

**Biokaasulaitosten energiatase maatilojen biomassoja
hyödyntävissä laitoksissa**

Motiva

Niina Huovari
Juha Rautanen
Motiva Oy

Margareta Wihersaari
Jyväskylän yliopisto

Kiitokset raportin valmisteluun ja kommentointiin osallistuneille, ja kaikille haastatteluihin osallistuneille biokaasun tuottajille, jotka jaksoivat auliisti vastaila kysymyksiin.

Copyright Motiva Oy, 2008

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	3
1 Johdanto	4
2 Taustatietoja biokaasun tuotannosta	5
2.1 Anaerobinen prosessi	5
2.2 Biokaasun etuja ja haittoja	6
2.3 Biokaasutekniikka	6
3 Aineisto, menetelmä ja tarkastelun rajaus	7
3.1 Aineisto ja menetelmä	7
3.2 Tarkasteltavan systeemin rajaus	8
4 Tulokset	10
4.1 Suomen biokaasulaitokset	10
4.2 Energian kulutus tuotannossa	11
4.3 Biokaasulaitosten energialaskentaesimerkit	16
4.4 Tulosten tarkastelua	23
Yhteenveto	25
Liite 1 Sanasto	27

Biokaasun tuotannosta on vähitellen muodostunut kiinnostava energiantuotannon muoto muun jätteenkäsittelyn vaihtoehtona. Sekä syntyvä biokaasu että muut sivutuotteet on ryhdytty jatkojalostamaan. Näin ollen koko biokaasuprosessiin kuuluva energiamäärä on tullut merkittävämmäksi. Tässä selvityksessä tavoitteena on tarkastella maatilojen raaka-aineita hyödyntävien biokaasulaitosten energiatasetta ja tilannetta Suomessa. Selvitys on tehty Motiva Oy:n toimeksiannosta ja toteutettu osana opinnäytetyötä Jyväskylän yliopiston uusiutuvan energian koulutus- ja tutkimusohjelmassa. Selvityksessä keskitytään suurimmaksi osaksi maatilakohtaisiin biokaasulaitoksiin, jotka tuottavat energiaa pääsääntöisesti omaan tarpeeseensa oman tilansa lannasta. Osa maatioista ottaa vastaan myös ulkopuolisia sivuvirtoja esimerkiksi elintarviketeollisuudelta. Tarkasteluun on otettu myös keskitetty biokaasulaitos, joka käsittelee usealta maatilalta kerättyä lantaa yhdessä teollisuuden ja yhdyskuntien sivutuotteiden kanssa. Tulevaisuudessa keskitettyjen laitosten lukumäärä on kasvamassa. Suurin osa Suomessa tuotetusta biokaasusta saadaan tällä hetkellä kaatopaikoilta ja yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilta, mutta kyseiset biokaasuntuottajat on jätetty tämän selvityksen ulkopuolelle. Suomessa on toiminnassa tällä hetkellä 8 maatilakohtaista biokaasulaitosta ja yksi keskitetty biokaasulaitos. Toimivien laitosten lukumäärä on vielä hyvin pieni joten vertailu eri prosessien välillä on vaikeaa.

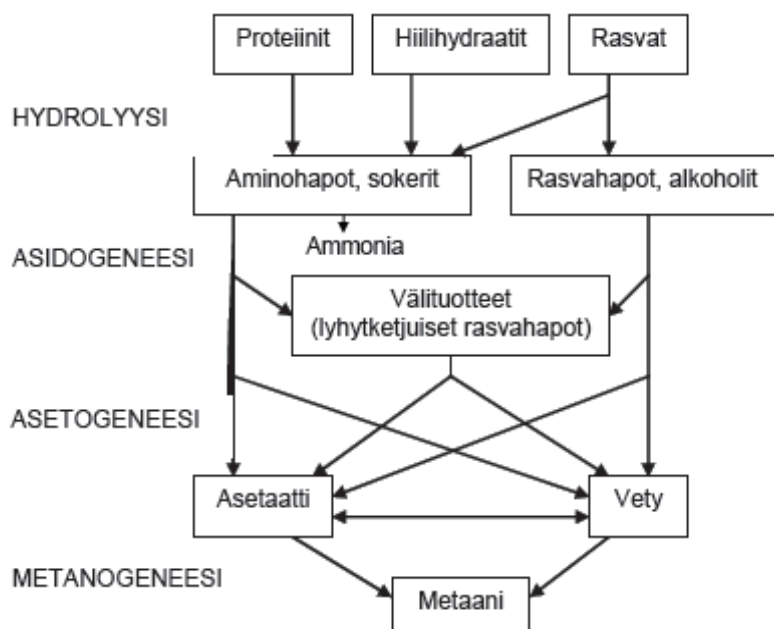
Biokaasun tuotanto on hajautettua energiantuotantoa, jolla voitaisiin monipuolistaa maaseudun elinkeinotoimintaa sekä lisätä omavaraista energiantuotantoa. Biokaasu on monipuolinen energian muoto, jota on mahdollista hyödyntää lämpö- ja sähköenergiana sekä jalostaa liikennepolttoaineeksi eli biometaaniksi. Biokaasulla on myös monia muita positiivisia ympäristöllisiä vaikutuksia. Esimerkiksi ottamalla talteen karjataloudessa syntyvä metaani voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä.

Energiatase on tässä selvityksessä määritelty siten, että sillä tarkoitetaan tuotteen valmistukseen käytetyn energia määrän ja lopputuotteen sisältämän energia määrän suhdetta. Energiataseeltaan tuotantoprosessi on kunnossa, mikäli tuotantoprosessissa tarvitaan huomattavasti vähemmän energiaa kuin mitä lopputuote sisältää, eli suhdeluku on pienempi kuin yksi. Toinen ääripää on pitkälle jatkojalostettu energiatuote jonka sisältämä energiamäärä kykenee juuri ja juuri kattamaan valmistukseen tarvittavan energiamäärän. Tässä tapauksessa energiataseen suhdeluku on melkein yksi. Yleisesti ottaen tällaiset tuotantoprosessit eivät ole energiantuotantomielessä kannattavia.

Energiataseiden avulla on mahdollista tarkastella biokaasulaitoksen ja koko tuotantoprosessin hyötysuhdetta. Energiataseeltaan hyvä laitos on todennäköisesti myös taloudellisesti parempi vaihtoehto kuin energiatalouttaan huonosti huolehtiva laitos. Tässä selvityksessä ei ole otettu huomioon taloudellisia aspektoja, mutta energiatehokkuutta lisäämällä voidaan mahdollisesti vaikuttaa alentavasti myös energian tuotannossa syntyviin kustannuksiin. Tulevaisuudessa tullaan todennäköisesti kiinnittämään yhä enemmän huomiota energiataseeseen, sillä sen avulla voidaan vähentää energiankulutusta ja parantaa biokaasulaitosten energiatehokkuutta. Saksassa ja Ruotsissa, jotka tuottavat biokaasua moninkertaisesti Suomeen verrattuna, on tehty useita tutkimuksia energiataseen liittyen.

2.1 Anaerobinen prosessi

Biokaasua muodostuu anaerobisen hajoamisprosessin kautta. Orgaaninen aine hajoaa happeuttomassa tilassa ja lopputuotteena on metaani (CH_4), hiilidioksidi (CO_2) sekä hajoamatta jäänyt osuus aineesta. Metaanin osuus biokaasusta on noin 60–70 % ja hiilidioksidin 30–40 % sekä muita yhdisteitä hyvin pieniä pitoisuuksia mm. rikkiyhdisteitä. Yhdisteiden osuudet biokaasusta ovat biokaasulaitoksissa tuotetulle biokaasulle. Kaatopaikoilla ja jäteveden puhdistamoilla syntyvässä biokaasussa metaanin osuus on pienempi.



Kuva 1 Anaerobinen prosessi (Luostarinen 2008)

Hydrolyysissä entsyymit hajottavat kiinteää jätettä (polymeerit) liukoiseen muotoon monomeereiksi, joita bakteerit voivat hyödyntää. Asidogeneesissä eli happokäymisessä hajoamisen kautta liukoiset yhdisteet muuttuvat yksinkertaisemmiksi yhdisteiksi (lyhytketjuiset rasvahapot). Asetogeneesissä bakteerit hajottavat syntyneet pelkistyneet yhdisteet vedyksi, hiilihapoksi ja asetaatiksi. Metanogeenibakteerit (*Methanosaeta* ja *Methanosarcina*) muodostavat asetaatista metaania ja hiilidioksidia. Prosessissa voi syntyä myös rikkivetyä, joka on poistettava biokaasusta. Anaerobista hajoamista säätelee hitaimmin tapahtuva hajoamisvaihe. Useassa prosessissa rajoittava vaihe on hydrolyysi.

Anaerobista käsittelyä pidetään kestävän kehityksen mukaisen energiatuotantomuodon lisäksi myös ekologisena jätteenkäsittelytapana. Elinkaarianalyysessä tarkastellessa voidaan ottaa huomioon myös muutkin seikat kuin prosessiin kulutettu energia. Kestävän kehityksen kannalta biokaasun tuotannolla on useita positiivisia vaikutuksia ympäristön kannalta. Usein näiden tarkastelu voi olla esimerkiksi energiataseiden tarkastelun kannalta hankalaa, sillä esimerkiksi eläinten hyvinvoinnin paranemista ei kyetä laskelmissa huomioimaan. Monilla maatilakohtaisilla biokaasulaitoksilla mahdollisuus nostaa energiaomavaraisuutta ei ollut alkuperäinen syy biokaasun tuotannon aloittamiseen vaan taustalla vaikuttivat ympäristölliset syyt ja huoli eläinten terveydestä. Alkusysäyksessä auttoi myös se, että jotain oli tehtävä eläinten lannalle. Anaerobisessa kaasutusprosessissa lannan haju vähenee noin 80 - 90 %. Anaerobisen käsittelyn läpikäynyt materiaali on tasalaatuisempaa ja juoksevampaa kuin käsittelemätön liete. Käsitelty liete imeytyy maahan nopeammin hajujen kadotessa nopeasti levityksen jälkeen. Tämä voi parantaa myös maatalouden imagoa hajuhaittojen vähentyessä.

