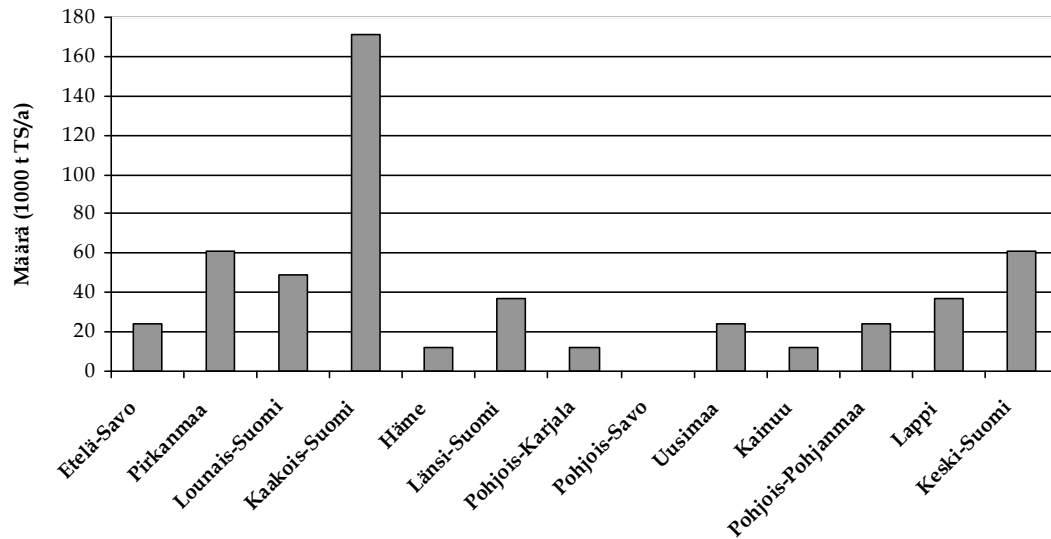
Sellu- ja paperiteollisuuden lietemäärinä ei käytetty VAHTI:sta saatuja lietemääriä, kuten muiden teollisuus- ja yhdyskuntajätejakeiden kohdalla, koska VAHTI:n tiedoista ilmeisesti puuttui iso osa sellu- ja paperiteollisuuden jätevesilietteistä. Esimerkiksi Etelä-Savon ympäristökeskuksen alueelta ei VAHTI:n mukaan muodostunut yhtään sellu- ja paperiteollisuuden lietteitä, vaikka alueella sijaitsee kolme tehdasta. Ilmeisesti kaikkia tehtailla muodostuvia lietteitä ei kirjata jätteiksi, koska niitä käytetään energian tuotantoon. Lisäksi lietteiden kirjaamisessa VAHTI:iin näytti olevan tehdaskohtaisia eroja, sillä samanlaisia liete-eriä oli saatettu kirjata erilaisille jätetkoodeille.

Sellu- ja paperiteollisuuden lietteiden kokonaismäärä sekä sellu- ja paperitehtaiden sijainnit on Metsäteollisuus ry:ltä (Metsäteollisuus ry 2009). Näiden avulla on laskettu jokaista ympäristökeskusta kohti alueella muodostuvien sellu- ja paperitehtaiden jätevesilietteiden määrät (kuva 7). Tämä laskutapa ei huomioi tehtaiden kokoa, joten lietemäärät saattavat poiketa merkittävästi todellisista määristä.

Suomen sellu- ja paperiteollisuuden jätevedenpuhdistusprosesseissa muodostui vuonna 2007 n. 525 000 t TS jätevesilietteitä. Lietteiden (primaariliete ja bioliete) teoreettinen energiapotentiaali on 690 GWh/a (380 – 1140 GWh/a), josta vedyn osuus 28 GWh/a (17 – 34 GWh) ja metaanin 660 GWh/a (370 – 1100 GWh/a) (taulukko 12). Sellu- ja paperitehtaiden jätevesilietteiden hyötykäyttö on tällä hetkellä 96 %. Jos ko. määrä voitaisiin hyödyntää biokaasuntuotannossa, olisi sellu- ja paperitehtaiden jätevesilietteiden teknistaloudellinen potentiaali 635 GWh/a (350 – 1060 GWh/a).

Sellu- ja paperiteollisuudessa vesistöihin johdettiin vuonna 2007 n. 725 milj. m³ puhdistettua jätevettä, jonka aiheuttama vesistökuormitus oli 180 000 t COD:ta (Suomen ympäristökeskus 2008). Jos arvioidaan, että jätevedenpuhdistamot poistavat n. 75 % COD:sta, olisi puhdistamoille tuleva kuormitus 720 000 tCOD/a. Jos arvioidaan, että metaania voitaisiin tuottaa 300 m³/tCOD_{poistettu}, olisi metaanintuotto 162 miljoonaa m³/a eli 1,62 TWh.

Sellu- ja paperitehtaiden lietemäärät sekä jätevesien määrät ovat todennäköisesti jonkin verran alentuneet vuoden 2008 jälkeen muutamien tehtaiden sulkemisen vuoksi.



KUVA 7 Sellu- ja paperiteollisuudessa muodostuvat laskennalliset jätevesilietteet ympäristökeskuksittain.

TAULUKKO 12 Sellu- ja paperiteollisuuden jätevesilietteiden laskennalliset teoreettiset energiapotentiaalit vetyä, metaanina ja yhteensä, sekä teknistaloudelliset potentiaalit ympäristökeskuksittain.

	Teoreettinen			Teknistaloudellinen
	H ₂ (GWh)	CH ₄ (GWh)	Yhteensä (GWh)	CH ₄ (GWh)
Etelä-Savo	1,3	30,8	32,1	29,5
Pirkanmaa	3,2	76,9	80,1	73,8
Lounais-Suomi	2,6	61,5	64,1	59,1
Kaakois-Suomi	9,0	215,4	224,4	206,8
Häme	0,6	15,4	16,0	14,8
Länsi-Suomi	1,9	46,2	48,1	44,3
Pohjois-Karjala	0,6	15,4	16,0	14,8
Pohjois-Savo	0,0	0,0	0,0	0,0
Uusimaa	1,3	30,8	32,1	29,5
Kainuu	0,6	15,4	16,0	14,8
Pohjois-Pohjanmaa	1,3	30,8	32,1	29,5
Lappi	1,9	46,2	48,1	44,3
Keski-Suomi	3,2	76,9	80,1	73,8
Yhteensä	28	662	689	635
Jätevedet	-	1 360	-	-

