



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 36/2015

Maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus ja kasvihuone- kaasujen päästövähennys

Erika Winqvist, Sari Luostarinen, Pellervo Kässi, Ville Pyykkönen ja
Kristiina Regina

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015

Maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus ja kasvihuone- kaasujen päästövähennys

Erika Winqvist, Sari Luostarinen, Pellervo Kässi, Ville Pyykkönen ja Kristiina Regina

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2015



ISBN: 978-952-326-081-8 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-045-0 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-045-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Erika Winqvist, Sari Luostarinen, Pellervo Kässi, Ville Pyykkönen ja Kirstiina Regina

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2015

Julkaisuvuosi: 2015

Kannen kuva: Sari Luostarinen

Tiivistelmä

Erika Winquist¹⁾, Sari Luostarinen¹⁾, Pellervo Kässi, Ville Pyykkönen¹⁾ ja Kristiina Regina²⁾

¹⁾Luonnonvarakeskus, Uudet liiketoimintamahdollisuudet, Viikinkaari 4, 00790 Helsinki

²⁾ Luonnonvarakeskus, Uudet liiketoimintamahdollisuudet, 31600 Jokioinen

Tässä julkaisussa esitetään maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus käyttäen kahta kuvitteellista esimerkkiä: suuren lypsykarjatilän oma biokaasulaitos ja viiden lypsykarjatilän yhteinen biokaasulaitos. Tilakohtaiselle laitokselle laskettiin lisäksi kasvihuonekaasujen päästövähennyspotentialiaali.

Tilakohtainen biokaasulaitos korvasi joko maatilan öljy- tai hakelämpölaitoksen. Biokaasusta tuotettiin lämpöä ja sähköä CHP-yksiköllä. Tuotettu lämpö korvasi kevyttä polttoöljyä tai puuhaketta ja tuotettu sähkö ostosähköä. Biokaasulaitos osoittautui öljy- ja hakelämpölaitosta kannattavammaksi, jos laitokselle saatiin investointitukea (35 %), korkeimmasta investointihinnasta huolimatta.

Tilojen yhteinen biokaasulaitos sai tulonsa energian myynnistä. Lietelannan separointi osalla osakastiloja ja kuivajakeen käyttö biokaasulaitoksen syötteenä vähensivät kuljetuskustannuksia ja mahdollistivat tilojen yhteisen laitoksen kannattavan toiminnan. Vaihtoehtoisina biokaasun hyödyntämistapoina tarkasteltiin lämmön ja sähkön yhteistuotantoa sekä biokaasun puhdistusta liikennepolttoaineeksi. Paras kannattavuus saatiin, kun tuotetusta biokaasusta puhdistettiin liikennepolttoainetta ja tehdylle investoinnille saatiin investointitukea (vuosittainen tulo 22 600 €, investoinnin takaisinmaksuaika 6,8 vuotta). Lähes yhtä hyvään kannattavuuteen päästiin myös lämmön ja sähkön yhteistuotannossa, mikäli kaikki lämpö voitiin hyödyntää ja myydystä sähköstä saatiin v. 2015 mukainen tariffihinta lämpöpremiolla (vuosittainen tulo 22 900 €, investoinnin takaisinmaksuaika 7,3 vuotta).

Merkittävimmät kasvihuonekaasupäästövähennykset saatiin lannan varastoinnista ja energian tuotannosta. Lietelanta siirtyi navetasta jatkuvatoimisesti biokaasulaitokseen, jossa vapautuva metaani otettiin hallitusti talteen. Energian tuotannon päästövähennyspotentialiaali riippuu korvattavasta energiasta. Tässä laskelmassa korvattiin puuhaketta ja sähköä. Biokaasulaitos osana maatilan toimintoja vähensi vuosittaisia kasvihuonekaasuja 240 t CO₂e (noin 90 henkilöauton päästöt), kun vertailukohtana oli hakelämpölaitos.

Asiasanat: biokaasu, maatilat, kannattavuus, kasvihuonekaasut, lietalanta, säilörehu

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Tilakohtainen biokaasulaitos	6
2.1. Syötteet ja tuotteet.....	6
2.2. Laitoskuvaus.....	7
2.3. Biokaasun hyödyntäminen	9
2.4. Tilan energiankulutus.....	9
2.5. Investoinnin kannattavuus.....	11
2.5.1. Muuttuvat kustannukset.....	12
2.5.2. Kiinteät kustannukset.....	13
2.5.3. Kannattavuus	14
3. Kasvihuonekaasujen päästövähennys tilakohtaisessa biokaasulaitoksessa	16
4. Tilojen yhteinen biokaasulaitos	18
4.1. Syötteet ja tuotteet.....	18
4.2. Laitoskuvaus.....	20
4.3. Biokaasun hyödyntäminen	21
4.3.1. Vaihtoehto A: CHP + biokaasun puhdistus.....	23
4.3.2. Vaihtoehto B: Lämpökattila + biokaasun puhdistus.....	24
4.3.3. Vaihtoehto C: CHP	25
4.3.4. Yhteenveto biokaasun eri hyödyntämismuutoksista.....	26
4.4. Investoinnin kannattavuus	26
4.4.1. Muuttuvat kustannukset.....	26
4.4.2. Kiinteät kustannukset.....	28
4.4.3. Kannattavuus	29
5. Johtopäätökset.....	31
5.1. Tilakohtainen biokaasulaitos	31
5.2. Tilojen yhteinen biokaasulaitos	32

1. Johdanto

Maatilojen biokaasulaitokset mahdollistavat tiloilla tuotetun kotieläinten lannan ja kasvibiomassojen hyödyntämisen uusiutuvana energiana ja kasvinravinteina. Samalla voidaan hallita ja vähentää maatalouden päästöjä, kuten kasviuonekaasupäästöjä. Tuotettu biokaasu voidaan hyödyntää lämmöntuotannossa, sähkön ja lämmön yhteistuotannossa (CHP) ja/tai siitä voidaan jalostaa liikennepolttoainetta. Ravinteikas käsittelyjännös sisältää kaikki käsiteltävien materiaalien ravinteet ja soveltuu sellaisenaan tai jatkojalostettuna lannoitteeksi tilan kasvintuotantoon.

Maatilojen biokaasulaitokset mahdollistavat kasviuonekaasujen päästövähennykset kolmella tavalla: 1) korvaamalla fossiilisilla energianlähteillä tuotettua energiaa uusiutuvalla energialla, 2) vähentämällä lannasta vapautuvia metaanipäästöjä sekä 3) vähentämällä typpilannoitteiden ostotarvetta ja sitä kautta niiden valmistuksesta aiheutuvia kasviuonekaasupäästöjä. Edellä mainituista päästölähteistä ainoastaan lannan kasviuonekaasupäästöt ovat päästölaskennassa maataloussektorille kuuluvia. Muut päästöt kuuluvat energia- ja kemianteollisuuden sektoreille.

Suomen maatalouden kasviuonekaasupäästöistä 12 % muodostuu lannankäsittelyssä (Statistics Finland 2014). Suljettu biokaasuprosessi estää miltei kaikki kasviuonekaasujen päästöt prosessin aikana, jos sen viipymä on riittävän pitkä hajoamisen maksimoimiseksi ja käsittelyjännös varastoidaan katetuissa säiliöissä. Laitosten metaanihäviöt riippuvat laitostekniikasta ja laitoksen ylläpidosta. Mittauksin on todettu, että keskieurooppalaisissa olosuhteissa ja laitoksissa keskimäärin 3 - 4 % metaanin tuotosta vuotaa prosessin ulkopuolelle (Flesch ym. 2011, Groth ym. 2015). Lisäksi käsittelyjännöksen korkeamman ammoniumtyypen pitoisuuden vuoksi siitä voi syntyä enemmän kaasumaisia typpipäästöjä kuin raakalannasta (Clemens ym. 2006). Dityppioksidia muodostuu maaperän mikrobiotoinnassa jännöksen lannoitekäytössä, mikäli kasvit eivät saa tyypeä tehokkaasti hyödynnettyä. Molemmat päästöt ovat hallittavissa koko käsittelyketjun optimoinnilla, ml. katettu varastointi ja oikeat levitysmenetelmät. Samalla vähennetään myös ammoniakkipäästöjä.

Maatilojen biokaasulaitoksia on Suomessa rakennettu toistaiseksi vain vähän. Merkittävin este niiden yleistymiselle on laitosten kannattavuus (Marttinen ym. 2013). Laitosinvestointi on kallis eivätkä erityisesti pienemmät tilat saa välttämättä riittävästi hyötyä tuotetusta energiasta ja tehostuneesta ravinteiden kierrosta sen kattamiseksi. Monessa maassa kannattavuuden parantamiseksi on otettu käyttöön erilaisia julkisia kannustimia, kuten investointituki, takuuhinta tuotetulle energialle tai veroedut. Suomessa maatilakokoluokan laitosten tukivaihtoehtona on pääasiassa maatalouden investointituki (kirjoitushetkellä enintään 35 % tietyin ehdoin).

Maatilojen biokaasulaitoksilla tuotettu lämpö on usein yksi kannattavuuden ja päästöhyötyjen pullonkaula. Kaikkea lämpöä ei aina saada hyödynnettyä tilan omissa toiminnoissa eikä lähellä välttämättä ole lämmölle ostajaa. Koska ympäristölupavaatimukset ajavat karjatalouden uudisrakennuksia yhä kauemmas asutuksesta, tulevaisuudessa lämpöenergian myyminen entistä suuremmista tuotantoyksiköistä käynee nykyistäkin vaikeammaksi. Voimassaolevan maatalouden ympäristönsuojeluohjeen mukaan uuden karjatalousrakennuksen etäisyys asutukseen on vähintään sata metriä, tuhannen eläinyksikön rakennuksella 300 metriä (Ympäristöministeriö 2010).

Tässä raportissa arvioidaan maatilojen biokaasutuotannon kannattavuutta käyttämällä kahta esimerkkiä: suuren lypsykarjatilan omaa biokaasulaitosta sekä usean lypsykarjatilan yhteistä biokaasulaitosta. Kummankin biokaasulaitoksen kannattavuus arvioitiin ja tilakohtaiselle biokaasulaitokselle laskettiin myös kasviuonekaasujen kokonaispäästövähennyspotentiaali hiilidioksidiekvivalenttitonneina.

2. Tilakohtainen biokaasulaitos

Tilakohtainen biokaasulaitos suunniteltiin kuvitteelliselle 160 lypsylehmän karjatilalle (Taulukko 1). Laitos integroituu tilan tuotantorakennuksen yhteyteen, jolloin lannankäsittelyketju eläinsuojasta biokaasulaitokseen ja edelleen varastointiin ja peltolevitykseen järjestyy mahdollisimman tehokkaasti. Lannan lisäksi tila hyödyntää hävikkisäilörehun laitoksessa. Maatila korvaa ostoenergiaa biokaasusta tuottamallaan sähköllä ja lämmöllä. Lisäksi käsittelyjäännös on lietelantaa parempi lannoite, koska sen sisältämä typpi on kasveille käyttökelpoisemmassa muodossa. Ennen biokaasuinvestointia tilan oletettiin käyttävän joko öljy- tai hakelämmitystä, jotka ovat yleisimmät nykyisin käytössä olevat maatalouden lämmitysjärjestelmät (Maataloustilastot 2014).

Taulukko 1. Tilanne ennen ja jälkeen biokaasulaitoksen rakentamista

Lähtötilanne (ei biokaasulaitosta)	Biokaasulaitos osana maatilan toimintoja
<ul style="list-style-type: none"> - lanta suoraan avoimiin varastoihin, ei katetta (luonnollinen kuorettuma) - lannan levitys sijoittaen - hävikkirehu kompostoidaan - lämmöntuotto kevyellä polttoöljyllä tai puuhakkeella - sähkö ostetaan 	<ul style="list-style-type: none"> - lanta syötetään jatkuvatoimisesti biokaasulaitokseen - käsittelyjäännöksen levitys sijoittaen - hävikkirehu biokaasulaitokseen - biokaasu muunnetaan CHP-yksiköllä lämmöksi ja sähköksi - tuotettu sähkö korvaa ostosähköä

2.1. Syötteet ja tuotteet

Tilan karjan, nuorkarja mukaan lukien, arvioitiin tuottavan vuosittain lietelantaa n. 4600 m³ (Taulukko 2). Lisäksi laitoksen syötteenä oletettiin käytettävän sontaa (kerätty jaloittelutarhasta) ja hävikkisäilörehua (säilöntä epäonnistunut), jonka määräksi arvioitiin 5 % ruokintaan varatusta säilörehusta (Taulukko 3).

Taulukko 2. Tilan karjan vuosittain tuottama lietelanta- ja sontamäärä.

	lkm	laidunnus kk	lietelanta ^a t/eläin/kk	lietelanta yht. t/vuosi	sonta ^b t/eläin/kk	sonta yht. t/vuosi
Lypsylehmät	160	1	2,13	3740	0,99	159
Nuorkarja (> 8 kk)	104	2	0,71	737		
Vasikat (< 8 kk)	20	0	0,52	125		
Yhteensä				4602		159

^aLietelannan määrä laskettiin Nitraattiasetuksessa (VNA 17.4.2015) annettujen vähimmäislantatilavuuksien perusteella

^bLypsylehmillä jaloittelutarha, josta sonta kerättiin talteen. Nuorkarjan laitumelle jäävää lantaa ei huomioitu.

Anaerobisen prosessoinnin aikana syötteistä muodostuu biokaasua ja käsittelyjäännöstä. Biokaasu sisältää n. 55 - 70 % metaania, joka voidaan edelleen hyödyntää energian tuotannossa. Lannan ja säilörehun metaanintuottopotentiaali (BMP) laskettiin niiden sisältämän orgaanisen aineksen (VS) perusteella (Taulukko 3). Materiaaleille käytetyt kertoimet oli määritetty Luke Maaningan biokaasulaitoksella tehdyissä kokeissa (Luostarinen 2013b). Säilörehun metaanintuottopotentiaali on huomattavasti lantaa korkeampi. Jo pienikin säilörehulisäys nostaa merkittävästi laitoksen metaanintuottoa. Tässä esimerkkilaskelmassa 3,0 % säilörehua syötteessä vastasi 13,5 % tuotetusta metaanista.

Taulukko 3. Syötteiden määrät ja metaanintuottopotentiaalit.

	syöte t / vuosi	osuus syötteestä %	VS %	BMP m ³ CH ₄ / t VS	metaanin- tuotto m ³ CH ₄	osuus energiasta %
Lietelanta	4 602	93,8	7,8	200	72 000	81,9
Sonta	159	3,2	12,5	200	4 000	4,5
Säilörehu	148	3,0	23,0	350	11 900	13,5
Yhteensä	4 908				87 900	

VS = volatile solids = orgaaninen aines

Biokaasulaitoksen käsittelyjäännös hyödynnettiin tilan kasvintuotannossa. Lietelantaan verrattuna käsittelyjäännös sisältää enemmän ammoniumtyyppiä, sillä biokaasuprosessissa ammoniumtyypin osuus kokonaistypestä kasvaa proteiinien hajotessa (Taulukko 4). Lisäksi käsittelyjäännöksen ravintepitoisuutta nostaa nurmen mukanaan tuomat ravinteet. Kannattavuuslaskelmissa oletettiin, että tilan mineraalityypin tarve tästä syystä pienenee. Käsittelyjäännöksen korkeamman ammoniumtyypin pitoisuuden vuoksi varastosäiliö katettiin ja levitys toteutettiin kasvukaudella sijoittavalla kalustolla.

Taulukko 4. Syötteiden ja käsittelyjäännöksen tyypipitoisuudet.

