



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 11/2016

## **Maatilojen biokaasulaitokset**

Mahdollisuudet, kannattavuus ja ympäristövaikutukset

Sari Luostarinen, Ville Pyykkönen, Erika Winqvist, Pellervo Kässi,  
Juha Grönroos, Kaisa Manninen, Katri Rankinen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2016

# **Maatilojen biokaasulaitokset**

Mahdollisuudet, kannattavuus ja ympäristövaikutukset

Sari Luostarinen, Ville Pyykkönen, Erika Winqvist, Pellervo Kässi,  
Juha Grönroos, Kaisa Manninen, Katri Rankinen



ISBN: 978-952-326-187-7 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-188-4 (Verkojulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkojulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-188-4>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Sari Luostarinen, Ville Pyykkönen, Erika Winqvist, Pellervo Kässi, Juha Grönroos, Kaisa Manninen, Katri Rankinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2016

Julkaisuvuosi: 2016

Kannen kuva: Anu Hämäläinen

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

# Tiivistelmä

Sari Luostarinen, Ville Pyykkönen, Erika Winqvist ja Pellervo Kässi, Luonnonvarakeskus Luke  
Juha Grönroos, Kaisa Manninen ja Katri Rankinen, Suomen ympäristökeskus SYKE

Maatilojen biokaasulaitokset voisivat olla olennainen osa tuotantoketjua. Niiden avulla voidaan hyödyntää tiloilla muodostuvat jätteet ja sivutuotteet, kuten lanta ja erilaiset kasvintuotannon sivutuotteet tehokkaasti energiana ja kierrätysravinteina. Samalla on mahdollista tehostaa maatalouden päästöjen hallintaa. Maatalouden biokaasulaitosten käyttöönoton haasteena on kuitenkin ollut kannattavuus. Suurehko kertainvestointi ei ole lukuisista hyödyistään huolimatta välttämättä noussut riittävän kannattavaksi verrattuna muihin energiantuottovaihtoehtoihin nähden.

Tässä raportissa esittelemme kahdelle todelliselle kotieläintilalle suunnitellut biokaasulaitokset, niiden tekniset ratkaisut, kannattavuuden arvioinnit sekä ympäristövaikutukset verrattuna tilan nykyiseen toimintaan ilman biokaasulaitosta. Laitokset ovat tapauskohtaiset esimerkit, joita myös muut asiasta kiinnostuneet maatilat voivat hyödyntää pohtiessaan mahdollisuuksiaan toteuttaa oma tilakohtainen biokaasulaitos.

Laitokset suunniteltiin lypsykarjatilalle ja sikatilalle. Niiden lähtökohtana oli pääasiassa tehostaa tilojen lannan hyödyntämistä erityisesti lämmöntuotannossa ja ravinteina. Suunnittelussa pyrittiin hyödyntämään tilan olemassa olevia rakenteita, kuten lietesäiliöitä ja lämpökeskuksia. Lypsykarjatilalle laskettiin kaksi laitosvaihtoehtoa, joista toinen hyödynsi pelkän lietelannan ja tuotti lämpöä ja toinen hyödynsi lannan lisäksi tilan hävikkisäilörehun ja tuotti sekä sähköä että lämpöä. Sikatilalle laskettiin laitos, joka hyödynsi tilan liete- ja kuivikepohjalannat lämmöntuotannossa.

Lypsykarjatilalla pelkän lietelannan käsittely lämmöksi ei ollut kannattavaa, mutta lannan ja hävikkisäilörehun käsittely sähköksi ja lämmöksi oli yhtä kannattavaa kuin hakelämpöön ja ostosähköön perustuva energiaratkaisu. Investointituki (35 %) oli kannattavuudelle välttämätön. Uuden lietesäiliön rakentaminen vanhan muuntamisen sijaan oli kannattavampaa, sillä uuden säiliön käyttöikä on merkittävästi vanhaa allasta pitempi. Vanhat säiliöt kannatti ennemmin hyödyntää varastosäiliöinä käsittelyjäännökselle. Laitoksen myötä tila sai myös levitykseen enemmän liukoista tyypeä käsittelyjäännöksen lannoitekäytössä.

Sikatilalla lantojen käsittely lämmöksi oli kannattavuudeltaan investointituen ja uuden reaktorialtaan myötä lähes sama kuin hakkeella. Kannattavuus olisi mahdollisesti saavutettu myös hyödyntämällä alueen suojavaiketyksenurmet ja tuottamalla sekä sähköä että lämpöä. Tätä ei kuitenkaan hankkeessa laskettu.

Laitosten ympäristövaikutukset ovat riippuvaisia tuotetun energian hyödyntämisestä ja käsittelyjäännöksen varastoinnin ja levityksen ratkaisuista. Mikäli koko tuotettu biokaasuenergia voidaan hyödyntää ja energialla saadaan korvattua fossiilisiin polttoaineisiin pohjattavia energiamuotoja, laitosten vaikutus ilmastonmuutokseen on raakalannan hyödyntämistä vähäisempi. Oikeanlaisella lannankäsittelyn kokonaisratkaisulla voidaan myös vähentää tilan happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutuksia. Tällöin jäännös on varastoitava katetusti ja levitettävä kasvukaudella (kevällä, kesällä) multaavilla menetelmillä.

Asiasanat: biokaasu, maatilakohtainen, kannattavuus, ympäristövaikutukset

# Sisällys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Lypsykarjatilan biokaasulaitos .....</b>	<b>6</b>
2.1. Lypsykarjatilan perustoiminnot nyt .....	6
2.2. Lypsykarjatilan biokaasulaitos .....	8
2.2.1. Laitoksen syötteen, metaanintuotto sekä käsittelyjäännöksen määrä ja laatu.....	9
2.2.2. Laitoskuvaus .....	11
2.2.3. Biokaasun hyödyntämismahdollisuudet.....	12
2.2.4. Investoinnin kannattavuus.....	12
2.2.5. Elinkaariset ympäristövaikutukset .....	19
2.3. Johtopäätökset lypsykarjatilalle.....	29
2.3.1. Kannattavuus .....	29
2.3.2. Elinkaariset ympäristövaikutukset .....	29
<b>3. Sikatilan biokaasulaitos .....</b>	<b>31</b>
3.1. Sikatilan nykytoiminnot .....	31
3.2. Sikatilan biokaasulaitos.....	32
3.2.1. Laitoksen syötteiden sekä käsittelyjäännöksen määrä ja laatu .....	32
3.2.2. Laitoskuvaus.....	34
3.2.3. Investoinnin kannattavuus.....	36
3.2.4. Elinkaariset ympäristövaikutukset .....	40
3.3. Johtopäätökset sikatilalle .....	47
3.3.1. Kannattavuus .....	47
3.3.2. Elinkaariset ympäristövaikutukset .....	47
<b>4. Suositukset maatalojen yksinkertaisten biokaasulaitosten suunnitteluun .....</b>	<b>48</b>
<b>5. Lähteet.....</b>	<b>49</b>
<b>6. Liitteet .....</b>	<b>50</b>