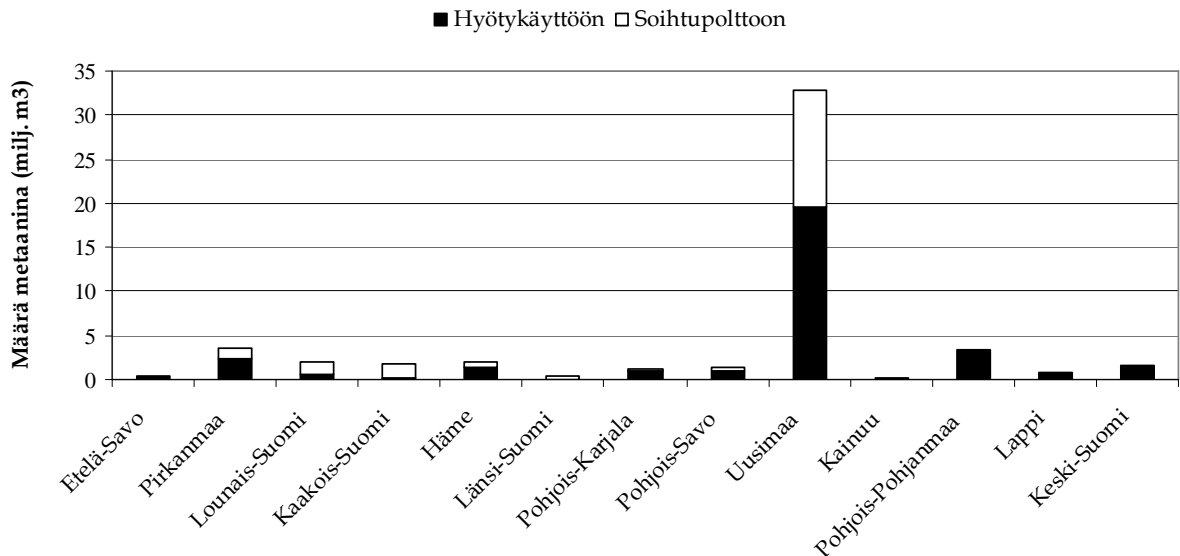
2.8 Muut jätteet

Myös muilla teollisuuden aloilla kuten kemian ja biotekniikan teollisuudessa (esim. biodiesel, bioetanoli) teollisuudessa muodostuu biokaasuprosessiin soveltuvia jätteitä. Toisaalta osa tuotannoista voi käyttää raaka-aineina samoja materiaaleja kuin biokaasun tuotanto.

2.9 Kaatopaikat

Suomen kaatopaikoilla on arvioitu muodostuvan yli 200 milj. m³ biokaasua vuosittain. Vuonna 2007 siitä kerättiin talteen 107,8 milj. m³. Eniten kaatopaikoilta on kerätty kaasua Uudellamaalla (67,9 milj. m³) (kuva 8). Tästä yli 85 % on Espoon Ämmäsuolla, jossa kerättiin yli 50 % koko Suomessa kerätystä kaatopaikkakaasusta (Kuittinen 2008).

Jos kaikki kaatopaikoilta kerätty kaasu hyödynnettäisiin, olisi sen laskennallinen energiasisältö n. 500 GWh. Vuonna 2007 talteen kerätystä biokaasusta hyödynnettiin sähkön ja lämmön tuotantoon 64 %, joka vastasi 13,4 GWh sähköä ja 263,2 GWh lämpöä (Kuittinen 2008). Kaasusta jäi hyödyntämättä 36 % eli 39,338 milj. m³. Tämän laskennallinen energiasisältö primaarienergiana on 190 GWh. Jos tämä käytettäisiin sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, voitaisiin tuottaa 66 GWh sähköä ja 95 GWh lämpöä tai 170 GWh lämpöä.



KUVA 8

Kaatopaikoilta kerätyn kaasun määrä ja hyödyntämisaste.

3 METAANI- JA VETYPOTENTIALIN TARKASTELU

Suomessa muodostuu vuosittain 6,5 - 12,1 milj. t TS (keskimäärin 9,5 milj. t TS) erilaisia biokaasuprosessiin soveltuvia biomassoja, kuten lantoja, kasvimassaa, biojätteitä ja jätevedenpuhdistuksen lietteitä. Näiden teoreettinen energiapotentiaali on 24,4 TWh (10,9 - 40,2 TWh). Teoreettiseen energiapotentiaaliin on laskettu mukaan myös vedystä saatava energia, jonka osuus energiapotentiaalista on 5 %. Lisäksi teollisuuden jätevesien COD kuorma on 727 500 tCOD, jonka energiapotentiaali on n. 1,6 TWh. Kaikkea materiaalia ei käytännössä voida hyödyntää, eikä sen hyödyntäminen ole aina ympäristöllisesti eikä taloudellisesti kannattavaakaan. Tässä työssä arvioitiin jokaiselle materiaalijakeelle hyödynnettävissä olevat prosenttiosuudet, joiden perusteella laskettiin jokaiselle jakeelle myös teknistaloudelliset potentiaalit. Teknistaloudellinen energiapotentiaali on n. 9,2 TWh (5,1 - 13,9 TWh) vuodessa.

Suurin energiapotentiaali on maataloudessa, erityisesti peltobiomassoissa (teoreettinen 17,8 TWh, teknistaloudellinen 5,8 TWh) ja myös lannoissa (teoreettinen 3,5 TWh, teknistaloudellinen 1,4 TWh) (taulukko 13, 16 ja 17). Muiden Suomen biokaasupotentiaalia selvittäneiden laskelmien mukaan biokaasun (metaani) teoreettinen energiapotentiaali vaihtelee 14 - 95 TWh välillä (Lampinen 2003, Asplund ym. 2005). Eri selvityksissä on jonkin verran eroja raaka-ainemäärien ja metaanipotentiaalın lähtöarvoissa. Tämä johtuu osittain esim. raaka-aineiden (jätteiden) puutteellisesta ja epäselvästä tilastoinnista kansallisella tasolla.

TAULUKKO 13

Suomen biokaasupotentiaalia selvittäneiden eri raporttien arvioita massoista sekä metaani- ja energiapotentiaaleista.

	Lampinen 2003			Asplund ym. 2005			Tämä tutkimus		
	Massa (1000 t)	CH ₄ (m ³ /t)	Energiaa (TWh)	Massa (1000 t)	CH ₄ (m ³ /t)	Energiaa (TWh)	Massa (1000 t)	CH ₄ (m ³ /t)	Energiaa (TWh)
Kaatopaikkakaasu	-	-	1,5	-	-	0,7 (0,7)	-	-	0,5 (-)
Biojäte	360	100	0,36	860	125	1,1 (0,7)	340	140	0,5 (0,3)
Yhdyskuntien jätevesiliete	160 (jätevesi, kiintoainetta)	200 (m ³ /t kiintoainetta)	0,32	160	560	0,9 (0,2)	180 (TS)	38	0,4 (0,2)
Eläinten lanta	21 500	20	4,3	25 000 (lanta + oljet)	340	85 (8,5)	14 500 ^(a)	26-90	3,5 (1,4)
Peltobiomassat	4 000 (maatalouden kasvijätteet)	170	6,8	1 900 (TS) (kesanto)	340 (m ³ /t TS)	6,8 (2,1)	6 208 (TS) ^(b)	67-230	17,8 (5,8)
Elintarviketeollisuuden jätteet	960	50	0,48	430	115	0,5 (0,25)	637	25-215	0,6 (0,3)
Teollisuuden jätevesiliete	-	-	-	-	-	-	525 (TS)	4	0,7 (0,6)
Teollisuuden jätevedet (sellu ja paperi, elintarvike)	22,3 (kiintoainetta)	200 (m ³ /t kiintoainetta)	0,04	-	-	-	728 (COD)	300-350 (m ³ /t COD)	1,6 (-)
Muut ^(c)	-	-	-	-	-	-	140 (TS)	25-215	0,4 (0,09)
Yhteensä			14,0 (-)			95,0 (12,4)			26,0 (9,2)

Suluissa teknistaloudellinen potentiaali.

a) lanta+kuivikkeet+pesuvedet

b) kesato+oljet+nurmien toinen sato

c) Sisältää porojen ja turkistarhauksen teurasjätteen, sekä vihannesten ja viljan viljelyssä muodostuvat jätteet ja varastotappiot.