Biokaasuprosessin läpikäynyt lanta on myös erinomaista lannoitetta. Kasvit kykenevät hyödyntämään vaivattomasti sen ravinteita (typpi ja fosfori), sillä anaerobisen prosessin läpikäyneen jäänteen ravinnetasapaino paranee. Lannoituksen hinnan noustessa mahdollisuus käyttää lietettä lannoitteena vaikuttaa varmasti maatalojen kustannuksiin sekä lisää biokaasun myönteisiä puolia. Biokaasuprosessi vähentää myös rikkakasvien siementen ja kasveille haitallisten yhdisteiden määrää. Samalla myös eläinten hyvinvointi paranee patogeenien vähentyessä.

Biokaasun tuotantoon voi liittyä myös haittavaikutuksia. Toiminta voi aiheuttaa paikallisia ympäristöriskejä johtuen esimerkiksi prosessissa ilmenneiden häiriöiden vuoksi. Mahdollisia haittoja voivat olla kasvihuonekaasupäästöt, hajuhaitat, ravinnepäästöt sekä hygieniariskit.

2.3 Biokaasutekniikka

Biokaasuprosessissa käytetty tekniikka riippuu useasta asiasta kuten mm. hyödynnettävästä raaka-aineesta. Käsittelyä voidaan optimoida sen mukaan halutaanko saada mahdollisimman suuri metaanintuotto vai maksimaalinen materiaalin käsittelykapasiteetti. Alla on esitelty muutamia biokaasun prosessitekniikan vaihtoehtoja.

- Mesofiilinen ja termofiilinen prosessi
Yleisin biokaasuprosessissa käytettävä tekniikka biokaasulaitoksissa on mesofiilinen prosessi, jossa lämpötila on 30–37 °C välillä. Lämmönkulutus prosessissa on pienempi kuin termofiilisessä prosessissa, jossa lämpötila on 50–55 °C. Termofiilinen prosessi tuhoaa patogeenejä mesofiilistä prosessia paremmin. Syötteen viipymisaika biokaasureaktorissa on termofiilisessä prosessissa lyhyempi.

- Yksivaiheinen ja kaksivaiheinen prosessi
Yksivaiheisen syöttöprosessi on kaksivaiheista prosessia vallitsevampi. Kaksivaiheisessa prosessissa hajoamisen olosuhteita on helpompi säädellä mahdollisimman optimaaliseksi, mutta lisää investointeja.
- Märkä – ja kuivaprosessi
Märkäprosessissa materiaalin kuiva-ainepitoisuus on noin 5-10 % TS (kuiva-aineen kokonaismäärä). Prosessissa raaka-aine laimennetaan esimerkiksi käsitelystä materiaalista (prosessijäänteestä) erotetulla vedellä. Kuivaprosessi, kuivamädätysprosessi, missä kuiva-ainepitoisuus on n. 20–35% TS, vedellä tapahtuva laimennus ei ole välttämätön. Kuivamädätysprosessit ovat yleistymässä vähitellen maailmalla mm. helpon käsiteltävyyden ja prosessin toimivuuden ansiosta. Niimensä mukaisesti kuivamädätysprosessi sisältää vähemmän nestettä jolloin käsiteltävät materiaalivolyymit vähenevät. Muita kuivamädätysprosessin etuja ovat pienemmät hajuhaitat sekä vähäisempi energian tarve. Suomessa on yksi pilottivaiheessa oleva kuivamädätyslaitos (MTT, Sotkamo).

3 Aineisto, menetelmä ja tarkastelun rajaus

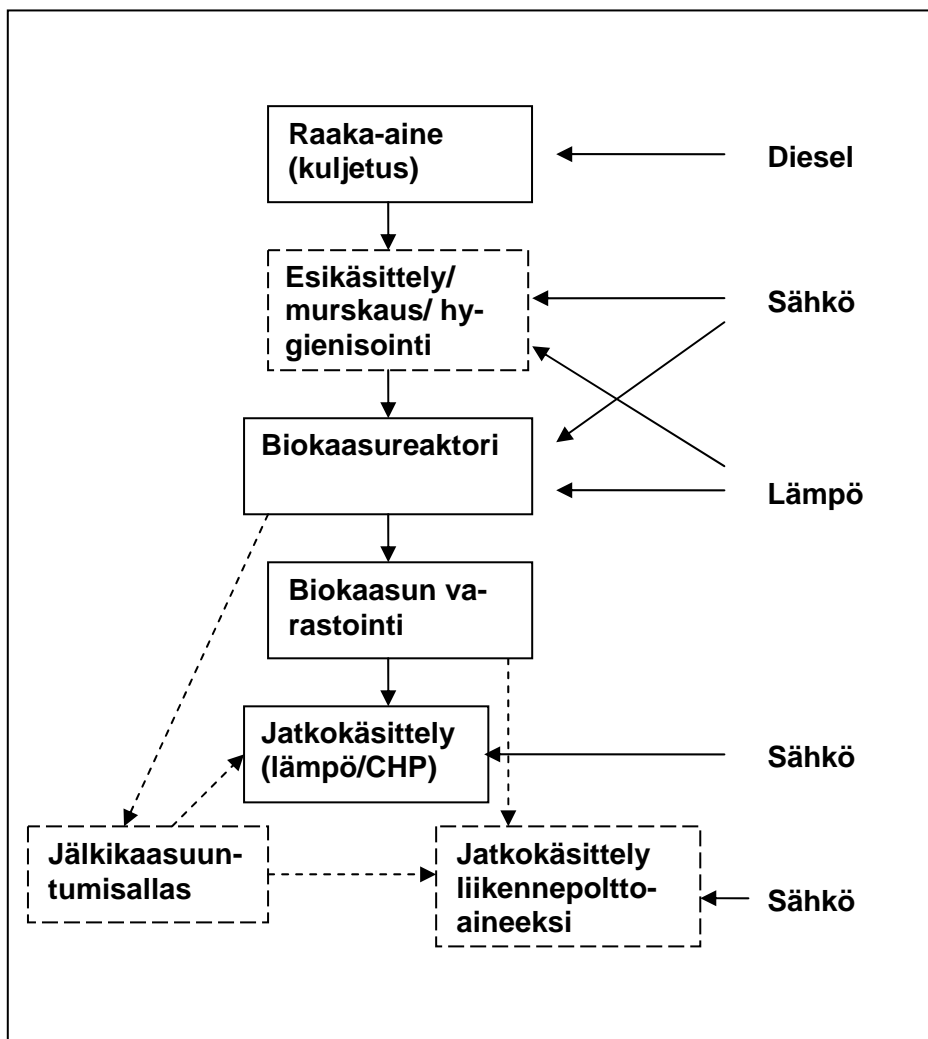
3.1 Aineisto ja menetelmä

Selvitys suoritettiin henkilökohtaisilla haastatteluilla, jotka tehtiin kesällä 2008. Maatilojen raaka-aineita käyttävien biokaasulaitosten pieni määrä sekä yksilölliset lähtökohdat tekevät vertailun erilaisten prosessien energiataseiden välillä vaikeaksi, joten tällaisia vertailuja ei selvityksessä pyritä tekemään. Sen sijaan pyritään selvittämään miten tarkasti laitoksilla on olemassa tietoja eri prosessivaiheiden energiakulutuksesta, miten tarkasti nykytiedoilla voidaan arvioida laitosten energiataseita sekä antamaan niistä esimerkkejä.

Selvityksessä tarkastellut energiataseet on laskettu kaavalla 1, jossa prosessissa kulutettu energia jaetaan prosessissa saadulla energialla. Energiataseen rajauksena on käytetty kuvassa 2 esitettyä tuotantoketjun mallia.

$$Energiatase = \frac{E_{panos}}{E_{tuotos}} \quad (kaava 1)$$

Selvityksessä tutkittiin biokaasulaitosten energiataseita käyttämällä haastatteluissa saatuja arvoja. Tarkkojen lukujen saaminen kaikissa tuotantoketjun vaiheissa osoittautui mahdottomaksi, joten niiden osalta jouduttiin tyytymään arviointeihin sekä kirjallisuuteen. Kohdat on mainittu energiatasetaulukoissa (kappale 4.3) ja otettu huomioon tulosten tarkastelussa. Biokaasulaitoksen energiataseen tarkastelun rajat rajattiin itse biokaasuprosessiin. Prosessikaavio vaihtelee eri biokaasulaitosten välillä riippuen tuotannossa käytetystä raaka-aineesta ja lopputuotteesta. Esimerkiksi teurastamojätettä hyödyntävä biokaasulaitos joutuu hygienisoimaan raaka-aineensa 70 °C lämpötilassa ennen bioreaktoriin syöttämistä.



Kuva 2 Biokaasuprosessin tuotantoketju ja tarkasteltavan systeemin rajat. Tarkastelu alkaa raaka-aineen kuljetuksesta ja esikäsittelystä ja päättyy jalostettuun biokaasuun. Kuvassa on merkitty nuolella prosessiin syötetty energia, joka voi olla ulkopuolelta ostettua tai tuotettu biokaasulla. Kohdat, jotka eivät kuulu jokaisen biokaasulaitoksen prosessiin, on merkitty katkonaisella viivalla.