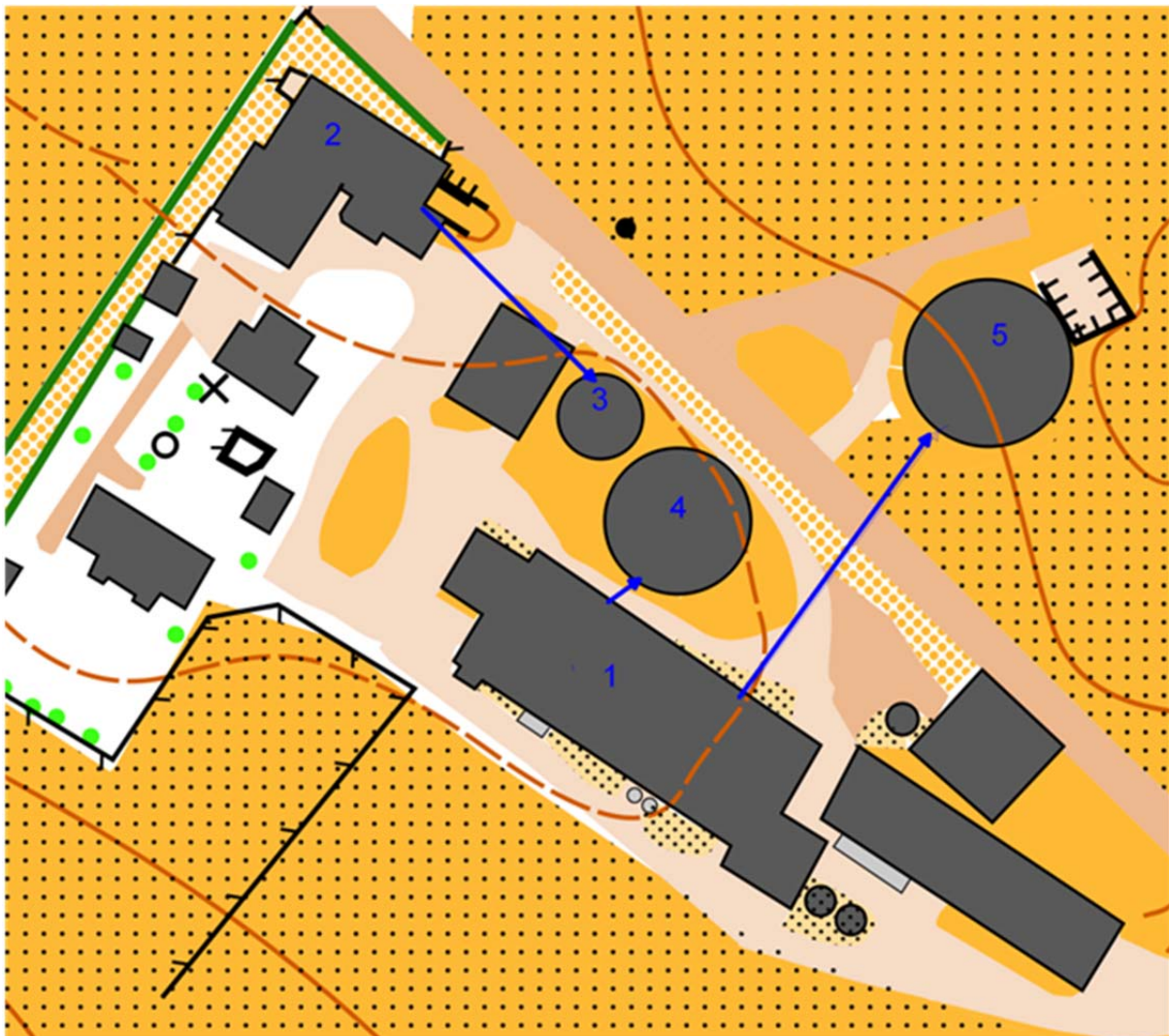


## 2. Lypsykarjatilan biokaasulaitos

Yksinkertainen biokaasulaitos suunniteltiin keskisuomalaiselle lypsykarjatilalle hyödyntäen siellä jo olemassa olevia rakenteita, kuten lietesäiliöitä. Laitos suunniteltiin viljelijän lähtökohdista, ts. päätavoite oli selvittää, paljonko laitosinvestointi maksaisi, millaisia lisäinvestointeja tarvitaan, kannattaisiko laitoksen hankinta verrattuna tilan hakelämpökeskuksen uusimiseen ja millaisia ympäristövaikutuksia biokaasutuotantoon siirtyminen aiheuttaisi. Seuraavassa esitellään esimerkkitalan toiminnot ilman laitosta, laitossuunnitelma teknisine ratkaisuineen, laitoksen kannattavuus sekä laitoksen ympäristövaikutukset verrattuna tilan nykyiseen lannankäsittelyyn.

### 2.1. Lypsykarjatilan perustoiminnot nyt

Esimerkkitalana toimi Uraisilla Keski-Suomessa sijaitseva lypsykarjatila. Tilalla on keskimäärin 100 lypsylehmää, 75 hiehoa (6-24 kk) sekä 25 vasikkaa (<6 kk). Eläinsuojia on kaksi (Kuva 1), joista suuremmissa pihattonavetassa pidetään lehmät, vasikat ja yli 18 kk vanhat hiehot. Pienemmässä pihattonavetassa pidetään 6-18 kk hiehot.



**Kuva 1.** Lypsykarjatilan asemapiirros. 1 = suuri pihatto, 2 = pieni pihatto, 3 = katettu lantasäiliö 600 m<sup>3</sup>, 4 = katettu lantasäiliö 1500 m<sup>3</sup>, 5 = kattamaton lantasäiliö 2500 m<sup>3</sup>.

Molemmissa navetoissa käytävät ovat ritiläpalkilla ja lanta siirtyy syvissä kuiluissa painovoimaisesti. Suuren navetan kuilujen tilavuus on  $550 \text{ m}^3$ , kun taas pienen navetan kuilujen ja säiliön yhteistilavuus on  $100 \text{ m}^3$ . Suuressa navetassa ritiläpalkkien päällä on automaattisesti toimivat lantaraapat.

Lehmät kuivutetaan kaksi kertaa päivässä puupurun ja turpeen seoksesta (30:70 til.). Maitotankin pesuvedet ja suurin osa lypsyrobottien pesuvesistä johdetaan Jyvässeudun kunnallisen jätevedenkäsittelyn piiriin. Nykytilanteessa lääkityistä lehmistä lypsetyt antibioottimaidot kaadetaan lantalaan, mutta käytössä oleva jätevesiratkaisu mahdollistaisi maidon hävittämisen myös jäteveden mukana.

Pienen navetan nuorkarjaa laidunnetaan kesäkuusta lokakuuhun. Koska eläimiä lisäruokitaan navettaan, laidunnusaika näinä kuukausina on n. 20 tuntia / vrk. Suuresta navetasta lehmät laiduntavat kesäkuusta syyskuun lopulle. Robottilypsyssä kovin täsmällisen laidunnusasteen määrittäminen on haastavaa, sillä laidunnus on järjestetty siten, että ovi laitumelle on auki ja halukkaat voivat käydä laitumella. Keskimääräinen laidunnusaika lehmää kohti on arviolta 3 h / päivä.

Pienen navetan lanta valuu painovoimaisesti lantakuilusta navetan alla olevaan lietesäiliöön, mistä lanta joko ajetaan suoraan pellolle tai johdetaan katettuun (puurakenne, runko kokopuuta, seinät lautaa, vesikate pelistä)  $600 \text{ m}^3$  lietesäiliöön. Lanta siirretään maanalaista putkea pitkin traktorikäyttöisellä pumpulla.

Suuren navetan lanta valuu painovoimaisesti kahta erillistä maanalaista putkea pitkin kahteen lietesäiliöön, joista toisen tilavuus on  $1500 \text{ m}^3$  (katettu; Lakeus Powershaping oy:n teräskupolikaarirakenne pressupeitteellä) ja toisen  $2500 \text{ m}^3$  (kattamaton) (Kuva 2). Lisäksi pienemmästä säiliöstä lantaa pumpataan tarvittaessa suurempaan.

Kaikki lietesäiliöt täytetään lietepinnan alta. Ne sijaitsevat maan alla ja niiden yhteenlaskettu tilavuus riittää 16 kuukauden lannalle tilalla. Säiliöt on rakennettu betonielementeistä. Pienimmän säiliön rakennusvuosi on 1995, keskikokoisen 2000 ja suurimman 2007.



**Kuva 2.** Katetut lietesäiliöt:  $600 \text{ m}^3$  (peltikate) takana ja  $1500 \text{ m}^3$  (pressukate) edessä.



Säiliöiden välisiä siirtopumppauksia tehdään tarvittaessa traktorikäyttöisellä pumpulla. Suurimman säiliön tyhjennys lietevaunuun tehdään pääosin traktorin hydraulikasta voimansa saavalla pumpulla. Keskikokoisen säiliön tyhjennys tehdään edellä mainitulla traktoripumpulla. Ennen lannanlevitystä säiliöt sekoitetaan traktorikäyttöisellä potkurisekoittimella ja traktoripumpulla.

Kaikki lanta levitetään nurmille työlevydelteään 8 metrin kiekkomultaimella (Kuva 3). Levitysvaunun tilavuus on 17 m<sup>3</sup>. Pääosa lietteestä levitetään keväällä ja kesällä 1. ja 2. nurmisadolle. Noin 15 % lannasta levitetään elo-syyskuussa 2. nurmisadon korjuun jälkeen.



**Kuva 3.** Lietevaunu kiekkomultaimella, vaunun täyttö käynnissä.

Pilaantunut ja/tai syömättä jäänyt säilörehu kasataan betonirakenteiseen varastoon. Auma sekoitetaan kerran vuodessa ja kahden vuoden varastoinnin jälkeen auman sisältö levitetään pellolle (kynnökselle). Betonirakenteiset (pohja ja seinämät), kattamattomat varastot on rakennettu vuonna 2007. Hävikkirehua kertyy vuodessa n. 150 tonnia.