Suomessa suurin biokaasupotentiaali on Länsi-Suomen ympäristökeskuksen alueella, jonne keskittyy 19 % koko Suomen teoreettisesta biokaasupotentiaalista eli n. 4,5 TWh. Länsi-Suomeen on keskittynyt paljon maataloutta. Siellä sijaitsee 20 % Suomen nautakarjataloista, 30 % Suomen sikaloista ja 90 % Suomen turkistarhoista. Lisäksi Länsi-Suomen alueelle on keskittynyt paljon perunanjalostusteollisuutta. Seuraavaksi suurimmat potentiaalit ovat Lounais-Suomessa (16 %) ja Pohjois-Pohjanmaalla (10 %) (taulukko 15 ja 17).

Biokaasuprosessi kuluttaa osan tuotetusta energiasta. Syötteen ja reaktorin lämmitys kuluttavat n. 6 – 17 % ja sähköä kuluu n. 8 – 24 % tuotetusta energiasta (Berglund & Börjesson 2006). Lisäksi tuottaessa biokaasusta sähköä ja lämpöä, sekä jalostettaessa biokaasusta liikennepolttoainetta tapahtuu häviöitä. Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon hyötysuhde CHP -yksiköllä on n. 85 %, josta sähkön osuus 35 % ja lämmön 50 %. Pelkkää lämpöä voidaan tuottaa hyötysuhteella 90 %. Liikennepolttoaineeksi jalostettaessa hyötysuhde on n. 97 %.

Teknitaloudellisesta potentiaalista 9,2 TWh (5,1 – 13,9 TWh) voitaisiin siis tuottaa CHP:llä sähköä 2,74 TWh (1,5 – 4,1 TWh) ja lämpöä 3,92 TWh (2,2 – 5,9 TWh), tai jos määrä hyödynnettäisiin pelkkään lämmöntuottoon, saataisiin siitä 7,05 TWh (3,9 – 10,6 TWh). Liikennekäyttöön energiaa saataisiin 7,59 TWh (4,2 – 11,5 TWh). Tämä olettaen, että n. 15 % tuotetusta energiasta kuluu biokaasuprosessin sähkön ja lämmön kulutukseen ja hyötysuhteet. Näissä luvuissa ei huomioida raaka-aineiden tuotanto/logistiikkaketjuja. Laskelmissa ei huomioida myöskään biokaasuteknologian käytöllä saavutettavia energiatehokkuuden paranemista esim. vaihtoehtoisin jätteiden käsittelymenetelmiin tai lannoitteiden tuotantomenetelmiin verrattuina.

Suomen vuosittainen teollisuuden ja kotitalouksien energiankulutus (lämpö, sähkö, liikenne) vuonna 2007 oli 408 TWh, josta rakennusten lämmitys oli 66,4 TWh ja sähkönkulutus 90,4 TWh. Kotitalouksien osuus sähkönkulutuksesta on 22,4 TWh (Tilastokeskus 2008). Biokaasulla voitaisiin siis tuottaa 11 % (6 – 16 %) rakennusten lämmitykseen käytetystä energiasta tai 12 % (7 – 18 %) kotitalouksien käyttämästä sähköstä ja 6 % (3 – 9 %) lämmitykseen tarvittavasta energiasta. Tieliikenteen energiankulutus vuonna 2007 oli 46,75 TWh, joten biokaasulla voitaisiin tuottaa noin 16 % (9 – 24 %) liikenteen kuluttamasta energiasta.

Suomessa oli vuonna 2006 yhteensä 59 biokaasun tuotantolaitosta (mukaan lukien kaatopaikat), joissa energiaa tuotettiin n. 0,42 TWh, kun taas Ruotsissa biokaasulaitoksia (mukaan lukien kaatopaikat) oli 223 ja energiaa niissä tuotettiin 1,2 TWh. Samoin kuin Suomessa myös Ruotsissa on tehty useita selvityksiä maan biokaasupotentiaalista. Sekä Suomessa, että Ruotsissa teknitaloudellinen potentiaali on arvioitu olevan n. 10 TWh, mutta teoreettinen potentiaali on Suomessa arvioitu suuremmaksi. Suurin eron Suomen ja Ruotsin arvioihin aiheutuu peltobiomassoista. Ruotsin selvityksessä mukaan on laskettu ainoastaan viljelyssä muodostuneet jätteet, kuten oljet, mutta mahdolliset arviot energiakasvien viljelystä on jätetty huomiotta (Linné ym. 2008). Toisaalta toisessa ruotsalaisessa selvityksessä arvioi-

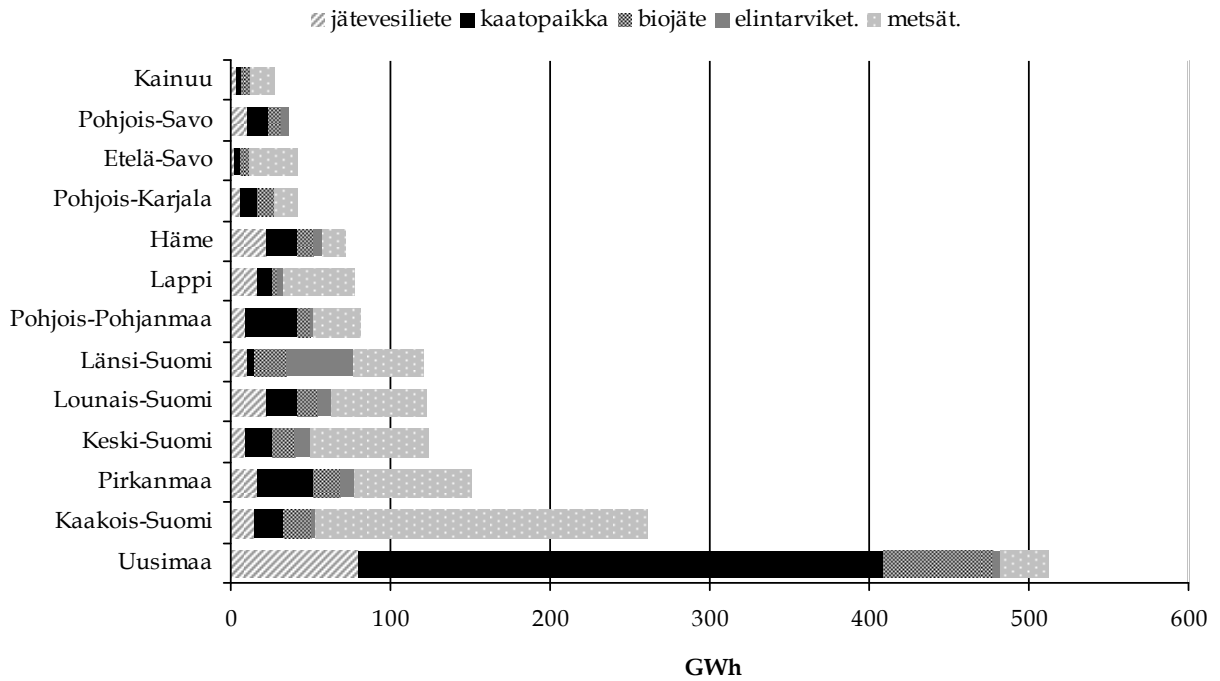
tiin, että n. 10 % (260 000 ha) Ruotsin maatalousmaasta voitaisiin hyödyntää biokaasuntuotantoon käytettävien peltobiomassojen kasvatukseen (Linné & Jönsson 2004). Muita eroja aiheuttavat biojätteet, jotka Ruotsin selvityksessä on laskettu arvioimalla kuinka paljon biojätettä muodostuu per henkilö vuodessa. Mukaan on laskettu myös ravintoloista, suurkeittiöistä ja kaupoista muodostuva biojäte. Suomen potentiaali on keskiarvo todellisuudessa erilliskerätyn biojätteen määrästä ja laskennallisesta (100 kg/as/a) määrästä. Sellu- ja paperiteollisuuden lietteistä on Ruotsin selvityksessä huomioitu ainoastaan biolietteet, joista selvityksen mukaan tilastoinnista johtuen puuttuu vähintään puolet. Suomen selvityksessä mukana ovat kaikki sellu- ja paperitehtaiden jätevedenpuhdistamoilta muodostunut liete eli bioliete sekä kuituliete.