Kuvassa 2 on esitelty biokaasuprosessin kohdat, jotka on otettu huomioon tässä selvityksessä. Kuhunkin prosessin kohtaan on merkitty tuotantoon tarvittava energiamuoto kuten lämpö tai sähkö. Kaavio ei perustu mihinkään olemassa olevaan biokaasulaitokseen vaan on yleiskatsaus biokaasun tuotannon prosessista. Luvussa 4 on tarkasteltu haastattelujen perusteella jokaista tuotantoketjun kohtaa energian kulutuksen ja tuotannon kannalta. Tavoitteena oli selvittää miten jokainen kohta prosessissa vaikuttaa energiataaseeseen. Onko prosessissa esimerkiksi vaiheita, joissa energiankulutus on selkeästi suurempi kuin toisissa? Tutkittavana aikana käytettiin yhtä vuotta, jolloin yritettiin ottaa huomioon myös vuodenaikojen vaihtelun vaikutus. Tarkastelussa olevat biokaasulaitokset arvelivat esimerkiksi vuosittaisen biokaasun tuotantonsa ja kulutuksensa.

Energiataaseissa ei oteta huomioon raaka-aineen valmistukseen kulutettua energiaa. Monilla tiloilla biokaasun ainoa lähde on lehmän tai sian lanta, joten sen valmistukseen kulutetun energian laskeminen koettiin hyvin hankalaksi. Muu raaka-aine on suurelta osin esimerkiksi elintarviketeollisuuden sivuvirtoja, joiden valmistukseen kulutetun energiamäärän arvioiminen ei myöskään ole tässä selvityksessä olennaista.

Energiakasvien määrä on lisännyt suosiotaan lantaa suuremman metaanintuotantopotentiaalinsa ansiosta. Peltobiomassoista saatava metaanintuottopotentiaali (per orgaaninen kuiva-aineyksikkö, VS) on lehmän lantaa verrattuna lähes kolminkertainen, kuten on esitetty taulukossa 1. Hyvin harva nykyisistä tiloista käyttää peltobiomassaa energian tuotannossaan, ja niitä käyttävät laitokset olivat vasta kokeiluvaiheessa, joten energiakasveja ei huomioida näissä energiataaselaskelmissa. Energiakasveja käytettäessä prosessiin täytyisi huomioida lannoitteen valmistus sekä kasvin viljelyyn kulutettu energia.

Taulukko 1 Eri materiaalien metaanintuottopotentiaali.

Materiaali	Metaanintuottopotentiaali	
	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{t VS}$	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{t märkäpaino}$
Teurastamojäte	570	150
Biojäte	500-600	100-150
Peltobiomassat	300-500	30-150
Sianlanta	300-400	17-22
Lehmänlanta	100-250	7-14

Selvityksessä esitetyt tulokset perustuvat haastatteluista biokaasulaitoksista saatuihin tietoihin. Joissain kohdissa jouduttiin turvautumaan kirjallisuuteen, mutta nämä kohdat on ilmoitettu tekstissä erikseen.

4.1 Suomen biokaasulaitokset

Maatilojen raaka-aineita hyödyntävien biokaasulaitosten määrä on Suomessa pieni ja sen osuus Suomen biokaasuntuotannosta vuonna 2006 oli vain noin 1,8 %. Kokonaisuudessaan maatilapohjaiset biokaasulaitokset tuottavat energiaa 2,5 milj. m³ eli noin 16 GWh/vuodessa. Suomen koko biokaasutuotanto oli saman lähteen mukaan vuonna 2006 130,4 milj. m³. Biokaasulaitosten tuotanto ja biokaasun hyödyntäminen on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 2 Maatilakohtaiset ja keskitetty biokaasulaitos Suomessa sekä biokaasun vuotuinen tuotanto vuodelta 2007. Tiedot on kerätty biokaasulaitoksilta haastatteluissa, ellei muuten mainita.

Biokaasulaitos paikkakunnittain	Biokaasua tuotettu (milj. m ³)	Biokaasua hyödynnetty (milj. m ³)	Sähkö (MWh)	Lämpö (MWh)	Liikennepolttoaine (MWh)	Metaanipitoisuus (%)
Laukaa	0,060	0,060	42	261	167	63
Halsua*	0,100	0,100	114	404		60
Nivala	Arvio 0,050**	0,050	24	50 + navetta		70–72
Tynkä (Kalajoki)	0,050	0,050	-	258		50–65
Haapavesi	0,036	0,036	-			67
Virrat	0,131	0,131	182	386		57–58
Orivesi						
Vehmaa	2,078	1,598	4 000	6 000		66
Yhteensä	2,501	2,025	4 362	n. 7359	167	

*Halsua (vuosi 2006 Biokaasurekisteri)

** Laitoksella ei ollut mittaria vaan kaasu meni suoraan navetan lämmittämiseen. Tuotettu biokaasu arvioitiin huomioimalla lantamäärä, lantakuutiosta saatu metaani sekä metaanipitoisuus.

Biokaasulaitokset käyttävät suuren osan tuotannostaan omaan käyttöönsä esimerkiksi maatilan rakennusten lämmittämiseen sekä lämpimän veden käyttöön. Biokaasulaitosten arvio omasta omavaraisuudestaan energian suhteen vaihteli. Kolmasosa biokaasulaitok-

sista arvioi olevansa omavaraisia energian suhteen. Useat biokaasulaitokset kykenivät tyydyttämään lämmöntarpeensa biokaasulla. Usein syntyi myös ylijäämäkaasua, mutta pakkasten kiristyessä osa joutui turvautumaan ulkopuoliseen energiatuotantoon. Myös sähkön käytön osalta suurin osa sitä tuottavista biokaasulaitoksista kykeni vastaamaan sähkön tarpeeseensa omalla tuotannollaan.

Haastateltujen biokaasulaitosten arvioidessa energiaomavaraisuuttaan, he ottivat huomioon koko maatilalan eivätkä ainoastaan biokaasuprosessia. Tässä selvityksessä on pyritty keskittymään biokaasun tuotantoon kulutettuun energiaan.

Tulevaisuudessa keskitetyt biokaasulaitokset ovat kasvattamassa suosiotaan. Taulukossa 3 esitellään biokaasulaitoksia, joista ympäristövaikutusten arviointi (YVA) oli työn alla. Suomen toinen keskitetty biokaasulaitos on aloittamassa toimintansa Turussa vuoden 2008 syksyllä. Biokaasun tuotanto on herättänyt kiinnostusta myös monilla maataloilla, mutta rakenteilla tai suunnitteluvaiheessa olevista maatilakohtaisista biokaasulaitoksista ei löytynyt tietoa selvityksen tekovaiheilla.

Taulukko 3. Suunnitteilla olevat laitokset Suomessa vuonna 2008

Suunnitteilla olevat	Maatila-kohtainen	Keskitetty	Käyttöönottovaihe
Uusikaarlepyy, (Jepua)		x	YVA
Vampula		x	YVA
Nastola		x	YVA
Lapua		x	YVA
Jämsänkoski		x	YVA
Turku		x	Käyttöönotto syksy 2008

4.2 Energian kulutus tuotannossa

4.2.1 Biokaasulaitosten raaka-aine

Nykyisissä mautilojen biomassoihin perustuvissa biokaasulaitoksissa raaka-aineen päälähteenä on eläinten lanta. Hyvin pientä määrää lukuun ottamatta kaikki biokaasulaitokset hyödynsivät lehmän tai sian lantaa. Useat biokaasulaitokset lisäsivät metaanintuottoa hyödyntämällä myös esimerkiksi elintarviketeollisuuden sivuvirtoja. Eri materiaalien metaanintuotantopotentiaaleja on esitelty taulukossa 1. Usean raaka-aineen yhteiskäsittelyyn on myös todettu parantavan bioreaktoriin lisättävän syötteen metaanintuottoa. Muiden käytettyjen raaka-aineiden määrä, lannan lisäksi, vaihteli biokaasulaitosten välillä, mutta keskimäärin määrä oli pieni.

Eräs merkittävä tulonlähde biokaasulaitoksille on mm. teollisuuden sivuvirtojen vastaanotosta saatu porttimaksu. Vastaanotetun raaka-ainemäärän jäädessä pieneksi myös saatu porttimaksu vaihteli eri biokaasulaitosten välillä suuresti. Keskitetty biokaasulaitos, joka pystyy vastaanottamaan suuriakin määriä raaka-ainetta, kykenee saamaan suuren osan tuloistaan porttimaksuista. Osalla biokaasulaitoksista vastaanotetuista sivuvirroista hyödyttiin ainoastaan lisääntyneellä biokaasumäärällä.

Monilla maatilakohtaisilla biokaasulaitoksilla energiataseen kannalta ainoa vaihtus raaka-aineen osalta tulee raaka-aineen kuljetuksesta. Monet tilat olivat kyetneet saamaan raaka-aineensa lähiympäristöstä, jolloin kuljetukseen käytetty vuosittainen matka on pieni. Joillakin biokaasulaitoksilla raaka-aineen kuljetusetäisyys oli alle 10 km (kuljetusmatka kokonaisuudessaan alle 20 km). Suurimmillaankin kuljetusmatka oli kokonaisuudessaan noin 100 km. Kuljetusfrekvenssi vaihteli myös laitosten välillä. Osalle tiloista raaka-ainetta tuotiin ainoastaan kerran kuukaudessa ja toisille kerran viikossa. Osa biokaasulaitoksista hyödynsi vain omalta tilaltaan saamaa raaka-ainetta.