Tilan tuotanto- ja asuinrakennukset lämmitetään hakkeella. Nykyinen 60 kW:n lämpökeskus on rakennettu vuonna 2000 ja sen uusimista harkitaan. Vuodessa puupolttoainetta kuluu keskimäärin 171 MWh edestä, ja käytettyjen polttoaineiden kustannus on keskimäärin 4500 € / v. Lämpökeskuksen hoitamiseen kuluu työaikaa 3-4 tuntia viikossa. Lämmöntarpeesta 70 % kuluu talvella (lokakuu - maaliskuu) ja 30 % kesällä (huhti - syys). Lisäksi tilalle ostetaan sähköä n. 200 MWh vuodessa. Tilan sähkönkulutus on tasainen ympäri vuoden.

## 2.2. Lypsykarjatilän biokaasulaitos

Esimerkkitalalle suunniteltiin yksinkertainen, tilan olemassa olevia rakenteita hyödyntävä biokaasulaitos. Laitosratkaisun päätavoitteina olivat:

- yksinkertaistettu ja täten edullinen laitosratkaisu,
- tilan lämmöntarpeen kattaminen lannan ja tarvittaessa myös hävikkinurmen avulla,
- ravinteiden tehokkaampi hyödyntäminen, erityisesti lannan tyypin tehostaminen,
- tilan ympäristövaikutusten vähentäminen.

Vaihtoehtoisia laitoksia suunniteltiin kaksi. Perusratkaisu oli molemmissa samanlainen, mutta energiakäyttö poikkesi toisistaan. Vaihtoehdossa 1 laitoksessa käsiteltiin vain tilan lietelannat ja tuotettu biokaasu hyödynnettiin lämpönä. Vaihtoehdossa 2 laitoksessa käsiteltiin lannan lisäksi myös tilan hävikkinurmet. Tällöin energiantuotantona oli yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto.

### 2.2.1. Laitoksen syötteet, metaanintuotto sekä käsittelyjäännöksen määrä ja laatu

Laitoksen syötteenä käytettiin joko ainoastaan tilalla syntyvää lietelantaa (vaihtoehto 1) tai lietelannan lisäksi hävikkisäilörehua (vaihtoehto 2). Lietelannan ja rehun ominaisuudet määritettiin tilakohteisista näytteistä (Taulukko 1). Molempien tarkasteltavien vaihtoehtojen käsittelyjäännösten määrä ja ominaisuudet laskettiin laitoksen mallinnetun metaanintuoton (liite 1) perusteella olettaen, että lietelannasta muodostuvan biokaasun metaanipitoisuus on 60 % ja hävikkirehusta muodostuvan kaasun metaanipitoisuus 55 % (lopun hiilidioksidiä; epäpuhtauksia ja vesihöyryä ei huomioitu). Biokaasuprosessin aikana orgaaninen aine (VS) muuttuu biokaasuksi ja siten biokaasulaitoksesta ulostulevan lietemäisen käsittelyjäännöksen määrä on syötemäärää alhaisempi. Kaasunmuodostuksen vuoksi käsittelyjäännöksen VS- ja kuiva-ainepitoisuus (TS = VS + tuhka) ovat syötettä alhaisempia. Samasta syystä käsittelyjäännöksen ravinnepitoisuudet (kokonais-NPK) ovat hieman korkeampia kuin syötteessä. Reaktorissa tapahtuvan proteiinien hajoamisen ansiosta käsittelyjäännöksen ammoniumtyypipitoisuus (NH<sub>4</sub>-N) on 46 % (vaihtoehto 1) tai 54 % (vaihtoehto 2) korkeampi kuin vastaavassa syötteessä (Taulukko 1).

**Taulukko 1.** Biokaasulaitoksessa käsitellyn lietelannan ja hävikkirehun sekä laitoksen käsittelyjäännöksen ominaisuudet vaihtoehdoissa 1 ja 2.

	Lietelanta- syöte (Vaihtoehto 1 ja 2)	Hävikkirehu- syöte (Vaihtoehto 2)	Kokonais- syöte (Vaihtoehto 2)	Käsittely- jäännös (Vaihtoehto 1)	Käsittely- jäännös (Vaihtoehto 2)
<b>TS (%)</b>	10,4	32,8	11,4	7,28	7,79
<b>VS (%)</b>	8,54	26,0	9,27	5,31	5,60
<b>N (kg/t)</b>	3,86	9,09	4,08	4,00	4,25
<b>NH<sub>4</sub>-N (kg/t)</b>	1,64	1,06	1,62	2,39	2,50
<b>NH<sub>4</sub>-N/N (%)</b>	42,5	11,7	39,7	59,8	58,8
<b>P (kg/t)</b>	0,75	1,29	0,77	0,78	0,80
<b>K (kg/t)</b>	3,38	10,5	3,68	3,50	3,83

Lietelannan määrä laskettiin massataseina Suomen normilanta järjestelmää hyödyntäen; Taulukko 2). Hävikkirehun määrä vastasi todellista hävikkirehun määrää tilalla. Kun kasveille käyttökelpoisen ammoniumtyypin määrä kasvaa biokaasureaktorissa proteiinien hajoamisen ansiosta ja käsittelyjäännöstä käytetään peltojen lannoitukseen, korvaa biokaasulaitoksessa muodostunut ammoniumtyppi väkilannoitetyyppeä. Biokaasulaitoksen tuottama NH<sub>4</sub>-N-lisäys laskettiin suhteessa syötteeseen (Taulukko 2).

**Taulukko 2.** Syötteiden ja käsittelyjäännöksen typpimäärät ja biokaasureaktorissa syötteistä vapautuvan ammoniumtyypen määrä syötteeseen verrattuna (NH<sub>4</sub>-N-lisäys).

	Tuorepaino (t)	N (kg)	NH <sub>4</sub> -N (kg)	NH <sub>4</sub> -N lisäys (kg)
Lietelantasyöte (Vaihtoehto 1 ja 2)	2 763	10 670	4 532	
Hävikkirehusyöte (Vaihtoehto 2)	150	1 364	159	
Kokonaissyöte (Vaihtoehto 2)	2 913	11 890	4 703	
Käsittelyjäännös (Vaihtoehto 1)	2 669	10 670	6 377	1 846
Käsittelyjäännös (Vaihtoehto 2)	2 795	11 890	6 975	2 272

Lietelannan metaanintuottopotentiaali, 207 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / t VS, määritettiin lypsykarjatilan kahden näytteen keskiarvona panoskokeilla (BMP, Biological Methane Potential, Liite 2). Vaihtoehdossa 1 lietelannan metaanintuottopotentiaalista toteutuu mallinnuksen (Liite 1) perusteella 95 % lietelannan metaanintuottopotentiaalista. Metaania tuotetaan 46 300 m<sup>3</sup> / v (alempi lämpöarvo 463 MWh).

Hävikkirehun metaanintuottopotentiaali, 285 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / t VS, määritettiin lypsykarjatilan rehun koontinäytteestä. Mallinnuksen (Liite 1) perusteella vaihtoehdossa 2 biokaasureaktorissa toteutuu vuoden aikana keskimäärin 94 % syötteiden metaanintuottopotentiaalista. Lietelanta ja hävikkirehu tuottavat yhteensä n. 55 800 m<sup>3</sup> / v (kaasun alempi lämpöarvo 558 MWh). Metaanintuoton toteutuma syötteen BMP:iin verrattuna on hieman alhaisempi kuin vaihtoehdossa 1, koska rehusyöte lisää reaktorin orgaanista kuormitusta ja lyhentää syötteen viipymää reaktorissa (ks. Taulukko 4). Rehun osuus syötteestä on vain n. 5 %, mutta se tuottaa metaanista n. 18 % (Taulukko 3).

**Taulukko 3.** Tarkasteltujen syötteiden määrät, metaanintuottopotentiaalit (BMP) ja mallinnuksen perusteella toteutuva metaanintuotto vuodessa. Tarkastelluissa esimerkeissä vaihtoehdossa 1 laitoksessa käsiteltiin vain lietelantaa ja vaihtoehdossa 2 lietelantaa ja hävikkirehua yhdessä.