TAULUKKO 14 Suomen ja Ruotsin biokaasupotentiaalit. Suluissa teknis-taloudellinen potentiaali.

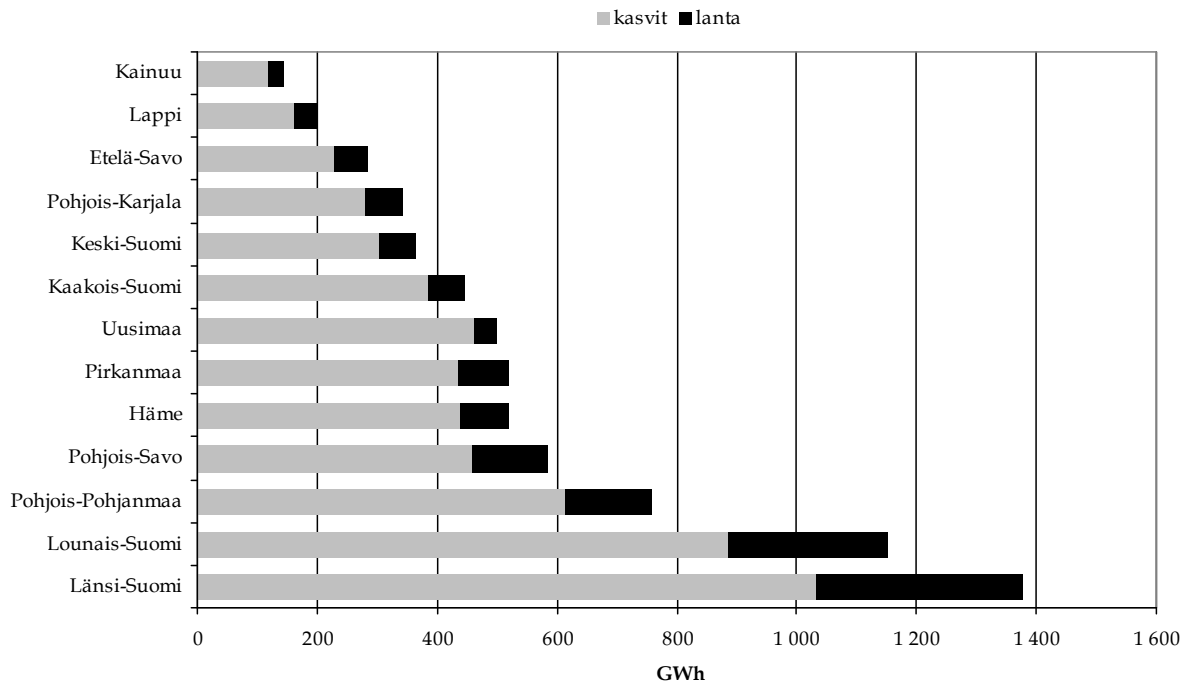
GWh/a	Ruotsi^a	Suomi
Biojäte	1 346 (759)	463 (283)
Teollisuuden jätteet (elintarvike ja muut)	1 791 (891)	558 (275)
Sellu- ja paperiteollisuus (lietteet)	171 (171)	689 (635)
Puhdistamolietteet	727 (700)	391 (224)
Maatalous yhteensä (lannat, nurmet, oljet, muut)	10 780 (8 099)	21 728 (7 192)
<i>Lannat</i>	4 159 (-)	3 549 (1 386)
<i>Nurmet + oljet</i>	5 834 (-)	17 775 (5 806)
<i>Muut (naatit, varastotappiot ym.)</i>	793 (-)	404 (94)
Kaatopaikkakaasut	-	514
Yhteensä	15 215 (10 647)	24 343 (9 297)

a) Linné ym. 2008

(-) teknistaloudellista potentiaalia ei määritelty.



KUVA 9 Jätteiden ja kaatopaikkakaasun energiapotentialien jakaantuminen alueittain.



KUVA 10 Lantojen ja peltobiomassojen energiapotentialien jakaantuminen alueittain.

TAULUKKO 15 Teoreettinen ja teknistaloudellinen energiapotentiaali alueittain.

	Määrä teoreettinen (tTS/a)	Määrä teknistaloudellinen (tTS/a)	Energia teoreettinen (GWh)	Vedyn osuus (GWh)	Energia teknistaloudellinen (GWh)	Sähkönä ^(a) (GWh)	Lämpönä ^(b) (GWh)	Liikenne autoja ^(c) (kpl)
Etelä-Savo	361 300	147 500	860	40	330	100	140	23 000
Pirkanmaa	688 300	281 600	1 750	80	670	200	280	47 200
Lounais-Suomi	1 455 800	544 000	3 830	190	1 340	400	570	94 500
Kaakois-Suomi	707 800	355 700	1 640	80	710	210	300	49 700
Häme	665 100	239 600	1 740	90	600	180	260	42 500
Länsi-Suomi	1 844 200	638 900	4 470	230	1 500	450	640	105 700
Pohjois-Karjala	412 600	162 000	1 020	50	380	110	160	27 000
Pohjois-Savo	699 500	261 500	1 720	80	620	180	260	43 800
Uusimaa	690 500	274 000	2 160	90	1 020	300	430	71 600
Kainuu	177 000	75 200	430	20	170	50	70	12 000
Pohjois-Pohjanmaa	938 200	351 700	2 340	110	840	250	360	59 000
Lappi	271 400	129 600	630	30	280	80	120	19 400
Keski-Suomi	496 200	219 400	1 200	60	490	150	210	34 300

a) 15 % energiasta biokaasuprosessiin, sähköntuoton hyötysuhde 35 %

b) 15 % energiasta biokaasuprosessiin, lämmöntuoton hyötysuhde 50 %

c) 15 % energiasta biokaasuprosessiin, liikennepolttoaineen hyötysuhde 97 %. Automäärä laskettu oletuksilla: auton kulutus n. 7,1 m³/100km (laskettu 10 eri kaasuauton kulutusten keskiarvona), ajoa vuodessa n. 16 500 km/auto (Liikennevirasto 2010).

TAULUKKO 16 Eri biomassajakeiden teoreettiset sekä teknistaloudelliset metaani- ja vetypotentiaalit.