	Lanta	Sonta	Rehu	Yhteensä	Käsittelyjäännös	NH ₄ -lisä
Tuorepaino (t)	4602	159	148	4908	4712 ^a	
TN (kg)	24871 ^b	680	1036	26587	26587	
NH ₄ (kg)	14674 ^c	401	44	15119	18157 ^d	3483

^a Massan vähenemä biokaasuprosessissa 4 % (arvio Luke Maaningan biokaasulaitoksen kokeiden perusteella)

^b Laskettu typen eritysmäärien perusteella (Statistics Finland 2014)

^c NH₄-tyypin osuus 59 % kokonaistypestä (Jouni Nousiainen, suullinen tiedonanto)

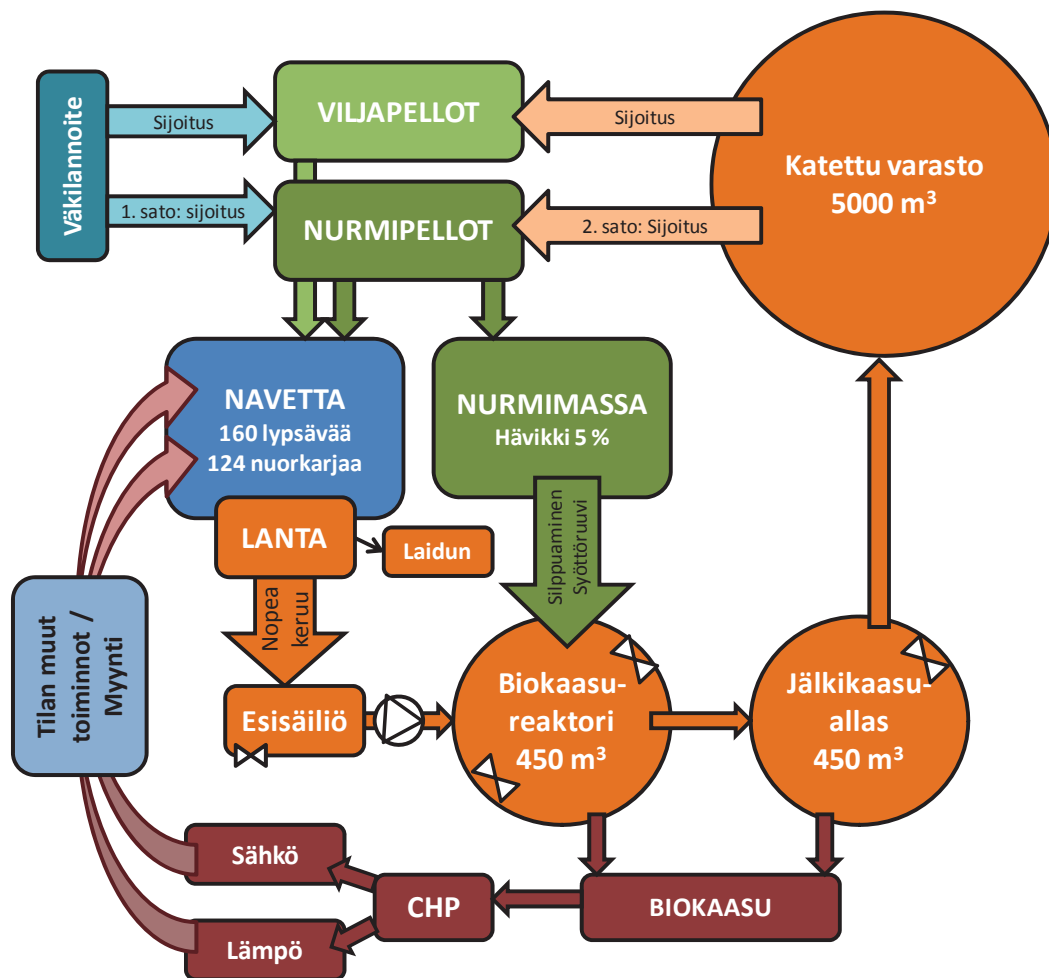
^d NH₄-tyypin lisääntyminen biokaasuprosessissa, kerroin lannalle 1,2 ja rehulle 1,5 (arvioitu Luke Maaningan biokaasulaitoksen kokeiden perusteella)

2.2. Laitoskuvaus

Kuvitteellisen karjatilan navetassa muodostuva lietelanta kerätään esisäiliöön mahdollisimman nopeasti eläinsuojassa tapahtuvia päästöjä välttämällä (Kuva 1). Esisäiliö on maanalainen ja katettu, ja lanta viipty siellä korkeintaan muutamia päiviä. Lietelanta sekoitetaan esisäiliössä tasalaatuisiksi juuri ennen lannan pumpausta reaktoriin. Esisäiliön oletettiin kuuluvan tilan varusteluun, joten sitä ei huomioitu biokaasulaitoksen investointikustannuksissa, mutta esisäiliö varustettiin sekoittimella ja pumpulla. Apevaunulla silputtu nurmimassa (hävikkirehu) syötetään reaktoriin syöttöruuvin avulla. Myös apevaunun oletettiin kuuluvan tilan varusteluun. Rehusyöttöä varten reaktoriin asennettiin syöttösuppilo ja -ruuvi.

Reaktorina toimii 450 m³:n betoninen lietesäiliö, joka sijoitettiin pääosin maan alle ja eristettiin kauttaaltaan 10 cm styrox-levyillä ja 7 cm polyuretaanilevyillä. Reaktorin lämmitetään seinämien lämmitysputkilla (37 °C) ja sen sisältöä sekoitetaan kahdella upposekoittimella. Sen katteena on kaksoishuputus, alempi huppu kerää tuotetun biokaasun ja ylempi toimii sääsuojakupuna. Sääsuojakupua pidetään kuperana paineilmailla. Reaktorin käsittelyjäännös siirtyy painovoimaisesti jälkikaasualtaaseen syöttöjen yhteydessä.

Jälkikaasuallassa on rakenteeltaan, katteeltaan ja tilavuudeltaan reaktoria vastaava, mutta sitä ei lämmitetä ja sekoittimia on yksi. Tuotettu jälkikaasu kerätään ja hyödynnetään yhdessä reaktorikaasun kanssa. Jälkikaasualtaasta käsittelyjäännös siirtyy painovoimaisesti tilan olemassa olevaan lietesäiliöön, joka katetaan laitosinvestoinnin yhteydessä.



Kuva 1: Lypsykarjatilän biokaasulaitosratkaisu ravinnekiertoineen ja energiankäyttöineen.

Biokaasua varastoidaan reaktorin ja jälkikaasualtaan kaasuhaluissa ja varastoinnin kapasiteetti vastaa noin kahden vuorokauden biokaasutuottoa. Biokaasun määrä ja metaanipitoisuus mitataan. Biokaasu johdetaan kondenssikaivon ja paineenkorottimen kautta tilan lämpökeskuksessa sijaitsevaan CHP-yksikköön. CHP-yksikön varajärjestelmänä on kaasupolttimellinen lämpökattila (olemassa olevaan lämpökattilaan hankitaan kaasupoltin). Lämpökeskuksessa sijaitsevat myös laitoksen sähköistys ja automaatiikka, kuitenkin siten, että ne on eristetty omaan tilaansa ATEX-vaatimusten mukaisesti.

Laitoksen lietetilavuus reaktorissa ja jälkikaasualtaassa laskettiin syötteiden perusteella (Taulukko 5). Syötteiden keskimääräiseksi viipymäksi sekä reaktorissa että jälkikaasualtaassa valittiin 30 vrk, mikä on tavanomainen viipymä maatilakokoluokan biokaasulaitoksissa (Luostarinen 2013b). Reaktorin orgaaninen kuormitus laskettiin syötteiden orgaanisen aineksen määrän sekä reaktorin lietetilavuuden ja päivittäisen syöttömäärän perusteella. Tavoitekuormituksena oli maatilojen biokaasulaitoksille tavanomainen 2 – 3 kg VS / m³ d.

Taulukko 5. Tilakohtaisen laitoksen perustiedot.

	Reaktori	Jälkikaasuallas
Lietetilavuus (m ³)	410	410
Altaan kokonaistilavuus (m ³)	450	450
Viipymä (d)	30	30
Orgaaninen kuormitus (kg VS / m ³ d)	2,8	-
Syötön kuiva-ainepitoisuus (%)	9,9	-

VS = volatile solids = orgaaninen aines

2.3. Biokaasun hyödyntäminen

Tilakohtaisen biokaasulaitoksen energiantuotantomuodoksi valittiin yhdistetty lämmön- ja sähkön- tuotanto CHP-yksiköllä (Taulukko 6). CHP-yksikön (lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitteiston) kokonaishyötysuhteeksi oletettiin 87 %, josta sähkön osuus 32 % ja lämmön 55 %. Vertailuarvoina käytettiin Luke Maaningan laitoksen mitattuja hyötysuhteita sekä saksalaisen ASUE:n (www.asue.de) kokoaman tilaston keskiarvoa.

Biokaasulaitoksen tuottama sähkö ja lämpö hyödynnetään tilan toiminnoissa. Sähköllä korvataan ostosähköä, jolloin vältetään sekä sähkönsiirron että sähkön hinta veroineen. Tarvittaessa ylimääräisähkö myydään verkkoon. Lämpö hyödynnetään lämpimän veden tuotossa sekä tilojen lämmityksessä.

Lannan syötön oletettiin olevan talvella suurempi kuin kesällä, jolloin nuorkarja on osan aikaa laitumella ja lypsylehmät jaloittelutarhassa. Jaloittelutarhaan kertyvä sonta kuitenkin kerätään talteen ja syötetään biokaasulaitokseen. Rehusyötön (hävikkirehu) oletettiin olevan tasaista ympäri vuoden.

Taulukko 6. Biokaasulaitoksen energian tuotto.

	CH ₄ (m ³) lietelanta	CH ₄ (m ³) sona	CH ₄ (m ³) rehu	Energia (MWh)	Sähkö (MWh)	Lämpö (MWh)
Talvi ^a	36 254	-	5 419	417	133	229
Kesä ^b	29 310 ^c	3 610	5 419	383	123	211
Yhteensä	65 564^d	3 610^d	10 839^d	800	256^e	440^e

^a Talvi: marras – huhti

^b Kesä: touko - loka

^c Laidunlanta ja jaloittelutarhaan kertyvä sonta vähennetty lietelannantuotosta

^d Metaanintuoton toteuma 91 % syötteen potentiaalista (vertaa Taulukko 2, arvioitu Luke Maaningan biokaasulaitoksen kokeiden perusteella)

^e CHP-yksikön kaasuteho n. 90 kW, jolloin hyötysuhteeksi arvioitu 87 %, josta sähköä 32 % ja lämpöä 55 %

2.4. Tilan energiankulutus

Esimerkkimaatilan energiankulutuksen arvioitiin jakautuvan taulukon 7 mukaisesti navetan ja asuinrakennuksen sähkön ja lämmön kulutukseen. Navetan energiankulutus arvioitiin Viikin koetilan navetan energiankulutuksen perusteella (Vuorentola 2013). Lisäksi sähkönkulutuksen arviointiin käytettiin myös muita viitteitä (Hörndahl 2008, Posio 2010). Navetan sähkönkulutuksen oletettiin olevan lähes tasaista ympäri vuoden, sillä vaikka talvella sähköä kuluu enemmän valaistukseen, kesällä sitä kuluu vastaavasti enemmän ilmanvaihtoon. Navetan lämmönkulutuksesta n. 1/4 käytetään kesällä ja 3/4 talvella.

Asuinrakennuksessa sähkö kuluu valaistukseen ja sähkölaitteisiin ja se oletettiin tasaiseksi ympäri vuoden (TEM 2011). Asuinrakennuksen lämmönkulutus jakautuu lämmitykseen ja lämpimään käytöveen (Motiva 2014). Vastaavasti kuin navetassa lämmöstä n. 1/4 arvioitiin kuluvan kesällä ja 3/4 talvella.

Taulukko 7. Esimerkkimaatilan vuosittainen energiankulutus.

	Navetta (160 lehmää)	Asuinrakennus (4 hlö)	Yhteensä	Talvi (marras – huhti)	Kesä (touko – loka)
Sähkö (MWh)	258,7	7,3	266,0	52,5 %	47,5 %
Lämpö (MWh)	73,3	21,2	94,5	75,8 %	24,2 %

Osa biokaasulaitoksessa tuotetusta energiasta laskettiin menevän laitoksen omaan energiankulutukseen (Taulukko 8). Biokaasulaitoksen sähkönkulutus arvioitiin Luke Maaningan biokaasulaitoksen perusteella. Yhteensä 56 % sähkönkulutuksesta arvioitiin kuluvan reaktori- ja jälkikaasualtaiden sekoitukseen (Liite 2). Seuraavaksi suurin yksittäinen sähkönkulutus tulee biokaasun paineenkorotuspuhaltimesta ja kaasukattilasta, jotka kuluttavat n. 0,10 kWh / Nm³ CH₄ (16 % sähkönkulutuksesta).

Biokaasulaitoksen sähkönkulutus on tasaista ympäri vuoden lukuun ottamatta navetasta johdetun lannan esisäiliötä, jonka sekoitin ja pumppu vaativat kesällä jonkin verran vähemmän sähköä, kun lantaa on vähemmän. Sen sijaan biokaasureaktorin lietetilavuuteen ja sitä kautta sekoittimien sähkönkulutukseen pienempi lannan syöttö ei vaikuta, koska lietetilavuus reaktorissa pysyy aina samana. Ainoastaan viipymä pitenee laitoksen läpi virtaavan lietemäärän pienentyessä. Vuodenajasta johtuvaa eroa on myös paineenkorotuksessa ennen kaasun energiakäyttöä (kesällä biokaasua syntyy vähemmän).

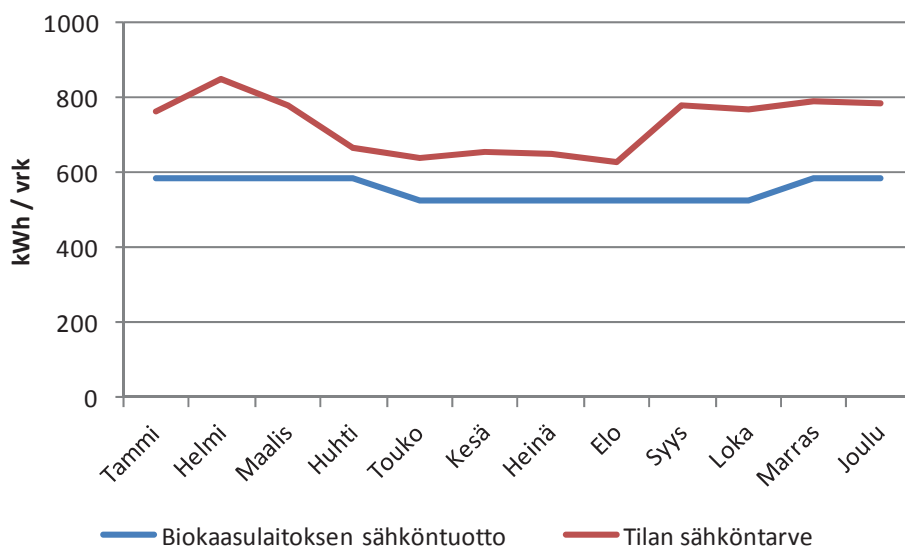
Biokaasulaitoksen lämmönkulutus muodostuu biokaasureaktorin lämmityksestä. Lämmönkulutus arvioitiin Luke Maaningan biokaasulaitoksen perusteella (sijainti Jyväskylän seudulla, eristeinä 10 cm styroksilevy ja 7 cm polyuretaanilevy). Lämmöstä n. 43 % kuluu kesällä ja 57 % talvella.

Taulukko 8. Biokaasulaitoksen oma energiankulutus ja tuotetun energian myyntipotentiali.

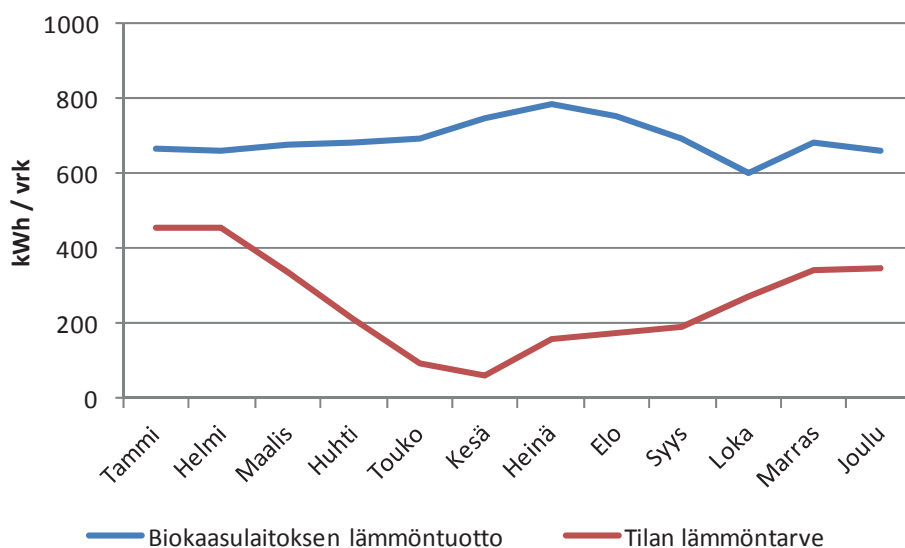
	Sähkö (MWh)			Lämpö (MWh)		
	Biokaasulaitos	Maatila	Myyntiin	Biokaasulaitos	Maatila	Myyntiin / hukkaan
Talvi	25,1	139,7	-31,4	107,7	71,6	49,9
Kesä	24,7	126,4	-28,3	81,1	22,9	106,8
Yht. (MWh)	49,7	266,0	-59,7	188,8	94,5	156,7

Kuvissa 2 ja 3 on kuvattu biokaasulaitoksen sähkön- ja lämmönnettotuotto (biokaasusta CHP-yksiköllä tuotettu määrä, josta on vähennetty laitoksen oma kulutus) sekä maatilan sähkön- ja lämmöntarve kuukausittain. Käyttämällä biokaasulaitoksen syötteenä lietelannan lisäksi myös hävikkirehua (3 % syöttestä), pystytään tuottamaan kaikki tilan tarvitsema lämpö (Kuva 3), mutta ei sähköä (Kuva 2). Kesällä lannan syöttö biokaasureaktoriin on jonkin verran pienempi kuin talvella osittaisen laidunnuksen takia ja tämä näkyy alentuneena sähköntuottona. Myös sähkön tarve on kesällä jonkin verran pienempi. Tarvittava lisäsähkö ostetaan verkosta.