Raaka-aineen kuljetuksen osalta keskitetyn biokaasulaitoksen kuljetukseen käytetty energia eroaa suuresti maatilakohtaisesta, sillä laitoksen maatilojen raaka-aine kerätään lähiseudun maatiloilta, joita on kymmeniä. Raaka-ainetta saapuu myös laitokselle päivittäin. Maatilat ovat kuitenkin sijoittuneet lähiympäristöön, joten kuljetukseen kulutettu arvioitu keskipituus on noin 20 km. Maatalouden sivuvirtojen lisäksi osa raaka-aineista saapuu teollisuudesta, mm. elintarviketeollisuudesta. Matkoihin kulutettu kilometrimäärä on pitempi, mutta sivuvirroista saatu metaanimäärä on myös suurempi kuin lannasta saatu määrä.

Useilla haastatelluilla maatilojen biokaasulaitoksilla oli suunniteltu ulkopuolisen raaka-aineen määrän lisäämistä suuremman metaanintuoton saamiseksi. Tämä luonnollisesti lisäisi kuljetukseen käytetyn energian määrää, mutta myös tuottoa. Osa laitoksista uskoi tulevaisuudessa ryhtyvän viljelemään ja käyttämään energiakasveja biokaasuntuotannossa ja joillakin tämä oli jo kokeiluasteella. Yleisesti uskottiin biokaasulaitosten kykenevän toimimaan tehokkaasti vaikka syötteeseen lisättäisiin esimerkiksi energiakasveja, mutta osa biokaasun tuottajista uskoi, että myös teknologiaa pitäisi muuttaa jos raaka-aineen laatu vaihtuisi. Uuden raaka-aineen käyttöönotto voi myös vaatia, materiaalista riippuen, esimerkiksi ympäristöluvan. Lisäksi raaka-aineen esikäsittelyn energiankulutus voisi lisääntyä mm. hygienisoinnin käyttöönoton seurauksena.

Useimmilla maatilakohtaisilla biokaasulaitoksille tuodut raaka-aine määrät ovat yleisesti niin pieniä, että ne otetaan käyttöön heti eikä varastointia tarvita. Energiakasvien käyttöönoton lisääntyessä myös talvella tulisi kyetä pitämään yllä sama energiatuotanto, joten raaka-aineen varastointi tulee tarpeelliseksi.

Raaka-aineesta riippuen esikäsittelyyn voi kuluu lämpöenergiaa. Haastateltujen biokaasulaitosten, yhtä lukuun ottamatta, raaka-aineet eivät vaatineet hygienisointia. Laitoksella, jossa käytettiin hygienisointia, tarvittava lämpöenergia saatiin sähköntuotannossa syntyneestä hukkalämmöstä. Hygienisoinnissa materiaali täytyy lämmittää 70 °C noin tunnin ajan.

4.2.2 Biokaasureaktori

Biokaasutuotannon ylläpito biokaasureaktorissa on suurimpia biokaasuntuotantoprosessin energiankuluttajia. Energiaa kuluu niin bioreaktorin kuin sen syötteen lämmittämiseen. Syöte lämmitetään jotta reaktoriin lisätty materiaali ei jäädyttäisi prosessia. Lämmittämisen tarve lisääntyy erityisesti talvella. Monilla laitoksilla syntyi ajoittain lämmön ylijäämää, mutta talvella tuotettu lämpö kyettiin hyödyntämään paremmin. Kesällä lämpötila voi olla reaktorissa sopiva ilman lämmitystä. Lämpötila voi nousta jopa niin korkeaksi, että prosessia joudutaan jäädyttämään.

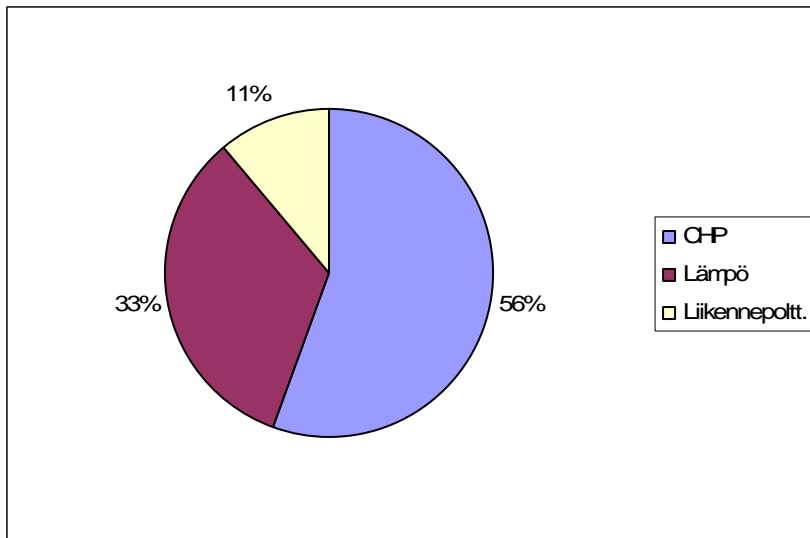
Suosituin biokaasuprosessi haastatelluissa biokaasulaitoksissa on mesofiilinen, jolloin prosessin lämpötila on noin 35–37 °C. Syötteen viipymäaika, eli aika jonka materiaali viipyy reaktorissa, on keskimäärin noin 30 päivää. Yksi haastatelluista laitoksista toimi kuitenkin termofiilisesti, jolloin lämpötila reaktorissa on noin 50–55 °C. Tämä lisää lämpöenergian kulutusta, mutta viipymäaika biokaasulaitoksella oli prosessissa vain noin 10 päivää. Eräs syy prosessin valitsemiseen oli ollut rikkakasvien ja taudinaiheuttajien parempi tuhoutuminen. Kaikki selvityksessä haastatellut biokaasulaitokset ovat, yhtä kaksivaiheista prosessia lukuun ottamatta, yksivaiheisia märkäprosesseja. Erilaisista biokaasuteknikoista on kerrottu tarkemmin kappaleessa 2.2.

Lämpöenergian lisäksi sähköenergiaa biokaasureaktorissa kuluu useampaan vaiheeseen. Jatkovaa sähkönkulutusta biokaasulaitoksilla aiheuttaa reaktorin sekoitus, joka on myös suurin reaktorin sähkön kuluttaja. Osa haastatelluista biokaasulaitoksista olikin pohtinut, voisiko sähköenergian kulutusta vähentää ilman negatiivista vaikutusta prosessin toimintaan. Tämän arveltiin olevan mahdollista vähentämällä sekoittimen käyttöä. Muita sähkön kuluttajia on esimerkiksi käsitellyn lietteen pumppaus reaktorista pois. Myös biokaasun säilyttämistä varten olevan varaston paineen ylläpito vaatii jonkin verran sähköenergiaa. Edellä mainittujen vaiheiden energiankulutus on biokaasuntuotannosta kuitenkin suhteellisen pieni.

Yleisesti ottaen biokaasulaitokset käyttivät osan energiantuotannostaan reaktorin lämmittämiseen, mutta vaihtoehtoisesti lämmittämiseen voitiin käyttää myös haketta, jolloin biokaasua jäi käytettäväksi myyntiin. Sähköä tuottavilla laitoksilla biokaasulaitos oli omavarainen sähköenergian suhteen

4.2.3 Biokaasun hyödyntäminen

Jatkokäsittelyssä anaerobisessa hajoamisessa syntynyt kaasu muutetaan haluttuun energiamuotoon. Biokaasulaitoksilla on reaktorissa muodostuneelle biokaasulle useampikin mahdollinen käyttömuoto. Kaasu voidaan polttaa kaasupolttimessa lämmöksi tai polttomoottorissa tai kaasuturbiinissa sekä lämmöksi että sähköksi. Suurin osa maatalojen raaka-aineita hyödyntävistä biokaasulaitoksista tuottavat sekä lämpöä että sähköä (CHP). Harvalle laitoksista on kuitenkin mahdollista myydä sähköä verkkoon. Osalla tämä johtui siitä, että toiminta nähtiin kannattamattomana. Sähkön myynnistä saatu hinta oli syksyllä 2007 noin 3,5 snt/kWh. Useissa laitoksissa sähköä riitti kuitenkin ainoastaan vain omaan käyttöön. Jos sähkön tuotanto sattui ylittämään oman tarpeen, ylimääräinen sähkö johdettiin valtakunnan verkkoon. Yhdelläkään biokaasulaitoksella ei ollut ongelmia lämmön tuotannon riittämisessä omiin tarpeisiin. Päinvastoin lämmön ylikapasiteettia syntyi erityisesti kesällä. Tällöin ylimääräinen biokaasu hävitettiin polttamalla (ilman lämmön hyödyntämistä). Tutkimusten mukaan hyötysuhde on huono pelkässä sähkön tuotannossa eli noin 25–30 %. Lämmön talteenotto parantaa kokonaishyötysuhdetta, sillä sähkön ja lämmön yhteistuotannon hyötysuhde on noin 70–90 % kokoluokasta riippuen.

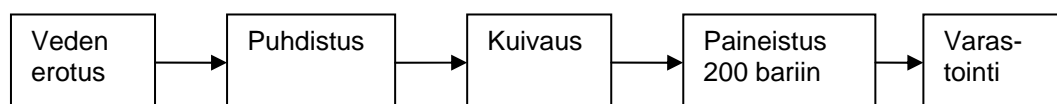


Kuva 3 **Selvityksessä huomioitujen biokaasulaitosten energiantuotannon osuus vuonna 2008.**

Muutama haastatelluista biokaasulaitoksista tuotti pelkästään lämpöä. Tulevaisuudessa nämä biokaasulaitokset suunnittelivat mahdollisesti tuottavansa joko sähköä tai liikennepolttoainetta. Suurimpana esteenä nähtiin kallis investointi. Mahdollisen syöttötariffin tullessa käyttöön sähkön tuotanto nähtiin mielekkäämpänä, mutta ilman sitä liikennepolttoaineen valmistuksen uskottiin olevan kannattavampaa. Osa haastatelluista uskoi, että sähkön sekä polttoaineen hinnan noustessa voi olla mahdollista, että molempien energiamuotojen tuottaminen pelkästään omaan käyttöön voi vähitellen tulla houkuttelevammaksi suurista alkuinvestoinneista huolimatta.