	Määrä teoreettinen (tTS/a)	Määrä teknistaloudellinen (tTS/a)	Energia teoreettinen (TWh)	Energia vedyn osuus (GWh)	Energia teknistaloudellinen (GWh)	Sähkönä (GWh)	Lämpönä (GWh)	Liikenne autoja (kpl)
Lanta (naudat)	1 639 674	655 870	2,42	120,5	918	273	390	64 600
Lanta (siat)	237 187	142 312	0,65	25,8	374	111	159	26 300
Lanta (siipikarja)	81 952	32 781	0,16	8,9	92	27	39	6 500
Lanta (lampaat +vuohet)	34 407	2 294	0,03	2,6	1,7	0,5	0,7	100
Lanta (hevokset)	134 084	-	0,19	12,8	-	-	-	-
Lanta (turkistarhaus)	118 164	-	0,10	14,6	-	-	-	-
Kesanto	1 167 880	467 152	3,41	169,1	1 298	386	552	91 300
Hoidettu viljelemätön	1 067 970	427 188	3,12	154,6	1 187	353	504	83 500
Nurmet	2 137 740	855 096	6,25	309,5	2 376	707	1 010	167 200
Viljojen oljet	1 834 150	366 830	4,99	265,6	945	281	402	66 500
Vihannes- ja juuresjäte	131 312	32 550	0,40	19,1	94	28	40	6 600
Turkistarhaus (ruhot)	7 260	-	0,04	0,0002	-	-	-	-
Porotalous	528	-	0,003	0,02	-	-	-	-
Biojäte	105 570	89 735	0,46	16,7	283	84	120	19 900
Jätevesilietteet	181 575	106 483	0,39	9,6	224	67	95	15 700
Elintarviketeollisuus	118 706	59 353	0,56	8,3	275	82	117	19 300
Metsä- ja paperiteollisuus (lietteet)	525 000	504 000	0,69	27,7	635	189	270	44 700
Kaatopaikkakaasut	-	-	0,51	-	514	153	219	36 200
Yhteensä	9 523 159	3 741 643	24,38	1 165	9 216	2 742	3 917	648 400

TAULUKKO 17 Teoreettinen energiapotentiaali jätelajeittain ja alueittain. Suluissa teknis-taloudellinen potentiaali.

GWh	Biojäte	Jätevesiliete	Elintarvike- teollisuus	Metsä- teollisuus	Lanta	Peltobiomassat	Kaatopaikat	Muut
Etelä-Savo	6 (5)	6 (2)	2 (1)	32 (30)	157 (57)	650 (228)	3 (3)	8 (1)
Pirkanmaa	20 (16)	38 (17)	18 (9)	80 (74)	211 (83)	1 342 (436)	35 (35)	6 (1)
Lounais-Suomi	15 (12)	49 (23)	19 (9)	64 (59)	552 (268)	2 943 (884)	19 (19)	172 (68)
Kaakois-Suomi	21 (18)	20 (15)	6 (3)	224 (207)	162 (60)	1 184 (386)	18 (18)	8 (1)
Häme	12 (10)	34 (22)	12 (6)	16 (15)	205 (81)	1 406 (438)	19 (19)	36 (13)
Länsi-Suomi	25 (20)	30 (10)	84 (41)	48 (44)	910 (345)	3 218 (1033)	4 (4)	151 (4)
Pohjois-Karjala	12 (10)	11 (5)	2 (1)	16 (15)	174 (64)	791 (278)	11 (11)	3 (0)
Pohjois-Savo	9 (8)	30 (10)	10 (5)	0 (0)	341 (127)	1 308 (460)	14 (14)	4 (0)
Uusimaa	83 (68)	100 (80)	10 (5)	32 (30)	117 (37)	1 467 (463)	329 (329)	17 (7)
Kainuu	7 (6)	7 (4)	0 (0)	16 (15)	68 (24)	327 (120)	3 (3)	1 (0)
Pohjois-Pohjanmaa	9 (8)	27 (9)	3 (2)	32 (30)	381 (144)	1 823 (614)	33 (33)	31 (0)
Lappi	5 (4)	20 (17)	7 (3)	48 (44)	103 (36)	435 (163)	9 (9)	2 (0)
Keski-Suomi	18 (15)	17 (9)	17 (9)	80 (74)	170 (60)	880 (304)	17 (17)	3 (0)
Yhteensä	243 (199)	391 (224)	190 (93)	689 (635)	3 549 (1 386)	17 775 (5 806)	514 (514)	441 (94)

VIITTEET

- 7.6.1996/396: Eläinsuojeluasetus 7.6.1996/396
- 183/2006: Maa- ja metsätalousministeriön asetus: Suorien tukien täydentäviin ehtoihin liittyvistä hyvän maatalouden ja ympäristön vähimmäisvaatimuksista.
- 189/2009: Maa- ja metsätalousministeriön asetus täydentäviin ehtoihin liittyvistä hyvän maatalouden ja ympäristön vähimmäisvaatimuksista.
- Airaksinen S. 2000: Kuivikkeet ja lantahuolto. Hevosenomistaja 1/2000.
- Ahvenniemi P., Wilson P., Lehtonen M. & Valkonen J. 2006: Perunaseitin torjunta. Taudinkulku. <http://www.netti.fi/~ahven/perunaseitti/mobile/taudinkulku.htm> (Vierailtu 12.8.2010)
- Alvarez R. & Lidén G. 2008: Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste manure, and fruit and vegetable waste. *Renewable energy*. 33: 726-734.
- Angervuori P. 2008: Sähköposti 29.8.2008.
- ASAE (American Society of Agricultural Engineers) 2003: D348.1 Manure production and characteristics.
- Asplund D., Korppi-Tommola J. & Helynen S. 2005: Uusiutuvan energian lisäysmahdollisuudet vuoteen 2015. Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- Batzias F.A., Sidiras D.K. & Spyrou E.K. 2005: Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renewable Energy* 30: 1161-1176.
- Berglund M. & Börjesson P. 2006: Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass and Bioenergy*. 30: 254-266.
- Biokaasufoorumi 2008: Ajankohtaista. <http://www.biokaasufoorumi.fi> (Viitattu 2.12.2008)
- Bouallagui H., Torrijos M., Godon J. J., Moletta R., Ben Cheikh R., Touhami Y., Delgenes J. P. & Hamdi M. 2004: Two-phases anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: bioreactors performance. *Biochemical Engineering Journal*. 21:193-197.
- Börjesson P. 2007: Produktionsförutsättningar för biobränslen inom svenskt jordbruk. Rapport 61. Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska högskola.
- Cai M., Liu J. & Wei Y. 2004: Enhanced Biohydrogen Production from Sewage Sludge with Alkaline Pretreatment. *Environmental Science & Technology*. 38: 3195 -3202.
- Cuetos M.J., Gómez X., Otero M. & Morán A. 2008: Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Biochemical Engineering Journal*. 40: 99-106.
- EIPPCB (European integrated pollution prevention and control bureau) 2001: Reference document on best available techniques in the pulp and paper industry. www.p2pays.org/ref/13/12193.pdf (Vierailtu 20.8.2009)

- Elintarviketeollisuus ry 2009: Elintarviketeollisuus Suomessa.
http://www.etl.fi/elintar_teol/elinta.asp?akt=3 (Vierailtu 8.1.2009)
- Fazer leipomot Suomi 2006: Ympäristöraportti 2006.
- Gilroyed B.H., Chang C., Chu A. & Hao X. 2008: Effect of temperature on anaerobic fermentative hydrogen gas production from feedlot cattle manure using mixed microflora. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33: 4301-4308.
- Gómez X., Morán A., Cuetos M.J. & Sánchez M.E. 2006: The production of hydrogen by dark fermentation of municipal solid wastes and slaughterhouse waste: A two-phase process. *Journal of Power Sources*. 157: 727-732.
- Gunaseelan V.N. 2004: Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. *Biomass and Bioenergy*. 26: 389-399.
- Hippos ry 2008: Hevoskannan kehitys maassamme 1910-2009.
http://www.hippos.fi/hippos/tilastot/jalostus_ja_kasvatus/hevoskannan_kehitys.php (Vierailtu: 9.1.2009)
- Härkönen M. 2008: Keski-Pohjanmaan bioenergiaohjelma 2007-2013. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu.
- Ileleji K., Martin C. & Jones D. 2008: Basics of energy production thorough anaerobic digestion of livestock manure. *Purdue agriculture new* 8/08.
- Jaakkola S. 2008: Ohjeita puutarhayrityksille eloperäisten jätteiden käsittelyssä. Kotimaiset kasvikset ry.
- Kanwar S.S. & Kalia A.K. 1993: Anaerobic fermentation of sheep droppings for biogas production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 9: 174-175.
- Kallunki H & Koskenmäki T. 2004: Kotitalouksissa syntyvän biojätteen keräilymenetelmän vaikutus biojätteen ominaisuuksiin. Jättekukko Oy.
- 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.
- Karhula T., Outa P., Kankaanhuhta K. & Simola I. 2004: Puutarhayritysten talous Suomessa. MTT:n selvityksiä 80.
- Kasvinsuojeluseura ry 2010: Viljelytekniikka.
<http://www.kasvinsuojeluseura.fi/Tasapainoinen/08Perunantasapainoinenkasvinsuojelu/tabid/2076/topic/Viljelytekniikka/Default.aspx> (Vierailtu 12.8.2010)
- Kirk-Othmer 1984: *Encyclopedia of chemical technology*. Volume 12. 3. painos. New York. Wiley. s. 902 & 975.
- Kim S.H. & Shin H.S. 2008: Effects of base-pretreatment on continuous enriched culture for hydrogen production from food waste. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33: 5266-5274.
- Kreuger E. & Björnsson L. 2006: Anaerobic digestion of horse manure with and without co-digestion with grass-clover silage in a batch loaded process with