	Syöte (t/v)	Osuus syötteestä (%)	VS (%)	BMP (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tVS)	Toteutuva metaanin- tuotto (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	Osuus tuotetusta metaanista (%)
Lietelantasyöte (Vaihtoehto 1)	2 763	100	8,5	207	46 300	100
Lietelantasyöte (Vaihtoehto 2)	2763	94,9	8,5	207	45 600	82
Hävikkirehusyöte (Vaihtoehto 2)	150	5,1	26,0	285	10 200	18
Kokonaissyöte (Vaihtoehto 2)	2 913	100	9,3		55 800	100

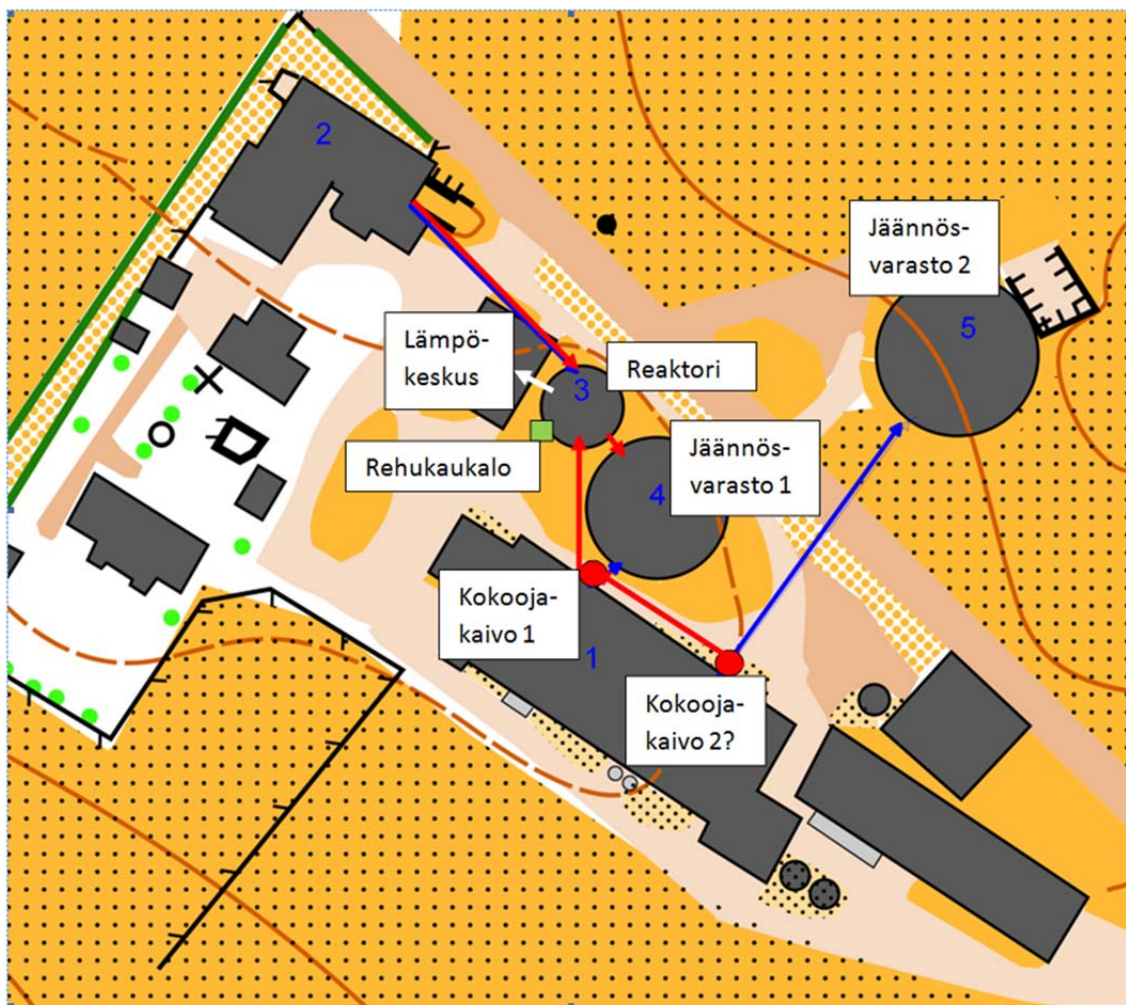
## 2.2.2. Laitoskuvaus

Laitoksen tuomat muutokset tilan lannankäsittelyyn on lisätty tilan asemapiirroksen (Kuva 4). Ne koostuvat pienimmän lietesäiliön muuntamisesta biokaasureaktoriksi, tarvittavista syöttölaitteista, lannan ja käsittelyjäännöksen siirroista sekä lämpökeskuksen uusimisesta kaasukäyttöiseksi.

Laitoksen pääasiallinen syöte on navettojen lietelanta. Pienen navetan lietelanta siirretään lantakuilusta traktorikäyttöisellä pumpulla reaktoriin, kun taas isosta navetasta se siirtyy ylivaluntana uusiin kokoojakaivoihin ja edelleen sähköpumpulla reaktoriin. Lisäksi tarvitaan uusi lietelinja kokoojakaivosta reaktoriin. Lietelantasyöte reaktoriin vaihtelee suunnitelman mukaan n. 4 – 12 m<sup>3</sup>/vrk vuodenaajasta ja lämmöntarpeesta riippuen.

Hävikkinurmen hyödyntämistä varten reaktoriin asennetaan erillinen syöttökaukalo, jonka ruuvi siirtää nurmisilpun suoraan reaktorin sisään. Nurmea syötetään tarvittaessa vaihtoehdossa 2. Vaihtoehdossa 1 syöttöruuvia ei asenneta.

Varsinainen biokaasureaktori tehdään 600 m<sup>3</sup> lietesäiliöstä, jonka puurakenteinen kate puretaan. Reaktorin nestetilavuudeksi tulee 523 m<sup>3</sup>, mikä varmistaa niin pitkän viiptymän (73 - 78 vrk), ettei erillistä jälkikaasuallasta tarvita kaiken helposti hajoavan orgaanisen aineen hajoamisen varmistamiseksi (Taulukko 4).



**Kuva 4.** Lypsykarjatilan olemassa olevien rakenteiden hyödyntäminen biokaasulaitoksessa: 1) suuri pihatto, 2) pieni pihatto, 3) lietesäiliö 600 m<sup>3</sup>, 4) lietesäiliö 1500 m<sup>3</sup>, 5) lietesäiliö 2500 m<sup>3</sup>. Punaiset nuolet kuvaavat lannan ja käsittelyjäännöksen siirtymistä laitosratkaisussa. Valkoinen nuoli kuvaa kaasun johtamista lämpökeskukseen. Vihreä neliö kuvaa reaktoriin asennettavaa syöttökaukaloa nurmirehulle.



**Taulukko 4.** Biokaasulaitoksen perustiedot (vuosikeskiarvot).

	Vaihtoehto 1 (lietelanta)	Vaihtoehto 2 (lietelanta + rehu)
Reaktorin kokonaistilavuus (m <sup>3</sup> )	600	600
Reaktorin lietetilavuus (m <sup>3</sup> )	523	523
Reaktorin lämpötila (°C)	35	35
Viipymä (vrk)	78	73
Orgaaninen kuormitus (kg VS / m <sup>3</sup> vrk)	1,2	1,4
Syötön kuiva-ainepitoisuus (%)	10,4	11,4

Reaktorin 80 m<sup>3</sup> betoninen kaasutila varmistetaan kaasutiiviiksi pressulla. Lisäksi asennetaan kaksi 7,5 kW upposekoitinta (taajuusmuuttajat, sekoituksen tauotus), joilla varmistetaan reaktorin sisällön tasalaatuisuus ja tasainen lämpötila sekä kontakti uuden syötteen ja sitä hajottavan mikrobiston välillä. Reaktorin betoniseinään asennetaan näkölasia reaktorin pinnan tarkkailuun. Sisäseinille asennetaan lisäksi lämmitysputkisto pitämään reaktorin lämpötila 37 °C:ssa. Käsittelyjäännös poistuu syöttöjen yhteydessä painovoimaisesti ylivaluntana reaktorin pohjan kautta. Reaktorin päälle rakennetaan puinen laipio, jonka päälle asennetaan kaasuväri- ja sääsuojapressut sekä jälkimmäisen kuperana pitävä painepuhallin.