Huolimatta pienentyneestä syötemäärästä lämmön nettotuotto kesäaikaan kuitenkin kasvaa, koska laitoksen oma lämmönkulutus on kesällä pienempi mitä talvella. Kesällä tuotettu lämpö ylittää moninkertaisesti tilan lämmöntarpeen. Ylijäämälämmölle ei välttämättä ole ostajaa myöskään tilan ulkopuolella, joten kannattavuuslaskelmiin otettiin mukaan kaksi vaihtoehtoa: ylijäämälämpö pystytään hyödyntämään tai ylijäämälämpö menee hukkaan.



Kuva 2. Biokaasulaitoksen sähkön nettotuotto ja maatalan sähkönkulutus.



Kuva 3. Biokaasulaitoksen lämmön nettotuotto ja maatalan lämmönkulutus.

2.5. Investoinnin kannattavuus

Biokaasulaitoksen oletettiin korvaavan maatalan ostamaa tai muilla menetelmillä tuottamaa energiaa, jolloin biokaasulaitoksen taloudellinen nettohyöty muodostui säästetyn energian kustannuksista. Vertailuksi tilan lämpöenergian tuotantoon laskettiin kaksi vaihtoehtoa: lämmitys kevyellä polttoöljyllä tai puuhakkeella. Vaihtoehtojen oletuksiin kuului, että tilalle on rakennettu lähilämpöverkko, jonka kautta tuotettu lämpöenergia siirretään käyttöpaikalle.

2.5.1. Muuttuvat kustannukset

Biokaasulaitoksen muuttuvat kustannukset muodostuivat syötteistä ja käsittelyjäännöksestä, ylläpitotyöstä ja tuotetusta energiasta. Biokaasulaitos käytti syötteenä tilalla syntyvää lietelantaa ja sontaa sekä hävikkirehua. Koska rehua ei erikseen viljelty biokaasulaitosta varten, ei nurmen viljelyn ja korjuun kustannuksia huomioitu. Jos tilalla olisi ylimääräistä kapasiteettia nurmen viljelyyn vain biokaasulaitosta varten, voisi sen kustannusarviona käyttää 120 € / t kuiva-ainetta, mikä vastaa n. 30 € / t tuorepainoa (Kässi & Seppälä 2012).

Käsittelyjäännös levitettiin tilan pelloille. Levityskustannus ei muuttunut, koska määrä oli vain vähän suurempi kuin lannalla. Lisäksi ilman biokaasulaitosta hävikkirehu pitäisi joka tapauksessa hävittää jollain tavalla, esim. levittämällä se kompostoituna peltoon. Käsittelyjäännös sisältää enemmän ammoniumtyyppiä kuin lietelanta (Taulukko 4). Säästö typpilannoituksessa laskettiin käyttäen typpi-lannoitteelle hintaa 1,20 € / kg.

Biokaasulaitos korvaa tilan lämpökeskuksen, joten työkustannuksissa huomioitiin päivittäisen työn lisääntyminen. Biokaasulaitoksen työ määrä (45 min / vrk) sekä huoltokustannukset arvioitiin Luke Maaningan biokaasulaitoksen käyttökokemuksen perusteella. Öljy- ja hakelämmitykselle huomioitiin vaihtoehtoinen työ tilan lämpökeskuksessa (5 min / vrk).

Biokaasulaitoksen tuotot syntyvät pääosin energiantuotannosta (Taulukko 9). Tuotettu sähkö korvaa osittain ostosähköä. Tuotettu lämpö korvaa kevyttä polttoöljyä tai haketta. Ylijäämälämpö joko myydään tai sitä ei pystytä hyödyntämään. Jos tilan lämpöenergia tuotetaan öljyllä tai hakkeella, joudutaan polttoaineen lisäksi ostamaan tilan tarvitsema sähkö. Biokaasulaitoksen osalta huomioidaan laitoksen oma energiantarve.

Taulukko 9. Energiantuotannon ja -hankinnan muuttuvat kulut.

Biokaasulaitos			ylijäämälämpö			
			MWh	€ / MWh	myydään	hukkaan
sähkö	oma käyttö		256	-	-	-
	ostosähkö		60	-100,00 ^a	-5976	-5973
lämpö	oma käyttö		283	-	-	-
	ylijäämä	talvi	50	89,69 ^b	4473	0
		kesä	107	32,17 ^b	3438	0
yhteensä					1938	-5973
Öljylämpölaitos			MWh	€ / MWh		
sähkö	oma käyttö		266	-100,00 ^a	-26604	
lämpö	oma käyttö		95	-91,77 ^c	-8673	
yhteensä					-35276	
Hakelämpölaitos			MWh	€ / MWh		
sähkö	oma käyttö		266	-100,00 ^a	-26604	
lämpö	oma käyttö		95	-17,42 ^c	-1646	
yhteensä					-28250	

^aSähkön ostohinta 100,00 €/MWh (www.sahkonhinta.fi)

^bKaukolämmön keskimääräinen myyntihinta pientuottajalle 60,93 €/MWh (Sauvula-Seppälä 2010), hinnassa huomioitu kausivaihtelu (talvi / kesä) ja kaukolämmön hintakehitys (2009 -> 2015)

^cKevyen polttoöljyn ja puuhakkeen hintoina käytettiin energian hintatilastoja (Tilastokeskus 2014)

Yhteenvedo eri vaihtoehtojen muuttuvista kustannuksista on esitetty taulukossa 10. Energianhankinnan ja tuotannon muuttuvat kulut ovat suurimmat kevyellä polttoöljyllä lämmitettäessä ja pienimmät biokaasulaitoksella. Muuttuvien kustannusten perusteella laskettiin biokaasulaitoksen nettokassavirta verrattuna öljy- ja hakelämpölaitoksiin, kun ylijäämälämpö joko saadaan hyödynnettyä tai se menee hukkaan (Taulukko 11).

Taulukko 10. Yhteenvedo eri vaihtoehtojen muuttuvista kustannuksista.

	Biokaasulaitos		Öljylämpölaitos	Hakelämpölaitos
	Myydään	Hukkaan		
Ylijäämälämpö				
Säästö typpilannoituksessa	4179	4179	0	0
Ylläpitotyö	-4326	-4326	-429	-429
Energian osto ja myynti	1938	-5973	-35276	-28250
Muuttuvien tuottojen ja kulujen erotus	1792	-6119	-35705	-28679

Taulukko 11. Biokaasulaitoksen nettokassavirta verrattuna öljy- ja hakelämpölaitoksiin.

Lämmitys:	Ylijäämälämpö:	
	Myydään	Hukkaan
Öljy	37 497 €	29 586 €
Hake	30 470 €	22 560 €

2.5.2. Kiinteät kustannukset

Biokaasulaitosinvestoinnin vertailu öljy- ja hakelämpölaitoksiin toteutettiin vertailemalla eri vaihtoehtojen nettokassavirtoja kiinteisiin kustannuksiin. Vuotuiset kiinteät kustannukset laskettiin kullekin energiaratkaisulle investointikustannusten perusteella annuiteettimenetelmää käyttäen (laskentakorko 5 %). Annuiteetin laskennassa laskettiin laitoksen eri teknisen käyttöiän omaaville osille (Taulukko 12) omat annuiteettinsa ja nämä yhdistettiin yhdeksi summaksi.

Taulukko 12. Biokaasulaitoksen eri osien tekniset käyttöiät.

Biokaasulaitoksen osa:	Käyttöikä vuosissa:
Rakennus	20
Tekniikka	10
Pumput	15
CHP	9
Kaasukattila ja poltin	15

Biokaasulaitoksen yksityiskohtaiset investointitiedot on esitetty liitteessä 1. Suurin yksittäinen investointi oli CHP-yksikkö eli lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitteisto, joka koostui kaasumoottorista ja sähkögeneraattorista. Hinta-arvio laskettiin sähkötehon (29 kW) perusteella ja hintatiedot oli kerätty alle 100 kW:n laitteista (EU Global Trading).

Myös öljy- ja hakelämpölaitoksille laadittiin kustannuslaskelmat selvittämään energiantuotannon kustannusten vertailua. Hakelämmityksen kustannukset laskettiin lämmityskonttien hintatietojen perusteella (Bioenergia 2014). Öljylämmityksen kattiloiden ja polttimien hinnoissa käytettiin markkinatietoja ja rakenteiden hintoja laskettiin maatalouden investointien ohjekustannusten perusteella. Puu- ja öljylämmitysjärjestelmän käyttöikäksi oletettiin 15 vuotta.

Sekä biokaasu- että hakelämpölaitokselle oli kirjoitushetkellä mahdollista saada maatalouden investointitukea (enintään 35 %). Tuen edellytyksenä on, että energiaa tuotetaan uusiutuvasta energialähteestä. Tästä johtuen tukea ei voi saada öljylämpölaitoksen rakentamiseen.

Eri energiantuotantovaihtoehtojen investointikustannukset ovat kääntäen verrannolliset kunkin menetelmän muuttuviin kuluihin. Käyttökuluiltaan kallein öljylämmitys on edullisin ja pienimmät muuttuvat kulut tuottava biokaasulaitos on investointikuluiltaan kallein (Taulukko 13). Investointikustannusten annuiteettien perusteella laskettiin biokaasulaitoksen annuiteetin erotus suhteessa öljy- ja hakelämpölaitoksiin, kun investointituki joko saadaan tai sitä ei saada (Taulukko 14).

Taulukko 13. Energiantuotantovaihtoehtojen investointikustannukset sekä annuiteetit.

	Biokaasulaitos	Öljylämpölaitos	Hakelämpölaitos
Investointikustannus	337 583	17 189	78 902
Tuettu investointikustannus (tuki 35 %)	219 429	17 189	51 286
Annuiteetti	-32 237	-1 656	-7 602
Tuettu annuiteetti	-20 954	-1 656	-4 941

Taulukko 14. Investointikustannusten annuiteettien erotukset.

Lämmitys:	Investointituki:	
	Kyllä	Ei
Öljy	-19 298 €	-30 581 €
Hake	-16 013 €	-24 636 €

2.5.3. Kannattavuus

Biokaasulaitokselle tehtiin kannattavuusvertailu vuositason (Taulukko 15) laskemalla yhteen nettokassavirrat (Taulukko 11) ja annuiteettien erotukset (Taulukko 14). Biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttivat investointituen saaminen, ylijäämälämmön hyötykäyttö sekä korvattiinko maatalan lämmöntuotannossa öljyä vai haketta.

Taulukko 15. Biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus.

Ylijäämälämpö:	Lämmitys:	Investointituki:	
		Kyllä	Ei
Myydään	Öljy	18 199 €	6 915 €
	Hake	14 457 €	5 834 €
Hukkaan	Öljy	10 288 €	-995 €
	Hake	6 546 €	-2 076 €

Laitos osoittautui kannattavaksi lähes kaikilla vaihtoehdoilla. Paras hyöty vuositason saatiin tilanteessa, jossa investointituki saadaan, ylijäämälämpö pystytään myymään ja lämmöntuotannossa korvataan kevyttä polttoöljyä. Laitosinvestointi oli kannattava myös siinä tapauksessa, että ylijäämälämpöä ei pystytä myymään, jos investointituki saatiin.

Laskennassa tehdyt oletukset vaikuttivat kuitenkin myös saatuihin kannattavuuslukuihin (Taulukko 16). Investointikustannuksissa merkittäviä olivat biokaasulaitokselle arvioitu käyttöikä sekä tilan olemassa olevien rakenteiden hyötykäyttö. Muuttuvissa kustannuksissa ja tuotoissa puolestaan käytettävissä olevilla syötemateriaaleilla sekä tilan oman energiantarpeen korvaamisella tuotetulla energialla oli iso merkitys kannattavuuteen.

Taulukko 16. Tehtyjen oletusten vaikutus tilakohtaisen biokaasulaitoksen kannattavuuteen.

+ Paransi kannattavuutta	- Vähensi kannattavuutta
<ul style="list-style-type: none"> - olemassa olevaa lantasailiötä (5 000 m³) käytettiin käsittelyjäännöksen varastointiin (säästö 82 500 €) - hävikkirehulle ei laskettu kustannusta (säästö 30 € / t tuorepainoa) 	<ul style="list-style-type: none"> - olemassa oleva lantasailiö katettiin (kustannus 62 500 €) - tilan energiantarve ei vastannut energian tuottoa (osa sähköstä jouduttiin ostamaan, ylijäämälämmölle ei välttämättä hyötykäyttöä)

Koska biokaasulaitosinvestointi on kallis suhteessa vuosittaiseen säästöön energianhankinnassa, on laitoksen käyttöiän perusteella lasketulla annuiteetilla iso merkitys kokonaiskannattavuuteen. Tässä käyttöiäksi oletettiin maksimissaan 20 vuotta rakenteissa. Biokaasulaitoksen investointikustannuksia voidaan pienentää, jos tilalla on sopivia olemassa olevia rakenteita, joita voidaan hyödyntää. Tässä laskelmassa oletettiin, että lietalannan varastointiin rakennettua varastoa käytetään käsittelyjäännöksen varastointiin, mutta laitosisinvestoinnin myötä se katetaan tiiviisti. Periaatteessa katteen olisi voinut jättää rakentamatta, jolloin laitos olisi ollut kannattava myös ilman investointitukea ja ylijäämälämmön hyödyntämistä. Koska lietesäiliöt ylipäättään ovat kalliita, merkittävää säästöä laitosisinvestoinnissa voidaan saavuttaa hyödyntämällä olemassa olevia säiliöitä myös reaktorina ja/tai jälkikaasualtaana.

Lisäksi tilakohtaisen laitoksen kannattavuuteen vaikuttavat merkittävästi käytettävissä olevat syötteet sekä tilan oma energiankulutus. Tässä esimerkissä biokaasulaitoksen syötteenä oletettiin käytettävän lietalannan lisäksi hävikkisäilörehua 3 % syötteestä, jolloin energiantuotannosta 13,5 % oli peräisin rehusta. Laitoksen energiantuoton kokonaiskannattavuutta voidaankin nostaa merkittävästi, jos käytettävissä on jonkin verran kasvibiomassaa tai jotain muuta energiasisällöltään lantaa korkeampaa syöttömateriaalia. Jos kuitenkin säilörehu (tai muu kasvibiomassa) tuotetaan varta vasten laitokseen, joudutaan sille laskemaan hinta, joka vaikuttaa suoraan laitoksen kannattavuuteen.

Tilan oma energiankulutus puolestaan vaikuttaa biokaasulaitoksen kannattavuuteen siten, että mitä enemmän lämpöä käytetään suhteessa sähköön, sitä paremmin biokaasulaitoksen energiantuotanto pystytään hyödyntämään. Nyt tehdyssä laskelmassa CHP-yksikön hyötysuhteeksi arvioitiin 87 %, josta sähköä 32 % ja lämpöä 55 %. Esimerkkimaatilan energiankäytöstä arvioitiin kuitenkin olevan 74 % sähköä ja 26 % lämpöä. Tässä tilanteessa biokaasulaitoksen sähköntuotanto ei yksin riitä kattamaan tilan sähköntarvetta ja vastaavasti osa tuotetusta lämmöstä menee hukkaan, jollei sille löydy ostajaa lähiseudulta. Tila pystyy jonkin verran säätämään syöttöä ja siten energiantuottoa omien tarkoituksien mukaan. Mikäli sähkön- tai lämmöntuotantoa halutaan maksimoida tiettyinä aikoina, voi laitokseen silloin syöttää suurempaa osaa vuotuisesta syöttömäärästä ja tuottaa enemmän energiaa.

3. Kasvihuonekaasujen päästövähennys tilakohtaisessa biokaasulaitoksessa

Lypsykarjatiljan kasvihuonekaasupäästöt syntyvät eläinten ruuansulatuksesta, lantavarastojen, maaperän ja energiankäytön päästöistä. Ruuansulatuksesta, lannan varastoinnista ja energiankäytöstä aiheutuu metaanipäästöjä (CH₄), lannasta ja maaperästä dityppioksidin (N₂O) päästöjä ja energian käytöstä hiilidioksidin (CO₂) päästöjä. Nämä päästöt on laskettu kasvihuonekaasuinventaarion menetelmän (Statistics Finland 2014).