- percolation. Rapport, Region Skånes Miljövårdsfond. Del av slutrapport projekt 474.
- Kusch S., Oechsner H. & Jungbluth T. 2008: Biogas production with horse dung in solid-phase digestion system. *Bioresource Technology*. 99: 1280-1292.
- Kuittinen V., Huttunen M. & Leinonen S. 2007: Suomen biokaasulaitosrekisteri no 10, tiedot vuodelta 2006.
- Kuittinen V., Huttunen M. & Leinonen S. 2008: Suomen biokaasulaitosrekisteri no 11, tiedot vuodelta 2007.
- Kurki S. 2008: Uusiutuvaa voimaa Etelä-Pohjanmaalle, Etelä-Pohjanmaan energiaomavaraisuuden kehittämisstrategia. Helsingin yliopisto, Ruralia-instituutti.
- Kyazze G., Dinsdale R., Hawkes F.R., Guwy A.J., Premier G.C. and Donnison I.S. 2008: Direct fermentation of fodder maize, chicory fructans and perennial ryegrass to hydrogen using mixed microflora. *Bioresource Technology*. 99: 8833-8839.
- Lampinen A. 2003: Jätteiden liikennekäyttöpotentiaali Suomessa. *Kuntatekniikka* 1: 31-34.
- Lehto M., Salo T., Sorvala S., Kempainen R. & Vanhala P. 2006: Peruna – ja vihannesjätteen käsittely ja käyttö maatilalla. *Maataloustieteen päivät 2006*.
- Lehtomäki A. 2006: Biogas production from energy crops and crop residues. *Jyväskylän yliopiston biologian ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja* 163.
- Lehtomäki A., Paavola T., Luostarinen S. & Rintala J. 2007: Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. *Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja* 85.
- Lehtomäki A., Viinikainen T. & Rintala J. 2008: Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production. *Biomass and Bioenergy*. 32: 541-550.
- Liikennevirasto 2010: Tietilasto 2009. Liikenneviraston tilastoja 2/2010.
- Linné M., Ekstrandh A., Engelsson R., Persson E., Björnsson L. & Lantz M. 2008: Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. Lund.
- Linné M. & Jönsson O. 2004: Summary and analysis of the potential for production of renewable methane (biogas and SNG) in Sweden. Malmö.
- Liu D., Liu D., Zeng R. J. & Angelidaki I. 2006: Hydrogen and methane production from household solid waste in the two-stage fermentation process. *Water Research*. 40: 2230-2236.
- Massanet-Nicolau J., Dinsdale R. & Guwy A. 2008: Hydrogen production from sewage sludge using mixed microflora inoculum: Effect of pH and enzymatic pretreatment. *Bioresource Technology*. 99: 6325-6331.
- Metsäteollisuus ry 2008a: Biohajoavia jätteitä ei viedä kaatopaikalle. <http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu/Tilastokuviot/Energia/Forms/AllItems.aspx> (Vierailtu 12.11.2008)
- Metsäteollisuus ry 2008b: Tuotanto päästöt ja jätteet 2007. <http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu/Tilastotaulukot/Ymparisto/Forms/AllItems.aspx> (Vierailtu 12.11.2008)

- Metsäteollisuus ry 2009: Suomen paperitehtaat, Suomen kartonkitehtaan, Suomen sellutehtaat.
<http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu/Tilastokuviot/Perustietoa/Forms/AllItems.aspx> (Vierailtu 12.6.2009)
- MMM (Maa- ja metsätalousministeriö) 2002: Eläinjättestratégia vuoteen 2007. Työryhmämuistio MMM 2002:17. Helsinki
- MMM (Maa- ja metsätalousministeriö) 2005: Työryhmämuistio 2005:15, MMM: Peltoviljelyn tulevaisuuden linjaukset Suomessa, Helsinki 2005, 45 s.
- MMM (Maa- ja metsätalousministeriö) 1996: Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja ohjeet. Kotieläinrakennusten ympäristöhuolto C4.
- Mroueh U-M., Ajanko-Laurikko S., Arnold M., Laiho A., Wihersaari M., Savolainen I., Dahlbo H. & Korhonen M-R. 2007: Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonepäästöjen vähentämisessä. VTT:n tiedotteita 2402.
- Mtz.-Viturtia A., Mata-Alvarez J.& Cecchi F. 1995: Two-phase continuous anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Resources, Conservation and Recycling*. 13: 257-267.
- Mäenpää I. 2005: Kansantalouden ainevirtatilinpito, Laskenta menetelmät ja käsitteet, Suomen ainetaseet 1999. Tilastokeskus.
- Mäkinen T., Soimakallio S., Paappanen T., Pahkala K. & Mikkola H. 2006: Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT:n tiedotteita 2357.
- Nilsson S. 2000: Gårdsbaserad biogas på plönnige naturbruksgymnasium. Endförstudie med det tyska konceptet som grund. JTI-rapport Kretslopp & Avfall. Nr 21.
- Noike T. & Mizuno O. 2000: Hydrogen fermentation of organic municipal wastes. *Water Science and Technology*. 42: 155-162.
- Nyholm A.M., Risku-Norja H. & Kapuinen P. 2005: Maaseudun uusiutuvien energiamuotojen kartoitus. MTT:n selvityksiä 89.
- Okamoto M., Miyahara T., Mizuno O. & Noike T. 2000: Biological hydrogen potential of materials characteristic of the organic fraction of municipal solid wastes. *Water Science & Technology*. 41: 25-32.
- Pahkala K. 2006: Muistio peltobiomassan pitkän aikavälin hyödyntämisestä ja siihen liittyvistä tutkimus- ja kehittämistarpeista. Kasvintuotannon tutkimus. MTT. Jokioinen.
- Paliskuntain yhdistys ry 2008a: Teurasporojen määrä 1970/71-2004/5. www.paliskunnat.fi (vierailtu 3.3.2008)
- Paliskuntain yhdistys ry 2008b: Poronhoidon maantieteellinen alue. www.paliskunnat.fi (vierailtu 3.3.2008)
- Pakarinen O., Lehtomäki A. & Rintala J. 2008: Batch dark fermentative hydrogen production from grass silage: The effect of inoculum, pH, temperature and VS ratio. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33:594-601.