Biokaasun turvallista keruuta ja hyödyntämistä varten reaktoriin asennetaan myös varoventtiili. Muutoin kaasulinja johtaa tuotetun biokaasun reaktorista lämpökeskukseen. Linjastoon asennetaan kaasun kuivaamiseksi kondenssivesikaivo. Lisäksi tarvitaan paineenkorotuspuhallin ennen kaasun energiakäyttöä.

Biokaasuenergian hyödyntämisessä tarkastellaan kahta vaihtoehtoa, joista seuraavassa.

### 2.2.3. Biokaasun hyödyntämismuutokset

Alun perin lähtökohtana biokaasun hyödyntämiselle oli tilan lämmöntarpeen kattaminen (vaihtoehto 1). Lisäksi tarkasteluun otettiin mukaan vaihtoehto, jossa biokaasusta tuotetaan lämmön lisäksi sähköä CHP-yksiköllä (vaihtoehto 2). Koska CHP-yksikön lämpöhyötysuhde (60 %) on pienempi kuin lämpökattilan (85 %), vaatii yhdistetty sähkön ja lämmön tuottaminen paksumman eristyksen reaktorialtaan kattoon ja rehun käyttöä lisäsyötteenä lietelannalle. Tarkastellut vaihtoehdot on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5.** Biokaasun tuotto ja hyödyntäminen.

	Syötteen	Eristys	Biokaasun hyödyntäminen
Vaihtoehto 1	Lietelanta	Katon eristeenä 50 mm polystyreeni (lietealtaan olemassa oleva eristys 50 mm polystyreeni)	Lämmöntuotto
Vaihtoehto 2	Lietelanta + rehu	Katon eristeenä 130 mm polystyreeni (lietealtaan olemassa oleva eristys 50 mm polystyreeni)	Yhdistetty lämmön- ja sähkön-tuotto

### 2.2.4. Investoinnin kannattavuus

#### 2.2.4.1. Investointikustannukset

Biokaasulaitosinvestointia varten pyydettiin tarjouksia laitostoimittajilta. Vastaajia oli kolme, joista Metener Oy:n tarjous vastasi parhaiten pyydettyä. Täten laskelmissa on käytetty Metener Oy:n ilmoittamia hintoja. Tarjouksessa oli mukana alustavan suunnitelman mukaisesti laitteet, jotka vähin-



tään vaaditaan yksinkertaiseen biokaasulaitokseen tilan olemassa olevia rakenteita hyödyntäen (Taulukko 6).

Tarjoukseen ei sisällynyt olemassa olevien rakenteiden purkutöitä, säiliöiden tyhjennystä ja pesua, rakennus- tai maanrakennustöitä, eikä sähkösuunnittelua, töitä ja tarvikkeita. Tilaaajan vastuulle jäivät myös kokoojakaivon rakentaminen, lietelinjat lantakuilusta kokoojakaivoon, lämpökeskus olemassa olevaan laakasiiloon tai konttiin, sekä käytetyn öljykattilan hankinta. Vaihtoehto 2 vaatii lisäksi syöttökaukalon rehusyöttöä varten sekä CHP-yksikön.

**Taulukko 6.** Karjatilan biokaasulaitoksen investointikustannukset.

Prosessi- vaihe	Laite	Käyttöikä	Viite
<b>Syöttömateriaalien varastot ja esisäiliöt sekä syöttölaitteet</b>			
	Apevaunu / syöttöpöytä		Kuuluu tilan varusteluun
	Syöttökaukalo (Vaihtoehto 2)	10	Erillinen tarjous
	Traktorikäyttöinen pumppu		Kuuluu tilan varusteluun
	Kokoojakaivot (2 kpl)	20	Oma arvio
	Lietelinjat lantakuilusta kokoojakaivoon	20	Oma arvio
	Sekoitin kokoojakaivoon (upposekoitin 0,75 kW)	10	Metener Oy
	Syöttöpumppu (uppopumppu 4 kW)	15	Metener Oy
	D300 syöttöputki (nestemäisten aineiden syöttö)	10	Metener Oy
	Lietelinja kokoojakaivosta reaktoriin	10	Metener Oy
			<b>Vaihtoehto 1 / Vaihtoehto 2:</b>
			<b>14 800 € / 19 800 €</b>
<b>Biokaasureaktori</b>			
	Lietesäiliön (600 m <sup>3</sup> ) tyhjennys ja pesu	10	Oma arvio
	Purkutyö: lietesäiliön nykyinen kate	10	Oma arvio
	Betonisen kaasutilan (80 m <sup>3</sup> ) kaasutiiviyyden varmistus pressulla	10	Metener Oy
	Näkölasit betoniseinään	10	Metener Oy
	Timanttioraukset ja leikkaukset	10	Oma arvio
	Reaktorin lämmitysputket RST, putkikannakkeet ja läpiviennit	10	Metener Oy
	Muovi/RST kiinnitysprofiili ja kiinnitystarvikkeet	10	Metener Oy
	Reaktorin reunavalu ja raudoitus	10	Oma arvio
	RST kehä keskitolppaan	10	Metener Oy
	Reaktorin puurakenteinen laipio + eristys (Vaihtoehto 1: polystyreeni 50 mm tai Vaihtoehto 2: polystyreeni 130 mm)	10	Oma arvio, www.taloon.com
	Kaasuvarasto- ja sääsuojapressut	10	Metener Oy
	Sääsuojan paineenpitopuhallin	10	Metener Oy
	Hupun lukitusletkun kompressori ja tarvikkeet	10	Metener Oy
	Kaksi sekoitinta (upposekoitin 7,5 kW) + telineet, taa-juusmuuttajat	10	Metener Oy
	Reaktorin poistoyhde ja ylivaluntaputki	10	Metener Oy
	Reaktorin pohjapoisto	10	Metener Oy
			<b>Vaihtoehto 1 / Vaihtoehto 2:</b>
			<b>74 700 € / 76 500 €</b>
<b>Jäännöksen käsittely ja varastointi</b>			
	Lietesäiliöt (1500 m <sup>3</sup> ja 2500 m <sup>3</sup> )		Kuuluu tilan varusteluun

**Biokaasun keruu- ja hyödyntämislaitteet**

Kaasulinja reaktorista lämpökeskukseen	10	Metener Oy
Reaktorin varoventtiili + läpivienti	10	Metener Oy
Kaasuvaraston huuhteluventtiili + läpivienti	10	Metener Oy
Lämpölinja ja tarvikkeet reaktorin lämpöpiiriin	10	Metener Oy
Lämpökeskus & tekninen tila (kontti)	20	Oma arvio
Piippu	20	Metener Oy
Sähkösuunnittelu, työt ja -tarvikkeet	10	Oma arvio
Automaatio	10	Metener Oy
Kaasun metaanipitoisuuden arviointi	10	Metener Oy
Ilmapumppu (H <sub>2</sub> S poisto)	10	Metener Oy
Öljykattila (min. 70 kW), ostetaan käytettynä (Vaihtoehto 1 & 2)	10	Oma arvio
Biokaasupoltin (Oilon GP 26.10.)	10	Metener Oy
CHP (70 kW <sub>th</sub> + 35 kW <sub>el</sub> , Vaihtoehto 2)	9	Metener Oy
Biokaasun paineenkorotuspuhallin	10	Metener Oy
		<b>Vaihtoehto 1 / Vaihtoehto 2:</b>
		<b>35 000 € / 95 700 €</b>
<b>Muut</b>		
Pihatyöt (sepelipohjainen piha 300 m <sup>2</sup> )	10	MMM Rakennusten ja rakennustilojen yksikkökustannuksia
Projektin suunnittelu ja valvonta	10	Metener Oy
Asennukset	10	Metener Oy
Ympäristölupa	10	Uuraisten kunta
		<b>35 700 €</b>
<b>Investointi yhteensä</b>	Vaihtoehto 1	<b>160 200 €</b>
	Vaihtoehto 2	<b>227 700 €</b>

## 2.2.4.2. Investointituki

Kannattavuuslaskentaa varten molemmille vaihtoehdoille laskettiin investointituki sekä annuiteetti ilman tukea ja tuen kanssa (Taulukot 7 ja 8). MMM:n asetus rakentamisinvestointien hyväksyttävistä yksikkökustannuksista (1.6.2015) sitoo biokaasulaitoksen hyväksyttävän investointikustannuksen CHP-yksikön nimellislämpö- ja sähkötehoon seuraavasti:

Lantaa, nurmea tai muuta biomassaa hyödyntävä sähkön ja lämmön tuotantolaitos ( $\leq 250$  kW)

- 800 € / kW<sub>th</sub> nimellislämpötehon mukaan ja
- 4 300 € / kW<sub>el</sub> nimellissähkötehon mukaan

Raportin kirjoitushetkellä investointitukea on mahdollista saada enintään 35 % hyväksyttävästä kustannuksesta. Ainoastaan lämpöä tuottaville biokaasulaitoksille hyväksyttävä investointikustannus määritetään tapauskohtaisesti.