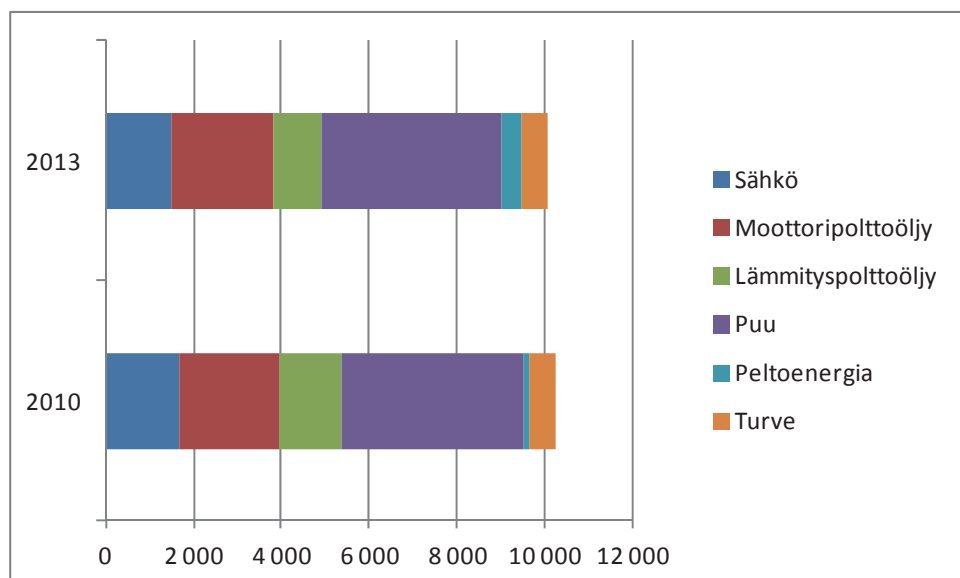
Biokaasulaitos vaikuttaa muihin paitsi eläinten märehäytymisestä aiheutuviin päästöihin (Taulukko 17). Kun prosessointi ja varastointi tapahtuvat katetusti, metaani saadaan hyvin talteen sekä itse biokaasureaktorista että jälkikaasutuksesta. Koska vuotoja kuitenkin aina on, tässä laskelmassa oletettiin, että lannan prosessoinnista ja varastoinnista syntyy metaanipäästö, joka vastaa 3,5 % tuotetusta metaanista (Groth ym. 2015, Flesch ym. 2011), ja dityppioksidipäästö, joka vastaa 3,5 % vertailumaatilan (ilman biokaasulaitosta) päästöistä. Näin laskettuna lannan päästöt biokaasua tuottavalla tilalla ovat alle viidenneksen lähtötilanteen päästöistä. Näin hyvään tulokseen päästään vain, kun myös reaktorin jälkeen muodostuva biokaasu otetaan talteen. Ilman jälkikaasutusta lannan varastoinnin päästöt pienenevät vain puoleen Saksan biokaasulaitoksissa tehdyissä mittauksissa (Clemens ym. 2006).

Taulukko 17. Maatilan kasvihuonekaasupäästöt ilman biokaasulaitosta ja sen kanssa (t CO₂e).

Päästölähde ja kaasu	Lähtötilanne (ei biokaasulaitosta)	Biokaasulaitos osana maatilan toimintoja
Märehäytäjien ruuansulatus (CH ₄)	792	792
Lannan varastointi (N ₂ O ja CH ₄)	261	53
Maaperä / lannoitus (N ₂ O)	187	205
Energian käyttö ja tuotanto (CO ₂ , N ₂ O ja CH ₄)	54	8
Yhteensä	1294	1057

Maaperästä lannan levityksen jälkeen tulevat dityppioksidipäästöt hieman kasvavat biokaasulaitoksen vuoksi. Ammoniakkia haihtuu katetun varastoinnin aikana vähemmän, ja näin säästynyt typpi on alttiina mikrobiologiselle dityppioksidin muodostukselle lannan levityksen jälkeen. Laskelmissa otettiin huomioon myös väkilannoitteen käyttö, joka on biokaasuvaihtoehdossa hieman pienempi, jolloin myös lannoitteen valmistuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat pienempiä.

Energiantuotannon päästövähennys riippuu korvattavasta energiamuodosta. Sähköenergiaa korvattaessa Suomen sähköverkkoon tuotetun sähkön hiilipäästö on 200 g / kWh (IAE 2013). Tämä on kuitenkin sähköntuotannon keskimääräinen hiilipäästö. Jos biokaasusta tuotetun sähkön oletettiin korvaavan marginaalisähköä, hiilipäästö olisi korkeampi. Marginaalisähköksi kutsutaan markkina-alueen kalleinta tuotantoa tietyllä ajan hetkellä. Suomessa tämä tarkoittaa pääsääntöisesti fossiilisesta polttoaineesta tuotettua sähköä, jonka hiilipäästöksi on arvioitu 300 – 900 g / kWh (Soimakallio ym. 2009). Myös lämpöenergian tuotannossa lopputulos riippuu siitä, mitä energiaa korvataan. Maatalouden rakennetutkimuksen mukaan n. 35 % maataloilla käytetystä lämpöenergiasta on tuotettu puusta ja saman verran kevyellä polttoöljyllä. Polttoöljystä 2/3 kuluu moottorikäyttöön, joten lämpöä tuotetaan maataloudessa puulla neljä kertaa niin paljon kuin öljyllä (Kuva 4).



Kuva 4. Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus energialähteittäin 2010 ja 2013 (Maataloustilastot 2014).

Biokaasulaitoksen vertailulaskelma laadittiin puulämmitykselle. Laskelmassa on otettu huomioon biokaasun korvaama sähkö- ja lämmitysenergia tilalla sekä laitoksen toimintaansa käyttämä energia, mutta ulos myydyin energian tuotanto ei ole laskelmassa mukana. Jos tilan hakelämmitys ja ostettu sähkö korvataan biokaasulla, energiankäytön päästöt pienenevät alle viidesosaan vertailutilanteen päästöihin verrattuna (Taulukko 17).

Tuottamalla energia biokaasulla maatilän vuotuinen kasvihuonekaasupäästö vähenee 240 t CO₂e lähtötilanteeseen verrattuna. Jos vertailukohtana olisi ollut tila, joka tuottaa lämmön polttoöljyllä, päästövähennys olisi ollut 260 tonnia. Päästövähennys vastaa suuruudeltaan noin 90 henkilöauton vuotuisia päästöjä (keskimääräinen ajosuorite 18 000 km/vuosi, Autoliitto 2010). Lisäksi tilan ammoniakkipäästöt pienenisivät 0,8 tonnia. Laskelmissa on luonnollisesti suuri epävarmuus ja muutokset prosessia koskeissa oletuksissa voivat muuttaa tilannetta paljonkin.

Suomen veloitteena on vähentää maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä 850 000 t CO₂e vuosina 2005 - 2020 (EU 2009). Biokaasulaitosten yleistymisen voisi edistää tavoitteen saavuttamista, mutta tarkkaa lukua biokaasulaitosten valtakunnallisesta päästövähennyspotentiaalista on vaikea antaa. Tässä raportissa esitettyä laskelmaa voi yleistää koskemaan ainoastaan naudan liettelantaa, koska arvioidut päästöt ovat materiaali- ja prosessikohtaisia. Suomessa naudan liettelannan teknis-taloudellisen potentiaalin (mukana vain yli 100 lehmän tilat) on arvioitu olevan 1 760 000 t / vuosi (Luostarinen 2013a). Käyttämällä tilakohtaisen laitoksen päästövähennystä liettelantatonna kohden, vastaisi tämän lantamäärän syöttäminen biokaasulaitoksiin yhteensä 91 000 t CO₂e vähennystä, josta 73 000 t CO₂e kohdistuu maataloussektorille (8,6 % maataloussektorin päästövähennystavoitteesta) ja 18 000 t CO₂e energiasektorille. Todellisuudessa lannan käsittelyllä biokaasulaitoksissa voisi olla huomattavasti suurempi merkitys kasvihuonekaasujen päästövähennyksissä, koska naudan liettelannan osuus kaikesta Suomessa tuotetun lannan teknis-taloudellisesta potentiaalista on vain noin kolmasosa (Luostarinen 2013a).

Ammoniakkipäästöjen vähentämisessä laitoksilla voisi olla merkitystä EU:n päästökattodirektiivin (EU 2001) tavoitteiden saavuttamisen kannalta (Grönroos 2014). Ammoniakkipäästöjen vähentäminen parantaa ilman laatua sekä vähentää maaperän happamoitumista ja rehevöitymistä. Tilalle niitä estävät toimet tarkoittavat samalla enemmän typpeä kasvinravinteeksi. Olennaista on kattaa lantavarastot ja levittää liettelanta/käsittelyjännös pellolle sijoittavin ja multaavin menetelmin.

4. Tilojen yhteinen biokaasulaitos

Toisena biokaasutarkasteluna oli useamman lypsykarjatiljan yhteinen biokaasulaitos, johon ohjautuu paitsi nautojen lietelantaa, myös siitä separoitua kuivajaetta. Myös tiloilla syntyvä hävikkirehu hyödynnettiin biokaasutuotannossa. Lietelannan separoinnissa muodostuva nestejäte jäi tiloille hyödynnettäväksi suoraan lannoitteena. Lisäksi tilat saivat lannoituskäyttöön biokaasulaitokselta käsittelyjäännöksestä separoitua kuiva- ja nestejätettä.

Tilojen yhteinen biokaasulaitos on itsenäisesti toimiva yritys, jonka kannattavuus perustui tässä tarkastelussa tuotetun bioenergian myyntiin. Kannattavuustarkasteluissa tuotetulle biokaasulle laskettiin kolme vaihtoehtoista hyödyntämistapaa. Päästövähennyksiä ei laskettu.

Biokaasun vaihtoehtoiset hyödyntämistavat:

- A) **lämpö & sähkö + liikennekaasu:** yhdistetty lämmön ja sähkön tuotto CHP-yksiköllä sekä puhdistus liikennekaasuksi
- B) **lämpö + liikennekaasu:** lämmön tuotto lämpökattilalla (ilman sähköntuottoa) sekä puhdistus liikennekaasuksi
- C) **lämpö & sähkö:** yhdistetty lämmön ja sähkön tuotto CHP-yksiköllä (ilman puhdistusta liikennekaasuksi)

4.1. Syötteen ja tuotteet

Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen pääosakkaana oli edellä kuvattu suuri lypsykarjatila, jonka lietelanta, sonta ja hävikkirehu hyödynnettiin kuten tilakohtaisessa laitoksessa. Lisäksi osakastiloina oli neljä pienempää lypsykarjatilaa, joiden lannasta osa ohjautui laitokseen lietelantana, osa lietelannasta separoituna kuivajakeena ja osa sontana (Taulukko 18). Lietelannan ja sonnan määrät arvioitiin samoin kuin pääosakastilan (Taulukko 2).

Taulukko 18. Osakastilan vuosittain tuottama lanta- ja sontamäärä.

	lkm	laidunnus kk	lietelanta t/eläin/kk	lietelanta yht. t/vuosi	sonta t/eläin/kk	sonta yht. t/vuosi
Lypsylehmät	110	1	2,13	2571	0,99	109
Nuorkarja (> 8 kk)	70	2	0,71	496		
Vasikat (< 8 kk)	20	0	0,52	125		
Yhteensä				3192		109

Osakastilojen lietelanta separointiin tilojen yhteisellä, siirrettävällä ruuvipuristimella. Laskennassa oletettiin, että 75 % osakastilojen lietelannasta separoidaan ja loput hyödynnetään laitoksessa lietelantana. Näin syötteen kuiva-ainepitoisuus ei nouse prosessin kannalta liian korkeaksi. Käytännössä tämän ajateltiin toteutuvan siten, että kolmella osakastilalla separoidaan ja neljäs toimittaa lietelantansa sellaisenaan biokaasulaitokseen. Kaikkien osakastilojen etäisyys päätilasta (ja laitoksesta) oli 5 km.

Taulukossa 19 on esitetty yhteenveto tilojen yhteisen laitoksen syötteistä. Samoin kuin tilakohtaisessa laitoksessa myös tilojen yhteisessä hävikkisäilörehun osuus tuotetusta energiasta on merkittävä. Vaikka sontaa ja rehua syötetään laitokseen suunnilleen sama määrä, on metaanintuotto rehus- ta kolminkertainen.

Taulukko 19. Tilojen yhteisen laitoksen (päätila ja neljä osakastilaa) syötteiden määrät, metaanintuottopotentialit ja laskennallinen metaanintuotto biokaasulaitoksessa.

	syöte t / vuosi	osuus syötteestä %	VS %	BMP m ³ CH ₄ / t VS	metaanin- tuotto m ³ CH ₄	osuus energiasta %
Lietelanta	7 794	81,1	7,8	200	122 027	52,8
Kuivajae	670	7,0	36,9	200	49 479	21,4
Sonta	595	6,2	12,5	200	14 875	6,4
Rehu	555	5,8	23,0	350	44 665	19,3
Yhteensä	9 614				231 045	

VS = volatile solids = orgaaninen aines

Biokaasulaitoksen käsittelyjäännös hyödynnettiin päätilan ja osakastilojen kasvintuotannossa, mikä vähensi mineraalitypen lisätarvetta (Taulukko 20). Käsittelyjäännös separoitiin vastaavalla ruuvipuristimella kuin lietelanta (Taulukko 21). Typpi (TN) jakautuu separoinnissa lähes samassa suhteessa kuin tuorepaino. Separoitu kuivajae sisältää 7 % alkuperäisestä tuorepainosta ja 8 % alkupe- räisestä typestä. Sen sijaan fosforia (TP) on kuivajakeessa enemmän kuin tuorepainon jakautumisen perusteella voisi olettaa.

Tiloille palautettiin käsittelyjäännöksen kuiva- ja nestejätettä siten, että niiden yhteenlaskettu fosforipitoisuus vastasi tilojen toimittamien raaka-aineiden fosforipitoisuutta, koska lannan ja käsitte- lyjäännöksen peltolevityksen enimmäismäärät riippuvat niiden fosforipitoisuudesta. Päätilalle jäi vain käsittelyjäännöksen nestejätettä, joka johdettiin tilan lantasaaliin. Vastaavasti lietelantaa toimitta- neelle tilalle palautettiin ainoastaan nestejätettä. Sen sijaan lannan kuivajätettä toimittaneille tiloille palautettiin sekä käsittelyjäännöksen kuiva- että nestejätettä, koska pelkän kuivajakeen mukana tiloil- le ei olisi palautunut riittävästi fosforia. Käsittelyjäännöksen nestejakeen voi levittää pellolle lietelan- nan levityskalustolla, kun taas kuivajae levitetään kuivalannan levitysvaunulla. Tiloilla oletettiin ole- van käytössä molempien jakeiden levitykseen soveltuvat kalustot.

Taulukko 20. Syötteiden ja käsittelyjäännöksen typpipitoisuudet.

	Lietelanta	Kuivajae	Sonta	Rehu	Yhteensä	Käsittelyjäännös
Tuorepaino (t)	7 794	670	595	555	9 614	9 188 ^a
TN (kg)	41 970 ^b	4 141	2 550	3 884	52 544	52 544
NH ₄ (kg)	24 762 ^c	2 443	1 505	166	28 876	34 701 ^d
NH ₄ -lisä (kg)						5 825

^a Massan vähenemä biokaasuprosessissa 4,4 % (arvioitu metaanintuoton perusteella)

^b Laskettu typen eritysmäärien perusteella (Statistics Finland 2014)

^c NH₄-typen osuus 59 % kokonaistypestä (Jouni Nousiainen, suullinen tiedonanto)

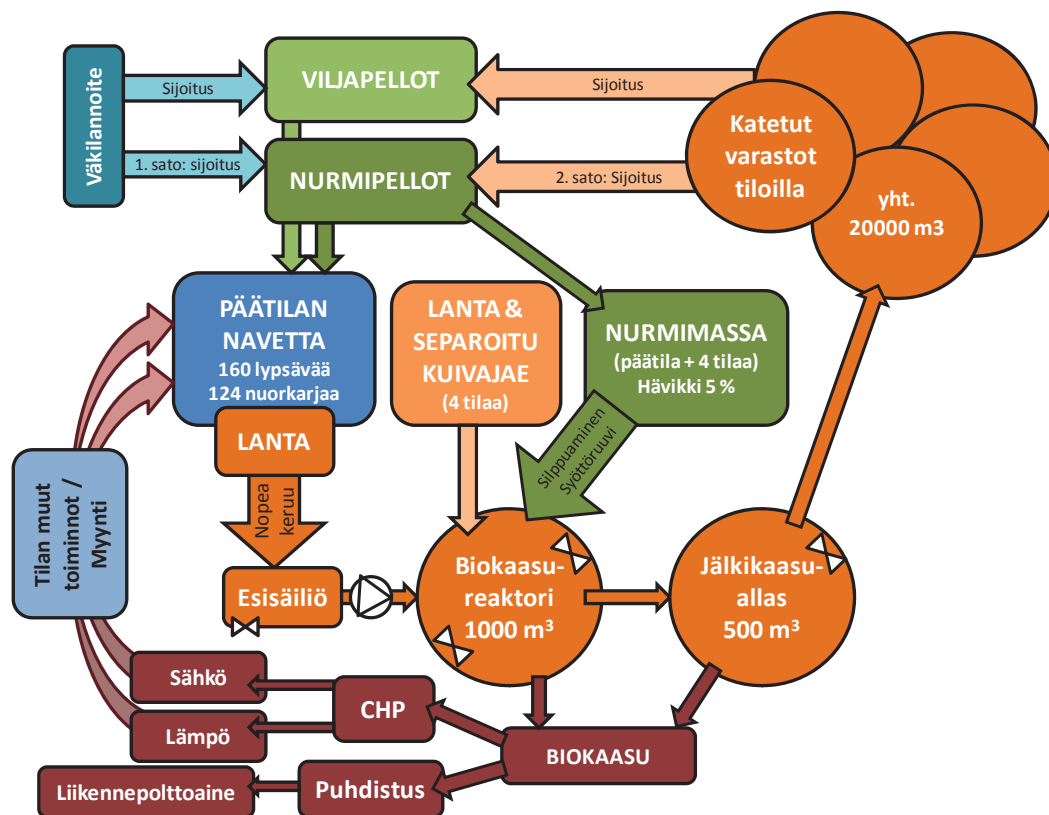
^d NH₄-typen lisääntyminen biokaasuprosessissa, kerroin lannalle 1,2 ja rehulle 1,5 (arvioitu Luke Maaningan biokaasulaitoksen kokeiden perusteella)

Taulukko 21. Kuiva-aineen ja ravinteiden jakautuminen neste- ja kuivajakeisiin ruuvipuristimella separoitaessa.