- Parawira W., Murto M., Read J.S. & Mattiasson B. 2005: Profile of hydrolases and biogas production during two-stage mesophilic anaerobic digestion of solid potato waste. *Process Biochemistry*. 40: 2945-2952.
- Rantanen P., Valve M. & Kangas A. 2008: Lietteen loppusijoitus –esiselvitys. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2008.
- Rintala J. 2008: Suullinen tiedonanto 2.11.2008.
- Salminen E. 2000: Anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse by-products 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.
- Shin H.S., Youn J.H. & Kim S.H. 2004: Hydrogen production from food waste in anaerobic mesophilic and thermophilic acidogenesis. *International Journal of Hydrogen Energy*. 29: 1355-1363.
- Siipikarjaliitto 2008: Lihasiipikarjan hyvä tuotantotapa. <http://www.siipi.net/broileri/index.html> (vierailtu 2.12.2008).
- Sokka L., Antikainen R. & Kauppi P. 2004. Flows of nitrogen and phosphorus in municipal waste: a substance flow analysis in Finland. *Progress in Industrial Ecology*. 1.
- Sokerijuurikkaan tutkimuskeskus 2010: Naatin korjuu ja käsittely. <http://www.sjt.fi/viljely/naatin-korjuu-ja-kasittely> (Vierailtu 12.8.2010)
- Stabnikova O., Wang J.Y., Ding H.P. & Tay J.H. 2005: Biotransformation of vegetable and fruit processing wastes into yeast biomass enriched with selenium. *Bioresource Technology*. 96: 747-751.
- SKK Oy (Suomen kasviöljykierrätys Oy) 2008: Toimintakaavio. <http://www.skko.com/toimintakaavio.html> (vierailtu 12.2.2008)
- STKL (Suomen turkiseläinten kasvattajain liitto ry) 2008a: Turkiseläimet. <http://www.stkl-fpf.fi> (vierailtu 2.12.2008)
- STKL (Suomen turkiseläinten kasvattajain liitto ry) 2008b: Kasvatus. Turkistilan vuosi. <http://www.stkl-fpf.fi> (vierailtu 2.12.2008)
- Suomen ympäristökeskus 2002: Finnish expert report on best available techniques in slaughterhouses and installations for the disposal or recycling of animal carcasses and animal wastes. Ympäristökeskuksen julkaisuja 539.
- Suomen Ympäristökeskus 2006: Yhdyskuntien jätevesilietteet. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=167524&lan=fi> (Vierailtu 5.2.2008)
- Suomen ympäristökeskus 2007: Selvitys biohajoavista yhdyskuntajätteistä ja muista kaatopaikka-asetuksen täytäntöönpanoon liittyvistä seikoista vuodelta 2006.

- Suomen ympäristökeskus 2008: Teollisuuden päästöt vesistöön vuonna 2007. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=23373&lan=fi> (Vierailtu 27.10.2009)
- Suomen Ympäristökeskus 2009a: Puhdistamoliete. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=19639&lan=fi> (Vierailtu 4.1.2009)
- Suomen Ympäristökeskus 2009b: Yhdyskuntien jätevedet. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=562&lan=fi> (Vierailtu 4.1.2009)
- Tilastokeskus 2005: Ympäristötilasto 2005. Ympäristö ja luonnonvarat 2005:2. Tilastokeskus 2007a: Yhdyskuntien jätehuolto murroksessa. http://www.stat.fi/til/jate/2006/jate_2006_2007-11-15_tie_001.html (Vierailtu 18.6.2009)
- Tilastokeskus 2007b: Jätetilasto –yhdyskuntajätteet 2007.
- Tilastokeskus 2008: Suomen tilastollinen vuosikirja 2008.
- Ting C.H. & Lee D.J. 2007: Production of hydrogen and methane from wastewater sludge using anaerobic fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 32: 677-682.
- TIKE 2006: Maatilastollinen vuosikirja 2006. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Helsinki 2006.
- TIKE 2007: Puutarhayritysrekisteri 2006. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Helsinki 2007.
- Tolppanen Jari 2008: Sähköposti, 21.8.2008.
- Turunen Tatu 2008: Sähköposti, 21.8.2008.
- Tähti H. 2007: Vedyn tuottaminen säilöheinästä pimeäfermentaatiolla. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto.
- VAHTI 2006. Valvonta ja kuorimitustietojärjestelmä. Suomen ympäristökeskus.
- Van Ginkel S.W., Oh S.E. & Logan B.E. 2005: Biohydrogen gas production from food processing and domestic wastewaters. *International Journal of Hydrogen Energy*. 30: 1535-1542.
- Viljavuuspalvelu Oy 2009: Karjanlantatilastot 2000-2004. <http://www.viljavuuspalvelu.fi/index.php?id=146> (vierailtu 15.2.2009)
- Virtanen H. & Salo T. 2005: Kasvijäte puoliksi pellolle ja eläimille. *Puutarha & kauppa* 17: 8-9.
- Yli-Kauppila H. 2008: Suullinen tiedonanto, 20.6.2008
- Yli-kauppila H. & Rainio K. 2000: Alueellisten jätesuunnitelmien seuranta. Jätesuunnitelmien seurantaryhmän ehdotus. Suomen ympäristökeskuksen moniste 192.
- Ympäristöhallinto 2008. OIVA Ympäristö ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille. <http://www.p2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp> (vierailtu 2.12.2008)
- Yokoyama H., Waki M., Ogino A., Ohmori H. & Tanaka Y. 2007a: Hydrogen fermentation properties of undiluted cow dung. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 104: 82-85.
- Yokoyama H., Waki M., Moriya N., Yasuda T., Tanaka Y. & Haga K. 2007b: Effect of fermentation temperature on hydrogen production from cow waste slur-

ry by using anaerobic microflora within the slurry. *Environmental biotechnology*. 74: 474-483.

YTV (Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta) 2007: Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen määrä ja laatu vuonna 2007. Helsinki.

YTV (Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta) 2009: Rokka rikassa, Ruokajätetutkimukset ja pääkaupunkiseudun lapsiperheiden ruokajätteet. Edita Prima Oy, Helsinki.

Zhu H., Stadnyk A., Béland M. & Seto P. 2008: Co-production of hydrogen and methane from potato waste using a two-stage anaerobic digestion process. *Bioresource Technology*. 99: 5078-5084.

Zhu J., Wu X., Miller C., Yu F., Chen P. & Ruan R. 2007: Biohydrogen production through fermentation using liquid swine manure as substrate. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 42: 393-401.

Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja -sarjassa ilmestyneet julkaisut