Syöttötariffin, jossa sähkön tuottajalle taattaisiin tietty takuuhinta, jonka se vähintään sähköstään saa, uskottiin haastateluissa muutenkin vaikuttavan biokaasun tuotantoon. Yleisesti syöttötariffin vaikutuksen uskottiin olevan myönteinen ja sen uskottiin lisäävän sekä maatilakohtaisten että keskitettyjen biokaasulaitosten määrää. Monen laitoksen kohdalla investointituella oli ollut merkittävä rooli laitosta rakennettaessa eivätkä omistajat olisi lähteneet urakkaan ilman sitä. Sekä investointituen että syöttötariffin merkitys biokaasutuotannon kasvamiseksi ja ylläpitämiseksi nähtiin erittäin tärkeänä.

Liikennepolttoainetta eli biometaania tuottaa Suomessa tällä hetkellä vain yksi biokaasulaitos vaikka muutamalla tuotannon aloittaminen oli jo työn alla. Kiinnostus liikennepolttoaineen tuottamiseen on suuri, mahdollisesti jopa suurempi kuin sähköntuotantoon. Monet haastatelluista uskoivat liikennepolttoaineen tuotannon olevan ainoita keinoja, millä biokaasusta voisi saada tuloja.



Kuva 4 **Liikennepolttoaineen jalostuskaavio**

Biokaasua jalostettaessa liikennepolttoaineeksi kaasusta on poistettava epäpuhtaudet ja hiilidioksidi. Kaasu on myös kuivattava ja paineistettava 200 barin paineeseen. Kaikki tämä kuluttaa energiaa. Kuvassa 4 on eritelty liikennepolttoaineen muodostumisen eri vaiheet. Tutkimusten mukaan biokaasun jalostaminen liikennepolttoaineeksi on yksi biokaasuprosessin suurimmista sähkön kuluttajista. Prosessi on monivaiheinen joten eri prosessi- ja siirtovaiheissa metaanin karkaamisen minimoimiseen on kiinnitettävä huomiota.

4.2.4 Biokaasuprosessin jäännöstuotteiden jälkikäsitely

Jälkikäsitelyssä biokaasuprosessin läpikäynyt liete eli prosessijäännös sijoitetaan jälkikaasuuntumisaltaaseen ja sen jälkeen lannoitteeksi pellolle. Lietteen sijoittamisesta pelloille syntyneitä kuljetukseen kulutettuja energiamääriä ei ole otettu huomioon tämän tarkastelun tuotantoketjussa. Jälkikaasuuntumisen osalta ei ole myöskään laskettu energian kulutusta, sillä se ei välttämättä tarvitse lämmitystä eikä sekoitusta.

Jälkikaasun talteenotto puuttui monilta biokaasulaitoksilta. Jälkikaasun talteenotolla (katetulla varastolla) olisi mahdollista saada hyödynnettyä noin 10–15 % enemmän metaania, joten paljon potentiaalista metaania jää hyödyntämättä. Biokaasulaitoksilla, jotka ilmoittivat tarvitsevansa suuremman kaasuntuotannon, investointi katettuun lietevaraan oli harkinnassa. Muutamilla biokaasulaitoksilla lämpöä tuotettiin jo liikaa, joten kaasun talteenottoa ei nähty tarpeelliseksi. Tulevaisuudessa tähän tullaan mahdollisesti kiinnittämään enemmän huomiota, sillä ilmaan päästetty metaani, joka on hiilidioksidia noin 21 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu, lisää kasvihuonekaasupäästöjä. Talvella lietteen levittäminen pelloille on mahdotonta, joten tällöin varastoinnissa kyettäisiin ottamaan samalla käyttöön myös syntynyt metaani.

4.2.5 Biokaasulaitosten käyttöaste ja vuodenaikojen vaihtelun vaikutus

Selvityksessä haastatelluilta biokaasun tuottajilta kysyttiin myös, miten tasaista biokaasun tuotanto on. Onko kulutuksessa tai tuotannossa mahdollisia huippuja, joihin biokaasulaitoksella olisi vaikea vastata esimerkiksi lisäämällä energian tuotantoa. Oletettavaa on, että ainakin energian kulutus, ja mahdollisesti myös tuotanto, vaihtelee eri vuodenaikoina. Biokaasun kysynnän ja tuotannon synkronisointitarve voi tulla yhä merkittävämmäksi, jos sähköä, ja mahdollisesti myös lämpöä, myytäisiin ulkopuolisille kuluttajille. Eräs tärkeimmistä energiaturvallisuuden seikoista on energiasaannin jatkuvuuden turvaaminen.

Yleisesti ottaen biokaasulaitosten käyttöaste on aika korkea. Keskimääräisesti biokaasulaitokset arvioivat käyttöasteensa olevan välillä 85–90 %. Korkeampiakin käyttöasteiden arviointeja löytyi. Tuotannon katkoksiin syntyessä kyettiin turvautumaan esimerkiksi muulla polttoaineella toimivaan aggregaattiin.

Seisokkiaikoja, esimerkiksi huollosta johtuvia katkoksia, osalle laitoksista muodostui vain muutamia päiviä vuodessa. Joillakin biokaasulaitoksilla huoltokatkoksia ei juuri ole. Pieni osa laitoksista oli katkaissut tuotantonsa kesällä esimerkiksi kuukaudeksi. Tätä ei kuitenkaan koettu ongelmalliseksi, sillä lämmön kulutus kesällä on pieni. Yhtenäisiä syitä tuotannonkatkoksiin ei ollut. Maatilakohtaiset biokaasulaitokset toimivat myös usein vähäisellä työvoimalla, jolloin tuotannon katkeamiseen voi vaikuttaa myös henkilökohtaiset syyt. Eroja seisokkien määrissä oli hieman uudempien ja jo prosessinsa

vakauttaneiden biokaasulaitosten välillä. Alussa anaerobisen toiminnan saaminen jatkuvaksi vaati hieman opettelua ja säätämistä, jolloin seisokkeja muodostuikin huomattavasti enemmän. Tämä nähtiin myös biokaasulaitosten toimintaa heikentävänä piirteenä.

Kulutuksen huippuihin kyettiin vastaamaan säätelemällä biokaasuntuotantoa raaka-aineen määrällä ja laadulla. Energian tarpeen ollessa suurempi, kuten esimerkiksi talvella, syötettiin biokaasureaktoriin metaanintuottopotentiaaliltaan parempaa raaka-ainetta yhdessä lannan kanssa. Tuotannon tasaisuuden voi varmistaa syötön jatkuvuudella.

4.3 Biokaasulaitosten energialaskentaesimerkit

Biokaasulaitosten edustajien haastatteluissa kerättiin tietoa biokaasulaitosten eri prosessivaiheisiin kulutetusta energiamäärästä. Tavoitteena on näin saada kuva siitä minkä verran eri tuotantovaiheet tarvitsevat lämpö- ja sähköenergiaa. Maatilojen raaka-aineisiin perustuvien biokaasulaitosten energiataseiden läheisempään tarkasteluun on otettu biokaasulaitos, joka tuottaa lämmön ja sähköä lisäksi myös liikennepolttoainetta. Toisena tarkastelun kohteena on biokaasulaitos, joka tuottaa lämpöä ja sähköä. Kolmantena biokaasulaitoksena on usealta maatilalta ja teollisuudesta raaka-aineensa saava biokaasulaitos. Valitut biokaasulaitokset poikkeavat tuotannoltaan ja toiminnaltaan toisistaan, mutta antavat hyvän kuvan maatilojen biomassoja hyödyntävien biokaasulaitosten toiminnasta Suomessa, erityisesti siitä miten yksilöllistä biokaasulaitoksen toiminta on.

Energiatase-laskelmissa joidenkin tietojen kohdalla jouduttiin käyttämään arvioita kirjallisuudesta ja osa tiedoista perustuu arviointeihin, sillä kaikkia tarvittavia tietoja ei kyetty keräämään haastatteluissa. Myöskään eri prosessivaiheita ei ole kyetty käsittelemään kovin yksityiskohtaisesti. Energiapanoksen arviot on tehty yhdelle vuodelle ja verrattu samalta vuodelta saatuun tuotantoon.

Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan biokaasun tuotantoon kulutettu energia on noin 20 – 40 % saadusta energiasta. Määrä riippui biokaasulaitoksen koosta suurilla laitoksilla energiataseen ollessa parempi. Seuraavissa energiataseen tarkasteluissa on huomioitu muutamia oletuksia aikaisempien kirjallisuudessa löydettyjen tutkimusten pohjalta.

- Biokaasureaktorin lämmittämiseen voi kuluu 10 % prosessin energiankulutuksesta.
- Reaktorin sekoituksen on arvioitu käyttävän noin 80 % kaikesta sähkönkulutuksesta prosessissa.
- Liikennepolttoaineen valmistuksen on arvioitu kuluvan sähköä noin 10 % koko laitoksen toiminnasta.
- Paineistus ja jalostaminen kuluttavat noin 0,5 kWh/m³ CH₄, noin 5 % kaasun energiasisällöstä.
- 1 m³ biokaasua sisältää 10 kWh energiaa.

Biokaasulaitokset on esitelty rajatuissa laatikoissa 1-3. Osa prosessista on lisäksi esitelty kaaviomuodossa selkeyttäen energiankulutusta kussakin vaiheessa.