## 2.2.4.3. Vaihtoehtoiset lämmöntuottotavat: hake ja öljy

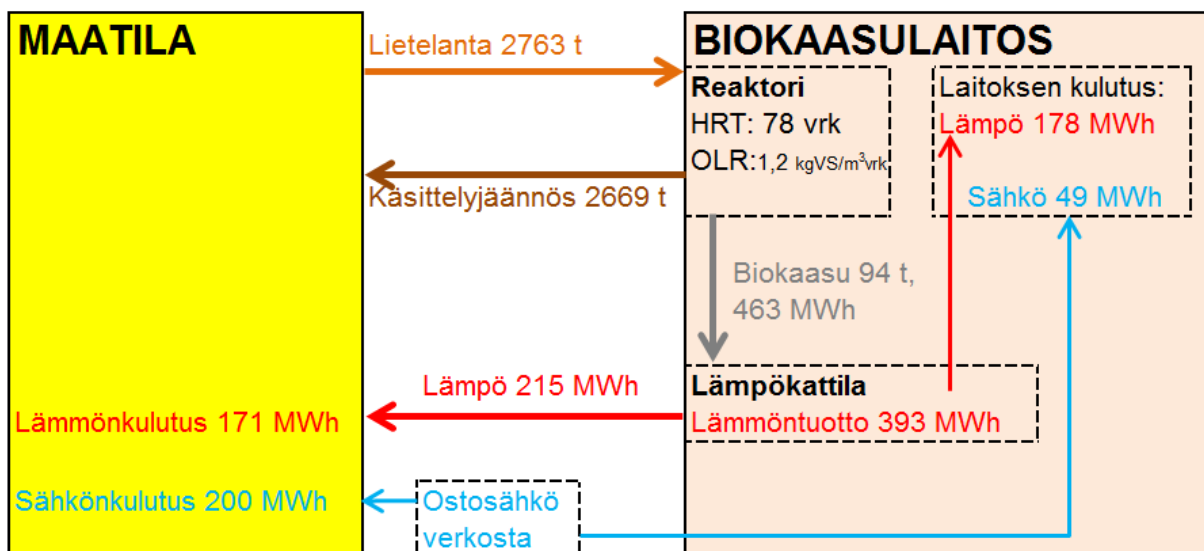
Biokaasulaitosinvestoinnin vertailukohtena käytettiin tilan olemassa olevan hakelämpölaitoksen (nimellislämpöteho 60 kW<sub>th</sub>) uusimista. Investointihinta arvioitiin kahden laitetoimittajan (Masa-Tuote Ky ja MegaKone Oy) antamien hintatietojen perusteella (Bioenergia ry 2014, Taulukko 7). Käyt-

töiäksi arvioitiin 15 vuotta. Hakelämpölaitoksen hyväksyttävä investointikustannus lasketaan vastaavasti kuin biokaasulaitokselle nimellislämpötehon mukaan.

Vertailun vuoksi laskentaan otettiin mukaan myös öljylämmitys. Kattiloiden ja polttimien hinnoissa käytettiin markkinatietoja ja rakenteiden hintoja laskettiin maatalouden investointien ohjekustannusten perusteella. Öljylämpölaitoksen nimellistehoksi ja käyttöiäksi oletettiin samat kuin hakelämpölaitokselle (60 kW<sub>th</sub> ja 15 vuotta).

#### 2.2.4.4. Vaihtoehto 1: energiatase, muuttuvat kustannukset ja kannattavuus

Vaihtoehto 1 kuvaa tilannetta, jossa biokaasulaitos korvaa tilan nykyisen hakelämpölaitoksen lämmön tuotannossa. Biokaasulaitoksen tuottaman metaanin energiasisältö (alempi lämpöarvo) on 463 MWh/v. Kaasua polttavan lämpökattilan hyötysuhde on 85 %, joten lämpöä tuotetaan 393 MWh/v, josta 178 MWh menee reaktorin lämmitykseen ja loput maatilan lämmitykseen. Sähkö ostetaan verkosta kuten aikaisemminkin, mutta tilan sähkönkulutus kasvaa biokaasulaitoksen sähköntarpeen (49 MWh) verran (Kuva 5).



**Kuva 5.** Vaihtoehto 1: Maatilan ja biokaasulaitoksen materiaali- ja energiavirrat. HRT = syöttömateriaalin keskimääräinen viipymä reaktorissa, OLR = reaktorin orgaaninen kuormitus.

Tilan tuottama lanta riittää biokaasulaitoksen syötteenä tuottamaan kaiken tarvittavan lämmön ja vähän ylikin (Kuva 5). Vaikka tilalla syntyy hävikkisäilörehua, sitä ei käytetä biokaasulaitoksen syötteenä, koska ylijäämälämmölle ei ole käyttöä. Rehun syöttö vaatii myös oman syöttölaitteiston, mikä nostaisi investointikustannusta.

Käsittelyjäännös on lantaa parempi lannoite, koska se sisältää enemmän ammoniumtyyppiä. Mieneraalityppilannoitteen tarpeen arvioitiin vähenevän samassa suhteessa lisääntyneeseen ammoniumtyyppiin ja säästö lannoituksessa laskettiin tämän mukaan (Taulukko 7).

Biokaasulaitoksen päivittäiseen ylläpitotyöhön arvioitiin menevän 15 minuuttia Luken Maanin-gan biokaasulaitoksen käyttökokemuksen perusteella. Tämä riittää päivittäiseksi työajaksi, koska biokaasulaitoksen syötteenä käytetään ainoastaan lietelantaa, joka siirtyy pääosin automaattisesti sähköpumpulla reaktoriin. Hakelämpölaitoksen päivittäisen työn määräksi arvioitiin 30 minuuttia, mikä vastaa maatilan nykyistä perustoimintoa, ja öljylämpölaitoksen 5 minuuttia.

Hake- ja öljylämpölaitoksille ostetaan polttoainetta (puuhaketta tai kevyttä polttoöljyä) energiasisällöltään suurempi määrä (201 MWh) kuin mitä tila tarvitsee, koska kattilan hyötysuhteeksi oletettiin 85 %. Biokaasulaitos tuottaa tilan tarvitseman lämmön (171 MWh), mutta käyttää samalla sähköä (49 MWh), mikä huomioidaan lisääntyneenä ostosähkön määränä.

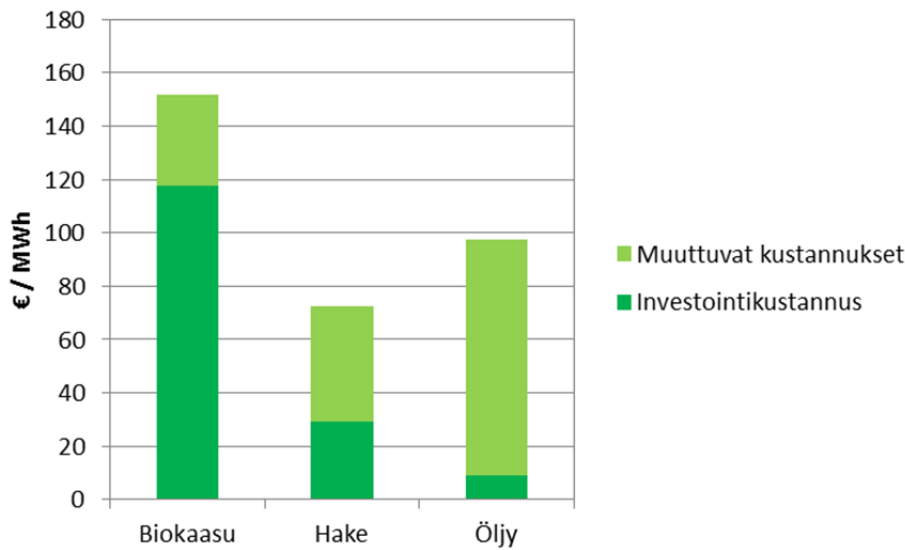
Eri vaihtoehtojen muuttuvat kustannukset saadaan laskemalla yhteen syötteiden ja käsittelyjäännöksen, ylläpitotyön sekä energiantuoton aiheuttamat kustannukset (Taulukko 7). Biokaasu- ja hakelämpölaitoksen muuttuvat kustannukset ovat samaa suuruusluokkaa (5 900 ja 7 400 €/vuosi), mutta öljylämmityksessä yli kaksinkertaiset (15 100 €/vuosi).