	Käsittelyjäännös		Kuivajae		Nestejae	
	%	t	%	t	%	t
Tuorepaino	100	9 188	7	643	93	8 545
Kuiva-aine	100	808	33	266	67	541
TN	100	52,5	8	4,2	92	48,3
TP	100	8,6	13	1,1	87	7,5

Käsittelyjäännöksen separoinnissa käytettiin naudan lietelannalla saatuja tuloksia (Kässi ym. 2013).

4.2. Laitoskuvaus



Kuva 5. Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen materiaalivirrat ja energian hyödyntämistavat.

Tilojen yhteinen biokaasulaitos on suuremmaksi skaalattu versio edellä esitetystä tilakohtaisesta biokaasulaitoksesta. Biokaasulaitoksen materiaalivirrat ja energian hyödyntämistavat on esitetty kuvassa 5. Lisäksi liitteessä 3 on esitetty laitoksen tarkempi pohjapiirros investointilaskelmien pohjaksi.

Laitokseen saapuva lietelanta johdetaan päätilan esisäiliöön, josta se pumpataan paineviemäriä pitkin reaktoriin. Päätilalle rakennettiin uusi, suurempi (150 m³) esisäiliö, joka varustettiin sekoittimella ja pumpulla.

Kiinteät syötteen (lannan kuivajae, sonta ja hävikkirehu) vastaanotetaan ja varastoidaan päätilalla tätä tarkoitusta varten rakennetuissa laakasiiloissa. Myös käsittelyjäännöksen kuivajae varastoidaan laakasiilossa. Kiinteät syötteen kulkevat laitoksen oman syöttöpöydän, syöttösuppilon ja ruuvin kautta reaktoriin.

Vastaavasti kuin tilakohtaisella laitoksella, reaktorina toimii pääosin maan alle sijoitettu, eristetty, betoninen lietesäiliö. Reaktorin lämmitetään seinämien lämmitysputkilla (37 °C) ja sen sisältöä sekoitetaan kolmella upposekoittimella. Reaktorin katteena on kaksoishuputus. Käsittelyjäännös siirtyy reaktorilta jälkikaasualtaaseen painovoimaisesti syöttöjen yhteydessä. Jälkikaasuallas on rakenteeltaan ja katteeltaan reaktoria vastaava, mutta sitä ei lämmitetä ja sekoittimia on yksi. Tuotettua biokaasua varastoidaan reaktorin ja jälkikaasualtaan kaasuhoissa, joista biokaasu johdetaan kondenssikaivon ja painekorottimen kautta joko hyödynnettäväksi lämmön ja sähkön tuotannossa tai puhdistukseen liikennekaasuksi.

Jälkikaasualtaasta käsittelyjäännös siirtyy painovoimaisesti kaivoon, josta käsittelyjäännöstä imeetään separaattorille. Biokaasulaitoksella on tähän käyttöön varattu, kiertävää separaattoria vastaava, kiinteä separaattori. Käsittelyjäännöksen nestejäte ohjataan viereiseen kaivoon, josta se pumpataan

edelleen paineviemäriä pitkin päätilan lietesäiliöön. Käsittelyjäännöksen kuivajae välivarastoidaan laakasiilossa ennen siirtoa osakastiloille. Samalla, kun osakastiloilta haetaan syötettä biokaasulaitokseen, viedään paluukuormassa käsittelyjäännöksen neste- ja kuivajakeita takaisin osakastiloille.

Reaktorialtaan kooksi valittiin kaksi kertaa jälkikaasualtaan koko, koska näin suurempi osuus laitoksen kokonaisviipymästä on syötteiden hajoamiselle optimaalisissa oloissa reaktorialtaassa (Taulukko 22). Jälkikaasualtaasta käsittelyjäännös johdetaan separaattorille. Koska jälkikaasuallas on sekoitettu, osa separoitavasta lietteestä on juuri reaktorialtaasta tullutta. Laitoksen kokonaisviipymän (53 d) oletettiin kuitenkin olevan riittävä valittujen syötteiden hajoamisen kannalta. Orgaaninen kuormitus ja kuiva-ainepitoisuus olivat tyypilliselle maatilojen biokaasulaitokselle vaihteluvälin ylärajoilla, kun orgaaninen kuormitus pyritään pitämään alle 3 kg VS / m³ d ja syötön kuiva-ainepitoisuus alle 14 % (Luostarinen ym. 2011).

Taulukko 22. Tilojen yhteisen laitoksen perustiedot.

	Reaktori	Jälkikaasuallas
Lietetilavuus (m ³)	930	465
Altaan kokonaistilavuus (m ³)	1000	500
Viipymä (d)	35	18
Orgaaninen kuormitus (kg VS / m ³ d)	3,1	-
Syötön kuiva-ainepitoisuus (%)	12,8	-

VS = volatile solids = orgaaninen aines

4.3. Biokaasun hyödyntäminen

Taulukossa 23 on kuvattu tilojen yhteisen laitoksen energian tuotto syötteittäin ja eri vuodenaikoina. Lannan syötön oletettiin olevan talvella suurempi kuin kesällä laidunaikaan. Jaloittelutarhaan kertyvä sonta kerätään talteen ja syötetään biokaasulaitokseen. Rehusyötön (hävikkirehu) oletettiin olevan tasaista ympäri vuoden.

Taulukko 23. Biokaasulaitoksen energian tuotto.

	CH ₄ (m ³) lietelanta	CH ₄ (m ³) kuivajae	CH ₄ (m ³) sona	CH ₄ (m ³) rehu	Energia (MWh)
Talvi ^a	60 570	24 559	0	20 322	1 055
Kesä ^b	50 475 ^c	20 466	13 536	20 322	1 048
Yhteensä	110 044^d	45 026^d	13 536^d	40 645^d	2 103

^a Talvi: marras – huhti

^b Kesä: touko - loka

^c Laidunlanta ja jaloittelutarhaan kertyvä sonta vähennetty lietelannantuotosta

^d Metaanintuoton toteuma 91 % syötteen metaanintuottopotentialista (vertaa taulukko 19, arvio Luke Maanviljelyn biokaasulaitoksen kokeiden perusteella)

Laitos tuotti vuosittain 2103 MWh energiaa, jonka käytölle luotiin kolme vaihtoehtoista hyödyntämistapaa ja näille kullekin kolme erilaista toimintavaihtoehtoa:

A. CHP + biokaasun puhdistus

- 1) biokaasusta puhdistetaan vain viiden osakastilan liikennekaasukäyttöön menevä osuus, loput lämmön ja sähkön tuotantoon, sekä lämpöä että sähköä tuotetaan yli biokaasulaitoksen ja päätilan tarpeen
- 2) biokaasusta puhdistetaan biokaasulaitoksen ja päätilan sähköntarpeen ylittävä osuus, lämpöä tuotetaan yli biokaasulaitoksen ja päätilan tarpeen

- 3) liikennekaasun minimimyyntimäärä, jotta biokaasun puhdistus liikennekaasuksi on kannattavaa

B. Lämpökattila + biokaasun puhdistus

- 1) biokaasusta puhdistetaan vain viiden osakastilan liikennekaasukäyttöön menevä osuus, loput lämmön tuotantoon, lämpöä tuotetaan yli biokaasulaitoksen ja päätilan tarpeen
- 2) biokaasusta puhdistetaan biokaasulaitoksen ja päätilan lämmöntarpeen ylittävä osuus
- 3) liikennekaasun minimimyyntimäärä, jotta biokaasun puhdistus liikennekaasuksi on kannattavaa

C. CHP (ei biokaasun puhdistusta)

- 1) sähkön myyntihintana nykyinen myyntihinta pientuottajalle (57,90 €/MWh)
- 2) sähkön myyntihintana nykyinen tariffihinta + lämpöpreemio yli 100 kVA laitoksille (133,50 €/MWh)
- 3) sähkön myyntihinta / tariffihinta, jotta sähköntuotanto olisi kannattavaa

Tuotettu liikennekaasu myytiin laitoksen yhteydessä olevalla jakeluasemalla. Vaihtoehtoissa A1 ja B1 sitä myytiin vain viiden osakastilan käyttöön. Kannattavuuslaskelmissa oletettiin, että tilat sitoutuvat biokaasulaitoksen toimintaan hankkimalla kaasuauto, joilla taataan alustava kysyntä laitoksen tuottamalle liikennekaasulle. Viisi henkilöautoa, joilla liikennöidään keskimäärin 18 000 kilometriä vuodessa (Autoliitto 2010) kuluttavat kaasua arviolta 52 MWh (58 kWh/100 km \approx 6,5 l bensiiniä/100 km). Päätilan käyttöön hankittiin lisäksi biokaasutraktori, joka vuotuisina 600 käyttötuntinaan kuluttaa 72 MWh:a. Vaihtoehtoissa A2, A3, B2 ja B3 liikennekaasua myytiin myös muille lähiseudun kaasuautoille.

Osa tuotetusta sähköstä meni biokaasulaitoksen omaan sähkönkulutukseen. Loppu tuotetusta sähköstä myytiin päätilalle ja verkkoon. Vaihtoehdossa B, jossa sähkön tuotantoa ei ollut, biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ostettiin verkosta. Vastaavasti osa tuotetusta lämmöstä meni biokaasulaitoksen omaan lämmönkulutukseen. Loppu tuotetusta lämmöstä myytiin päätilalle. Kun lämpöä syntyi enemmän kuin biokaasulaitos ja päätila tarvitsivat, ylijäämälämmölle joko oletettiin löytyvän muuta hyötykäyttöä tai se meni hukkaan.

Yllä esitetyt eri hyödyntämisvaihtoehdot vaikuttavat tuotetun lämmön ja sähkön määrään sekä laitoksen omaan sähkönkulutukseen (Taulukot 24 - 28). Kaikille vaihtoehdoille yhteinen biokaasulaitoksen oma sähkönkulutus on esitetty liitteessä 5. Suurin yksittäinen sähkönkulutus aiheutui reaktorin- ja jälkikaasualtaiden sekoituksesta (60 %). Seuraavaksi eniten sähköä kulutti biokaasun paineenkorotuspuhallin (16 %, sisältyy kaikkiin vaihtoehtoihin). Lisäksi sähköä kului osassa vaihtoehtoja biokaasun puhdistus- ja paineistuslaitteiden sähkönkulutukseen (arvio sähkönkulutuksesta: Metener Oy). Ensimmäisen vaiheen paineenkorotus (0 \rightarrow 10 bar) kulutti lähes yhtä paljon sähköä kuin puhdistetun biometaanin paineistus (10 \rightarrow 200 bar). Suhteessa eniten sähköä kului varsinaiseen puhdistukseen biometaaniksi.

Biokaasun puhdistuksen sähkönkulutus:

Paineenkorotus ennen kaikkia hyödyntämisvaihtoehtoja (6 - 10 bar): **0,10 kWh / Nm³ CH₄**

Biokaasun puhdistus biometaaniksi (95 %): **0,80 kWh / Nm³ CH₄**

Biometaanin paineistus (200 bar): **0,12 kWh / Nm³ CH₄**

4.3.1. Vaihtoehto A: CHP + biokaasun puhdistus

Vaihtoehtoissa A1, A2 ja A3 biokaasulaitokselle hankittiin sekä CHP-yksikkö että biokaasun puhdistus- ja paineistuslaitteisto. Taulukoissa 24 ja 25 on esitetty tuotetun biokaasun energiasisällön jakautuminen eri hyödyntämis- ja käyttökohteisiin. Kaikille vaihtoehtoille yhteiset arvot (tuotetun biokaasun energiasisältö sekä biokaasulaitoksen ja päätilan lämmönkulutus) on taulukoissa tummennettu.

Vaihtoehdossa A1 biokaasusta puhdistettiin liikennekaasua vain tilojen oman käytön verran (124 MWh, Taulukko 24). Loppu johdettiin CHP-yksikölle sähkön ja lämmön tuotantoon (1979 MWh). CHP-yksikön hyötysuhteeksi arvioitiin 87 %, josta sähkön osuus oli 32 % ja lämmön 55 %. Biokaasulaitoksen sähköntarpeen ylittävä sähköntuotanto myytiin verkkoon. Vastaavasti biokaasulaitoksen ja päätilan lämmöntarpeen ylittävä lämmöntuotanto joko saatiin myytyä tai se meni hukkaan. Päätila sitoutui ostamaan biokaasulaitokselta tarvitsemansa lämmön.

Vaihtoehdossa A2 sähköä tuotettiin CHP-yksiköllä vain biokaasulaitoksen ja päätilan kulutuksen verran (461 MWh, Taulukko 25). Laskennallisesti biokaasulaitoksen sähkönkulutuksesta ylijäävä sähkö myytiin verkkoon, josta päätila osti sen takaisin. Käytännössä on mahdollista myydä sähkö suoraan päätilalle, kunhan maksetaan sähkövero ja sähkön siirtohintaa. CHP tuotti samalla lämpöä (792 MWh), jota tuotettiin enemmän kuin mitä biokaasulaitos ja päätila tarvitsivat. Ylijäämä lämpöä joko saatiin myytyä tai se meni hukkaan. Kaikki loppu biokaasu puhdistettiin liikennekaasuksi (662 MWh).

Taulukko 24. Vaihtoehto A1: Sähkön ja lämmön tuotanto CHP:lla + biokaasun puhdistus liikennekaasuksi vain osakastilojen käyttöön.

Kaasuntuotanto	Energia (MWh)	Liikennekaasu (MWh)	Liikennekaasu (Nm ³)	CHP tuotanto (MWh)	Sähkö ^a (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	62	6200	993	318	546
Kesä	1048	62	6200	986	316	542
Yht. (MWh)	2103	124	12400	1979	633	1088
Energiankulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasulaitos		Myyntiin	Biokaasulaitos	Päätila	Myyntiin / hukkaan
Talvi	73		245	199	71	276
Kesä	72		243	147	24	371
Yht. (MWh)	145		488	346	95	648

^aCHP-yksikön hyötysuhde 87 %, josta sähköä 32 % ja lämpöä 55 %

Taulukko 25. Vaihtoehto A2: Sähkön ja lämmön tuotanto CHP:lla vain biokaasulaitoksen ja päätilan käyttöön + lopun biokaasun puhdistus liikennekaasuksi.

Kaasuntuotanto	Energia (MWh)	Liikennekaasu (MWh)	Liikennekaasu (Nm ³)	CHP tuotanto (MWh)	Sähkö ^a (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	333	33260	722	231	397
Kesä	1048	329	32940	719	230	395
Yht. (MWh)	2103	662	66200	1441	461	792
Energiankulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasulaitos		Myyntiin	Biokaasulaitos	Päätila	Myyntiin / hukkaan
Talvi	98		133	199	71	128
Kesä	97		133	147	24	224
Yht. (MWh)	195		266	346	95	352

^aCHP-yksikön hyötysuhde 87 %, josta sähköä 32 % ja lämpöä 55 %

Vaihtoehdossa A3 (CHP:n ja liikennekaasun tuotannon yhdistelmä) tarkasteltiin mikä liikennekaasun minimimyyntimäärän tulisi olla, jotta toiminta ei olisi tappiollista. Biokaasun puhdistuslaitteisto on investointina kallis eikä sitä kannata hankkia, jos tuotetulle liikennekaasulle ei löydy riittävästi ostajia. Kannattavuuden break-even saavutetaan tilanteessa, jossa kokonaistuotot ovat yhtä suuret kuin kokonaiskustannukset. Käytännössä laskelma tehtiin siten, että vaihtoehdon A3 kate (muuttuvien tuottojen ja kulujen erotus) asetettiin samansuuruiseksi kuin investoinnin tuettu annuiteetti (Taulukot 31 ja 32) ja liikennekaasun myyntimäärä ratkaistiin tämän perusteella.

4.3.2. Vaihtoehto B: Lämpökattila + biokaasun puhdistus

Vaihtoehdoissa B1, B2 ja B3 biokaasulaitokselle hankittiin lämpökattila sekä biokaasun puhdistus- ja paineistuslaitteisto.

Vaihtoehdossa B1 biokaasusta puhdistettiin liikennekaasua vain tilojen oman käytön verran (124 MWh). Loppu poltettiin lämpökattilassa (1979 MWh, Taulukko 26). Lämpökattilan hyötysuhteeksi oletettiin 85 %. Lämmöstä hyödynnettiin biokaasulaitoksen ja päätilan tarvitsema lämpö. Ylijäämä-lämpö joko saatiin myytyä tai se meni hukkaan. Biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ostettiin verkosta. Päätilan sähkönkulutusta ei huomioitu kannattavuuslaskuissa, koska tarkastelu tehtiin vain biokaasulaitoksen kannalta.