1. Biokaasulaitos (150 m³), joka tuottaa lämpöä, sähköä ja biometaanua

- Laitos tuottaa biokaasua noin 0,060 milj. m³ vuodessa
- Metaanipitoisuus: 63 %
- Sähköä tuotetaan vuodessa noin 42 MWh
- Lämpöä tuotetaan vuodessa noin 261 MWh
- Biometaanua tuotetaan vuodessa noin 167 MWh
- Biokaasureaktorin koko: 150 m³

Biokaasun jatkokäsittelyssä:

- Sähkön teho: 30 kW/max
- Lämmön teho: 60kW/max

1) Raaka-aine ja kuljetuksen energiankulutus

– Tuotettu lantamäärä: 2 000 m³

– Ulkopuolinen raaka-aine 60 000 t/vuodessa, jonka kuljettamiseen käytetään fossiilista polttoainetta.

– Arvioitu, että kuljetus, 4 t kuorma, kuluttaa noin 11,9–12,8 l/100km (pieni jakelukuorma-auto, diesel), dieselin energiasisältö on noin 9,8–9,9 kWh/l. Edestakainen kuljetusmatka on n. 12–14 km ja vuodessa kilometrejä kertyy noin 620–730 km. Tällöin kuljetukseen kulutettu energia on noin 730- 860 kWh vuodessa.

2) Raaka-aineen varastointi ja esikäsittely

– Murskaus ja esikäsittely

3) Mädätysprosessi biokaasureaktorissa

Lämpöenergia:

– Käytetään haketta reaktorin lämmittämiseen tällä hetkellä, syksyllä siirrytään biokaasulla lämmittämiseen

Sähköenergia:

– Raakaliete pumpataan syöttösäiliöön pumpulla 1-2 vko:n välein syöttösäiliöön.

– Syöttösäiliö sekoitetaan sähkökäyttöisellä pumppusekoittimella.

4) Jatko – ja jälkikäsittely

– Käsitelty liete pumpataan reaktorista varastosäiliöön

– Tuotetaan sähköä ja lämpöä

Liikennepolttoaineen valmistus:

– Liikennepolttoaineen valmistuksen arvioidaan kuluttavan sähköä noin 10 % koko laitoksen toiminnasta.

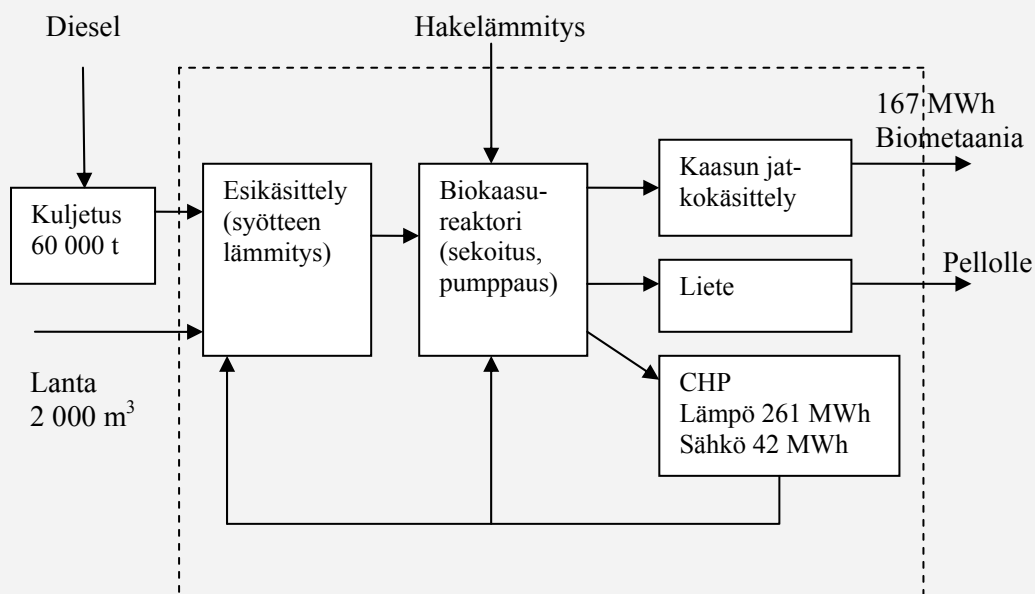
– Paineistus ja jalostaminen kuluttavat noin 0,5 kWh/m³ CH₄, noin 5 % kaasun energiasi-

sällöstä (1 m^3 biokaasua \rightarrow 10 kWh, energiasisältö 6,5 kWh)

– Biokaasun puhdistukseen käytetty teho on 10 kW, kun päällä. Laite on harvoin päällä.
→ Esimerkiksi käyttö kahdesti päivässä kuluttaisi 7,2 MWh/vuodessa, käyttö kerran päivässä kuluttaisi 3,6 MWh

– Biokaasulaitoksella on jälkikaasuuntumisallas, joten kyetään ottamaan talteen noin 10–15 % metaania, jotka muuten menisivät hukkaan.

Alla olevassa kaaviossa on kuvailtu eri tuotantoprosessin kohtiin kulutettu lämpö- ja sähköenergia.



– Energian tuotanto ja käyttö:

- Biokaasu n. 600 MWh
- Tuotettu sähkö, lämpö ja biometaani: 470 MWh
- Tarkastellun systeemin ulkopuolelle toimitettu energia: 167 MWh

2. Biokaasulaitos (320 m³), joka tuottaa sähköä ja lämpöä (CHP)

- Laitos tuottaa biokaasua noin 0,131 milj. m³/ vuodessa
- Metaanipitoisuus: 57–58 %
- Sähköä tuotetaan vuodessa noin 182 MWh
- Lämpöä tuotetaan vuodessa noin 386 MWh
- Biokaasureaktorin koko: 320 m³
- Vuorokaudessa tuotetaan 360 m³ biokaasua

Biokaasun jatkokäsittelyssä:

- Sähkön teho: 30 kW/max.
- Lämmön teho: 60kW/max
- Biokaasua käytetään: 30 % sähköä, 60 % lämpöä ja 10 % häviö

1) Raaka-aine ja kuljetuksen energiankulutus

– Tuotettu lantamäärä: 5 000 m³

– Ulkopuolinen raaka-aine, jonka kuljetukseen käytetään fossiilista polttoöljyä. Vuodessa kuljetuskertoja on noin kerran kuukaudessa, joten 12 krt x 100 km = 1200 km/vuodessa. Kerran kuukaudessa tuotu määrä on 10 m³ eli 120 m³ vuodessa (1, 5 m³ /t eli kuorma olisi 80 t/vuodessa)

– Arvioitu, että kuljetus kuluttaa noin 11,9–12,8 l/100km (jakelukuorma-auto, diesel), dieselin energiasisältö 9,8 – 9,9 kWh/l, täten arvioitu kuljetukseen tarvittava energiamäärä on 1,4 MWh/ vuodessa

2) Mädätysprosessi biokaasureaktorissa

Lämpöenergia:

– Suurin osa energiasta kuluu reaktorin ja syötteen lämmittämiseen, noin 23 kW

– Talvella lämmityksen tarpeen on arvioitu nousevan n.30 %

– Reaktorin ja (mahdollisesti myös) syötteen lämmittämiseen arvioidaan kuluvan noin 23 kW x 8760 h = 200 MWh

→ lämmitykseen kulutettu määrä voi heitellä vuorokauden aikaan nähden

Sähköenergia:

– Energiaa kuluu reaktorin sekoitukseen. Sekoittimien moottorit ovat teholtaan 12 kW. Jos sekoittimet olisivat jatkuvatoimisesti päällä kuluttaisivat 105 MWh/v. 50 % toiminta vuorokaudessa kuluttaisi n. 53 MWh/v, ja tämän arvioidaan olevan totuudenmukaisempi.

– Sähköenergiaa kuluu myös lietteen/syötteen pumppaamiseen.

3) Jatko – ja jälkikäsittely

– Biokaasua hyödynnetään sekä lämpönä että sähköä

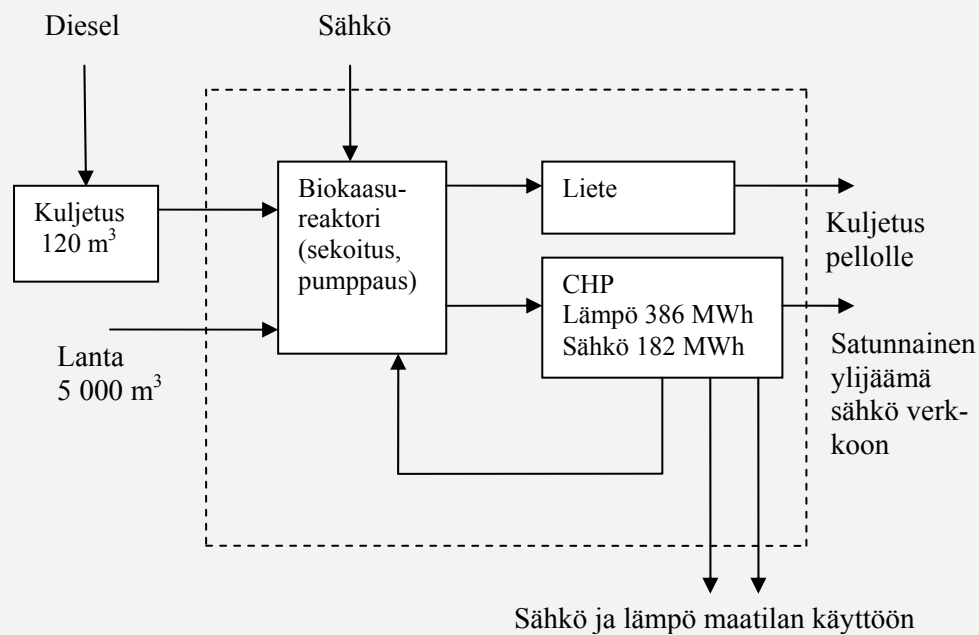
– Pääosa energiasta on kuumissa pakokaasuissa, tästä puolet biokaasureaktorin lämmittämiseen, toinen puoli navetan lämmittämiseen

– Kaasu paineistetaan 6 bar:iin ennen muuntamista sähköksi, vie 4 kW

– Sähkön kulutus kk arvioitu noin $2021 \text{ kWh} \times 12 = 24252 \text{ kWh}$ (24 MWh). Sähköä mahdollisesti turbiinin toimintaan, paineistukseen

– Biokaasulaitoksella ei ole jälkikaasun talteenottoa.