**Taulukko 7.** Vaihtoehto 1: Tilan lämmöntarpeen korvaaminen, vuosittaiset tulot ja menot.

	Biokaasu			Hake			Öljy		
<b>SYÖTTEET</b>	(t)	(€/t)	(€)						
Lanta	2 763	0	0						
<b>KÄSITTELYJÄÄNNÖS</b>	(kg)	(€/kg)	(€)						
Lannoitussäästö	1 846	0,95	1 753						
<b>YLLÄPITO</b>	(h / v)	(€/h)	(€)	(h / v)	(€/h)	(€)	(h / v)	(€/h)	(€)
Päivittäinen työ	91	-14,10	-1 287	183	-14,10	-2 573	30	-14,10	-429
Omat huollot	18,2	-14,10	-257	0	-14,10	0	0	-14,10	0
Ostetut huollot	3,0	-55,80	-167	0	-55,80	0	0	-55,80	0
Varaosat			-1 000			-500			0
Yhteensä			<b>-2 711</b>			<b>-3 073</b>			<b>-429</b>
<b>ENERGIA</b>	(MWh)	(€/MWh)	(€)	(MWh)	(€/MWh)	(€)	(MWh)	(€/MWh)	(€)
Tuotettu lämpö	171	0	0	201	-21,32	-4 294	201	-72,82	-14 666
Sähkön kulutus	49	-100,00	-4 926	0	-100,00	0	0	-100,00	0
Yhteensä			-4 926			-4 294			-14 666
<b>MUUTTUVAT YHT.</b>			<b>-5 883</b>			<b>-7 367</b>			<b>-15 095</b>
<b>INVESTOINTI</b>									
Investointikustannus			160 158			51 844			16 341
Tuettu investointikustannus			104 103			35 044			16 341
Annuiteetti			-20 093			-4 995			-1 547
Tuettu annuiteetti			-13 060			-3 376			-1 547
<b>KAIKKI YHTEENSÄ ILMAN TUKEA</b>			<b>-25 976</b>			<b>-12 362</b>			<b>-16 669</b>
<b>KAIKKI YHTEENSÄ TUETTUNA</b>			<b>-18 943</b>			<b>-10 743</b>			<b>-16 669</b>

Annuiteetin laskennassa käytettiin taulukossa 6 ilmoitettuja käyttöiä biokaasulaitoksen eri osille. Hake- ja öljylämpölaitoksen käyttöiäksi arvioitiin 15 vuotta. Kun vuosittaisissa kustannuksissa huomioidaan sekä muuttuvat että kiinteät kustannukset, on hakelämpölaitos edullisin, biokaasulaitos kallein ja öljylämmityksen kustannus asettuu tähän väliin.

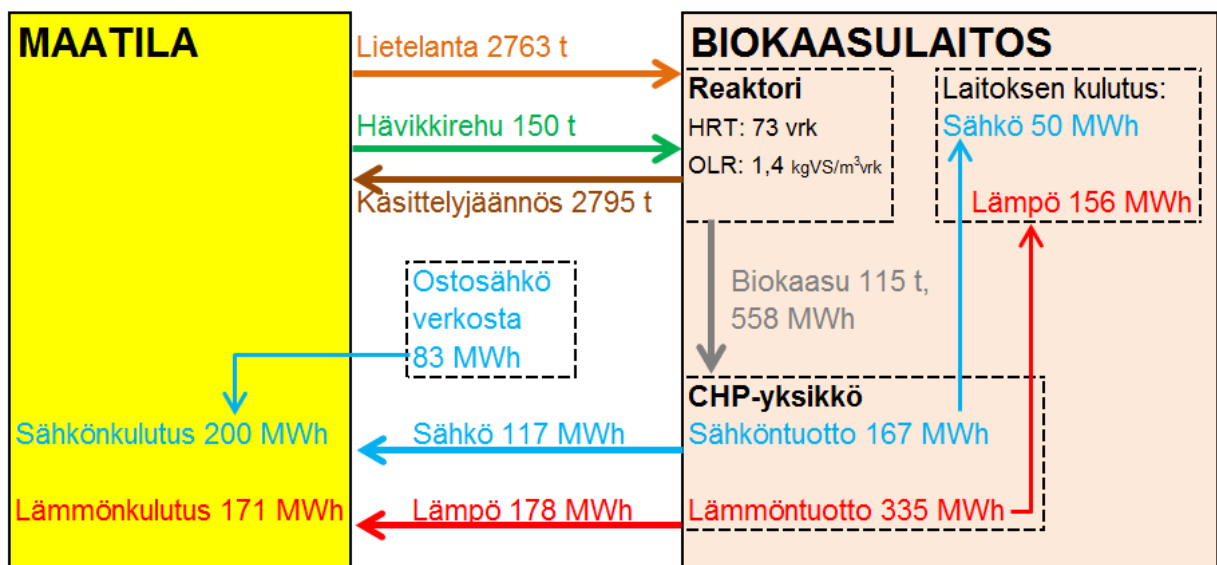
Biokaasulla tuotetun lämpöenergian hinnaksi ilman investointitukea saatiin 151,70 €/MWh, hakeella 72,20 €/MWh ja öljyllä 97,40 €/MWh (Kuva 6). Ilman tukeakin hakeella tuotettu lämpö tulee maatilalle kaikkein edullisimmaksi. Biokaasulla tuotettu lämpö jää puolestaan ilman tukea liian kalliiksi. Myöskään nykyisen investointituen mukainen laskentatapa ei tuo biokaasulaitokselle riittävää tukea, jotta lämmöntuotanto olisi kannattavaa.



**Kuva 6.** Lämpöenergian hinta eri tuotantotavoilla (Biokaasu: vaihtoehto 1). Hinnat eivät sisällä investointitukea.

#### 2.2.4.5. Vaihtoehto 2: energiatase, muuttuvat kustannukset ja kannattavuus

Vaihtoehdossa 2 biokaasureaktori vaati paksumman eristeen kattorakenteisiin, jotta CHP-yksikön tuottama lämpö riittää vastaamaan tilan lämpöenergian tarpeeseen sähköntuotannon lisäksi (Taulukko 5). Lisäksi laitoksen metaanintuotantoa nostettiin lisäämällä hävikkirehua reaktoriin (Kuva 7). Biokaasureaktorin tuottaman kaasun energiasisältö (alempi lämpöarvo) on 558 MWh/v ja CHP-yksikkö tuottaa kaasusta sähkö 167 MWh (hyötysuhde 30 %) ja lämpöä 335 MWh/v. Tuotetusta sähköstä 50 MWh menee biokaasulaitoksen omaan käyttöön ja loput 117 MWh maatilan käyttöön. Lämmöntuotosta 156 MWh menee reaktorin lämmitykseen ja loput 178 MWh kattamaan maatilan lämmöntarve (171 MWh). Sähkön tuotanto ei riitä kattamaan kokonaan tilan sähköntarvetta vaan sähköä ostetaan myös jonkin verran verkosta. Sen sijaan lämpöä syntyy hiukan yli oman tarpeen, mutta sille ei oletettu löytyvän hyötykäyttöä.



**Kuva 7.** Vaihtoehto 2: Maatilan ja biokaasulaitoksen materiaali- ja energiavirrat. HRT = syöttömateriaalin keskimääräinen viipymä reaktorissa, OLR = reaktorin orgaaninen kuormitus.



Biokaasulaitokseen syötettävän säilörehun oletettiin olevan hävikkirehua, joten sille ei tarvinnut laskea kustannusta (Taulukko 8). Rehun käyttö osana syötettä nostaa käsittelyjäännöksen ammoniumtyppipitoisuutta ja vaihtoehtoon 1 verrattuna saavutetaan suurempi säästö typpilannoituksessa. Ylläpitotyöhön arvioitiin kuuluvan pidempi aika rehussyötön vuoksi (45 min/vrk).