- 42 SALONEN V ja SAARI V 1985: Korpilahden Ristisuon kasvisto, kasvillisuus ja suojele.
- 43 ELORANTA A 1985: Tutkimuksia eräiden kivikkorantojen kalalajien biologiasta. II.
- 44 KALLIO-MANNILA K, RAATIKAINEN M ja RAATIKAINEN T 1985: Kevätviljapeltojen rikkaruoholajiston muutoksista 1960-luvulta 1980-luvulle.
- 45 VIII NORDIC MYCOLOGICAL CONGRESS 18.–22.8.1986.
- 46 MIKOLA L 1986: Cereal carboxypeptidases: occurrence, properties and possible functions.
- 47 SUNDELL P ja SAARI V 1986: Jyväskylän maalaiskunnan ja Laukaan uhanalaiset kasvit.
- 48 SIPPONEN M 1987: Keski-Suomalaisten kotitarve- ja virkistyskalastuksesta ja sen arvosta v. 1981 erityisesti vesioikeudellisen intressivertailun kannalta.
- 49 HIRSIMÄKI P ja REUNANEN H 1987: Autofagosytoosin mekanismi ja säätely.
- 50 RAATIKAINEN T ja RAATIKAINEN M 1988: Pihtiputaan uhanalaiset putkilokasvit ja niiden suojele.
- 51 ELORANTA P 1988: Etelä- ja Keski-Suomen kansallispuistojen järvien kasviplanktonista heinäkuussa 1987.
- 52 HALTTUNEN-KEYRILÄINEN L 1988: Ympäristöviranomaisten koulutus- ja pätevyysvaatimuksista kunnissa. Kuntakyselyn tulokset.
- 53 REUNANEN H 1989: Ultrastructural studies on cellular autophagocytosis in vivo and in vitro.
- 54 HARVISALO S ja RAATIKAINEN T 1989: Kinnulan, Kivijärven ja Kyyjärven uhanalaiset putkilokasvit.
- 55 RAATIKAINEN M, IHANAINEN E ja RAATIKAINEN T 1989: Viitasaaren uhanalaiset putkilokasvit ja niiden suojele.
- 56 HUHTA V, HAIMI J, SETÄLÄ H, BOUCELHAM M, MARTIKAINEN E ja TYYNISMAA M 1989: Maaperäeläinten merkitys tuoreen kangasmetsän hajotuksessa, ravinnekierrossa ja maannostumisessa.
- 57 PEITSENHEIMO-AARNIO S ja RAATIKAINEN T 1989: Joutsan, Leivonmäen ja Luhangan uhanalaiset putkilokasvit ja niiden suojele.
- 58 EISTO A-K ja RAATIKAINEN T 1989: Hankasalmen ja Toivakan uhanalaiset putkilokasvit.
- 59 EKOTOKSIKOLOGIAN SEMINAARI. Jyväskylän yliopisto 27.–28.11.1990.
- 60 RAATIKAINEN M 1990: Putkilokasvilajien yleisyyden muutokset 1900-luvun Pihtiputaalla.
- 61 USTINOV A ja RAATIKAINEN M 1991: Lestijärven ja Toholammin uhanalaiset putkilokasvit.
- 62 LIIKUNTA JA LUONTO -SEMINAARI. LIKES, Jyväskylän yliopisto, Keski-Suomen liitto, Jyväskylän latu ry. 21.5.1991.
- 63 HAMARUS A, HELENIUS M ja SAARI V 1991: Jyväskylän uhanalaiset kasvit.
- 64 CONFERENCE ON THE ECOPHYSIOLOGY OF THE LIFE CYCLES OF FISH AND THEIR PARASITES. Konnevesi Research Station 10.3.–11.3.1992.
- 65 HALLMAN J ja RAATIKAINEN M 1992: Halsuan ja Perhon uhanalaiset putkilokasvit.
- 66 ERVI LO ja RAATIKAINEN M 1993: Multian putkilokasvit.
- 67 RAATIKAINEN M ja SAARI V 1994: Viitasaaren seutukunnan lehtisammalet.
- 68 MARJOMÄKI T ja HUOLILA M 1994: Puulaveden kalatutkimuksia I.
- 69 HÄNNINEN K, KOIVULA N, MIIKKI V ja TOLVANEN O 1999: Erilliskerätyn biojätteen aumakompostointi Mustankorkealla Jyväskylässä.
- 70 HÄNNINEN K, ASIKAINEN A, YLI-KETURI N, RUOKOJÄRVI P, AATAMILA M, HALONEN I, TUPPURAINEN K, VESTERINEN R, MIKKELSON P ja RUUSKANEN J 2000: Nestemäisen inhibiittoryhdisteen käyttö todellisen yhdyskuntajätteen poltossa muodostuvien kloorattujen PCDD/F-yhdisteiden vähentämiseen.
- 71 HÄNNINEN K, YLI-KETURI N, MIKKELSON P, PENTTILÄ H, VESTERINEN R, PAAKKINEN K, HALONEN I, ASIKAINEN A, RUOKOJÄRVI P, TUPPURAINEN K ja RUUSKANEN J 2000: Kemiallis-fysikaalisten tekijöiden vaikutus PCDD/F-yhdisteiden *de novo*-muodostumiseen ja sen ehkäisemiseen jätteenpoltossa.
- 72 HÄNNINEN K, AILUNKA H, KOTIMÄKI I, MAIJALA V, LAMBACKA H, HEIMONEN R ja KUOSKU V 2001: Poron teurasjätteen kompostointi ja kasvatuskokeet kompostilla.
- 73 HÄNNINEN K, KOIVULA N, MIIKKI V, URPIAINEN S and RÄIKKÖNEN T 2001: Source separation and composting of biowaste with a view to recycling of the end product.
- 74 LAMPINEN A 2001: Jyväskylän yliopiston uusiutuvan energian koulutus- ja tutkimusohjelma – Tausta ja toimintaympäristö.
- 75 LAMPINEN A 2001: Co-operation possibilities on renewable energy between Finland and India.
- 76 TOLVANEN O ja HÄNNINEN K 2001: Uusinta teknologiaa hyödyntävien jätteenkäsittelylaitosten työhygienian v. 1998-2001: bioaerosoli- ja melumittaukset. Suomen Akatemian projekti n:o 42503/1998. Loppuraportti.
- 77 VIILOS P, IMPPOLA U, VEIJANEN A ja HÄNNINEN K 2002: Uusinta teknologiaa hyödyntävien jätteenkäsittelylaitosten työhygienian v. 1998-2001: haihtuvat, haisevat yhdisteet. Suomen Akatemian projekti n:o 42503/1998. Loppuraportti.
- 78 RAHEEM K, HÄNNINEN K and AKINROYE K (eds.) 2002: West Africa clean studies. Proceedings of the 1st and 2nd international conferences on waste management. Lagos, Nigeria, 2000 and 2001.
- 79 HÄNNINEN K ja MIIKKI V (toim.) 2003: Biojätteiden paineistettu anaerobinen biokonversio.

- 80 HUTTUNEN S 2004: Paikallista kestäväää energiaa – Uusiutuvan energian mahdollisuudet maataloilla.
- 81 HUTTUNEN S and LAMPINEN A 2005: Bioenergy technology evaluation and potential in Costa Rica.
- 82 RONKAINEN O, KOSKINEN P, LEHTOMÄKI A, LAMPINEN A, TOIVAINEN K, KAKSONEN A, PUHAKKA J ja RINTALA J 2005: Biologinen vedyntuotanto pimeäfermentaatioprosessilla.
- 83 KUMPULAINEN T 2005: Jyväskylän kaupungin perhoslajisto vuosina 1995 - 2005: I - päiväperhoset ja muu huonionarvoinen perhoslajisto.
- 84 LAMPINEN A ja JOKINEN E 2006: Suomen maatalojen energiantuotantopotentiaalit – Ekologinen perspektiivi.
- 85 LEHTOMÄKI A, PAAVOLA T, RINTALA J ja LUOSTARINEN S 2007: Biokaasusta energiaa maatalouteen – Raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet.
- 86 HÄNNINEN K 2008: Ympäristökemian perusteet (2. painos 2009).
- 87 HÄNNINEN K 2009: Jätteiden käsittely ja kierrätys Suomessa
- 88 HÄNNINEN K JA HIMANEN M 2010: Ympäristömittausten laboratoriotyötavat
- 89 HÄNNINEN K 2010: Kemiallinen ympäristöanalytiikka
- 90 TÄHTI H JA RINTALA J 2010: Biometaanin ja –vedyn tuotantopotentiaali Suomessa

DEPARTMENT OF BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCE, UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, FINLAND

ISBN 978-951-39-4043-0
ISSN 1795-6900