Vaihtoehdossa B2 biokaasua poltettiin lämpökattilassa vain biokaasulaitoksen ja päätilan kulutuksen verran. Energiasisällöltään 518 MWh biokaasua johdettiin lämpökattilaan, josta lämpönä saatiin hyödynnettyä 440 MWh (hyötysuhde 85 %). Kaikki loppu biokaasu puhdistettiin liikennekaasuksi (1584 MWh, Taulukko 27). Biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ostettiin verkosta.

Vaihtoehdossa B3 tarkasteltiin mikä liikennekaasun minimimyyntimäärän tulisi olla hyödyntämistavassa B (lämpökattila + biokaasun puhdistus), jotta toiminta ei olisi tappiollista.

Taulukko 26. Vaihtoehto B1: Lämmön tuotanto lämpökattilassa + biokaasun puhdistus liikennekaasuksi vain osakastilojen käyttöön.

Kaasuntuot- to	Energia (MWh)	Liikenne- kaasu (MWh)	Liikenne- kaasu (Nm ³)	Kattilaan (MWh)	Sähkö (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	62	6200	993	-	844
Kesä	1048	62	6200	986	-	838
Yht. (MWh)	2103	124	12400	1979	-	1682
Energian- kulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasu- laitos		Myyntiin	Biokaasu- laitos	Päätila	Myyntiin / hukkaan
Talvi	73		-	199	71	574
Kesä	72		-	147	24	667
Yht. (MWh)	145		-	346	95	1241

^aKattilan hyötysuhde 85 %.

Taulukko 27. Vaihtoehto B2: Lämmön tuotanto lämpökattilassa vain biokaasulaitoksen ja päätilan käyttöön + lopun biokaasun puhdistus liikennekaasuksi.

Kaasuntuotto	Energia (MWh)	Liikennekaasu (MWh)	Liikennekaasu (Nm ³)	Kattilaan (MWh)	Sähkö (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	738	73750	317	-	269
Kesä	1048	847	84690	201	-	171
Yht. (MWh)	2103	1584	158440	518	-	440
Energiankulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasulaitos		Myyntiin	Biokaasulaitos	Päätila	Myyntiin / hukkaan
Talvi	135		-	199	71	-
Kesä	145		-	147	24	-
Yht. (MWh)	280		-	346	95	-

^aKattilan hyötysuhde 85 %.

4.3.3. Vaihtoehto C: CHP

Vaihtoehtoissa C1, C2 ja C3 biokaasulaitokselle hankittiin vain CHP-yksikkö (Taulukko 28). Kaikki tuotettu biokaasu johdettiin CHP-yksikölle sähkön ja lämmön tuotantoon. Biokaasulaitoksen sähköntarpeen ylittävä sähköntuotanto myytiin verkkoon. Vastaavasti biokaasulaitoksen ja päätilan lämmöntarpeen ylittävä lämmöntuotanto joko saatiin myytyä tai se meni hukkaan. Vaihtoehtojen C1, C2 ja C3 erona oli sähkön myyntihinta:

C1: nykyinen myyntihinta pientuottajalle (57,90 €/MWh)

C2: nykyinen tariffihinta + lämpöpremio yli 100 kVA laitoksille (133,50 €/MWh)

C3: sähkön myyntihinta / tariffihinta, jotta sähköntuotanto olisi kannattavaa

Taulukko 28. Vaihtoehdot C1, C2 & C3: Kaikki tuotettu biokaasu sähkön ja lämmön tuotantoon CHP:lla, vaihtoehtojen erona eri sähkön myyntihinnat.

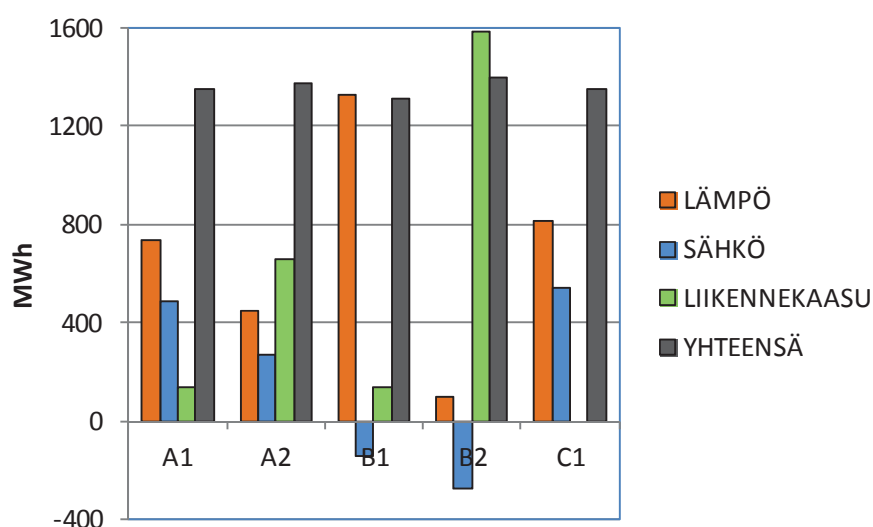
Kaasuntuotto	Energia (MWh)	Liikennekaasu (MWh)	Liikennekaasu (Nm ³)	CHP tuotantoon (MWh)	Sähkö ^a (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	-	-	1055	337	580
Kesä	1048	-	-	1048	335	576
Yht. (MWh)	2103	-	-	2103	673	1156
Energiankulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasulaitos		Myyntiin	Biokaasulaitos	Päätila	Myyntiin / hukkaan
Talvi	67		270	199	71	311
Kesä	67		269	147	24	406
Yht. (MWh)	134		539	346	95	716

^aCHP-yksikön hyötysuhde 87 %, josta sähköä 32 % ja lämpöä 55 %

4.3.4. Yhteenveto biokaasun eri hyödyntämismuutoksista

Kuvassa 6 on esitetty yhteenveto biokaasun eri hyödyntämismuutoksista tuotetusta energiasta. Lämmön ja sähkön tuotannosta on vähennetty laitoksen oma kulutus. Muutoksissa B1 ja B2, joissa ei ollut sähkön tuotantoa, ostosähkö näkyy negatiivisena.

Huolimatta CHP-yksikön, lämpökattilan ja biokaasun puhdistuksen erilaisista hyötysuhteista kaikissa muutoksissa tuotettiin yhteensä lähes sama määrä energiaa. CHP-yksikön kokonaishyötysuhteena käytettiin 87 %, lämpökattilan 85 % ja biokaasun puhdistuksen sähkönkulutuksena 0,92 kWh / Nm³ CH₄. Korkeimpaan kokonaisenergian tuottoon (1400 MWh) pääsi muutos B2, jossa biokaasun puhdistuksen osuus oli suurin. Alhaisin energiantuotto oli muutoksella B1 (1315 MWh), jossa suurin osa kaasusta poltettiin lämpökattilassa.



Kuva 6. Tuotettu nettoenergia eri hyödyntämismuutoksissa (muutoksilla B1 ja B2 laitoksen sähköntarve ostosähkönä negatiivinen).

4.4. Investoinnin kannattavuus

4.4.1. Muuttuvat kustannukset

Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen muuttuvat kustannukset muodostuivat syötteistä ja käsittelyjäännöksestä, ylläpitotyöstä ja tuotetusta energiasta. Tuotettua energiaa lukuun ottamatta muut kustannukset olivat samoja kaikille muutoksille (Taulukko 29).

Biokaasulaitos käytti syötteenä kahden osakastilan lietelantaa, kolmen osakastilan lietelannasta separoitua kuivajaetta sekä kaikkien osakastilojen jaloittelutarhoista kerättyä sontaa ja hävikkisäilörehua. Kustannuksia aiheutui lietelannan ja käsittelyjäännöksen separoinnista sekä syötteiden ja jäännösten kuluksesta osakastilojen ja biokaasulaitoksen välillä. Samalla kuitenkin säästettiin typpilannoituksessa, kun käsittelyjäännöstä käytettiin lannoitukseen raakalannan sijasta. Laitoksen ylläpitotyöhön kuului kuivien syötteiden kuormaaminen syöttöruuville, päivittäinen työ (rutiinitarkastukset) sekä huollot ja korjaukset.

Taulukko 29. Syötteistä, käsittelyjäännöksestä ja ylläpitotyöstä aiheutuvat kustannukset.

		t / vuosi	€ / t	€ / vuosi
Kuljetus^a	kuivajakeet laitokseen / laitokselta	1 514	-5,95	-9 000
	nestejakeet laitokseen / laitokselta	3 965	-3,14	-12 467
Säästö typpi-lannoituksessa (N)		5,8	1 200	6 990
		h / vuosi	€ / h	€ / vuosi
Separointi	separointityö tiloilla / laitoksella ^b	469	-14,10 ^e	-6 614
	separaattorin huolto ^c			-1 500
Biokaasulaitos	kuivien syötteiden kuormaaminen ^d	186	-45,00 ^f	-8 380
	ylläpitotyö (1,5 h / vrk)	548	-14,10 ^e	-7 720
	huolto, oma työ	66	-14,10 ^e	-932
	huolto, huoltomiehen tekemä	13	-55,80 ^g	-701
Yhteensä				-39 622 €

^aKuljetushinta laskettiin edestakaiselle matkalle ja määrä (tuorepaino) maksimimäärän mukaan (suurempi kahdesta kuormasta, kun laitokseen viedään syötteitä ja palautetaan käsittelyjäännöstä tilalle), oletuksena 50 km/h kulkeva traktori

^bKässi ym. (2013): separoinnin työmenekki 0,025 h/m³

^cSindhöj & Rodhe (2013): vuotuinen huoltokustannus 5 % investointikustannuksista

^dMaatalouden työmenetelmät ja normit 1/2004 (564), kuivalannan kuormaaminen

^eOman työn hinta

^fTraktORITYÖTUNNIN HINTA

^gUlkopuolinen huoltotyö

Biokaasun hyödyntämistavasta riippuen (Taulukot 24 – 28) tuotetulle energialle laskettiin tuloa käyttämällä taulukossa 30 esitettyjä hintatietoja. Kaikki laitoksen oman kulutuksen ylittävä sähkön tuotanto myytiin verkkoon. Sähkön myyntihintana käytettiin Fortumin maksamaa sähkön myyntihintaa pientuottajalle (57,90 € / MWh, 15.10.2013). Ilman CHP:ta (vaihtoehto B) biokaasulaitos joutui ostamaan sähköä oman kulutuksensa verran (100,00 € / MWh, 1.1.2015, veroton kokonaishinta, maatalo 35 000 kWh/v). Päätila sitoutui ostamaan tarvitsemansa lämmön biokaasulaitokselta. Lämmön myyntihintana päätilalle tai muulle lämmön tarvitsijalle käytettiin samaa hintaa, jossa huomioitiin kausivaihtelu (talvi / kesä). Liikennekaasun myyntihintana sekä osakastiloille että lähiseudun muille käyttäjille käytettiin Gasumin liikennebiokaasun myyntihintaa (84,20 € / MWh, 8.4.2015).

Taulukko 30. Energialaskelmissa käytettyjä hintoja.

	€ / MWh	viite
Sähkön ostohinta	100,00	www.sahkonhinta.fi
Sähkön myyntihinta pientuottajalle	57,90	Fortum (ilman alv)
Sähkön tariffihinta	83,50	www.energiamarkkinavirasto.fi
Sähkön tariffihinta + lämpöpremio	133,50	www.energiamarkkinavirasto.fi
Lämmön myyntihinta pientuottajalle, talvi	89,70	Sauvula-Seppälä (2010), www.energia.fi ^a
Lämmön myyntihinta pientuottajalle, kesä	32,20	Sauvula-Seppälä (2010), www.energia.fi ^a
Liikennebiokaasu	84,20	Gasum (ilman alv)

^aKeskimääräinen myyntihinta pientuottajalle 60,90 € (Sauvula-Seppälä, 2010), laskennassa otettu huomioon kaukolämmön hintakehitys (2009 -> 2015) ja kausivaihtelu (talvi / kesä)

Yhteenvedo eri vaihtoehtojen muuttuvista kuluista on koottu taulukkoon 31. Vaihtoehtoista A3, B3 ja C3 (break-even: kokonaistuotto = kokonaiskustannukset) tarkasteltiin vain tilannetta, jossa ylijäämälämpö saadaan myytyä.

Korkein hinta energialle saatiin vaihtoehdossa C2, jossa tuotettu sähkö myytiin nykyisellä tariffihinnalla. Taloudellisesti heikoin vaihtoehto puolestaan oli B1, jossa tuotettiin pääasiassa lämpöä ja liikennekaasua myytiin vain osakastilojen käyttöön. Koska pääosa energiasta on lämpönä, on laitoksen ja päätilan tarpeen ylittävälle lämmölle välttämätöntä löytää ostaja. Muuten muuttuvat kulut ovat tuottoja suuremmat.

Taulukko 31. Yhteenveto tarkasteltujen energiankäyttövaihtoehtojen muuttuvista kuluista, joissa ylijäämälämpö joko myydään tai se menee hukkaan.

A: CHP-tuotanto + liikennekaasun puhdistus					
	A1: liikennekaasun oma kulutus		A2: sähkön tuotannosta ylijäävä kapasiteetti		A3: break-even
	myydään	hukkaan	myydään	hukkaan	myydään
syötteen + työ energia	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622
muuttuvat yht.	42 919	6 174	57 300	38 635	54 151
B: lämmön tuotanto + liikennekaasun puhdistus					
	B1: liikennekaasun oma kulutus		B2: lämmön tuotannosta ylijäävä kapasiteetti		B3: break-even
	myydään	hukkaan	myydään	hukkaan	myydään
syötteen + työ energia	-39 622	-39 622	-39 622		-39 622
muuttuvat yht.	36 363	-36 606	72 914		50 336
C: CHP-tuotanto					
	C1: nykyinen hinta		C2: tariffihinta		C3: break-even
	myydään	hukkaan	myydään	hukkaan	myydään
syötteen + työ energia	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622
muuttuvat yht.	39 593	-1 308	80 326	12 485	57 408

4.4.2. Kiinteät kustannukset

Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen yksityiskohtaiset investointitiedot on esitetty liitteessä 4 ja investoinnin kokonaiskustannukset taulukossa 32. Päätilan lietalannan varastointiin rakennettua varastoa käytettiin käsittelyjäännöksen varastointiin, mutta laitosinvestoinnin myötä se katettiin tiiviisti. Lisäksi biokaasuprosessiin meneville ja sieltä tuleville kuivajakeille rakennettiin sopivat varastotilat biokaasulaitoksen läheisyyteen.

Annuiteetin laskennassa käytettiin laskentakorkona 5 % ja laitoksen eri osille samoja käyttöiä kuin tilakohtaisella laitoksella (Taulukko 12). Investointikustannukseltaan kallein on vaihtoehto A, joka sisältää sekä CHP-yksikön että biokaasun puhdistuslaitteiston. Edullisin puolestaan on vaihtoehto C ilman biokaasun puhdistusta.

Taulukko 32. Energiantuotantovaihtoehtojen investointikustannukset sekä annuiteetit.

	A) CHP + kaasun puhdistus	B) Kattila + kaasun puhdistus	C) CHP (ei kaasun puhdistusta)
Investointikustannus	798 602	760 809	583 602
Tuettu investointikustannus (tuki 35 %)	519 091	494 526	379 341
Annuiteetti	-85 251	-79 382	-57 408
Tuettu annuiteetti	-54 151	-50 336	-36 052

4.4.3. Kannattavuus

Koko biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus saatiin laskemalla yhteen kate (Taulukko 31) ja annuiteetti (Taulukko 32). Kannattavuuden perusedellytykseksi osoittautui kaiken tuotetun lämmön hyötykäyttö, joten investoinnin vuosituotto ja takaisinmaksuaika laskettiin vain näille vaihtoehdoille (Taulukko 33).

Pääosa investointituettomista vaihtoehdoista olivat kannattamattomia (tummennettu taulukossa 33). Ainoastaan vaihtoehto C2 (tariffihinta yli 100 kVA laitoksille kirjoittamishetkellä) osoittautui kannattavaksi myös ilman investointitukea (Taulukko 33, ylempi rivi). Nykykäytännön mukaan tariffihintaa ei makseta investointitukea saaneelle laitokselle. Näin ollen vaihtoehto C2, jossa investointitukea saadaan (Taulukko 33, alempi rivi), ei ole nykytilanteessa realistinen.

Taulukko 33. Investoinnin kannattavuus sekä takaisinmaksuaika, ylijäämälämpö hyödynnetään.