Alla olevassa kaaviossa on kuvailtu eri tuotantoprosessin kohtiin kulutettu lämpö – ja sähköenergia.



– Energian tuotanto ja käyttö:

- Tuotetun metaanin sisältämä energiamäärä n.750 MWh
- Tuotettu sähkö ja lämpö: 568 MWh
- Tuotetusta sähköstä ja lämmöstä kulutetaan n. 270–290 MWh biokaasun tuotannossa
- Maatilan käyttöön (systemin ulkopuolelle) jää noin puolet tuotetun sähkön ja lämmön kokonaismäärästä

3. Biokaasulaitos (6 700 m³), joka tuottaa sähköä ja lämpöä. Hyödynnettävä raaka-aine tuodaan usealta maatilalta ja teollisuudesta.

- Laitos tuottaa biokaasua noin 2,078 milj. m³/ vuodessa
- Metaanipitoisuus: 66 %
- Sähköä tuotetaan vuodessa noin 4 000 MWh
- Lämpöä tuotetaan vuodessa noin 6 000 MWh
- Biokaasureaktorin koko: 6 700 m³

Biokaasun jatkokäsittelyssä:

- Sähkön teho: 1,5 MW (835 kW, 620 kW)
- Lämmön teho: 1,8 MW

1) Raaka-aine ja kuljetuksen energiankulutus

– Tuotettu lantamäärä: 60 000 t/v

– Ulkopuolinen raaka-aine: 50 000 t/v

– Käytetty fossiilinen polttoöljy kuljetukseen vuodessa:

Arvioitu, että kuljetus kuluttaa noin 40–45 l/100km (rekka, diesel), dieselin energiasisältö 9,8 kWh/l. Yhteensä kilometrejä kertyy noin 482 000 km. Vuoden kuljetukseen kuluu 192 000–217 000 l.

→ Energiaa kuluu arvion mukaan kuljetukseen 1 800–2 100 MWh vuodessa.

– Kuljetukseen kuluu noin 10–20 % laitoksen tuotetusta energiamäärästä.

2) Esikäsittely

– Hygienisointi (lämpö 70 °C) kuluttaa 350 kW

→ Jos koko ajan päällä, kuluttaa noin 3 000 MWh/ vuodessa

→ Jos 1h päivässä päällä, kuluttaa noin 128 MWh/ vuodessa

3) Mädätysprosessi biokaasureaktorissa

Lämpöenergia:

– Lämpö käytetään lietteen hygienisointiin ja tilojen lämmitykseen.

– Sähköntuotannossa muodostuva hukkalämpö otetaan talteen pakokaasukattilalla ja lämmönvaihtimilla.

– Syöte lämmitetään lämmönvaihtimista saadulla lämmöllä 40 °C asteeseen.

Sähköenergia:

– Energiaa kuluu reaktorin sekoitukseen

4) Jatkokäsittely:

– Tuotetaan lämpöä ja sähköä

– Biokaasulaitoksen tuottama sähkö menee omaan käyttöön ja loput valtakunnan verkkoon: Vuonna 2007 myytiin 4 000 MWh sähköä. Energiateho 4 MW (kaasutehona)

– Biokaasu puhdistetaan rikkidioksidin poistamiseksi

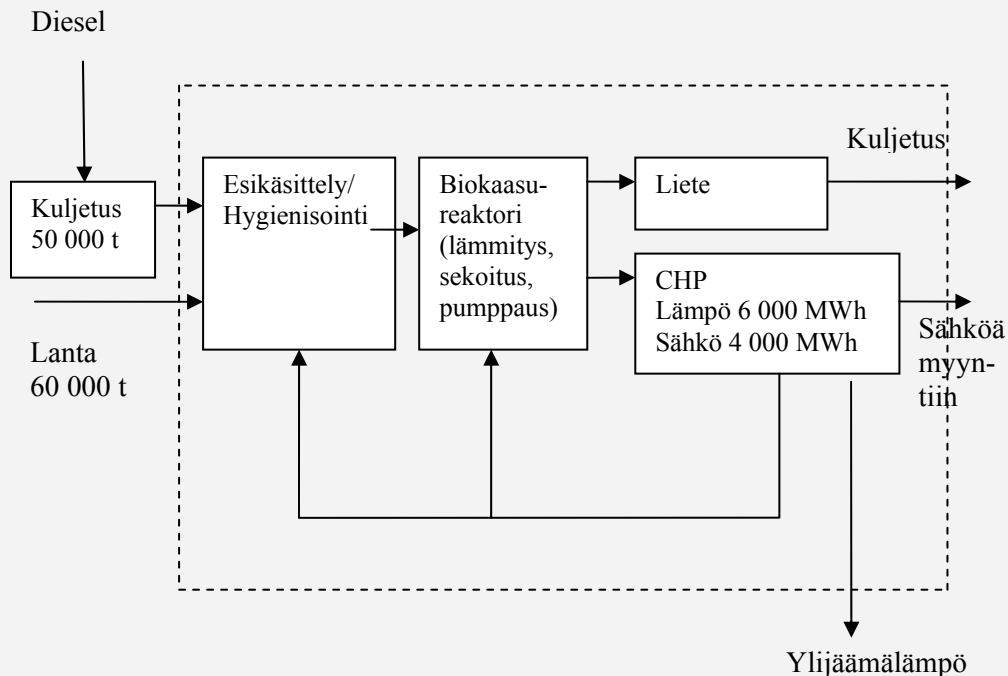
5) Jälkikäsittely:

– Biokaasulaitoksella on jälkikaasuuntumisallas

– Käsitelty liete viedään takaisin maataloille pelloille lannoitteeksi

– Liete määrä saattaa olla niin suuri, että loppusijoittaminen on hankalaa. Osa lietteestä kuivataan ja rakeistetaan lannoitteeksi.

Alla olevassa kaaviossa on kuvailtu eri tuotantoprosessin kohtiin kulutettu lämpö – ja sähköenergia.



Biokaasulaitoksen energian kulutus:

- 400 kW lämpöä → arvion mukaan laitoksen vuosittainen lämmön kulutus on 3 504 MWh
- 150 kW sähköä → arvion mukaan laitoksen vuosittainen sähkön kulutus on 1 314 MWh

– Energian tuotanto ja käyttö:

- Tuotetun metaanin sisältämä energiamäärä n. 13 000 – 14 000 MWh
- Tuotettu lämpö ja sähkö n. 10 000 MWh
- Systemin ulkopuolelle myydään sähköä n. 4 000 MWh (netto 2 700 MWh?)

Arvioitu kulutettu energiamäärä biokaasun tuotantoon:

Kuljetus n. 1 800 – 2 100 MWh

Lietteen sterilointi ja lämmitys n. 3 500 MWh

Sähkön kulutus n. 1 300 MWh

Esimerkkejä energiataseista:

Prosessin sähkön ja lämmön kulutus/ tuotettu biokaasu : 0,34-0,37

Prosessin sähkön ja lämmön kulutus/ tuotettu sähkö ja lämpö: 0,48

Prosessin sähkön ja lämmön kulutus/ tuotettu sähkö: 1,2

Kuljetuksen sekä prosessin sähkö ja lämmön kulutus/tuotettu biokaasu: 0,39-0,42

Kuljetuksen sekä prosessin sähkö ja lämmön kulutus/tuotettu sähkö ja lämpö: 0,55

Kuljetuksen sekä prosessin sähkö ja lämmön kulutus/tuotettu sähkö 1,4

Selvityksessä haasteena oli se, että lähtötiedot ja tulokset pohjautuivat olemassa olevien laitosten tietoihin. Biokaasulaitosten toimintaa ja biokaasun tuotantoa on vaikea vertailla laitosten kesken, sillä prosessit ovat hyvin erilaiset ja useat tiedot perustuivat arviointeihin ja tuottajien kokemuksiin. Erityisesti tarkemmassa tarkastelussa energiatuotannon ja prosessin kuluttavan energian käytön osalta tietojen saaminen jäi välillä oletuksen tai arvion asteelle. Siksi pystyttiin arvioimaan karkeita energiataseita vain yhdelle laitokselle. Harvalla maatilakohtaisen biokaasulaitoksen omistajalla on tiedossa tarkkoja lukuja prosessin eri osiin kuluva energiasta. Biokaasulaitoksilta saatavat tiedot ja niiden taso myös vaihtelevat suuresti eri laitosten välillä. Useat prosessin vaiheet vaikuttavat energiataseeseen ja energian kulutus voi vaihdella näiden prosessien sisällä. Näin ollen tuloksiin liittyy monia epävarmuustekijöitä. Haasteena oli myös se, että maatilan muu energiankulutus oli tiiviisti mukana energiankulutuksessa, esimerkiksi eräällä maatilalla osa biokaasusta meni suoraan navetan lämmittämiseen. Tarkastelun ulkopuolelle pyrittiin rajaamaan muu kuin biokaasun tuotantoon kulutettu energia, mutta erityisesti tarkasteltaessa biokaasulaitoksen energian omavaraisuutta, muu maatilan tarpeisiin kulutettu energia tulee otetuksi huomioon.

Kuljetukseen käytetyn energiamäärän arvioinnissa käytettiin, raaka-aineen määrästä riippuen, kirjallisuudesta saatua polttoaineen kulutuksen keskiarvoa. Näin ollen myös saatua tulosta voidaan pitää keskiarvona. Monet asiat, kuten ajotapa, vaikuttavat kulutukseen joita ei voida kuitenkaan ottaa selvityksessä huomioon. Yleisesti ottaen raaka-aineen kuljetukseen kulutettu energiamäärä on maatilakohtaisilla biokaasulaitoksilla pieni. Jos biokaasun valmistukseen käytetään ulkopuolelta tulevia raaka-aineita, niiden tuottajat ovat yleensä olleet lähiseudulta. Varsinkin lannan metaanintuottopotentiaali on sen verran pieni, että kuljetusmatkan täytyy olla tarpeeksi lyhyt, jotta tuotanto saadaan kannattavaksi. Keskitetyn biokaasulaitoksen hyödyntämän raaka-aineen kuljetusmatka oli ihan omaa suuruusluokkaansa, mutta tuodun raaka-aineen, mm. energiateollisuuden sivuvirrat, metaanintuottopotentiaali on parempi kuin lannan. Kuljetukseen kulutettu energiamäärä voi olla jopa 20 % tuotetun sähkön ja lämmön määrästä. Tiedot saapuneen raaka-aineen määrästä vaihtelivat eri biokaasulaitosten välillä. Tarkkaa määrää ei välttämättä aina edes mitata. Biokaasulaitoksilla, jotka saivat porttimaksun vastaanotetusta raaka-aineesta, tarkka määrä oli paremmin tiedossa.

Aikaisemmissa tutkimuksissa on käynyt ilmi, että suurin biokaasun tuotantoon kulutettu lämpöenergia kuluu biokaasureaktorin lämmön ylläpitämiseen ja syötteen lämmitykseen. Syötteen alkulämpötila sekä ulkolämpötila vaihtelevat paljon vuodenajasta riippuen, mikä vaikuttaa hyvin oleellisesti lämmöntarpeeseen. Biokaasureaktorin lämpötila ei myöskään ole aina vakio vaan vaihtelee jonkin verran, joten lämmitykseen käytetty energia vaihtelee myös tästä syystä. Lämpö voi myös nousta reaktorissa sillä seurauksella, että sitä joudutaan jäähdyttämään. Bioreaktorin toiminta kuluttaa myös suhteellisen paljon sähköenergiaa johtuen sekoittimen toiminnasta, jonka on arvioitu aikaisimmissa tutkimuksissa kuluttavan noin 80 % biokaasureaktorin toiminnan kuluttavasta sähköenergiasta. Tarkastelluilla biokaasulaitoksilla biokaasureaktorin prosessien vaiheisiin kuluva energia oli vaikea erotella toisistaan. Lisäksi monet sähkönkulutusta aiheuttavat vaiheet eivät olleet jatkuvassa käytössä. Biokaasulaitoksilla oli vaikeuksia arvioida miten usein

laitteet olivat toiminnassa, joten tämä jäi usein arvion varaan. Hankaluuksia tuotti myös arvioida muun kuin biokaasun määrää sillä osa biokaasulaitoksista joutui turvautumaan myös muuhun energialähteeseen. Esimerkiksi joillakin biokaasulaitoksilla reaktorin lämmitykseen käytettiin myös haketta.

Vain yhdelle laitokselle pystyttiin tässä selvityksessä arvioimaan karkeita energiataseita. Prosessin sähkön ja lämmön kulutus suhteessa tuotetun biokaasun energiasisältöön oli tällä laitoksella hieman alle 0,4. Jos energiakulutus verrataan tuotettuun nettosähköön, päädyttiin energiataseen osalta suurempaan lukuun kuin 1 eli prosessi kulutti enemmän energiaa kuin mitä se nettomääräisesti tuotti. Tätä johtopäätöstä ei voida yleistää koska laitosten päätehtävä ei ole energian tuotanto vaan jätteiden käsittely ja pääosan toimintamenoista katetaan jätteiden vastaanottomaksuilla. Energian myynnistä saadut tulot eivät todennäköisesti ole laitoksen kannattavuuden kannalta oleelliset eikä energia-tuotantoa näin ollen pyritä optimoimaan. Tämä voi muuttua tulevaisuudessa jos esimerkiksi myydystä sähköstä saadaan parempi hinta.

Vuodenaikojen vaihtelulla vaikutti olevan suuri merkitys biokaasulaitosten tuotantoon erityisesti lämmön kulutuksen kannalta. Monet biokaasulaitokset tuottivat ylimääräistä kaasua, joka poltettiin, mutta talvella kyettiin käyttämään lämpöä tehokkaammin. Sähkön kulutuksella ei ollut suurta eroa eri vuodenaikojen välillä. Biokaasun tuottajien arviot biokaasulaitosten käyttöasteista vaihtelivat, mutta yleisesti kaikki arvioivat sen olevan yli 80 % suuruusluokkaa. Mitä suurempi merkitys laitoksella oli maatalan toimintaan, esimerkiksi biokaasusta tuotettiin myös sähköä, sitä merkittävämpi oli toiminnan jatkuvuuden takaaminen ja näin ollen myös käyttöaste oli korkea.

Yhteenveto

Biokaasun valmistuksen energiankulutus muodostuu yhä tärkeämmäksi tekijäksi tulevaisuudessa jos energiantuotannon merkitys tulonlähteenä kasvaa. Tulevaisuudessa tullaan näin ollen kiinnittämään yhä enemmän huomiota energiataseeseen, sillä sen avulla voidaan vähentää energiankulutusta. Tällöin on mahdollisuus saada suurempi biokaasun määrä esimerkiksi sähköenergian muodossa siirrettäväksi valtakunnan verkkoon. Tällä hetkellä monilla biokaasulaitoksilla lämmöntuotannossa muodostui ylikapasiteetti, joten tehokkaalla lämpötaloudella ei välttämättä ole vielä niin suurta merkitystä. Jos biokaasu kyettäisiin muuntamaan esimerkiksi liikennepolttoaineeksi, tulisi eri vaiheiden energiankulutuksen pienentäminen, kuten reaktorin lämmönkulutuksen pienentäminen, todennäköisesti merkittävämmäksi tekijäksi.

Kirjallisuuden arvion mukaan biokaasulaitoksen energian kulutus olisi noin 20–40 % tuotetusta energiasta. Tarkasteltujen biokaasulaitosten energiatase vaihteli, mutta yleisesti ottaen kulutettu energia oli 40 - 100 % (jopa yli) tuotetusta energiasta, mutta osalla tähän määrään voi sisältyä kulutusta, jolla ylläpidetään myös maatilan toimintaa. Tietojen kerääminen energiataseita varten osoittautui odotuksia huomattavasti hankalammaksi eikä kaikkia haluttuja tietoja kyetty saamaan. Osalla biokaasulaitoksista raaka-aineen kuljetukseen kulutettu määrä on sen verran suuri, että sillä on merkittävä vaikutus energiataseeseen.

Saatu energia oli kuitenkin monilla biokaasulaitoksilla vain yksi syy biokaasun valmistukseen. Käsiteltyä lantaa pidettiin tärkeänä lannoitteena. Huomattavan suuri osa haastateltavista oli tyytyväisiä päätöksestään ryhtyä biokaasuntuottajaksi ja soraäännetkin johtuivat tuotannon toiminnassa ilmenneistä hankaluuksista, kuten prosessin hitaasta käynnistymisestä. Suurin osa biokaasun tuottajista uskoi tulevaisuudessa lisäävänsä biokaasun tuotantoa ja se nähtiin yhä merkittävämpänä energian lähteenä.

LÄHDELUETTELO

Fredrik Ek. *Produktion av biogas på gården*. ProAgria Svenska lantbrukssällskapens förbund, Helsinki 2007.

Kuittinen V., Huttunen M.J & Leinonen S. 2007. Suomen biokaasurekisteri n:o 10. Tiedot vuodelta 2006. Joensuun yliopisto, Ekologian tutkimusinstituutin raportteja N:o 3.

Hanna Luoma et al. *Maatilyrityksen bioenergian tuotanto*, ProAgria Maaseutokeskuksen Liitto, Kirjapaino Otava oy, Keuruu 2006

Berglund M., Börjesson P. (2006) Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production, *Biomass & Bioenergy*, Vol. 30, No. 3, pp. 254--266.

Berglund M., Börjesson P. *Energianalys av biogassystem*, Lunds tekniska högskola, 2003

Luostarinen, Sari. *Biokaasuteknologian perusteet*. Ppt-esitys 2008. Jyväskylän yliopisto

Tilastokeskus: *Energiatilastot* 2003.

Dry fermentation: from biomass to biogas.

<http://www.dryfermentation.com/dryfermentation-1.html>

CHP- laitos	Sähköä ja lämpöä tuottava laitos (CHP- combined heat and power production)
TS	Kuiva-aine kokonaismäärä (Total solids)
VS	Orgaaninen kuiva-aine (Volatile solids)
ww	Märkäpaino (wet weight)
CH₄	Metaani
Elinkaarianalyysi	Tuotteen, prosessin tai toiminnan ympäristölliset vaikutukset arvioidaan koko eliniän ajan (LCA, life cycle assessment)
Patogeeni	Taudinaiheuttava bakteeri, virus tai loinen