	A1		A2		B1		B2		C1		C2	
Ei tukea												
Kate – ann.	-42 332		-27 951		-43 020		-6 468		-17 815			22 918
Takaisinmaksuaika	18,6		13,9		20,9		10,4		14,7			7,3
Investointituki												
Kate – ann.	-11 231		3 150		-13 973		22 579		3 541			44 273
Takaisinmaksuaika	12,1		9,1		13,6		6,8		9,6			4,7

Vaihtoehdoissa A3, B3 ja C3 oli tavoitteena laskea raja-arvo toiminnan kannattavuudelle. Vaihtoehdossa A3 tarkasteltiin tilannetta, jossa biokaasusta tuotettiin lämpöä ja sähköä sekä lisäksi puhdistettiin biokaasusta liikennekaasua vain sen verran, että saavutettiin kannattavuuden raja-arvo. Vaihtoehdossa B3 biokaasusta tuotettiin vastaavasti lämpöä ja puhdistettiin liikennekaasua. Kummassakin vaihtoehdossa haluttiin selvittää liikennekaasun minimimyyntimäärä, jotta toiminta olisi kannattavaa.

Vaihtoehdossa A3 kannattavuuden raja-arvo saavutetaan jo pienellä lisäyksellä tilojen omaan liikennekaasun tarpeeseen (Taulukko 34). Vaihtoehdossa B3 taas lähes koko lämmöntuotosta ylijäävä kapasiteetti täytyy saada myytyä liikennekaasuna, jotta kannattavuus saavutetaan.

Kaikista lasketuista vaihtoehdoista kannattavimmaksi nousi vaihtoehto B2, jossa laitokselle hankitaan lämpökattila ja kaasunpuhdistuslaitteista, mutta vain jos kaikki puhdistettu kaasu saadaan myytyä (152 henkilöauton vuosikulutus).

Taulukko 34. Eri vaihtoehtoissa puhdistetut liikennekaasumäärät ja sitä vastaava henkilöautomäärä vuosikulutuksen perusteella laskettuna (18 000 km/vuosi, 58 kWh/100 km \approx 6,5 l bensiiniä/100 km), ylijäämälämpö hyödynnetään ja investoinnille saadaan tukea.

	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Kaasu (MWh)	124	662	283	124	1 584	1 316
Autoja	12	64	25	12	152	127
Kate – ann.	-11 231	3 150	0	-13 973	22 579	0
Takaisin- maksuaika	12,1	9,1	-	13,6	6,8	-

Vaihtoehdon C3 tavoitteena oli selvittää mikä tariffihinnan pitäisi olla, jotta sähköntuotanto olisi laitokselle kannattavaa. Koska kannattavuuden perusedellytykseksi oli osoittautunut, että ylijäämälämpö saadaan hyödynnettyä, tehtiin sama oletus tässä. Lisäksi investointitukea ei huomioitu, koska kirjoitushetkellä voimassa olevan lainsäädännön mukaan laitos voi valita tukimuodoksi vain toisen: investointi- tai tuotantotuen.

Fortumin kirjoitushetkellä maksamalla hinnalla sähkön pientuottajalle sähkön tuotanto ilman investointitukea ei ole kannattavaa (Taulukko 35). Nykyisellä tariffihinnalla yli 100 kVA laitoksille lämpöpreemio huomioiden sähköntuotanto on selvästi kannattavaa, mutta vain jos ylijäämälämpö saadaan hyödynnettyä, kuten tässä on oletettu. Kannattavuuden raja-arvoksi sähkön hinnalle saatiin 91,00 €, kun ylijäämälämpö hyödynnetään. Jos ylijäämälämpö menee hukkaan, on myytävästä sähköstä saatava huomattavasti korkeampi hinta. Siinä tapauksessa kannattavuuden raja-arvoksi sähkön hinnalle tulisi 166,90 €.

Taulukko 35. Sähköstä saatava myyntihinta ja sen vaikutus kannattavuuteen, ylijäämälämpö hyödynnetään mutta investointitukea ei huomioida.

	C1	C2	C3
sähkö (€/MWh)	57,90	133,50	91,00
Kate – ann.	-17 815	22 918	0
Takaisin- maksuaika	14,7	7,3	-

5. Johtopäätökset

5.1. Tilakohtainen biokaasulaitos

Maatila voi tuottaa tarvitsemansa energian eri tavoin. Tässä raportissa verrattiin biokaasulaitosta öljy- ja hakelämpölaitokseen 160 lypsylehmän karjatilalla.

Biokaasulaitos oli öljy- ja hakelämmitystä kannattavampi, jos maatalouden investointituki saatiin (kirjoitushetkellä enintään 35 %). Biokaasulaitos oli hieman vertailukohtiaan kannattavampi myös ilman investointitukea, mutta vain jos kaikki tuotettu lämpö saatiin hyödynnettyä. Lisäksi taloudellinen etu oli hieman suurempi öljylämpölaitokseen kuin hakelämpölaitokseen verrattuna. Vaikka hake on polttoaineena huomattavasti kevyttä polttoöljyä halvempi, on hakelämpölaitoksen investointikustannus öljylämmitystä huomattavasti suurempi. Biokaasulaitoksella oli suurin investointikustannus, mutta sen muuttuvat kulut olivat pienimmät.

Biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttavat käytettävissä olevat syötemateriaalit, tuotetun biokaasun hyödyntämistapa energiantuotannossa ja tilan olemassa olevien rakenteiden käyttäminen osana biokaasulaitosta. Lietelannan lisänä tarvitaan yleensä jotain energiasisällöltään rikkaampaa lisäsyötettä. Maatilalla sellainen voi olla esimerkiksi säilörehu. Tässä laskelmassa laitostoiminnan kannalta ilmainen hävikkisäilörehu tuotti 13,5 % kaikesta energiasta ja oli täten merkittävässä roolissa laitoksen kannattavuudessa.

Maatilan biokaasulaitoksen energiantuotanto voi riittää tilan tarpeisiin kokonaisuudessaan. Usein kuitenkin tuotetun energian suhde sähkönä ja lämpönä ei välttämättä ole sama kuin tilan toiminnoissa. Lämpöä tuotetaan yli oman tarpeen etenkin kesäisin ja sähköä joudutaan mahdollisesti ostamaan lisää verkosta.

Biokaasulaitoksen investointikustannuksia voidaan pienentää, jos tilalla on hyödynnettävissä sopivia olemassa olevia rakenteita. Tässä laskelmassa oletettiin, että lietelannan varastointiin rakennettua varastoa käytetään käsittelyjäännöksen varastointiin, mutta laitosinvestoinnin myötä se katetaan tiiviisti. Kattamisen olisi myös voinut jättää tekemättä, jolloin investointikustannus olisi ollut pienempi. Samalla kuitenkin käsittelyjäännöksen varastoinnin aikaiset ammoniakkipäästöt olisivat lisääntyneet.

Biokaasulaitos parantaa myös tilan ravinneomavaraisuutta. Käsittelyjäännöksen raakalantaa korkeampi ammoniumtyypen määrä vähentää mineraalityypen tarvetta. Rahallinen säästö ei kuitenkaan ole kannattavuuden kannalta merkittävä. Ympäristön kannalta typen kierron tehostaminen on kuitenkin tärkeää.

Biokaasulaitoksen myötä mallitilan kasvihuonekaasupäästöt laskivat viidennekseen tilanteesta ilman laitosta. Tämä edellyttää koko käsittelyketjun optimointia ja erityisesti jälkikaasun keruuta. Suurimmat päästövähennykset saavutettiin lannan varastoinnissa (vähäiset metaanipäästöt) sekä tilan energian käytössä ja tuotannossa (uusiutuva sähkö ja lämpö). Biokaasulaitoksen päästövähennykseksi saatiin 240 t CO₂e, kun vertailukohtana oli tila ilman laitosta ja lämmön tuotto hakkeella. Jos vertailukohtana olisi ollut lämmöntuotto polttoöljyllä, päästövähennys olisi 260 tonnia. Päästövähennys vastaa suuruudeltaan noin 90 henkilöauton vuotuisia päästöjä. Lisäksi tilan ammoniakkipäästöt pienenevät 0,8 tonnia.

Suomen veloitteena on vähentää maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä 850 000 t CO₂e vuosina 2005 - 2020 (EU 2009). Biokaasulaitosten yleistymisen voisi edistää tavoitteen saavuttamista. Tilakohtaisen laitoksen päästövähennyksen yleistäminen koskemaan koko Suomen naudan lietelannan teknis-taloudellista potentiaalia vastaisi 91 000 t CO₂e päästövähennystä, josta 73 000 t CO₂e kohdistuu maataloussektorille (8,6 % maataloussektorin päästövähennystavoitteesta). Todellisuudessa lannan käsittelyllä biokaasulaitoksissa voisi olla huomattavasti suurempi merkitys kasvihuonekaasujen päästövähennyksissä, koska naudan lietelannan osuus kaikesta Suomessa tuotetun lannan teknis-taloudellisesta potentiaalista on vain noin kolmasosa (Luostarinen 2013a).

5.2. Tilojen yhteinen biokaasulaitos

Tilojen yhteisellä biokaasulaitoksella kuljetuskustannusten hallinta vaikuttaa merkittävästi kannattavuuteen. Lietelannan kuljettamisen sijaan kustannuksia voidaan vähentää separoinnilla ja kuivaja-keen hyödyntämisellä biokaasulaitoksen syötteenä. Tällöin myös kauempana sijaitsevat tilat voivat olla osakkaina. Vastaavasti käsittelyjäännös voidaan separoida, jolloin osalle tiloista palautetaan vain käsittelyjäännöksen kuivajaetta. Kannattavuutta voisi periaatteessa nostaa myös vastaanottamalla porttimaksullisia lisäsyötteitä. Tällöin on kuitenkin varmistuttava niiden soveltuvuudesta laitoksen syötteeksi (materiaaliominaisuudet, hygienia) ja tarvittavasta peltolevitysalasta käsittelyjäännökselle.

Tarkastellun tilojen yhteisen biokaasulaitoksen kannattavuuden perusedellytyksenä oli, että koko tuotetun biokaasun energiasisältö saadaan hyödynnettyä. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa lämmöllekin on siis oltava käyttöä. Toisaalta suurempi tuotantovolyymi voi mahdollistaa kannattavan biokaasun puhdistuksen liikennekaasuksi.

Kannattavuuden saavuttamiseksi tarvitaan kuitenkin tukea. Investointituki (35 %) riitti kannattavuuden saavuttamiseen myös liikennekaasun tuotannossa. Ainoastaan sähkön nykyisen tuetun takuuhinnan mukainen tariffi mahdollistaa kannattavuuden sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ilman investointitukea.

Investointituen kanssa kannattavimmaksi nousi vaihtoehto, jossa laitokselle hankitaan lämpökattila ja kaasunpuhdistuslaitteisto ja lämpöä tuotetaan vain päätilan ja laitoksen omaan tarpeeseen (vuosittainen tulo 22 600 € ja investoinnin takaisinmaksuaika 6,8 vuotta). Loput kaasusta myydään liikennepolttoaineena. Vaihtoehto on kuitenkin kannattava vain, jos kaikki puhdistettu kaasu saadaan myytyä (152 henkilöauton vuosikulutus).

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto oli kannattavaa vain, jos kaikki tuotettu lämpö saatiin hyödynnettyä ja myydystä sähköstä saatiin nykyinen tariffihinta lämpöpremiolla (vuosittainen tulo 22 900 € ja investoinnin takaisinmaksuaika 7,3 vuotta). Kannattavuus ei tässä tapauksessa enää edellyttänyt erillistä investointitukea. Toisaalta samoilla oletuksilla laskettuna, jos laitos saa investointitukea, mutta ei tariffihintaa myytävälle sähkölle, toiminta on vain juuri ja juuri kannattavaa.

Merkittävin etu liikennekaasun puhdistuksessa CHP-tuottoon nähden on se, että lämpöä ei synny, sillä kaikelle tuotetulle lämmölle on maatilojen laitoksissa usein haastavaa löytää käyttäjää. Liikennepolttoainekäyttö on myös tehokkain tapa biokaasun energiasisällön hyödyntämiseen. Edellytyksenä vain on riittävä määrä kaasuautoja.

Viitteet

- ASUE (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch). www.asue.de. Autoliitto 2010. Merkittäväälle osalle dieselautoilijoista tulossa lisää kustannuksia 2012. <http://www.autoliitto.fi/?x20043=4288972>
- Bioenergia ry 2014. Lämpökeskukset ja voimalat, ryhmävertailu. Bioenergia nro 3.
- Clemens, J., Trimborn, M., Weiland, P., Amon, B. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112: 171-177.
- Energiamarkkinavirasto 2014. EUA-huutokaupat 2013-2020. http://www.energiavirasto.fi/documents/10179/137655/EUA-huutokaupat_2013-2020.xlsx/3d2f2c60-cc4d-426d-b004-2232deadfc8a.
- EU 2009. Decision No 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009D0406:EN:NOT>.
- EU 2001. Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1430803446147&uri=CELEX:32001L0081>.
- Flesch, T.K., Desjardins, R.L., Worth, D. 2011. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. *Biomass & Bioenergy* 35: 3927-3935.
- Groth, A., Maurer, C., Reiser, M., Granert, M. 2015. Determination of methane emission rates on a biogas plant using data from laser absorption spectrometry. *Bioresource Technology* 178: 359-361.
- Grönroos, J. 2014. Maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentämismahdollisuudet ja –kustannukset. Ympäristöministeriön raportteja 25/2014. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/152766>.
- Hörndahl, T. 2008. Energy use in farm buildings – A study of 16 farms with different enterprises. Revised and translated second edition. Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agriculture Science. Report 2008:8.
- IAE 2013. CO2 Emissions From Fuel Combustion Highlights 2013. CO2 emissions per kWh from electricity generation. International Energy Agency Publication. 50 p. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2emissionfromfuelcombustionHIGHLIGHTS.pdf>
- Kässi, P., Lehtonen, H., Rintamäki, H., Oostra, H., Sindhöj, E. 2013. Economics of manure logistics, separation and land application. Knowledge report, Baltic Manure. http://www.balticmanure.eu/download/Reports/batman_economics_291013_pellervo_web.pdf.
- Kässi, P., Seppälä, A. 2012. Production cost of excess silage for bioenergy in Finnish cattle farms. XVI International Silage Conference. Hämeenlinna, Finland, pp. 462 – 463.
- Luostarinen S. (ed.) 2013a. Energy potential of manure in the Baltic Sea region: Biogas potential & incentives and barriers for implementation. Knowledge Report, Baltic Manure. http://www.balticmanure.eu/download/Reports/bm_energy_potentials_web.pdf
- Luostarinen, S. (toim.) 2013b. Biokaasuteknologiaa maataloilla I. MTT Raportti 113, Jokioinen 2013, 96 s. <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/481263>.
- Luostarinen, S., Normak, A., Edström, M. 2011. Overview of Biogas Technology. Knowledge report, Baltic Manure. http://www.balticmanure.eu/download/Reports/baltic_manure_biogas_final_total.pdf.
- Maataloustilastot 2014. Maatalouden rakennetutkimus, Energia.
- Marttinen, S., Lehtonen, H., Luostarinen, S., Rasi, S. 2013. Biokaasuyrittäjän toimintaympäristö Suomessa – Kokemuksia MMM:n investointiavustusjärjestelmästä 2008 – 2010. MTT Raportti 103, Jokioinen 2013, 44 s. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti103.pdf>.
- Motiva 2014. Pientalon lämmitystapojen vertailulaskuri. www.lammitysvertailu.eneuvonta.fi
- Posio, M. 2010. Kotieläntilojen energiankulutus. Maataloustieteiden laitos, Helsingin Yliopisto, 96 s.
- Sauvula-Seppälä, T. 2010. Lämpöyrittäjyyden kannattavuus lämmönostajan ja –myyjän sekä metsänomistajan näkökulmasta. Maataloustieteen Päivät 2010. www.smts.fi.
- Sindhöj, E., Rodhe, L. (Editors) 2013. Examples of implementing manure processing technology at farm level. Knowledge report, Baltic Manure. http://balticmanure.eu/download/Reports/bm_inno_web.pdf.

- Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H., Paappanen, T. 2009. Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation in Finland – Dealing with the uncertainties. *Energy Policy* 37: 80-90.
- Statistics Finland 2014. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2012. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol 15.4.2014.
http://www.stat.fi/tup/khkinv/fin_nir_2011_2013_04_15.pdf.
- Tilastokeskus 2014. Energian hinnat.
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2011. Kotitalouksien sähkönkäyttö.
- VNA 17.4.2015. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta. Annettu Helsingissä 18.12.2014, muutos 17.4.2015.
- Vuorentola, A.-P. 2013. Energiankulutuksen mittaaminen Viikin koetilan navetasta. Pro gradu –työ. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Helsingin Yliopisto, 61 s.
- Ympäristöministeriö 2010. Maatalouden ympäristönsuojeluohje.

Liitteet

- Liite 1. Tilakohtaisen biokaasulaitoksen investoinnit
- Liite 2. Tilakohtaisen biokaasulaitoksen sähkönkulutus
- Liite 3. Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen pohjapiirros
- Liite 4. Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen investointikustannukset
- Liite 5. Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen sähkönkulutus

Liite 1: Tilakohtaisen biokaasulaitoksen investointikustannukset

Prosessivaihe	Laite	Käyttö-ikä	Viite
Syöttölaitteet	Apevaunu		Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun
	Syöttösuppilo ja -ruuvi	10	Metener Oy
	Esisäiliö		Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun
	Sekoitin esisäiliöön	10	Metener Oy
	Sekoittimen asennus	10	Metener Oy
	Pumppu esisäiliöön	15	Metener Oy
	Pumpun asennus	15	Metener Oy
	Pumppauslinja navetasta (30 m)	20	Laskettu (Meltex)*
			yht. 21 100 €
Biokaasureaktori	Lieteallas (450 m ³)	20	MMM: Rakennusten ja rakennustilojen yksikkökustannuksia*
	Eristys, lämmitysputket ja liittymä lämpökeskukseen	20	Laskettu (Meltex)*
	Välikate ja hupun kiinnitysura	20	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Kaasuhappu	20	Metener Oy
	Paineilma-kompressori kaasuhappujen paineistamiseen	10	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Kaksi sekoitinta	10	Metener Oy
	Sekoittimien asennus	10	Metener Oy
	Lietelinja jälkikaasualtaaseen (5 m)	20	Laskettu*
			yht. 67 000 €
Jälkikaasuallas	Lieteallas (450 m ³)	20	MMM: Rakennusten ja rakennustilojen yksikkökustannuksia*
	Eristys	20	Laskettu*
	Välikate ja hupun kiinnitysura	20	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Kaasuhappu	20	Metener Oy
	Sekoitin	10	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Sekoittimen asennus	10	Metener Oy
	Ylivaluntaputki	20	Laskettu*
			yht. 53 700 €
Jäännöksen varastointi	Lietesäiliö(t) (5000 m ³)		Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun
	Kate lietesäiliöön		MMM: Rakennusten ja rakennustilojen yksikkökustannuksia*
			yht. 62 500 €

Biokaasun keruu- ja hyödyntämis-laitteet	Kaasuputki maatalan lämpökeskukseen (50 m)	20	Luke Maaningan biokaasulaitos (putki Uponor)
	Kondenssikaivo	20	
	Kuumavesikanaali (50 m)	20	Laskettu*
	Parakki tekniseksi tilaksi	20	
	Laitoksen sähkötyöt	20	Arvioitu
	Laitoksen automatiikka ja mittalaitteet	10	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Kaasun tuotto- ja kulutusmittari	10	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Kaasun metaanipitoisuuden analysointi	10	Luke Maaningan biokaasulaitos
	CHP-yksikkö, kaasuteho 91 kW, sähköteho 29 kW	9	EU Global Trading, tarjous 23.8.2013
	Öljypoltin		Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun
Kaasupoltin ja paineen korotin lämpökeskukseen	15	Metener Oy	
Lähilämpöverkko		Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun	
			yht. 97 200 €
Muut	Pihatyöt (sepelipohjainen piha)	20	Laskettu*
	Projektin johtaminen ja suunnittelu	20	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Ympäristölupa	20	Uuraisten kunnan hinnasto: eläinsuoja, tarkoitettu vähintään 150 lypsylehmälle
			yht. 36 100 €
			Laitos yht. 337 600 €

* Laskettu käyttäen MMM:n Rakennusten ja rakennustilojen yksikkökustannuksia 2005 tai 2012 ja korjattu käyttäen rakennuskustannusindeksiä, putkilinjojen materiaalikustannukset on saatu Meltex Oy:n hinnastosta.

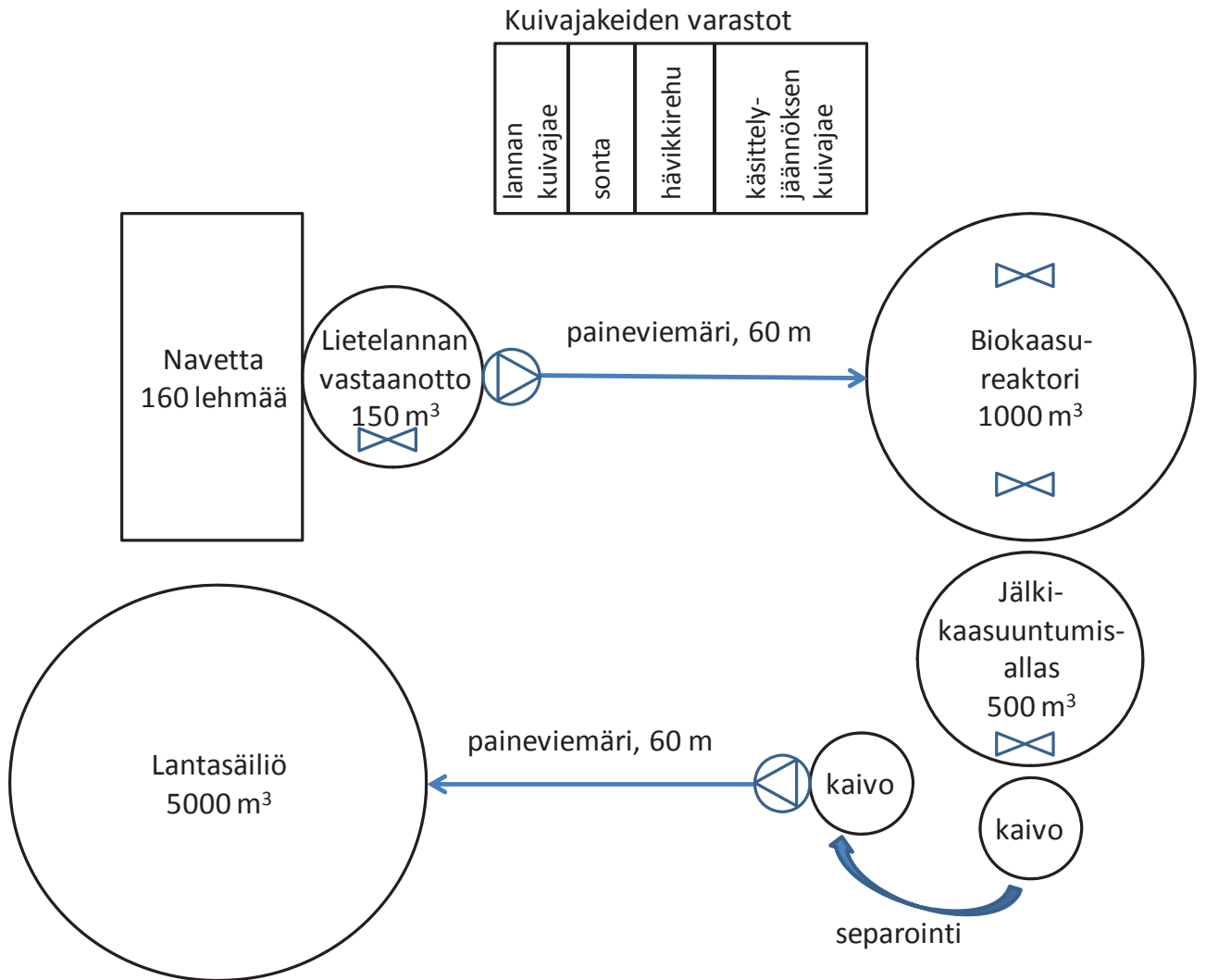
Liite 2: Tilakohtaisen biokaasulaitoksen sähkönkulutus

	Teho (kW)	Käyttöaika (h / vrk)	Sähkönkulutus (kWh / vrk)	Vuosikulutus (kWh / vuosi)	%	Talvi (marras – huhti)	Kesä (touko – loka)
<u>Esisäiliö</u>							
Sekoitin	2,6	0,7	1,8	667	1,3	364	303
Pumppu				414	0,8	226	188
<u>Syöttölaitteet</u>							
Apesekoitin*				1 013	2,0	506	506
Syöttösuppilo- ja ruuvi	0,9	0,5	0,5	166	0,3	83	83
<u>Biokaasureaktori</u>							
Kiertovesipumppu	0,4	24	8,5	3 114	6,3	1 557	1 557
Alasekoitin	1,2	24	30	10 775	21,7	5 387	5 387
Yläsekoitin	1,2	24	30	10 775	21,7	5 387	5 387
Paineilmapuhallin	0,1	24	1,9	701	1,4	350	350
<u>Jälkikaasuallas</u>							
Sekoitin	0,7	24	17	6 106	12,3	3 053	3 053
Paineilmapuhallin	0,1	24	1,9	701	1,4	350	350
<u>Muut</u>							
Paineenkorotus ja kaasukattilan poltin				8 001	16,1	4 167	3 834
Automaatiikka ja mittalaitteet yms.			20	7 300	14,7	3 650	3 650
Yhteensä				49 732	100,0	25 082	24 650

* Apesekoittimen sähkönkulutuksen viite Vuorentola (2013).

Arviot laitteiden sähkönkulutuksesta perustuvat Luke Maaningan biokaasulaitoksella tehtyihin mittauksiin.

Liite 3: Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen pohjapiirros



Liite 4: Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen investointi- kustannukset

Prosessivaihe	Laite	Käyttö-ikä	Viite
Varastot ja esisäiliöt	Laakasiilot tiloilla		Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun
	Laakasiilo hävikkirehulle (53 m ³ , 14 vrk:n varastointitarve)	20	MMM: Rakennusten ja rakennus-tilojen yksikkökustannuksia*
	Lantasäiliöt tiloilla		Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun
	Separaattori lietelannalle (26 m ³ /vrk)	10	Pellon Group Oy
	Esisäiliö & kiinteä vesikate (150 m ³ , 7 vrk:n varastointitarve)	20	MMM: Rakennusten ja rakennus-tilojen yksikkökustannuksia*
	Laakasiilo lannan kuivajakeelle ja sonnalle (66 m ³)	20	MMM: Rakennusten ja rakennus-tilojen yksikkökustannuksia*
	Laakasiilo käsittelyjäännöksen kuivajakeelle (35 m ³ , 14 vrk:n varastointitarve)	20	MMM: Rakennusten ja rakennus-tilojen yksikkökustannuksia*
			yht. 33 500 €
Syöttölaitteet	Syöttöpöytä	10	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Syöttösuppilo ja -ruuvi	10	Metener Oy
	Sekoitin esisäiliöön	10	Metener Oy
	Sekoittimen asennus	10	Metener Oy
	Pumppu esisäiliöön (paineviemäri)	15	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Pumpun asennus	15	Metener Oy
	Paineviemäri esisäiliöstä (60 m)	20	Laskettu (Meltex)*
			yht. 62 600 €
Biokaasureaktori	Lieteallas (1000 m ³)	20	MMM: Rakennusten ja rakennus-tilojen yksikkökustannuksia*
	Eristys, lämmitysputket ja liittymä lämpökeskukseen	20	Laskettu (Meltex)*
	Välikate ja hupun kiinnitysura	20	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Kaasuhappu	20	Metener Oy
	Paineilma-kompressori kaasuhappujen paineistamiseen	10	Luke Maaningan biokaasulaitos
	Kolme sekoitinta (upposekoitin 7,5 kW)	10	Metener Oy
	Sekoittimien asennus	10	Metener Oy
	Lietelinja jälkikaasu-altaaseen (5 m)	20	Laskettu*

Jälkikaasuallas	Lieteallas (500 m ³) Eristys Välikate ja hupun kiinnitysura Kaasuhuppu Yksi sekoitin (upposekoitin) Sekoittimen asennus Ylivaluntaputki	20 20 20 20 10 10 20	MMM: Rakennusten ja rakennus-tilojen yksikkökustannuksia* Laskettu* Luke Maaningan biokaasulaitos Metener Oy Luke Maaningan biokaasulaitos Metener Oy Laskettu* yht. 57 300 €
Jäännöksen käsittely ja varastointi	Separattori käsittelyjäännökselle (25 m ³ /vrk) Kaksi kaivoa separointia varten (toinen jälkikaasualtaan perään ja toinen paluulinjan päähän) Pumppu kaivoon (paineviemäri) Pumpun asennus Paluulinja nestejakeelle (paineviemäri) Lietesäiliö(t) (5000 m ³) Kate lietesäiliöön		Pellon Group Oy Luke Maaningan biokaasulaitos Metener Oy Laskettu (Meltex)* Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun MMM: Rakennusten ja rakennus-tilojen yksikkökustannuksia* yht. 89 300 €
Biokaasun keruu- ja hyödyntämis-laitteet	Kaasuputki maatilán lämpökeskukseen (60 m) Kondenssikaivo Kuumavesikanaali (60 m) Parakki tekniseksi tilaksi Laitoksen sähkötyöt Laitoksen automatiikka ja mittalaitteet Kaasun tuotto- ja kulutusmittari Kaasun metaanipitoisuuden analysointi Öljypoltin (varajärjestelmä) Kaasupoltin ja paineen korotin lämpökeskukseen Lähilämpöverkko	20 20 20 20 20 10 10 10 15	Luke Maaningan biokaasulaitos (putki Uponor) Laskettu* Arvioitu Luke Maaningan biokaasulaitos Luke Maaningan biokaasulaitos Luke Maaningan biokaasulaitos Luke Maaningan biokaasulaitos Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun Metener Oy Ei huomioida, kuuluu tilan varusteluun yht. 103 300 €
Muut	Pihatyöt (kantava murskesora + asfaltti) Projektin johtaminen ja suunnittelu Ympäristölupa	20 20 20	Laskettu* Luke Maaningan biokaasulaitos Uuraisten kunnan hinnasto: kompostointilaitos yht. 70 600 €
			Laitos yht. 533 400 €

Vaihtoehtoiset hyödyntämistavat	<u>Lämmön tuotanto:</u> Öljy-/kaasukattila	15	Luke Maaningan biokaasulaitos	12 400 €
	<u>Lämmön ja sähkön tuotanto:</u> CHP-yksikkö	9	EU Global Trading	50 200 €
	<u>Biokaasun puhdistus:</u> Biokaasun rikastus (95 %) Kaasun paineistus (200 bar) Liikennekaasun varastointi Liikennekaasun jakelu		Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy	215 000 €

* Laskettu käyttäen MMM:n Rakennusten ja rakennustilojen yksikkökustannuksia 2005 tai 2012 ja korjattu käyttäen rakennuskustannusindeksiä, putkilinjojen materiaalikustannukset on saatu Meltex Oy:n hinnastosta.

Liite 5: Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen sähkönkulutus

	Teho (kW)	Käyttöaika (h / vrk)	Sähkönkulutus (kWh / vrk)	Vuosikulutus (kWh / vuosi)	%	Talvi (marras – huhti)	Kesä (touko – loka)
<u>Esisäiliö</u>							
Sekoitin	2,6	0,8	2,2	800	0,6	436	363
Pumppu				701	0,5	383	319
<u>Syöttölaitteet</u>							
Apesekoitin ^a				3 798	2,8	1 899	1 899
Syöttösuppilo- ja ruuvi				983	0,7	491	491
<u>Biokaasureaktori</u>							
Kiertovesipumppu	0,5	24	13	4 642	3,5	2 321	2 321
Alasekoitin	2,8	24	67	24 289	18,1	12 145	12 145
Keskisekoitin	2,8	24	67	24 289	18,1	12 145	12 145
Yläsekoitin	2,8	24	67	24 289	18,1	12 145	12 145
Paineilmapuhallin	0,1	24	1,9	701	0,5	350	350
<u>Jälkikaasuallas</u>							
Sekoitin	0,8	24	19	6 925	5,2	3 462	3 462
Paineilmapuhallin	0,1	24	2,1	779	0,6	389	389
<u>Separointi^b</u>							
Lanta				2 736	2,0	1 492	1 244
Käsittelyjäännös				2 625	2,0	1 432	1 193
<u>Käsittelyj. nestejäte</u>							
Pumppu				827	0,6	451	376
<u>Muut</u>							
Paineenkorotus ja kaasukattilan poltin				21 025	15,7	10 545	10 480
Automaatiikka ja mittalaitteet yms.			40	14 600	10,9	7 300	7 300
Yhteensä				134 009	100,0	67 387	66 622

^a Apesekoittimen sähkönkulutus: Vuorentola (2013).

^b Separoinnin sähkönkulutus: Kässi ym. (2013).

Arviot laitteiden sähkönkulutuksesta perustuvat Luke Maaningan biokaasulaitoksella tehtyihin mittauksiin.

Biokaasun puhdistuksen vaihtoehtoiset sähkönkulutukset	Vuosikulutus (kWh / vuosi)	%	Talvi (marras – huhti)	Kesä (touko – loka)
<u>Vain tilojen oma käyttö (A1 ja B1):</u>				
Biokaasun puhdistus (95 %)	9 920		4 960	4 960
Biometaanin paineistus (200 bar)	1 488		744	744
Yhteensä	11 408		5 704	5 704
<u>Sähköntuotosta ylijäävän kaasun puhdistus (A2):</u>				
Biokaasun puhdistus (95 %)	52 960		26 608	26 352
Biometaanin paineistus (200 bar)	7 944		3 991	3 953
Yhteensä	60 904		30 599	30 305
<u>Lämmöntuotosta ylijäävän kaasun puhdistus (B2):</u>				
Biokaasun puhdistus (95 %)	126 752		59 000	67 752
Biometaanin paineistus (200 bar)	19 013		5 580	10 163
Yhteensä	145 765		67 850	77 915



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Viikinkaari 4
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000