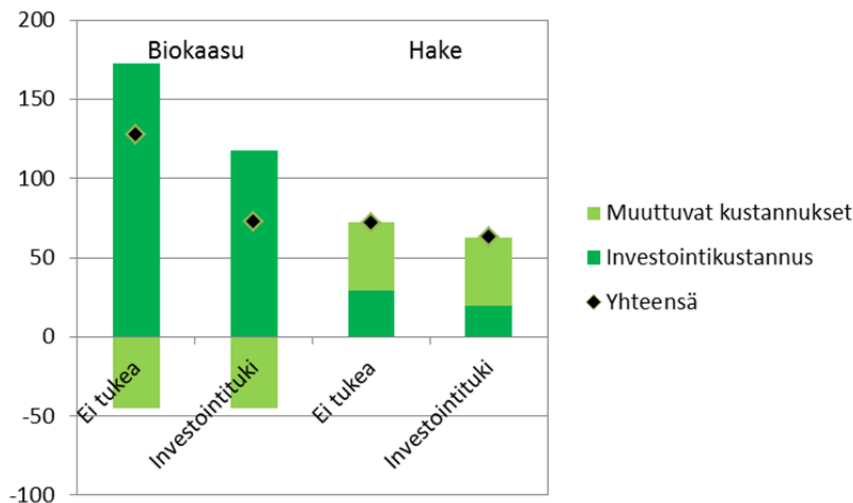
Vaihtoehdon 2 energiatarkasteluun ei otettu mukaan öljylämmitystä, koska edellisessä esimerkissä hake todettiin öljylämmitystä edullisemmaksi lämpöenergiantuotantomuodoksi. Biokaasulaitos tuottaa tilan tarvitseman lämmön (171 MWh) sekä osan tilan tarvitsemasta sähköstä (117 MWh). Tilalle tuotettu sähkö otettiin kustannuslaskennassa huomioon positiivisena.

Vaihtoehdossa 2 biokaasulaitoksen muuttuvat kustannukset jäävät positiivisiksi lannoitehyödyn ja sähkön tuotannon ansiosta (7 700 €/vuosi). Biokaasulaitos CHP-yksiköllä (227 700 €) on kuitenkin investointina yli nelinkertainen hakelämpölaitokseen (51 800 €) verrattuna. Jos investoinnille ei saada tukea, hakelämpölaitos on kannattavampi. Jos oletetun suuruinen tuki kuitenkin saadaan, on biokaasulaitoksen kannattavuus samaa luokkaa hakelämpölaitoksen kanssa.

Biokaasulla tuotetun lämpöenergian hinnaksi saatiin 127,50 €/MWh ilman investointitukea ja 72,80 €/MWh investointituen kanssa. Koska muuttuvat kustannukset jäivät sähkön tuotannon ansiosta positiivisiksi, lasketaan kokonaiskustannus vähentämällä muuttuvat kustannukset investointikustannuksista (Kuva 8). Hakkeella vastaavat lämpöenergian tuotantohinnat olivat 72,20 €/MWh ilman investointitukea ja 62,80 €/MWh investointituen kanssa.

**Taulukko 8.** Vaihtoehto 2: Tilan lämmöntarpeen korvaaminen, vuosittaiset tulot ja menot.

	Biokaasu			Hake		
<b>SYÖTTEET</b>	<b>(t)</b>	<b>(€ / t)</b>	<b>(€)</b>			
Lanta	2 761	0	0			
Nurmi (hävikki)	150	0	0			
Nurmi (ylijäämä)	0	-30,00	0			
<b>KÄSITTELYJÄÄNNÖS</b>	<b>(kg)</b>	<b>(€ / kg)</b>	<b>(€)</b>			
Lannoitussäästö	2 272	0,95	2 726			
<b>YLLÄPITO</b>	<b>(h / v)</b>	<b>(€ / h)</b>	<b>(€)</b>	<b>(h / v)</b>	<b>(€ / h)</b>	<b>(€)</b>
Päivittäinen työ	274	-14,10	-3 860	183	-14,10	-2 573
Omat huollot	33,0	-14,10	-465	0	-14,10	0
Ostetut huollot	6,3	-55,80	-352	0	-55,80	0
Varaosat			-1 500			-500
<b>Yhteensä</b>			<b>-6 177</b>			<b>-3 073</b>
<b>ENERGIA</b>	<b>(MWh)</b>	<b>(€ / MWh)</b>	<b>(€)</b>	<b>(MWh)</b>	<b>(€ / MWh)</b>	<b>(€)</b>
Tuotettu lämpö	171	0	0	201	-21,32	-4 294
Tuotettu sähkö	117	100,00	11 713	0	100,00	0
<b>Yhteensä</b>			<b>11 713</b>			<b>-4 294</b>
<b>MUUTTUVAT YHT. INVESTOINTI</b>			7 695			-7 367
<b>Investointikustannus</b>			227 697			51 844
<b>Tuettu investointik.</b>			155 422			35 044
Annuiteetti			-29 518			-4 995
Tuettu annuiteetti			-20 149			-3 376
<b>KAIKKI YHTEENSÄ ILMAN TUKEA</b>			<b>-21 823</b>			<b>-12 362</b>
<b>KAIKKI YHTEENSÄ TUETTUNA</b>			<b>-12 454</b>			<b>-10 743</b>



**Kuva 8.** Lämpöenergian hinta biokaasulla tai hakkeella tuotettuna.

Biokaasulaitoksen kannattavuuslaskennan lähtöoletuksena oli, että reaktorialtaana käytetään tilalla olemassaolevaa lieteallasta. Kokonsa puolesta 600 m<sup>3</sup> allas oli tähän käyttötarkoitukseen sopivin, mutta myös vanhin, joten sille ei uskallettu arvioida jäljellä olevaa käyttöikää kuin 10 vuotta. Samalla muidenkin reaktorialtaaseen kiinteästi liittyvien investointien käyttöikäksi arvioitiin 10 vuotta (Taulukko 6). Yleisesti betonisten lietealtaiden käyttöikäksi voi arvioida 20 - 30 vuotta (Puumala ja Paasonen, 2001; Hellstedt, suullinen tiedonanto 26.8.2015).

Vaihtoehdolle 2 tehtiin myös vertailulaskelma, jossa rakennettiin uusi 600 m<sup>3</sup> lieteallas (14 400 €) 20 vuoden käyttöiällä. Pidemmän käyttöiän takia laitoksen kokonaiskannattavuus parani ja vuotuisesti hyödyksi hakelämpölaitokseen verrattuna saatiin 600 €/vuosi. Lämpöenergian hinnaksi investointituki huomioiden saatiin tällöin 59,40 €/MWh, joka on vertailun edullisin (Kuva 8). Tämän vertailun perusteella vanhan lietealtaan käyttämisestä ei saatu riittävästi säästöä, jotta se olisi ollut lyhyemmän käyttöiän takia kannattavaa.

## 2.2.5. Elinkaariset ympäristövaikutukset

### 2.2.5.1. Tausta ja tavoite

Tavoitteena oli arvioida tilakohtaisen biokaasulaitoksen käyttöönottamisesta aiheutuvat muutokset tilan lantaketjun elinkaarisisissa ympäristövaikutuksissa. Työssä verrattiin kahta vaihtoehtoista biokaasun tuotantoon perustuvaa järjestelmää kaasun ja käsittelyjäännöksen hyödyntämiseen tilan nykyiseen lannankäsittelyyn.

Elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnilla saadaan laaja kuva ympäristövaikutusten muutoksista, jotka aiheutuvat, kun tarkasteltavassa järjestelmässä siirrytään käyttämään erilaista tekniikkaa. Näin voidaan havaita myös mahdolliset päästöjen ja vaikutusten siirtyminen tarkasteltavan järjestelmän osasta toiseen tai kokonaan toiseen tuotejärjestelmään.

Tilakohtaisen biokaasulaitoksen aiheuttama suurimmat muutokset lannankäsittelyketjun elinkaarisisissa ympäristövaikutuksissa liittyvät tuotetun biokaasun energiahyödyntämiseen ja sen tuottamiin ympäristöhyötyihin, sekä lannan ominaisuuksien muuttumiseen biokaasuprosessin aikana seurannaisvaikutuksineen. Myös hävikkirehun käsittelyn muuttuminen vaikuttaa ympäristövaikutusten muodostumiseen.

## 2.2.5.2. Menetelmät

### Yleinen menetelmäkuvaus

Ympäristövaikutuksia tarkasteltiin elinkaariarviointiin (Life cycle assessment, LCA) perustuvalla menetelmällä. Elinkaariarviointi koostuu neljästä vaiheesta seuraavasti (ISO 14040):

*1. Tavoitteen ja soveltamisalan määrittelyssä* määritellään muun muassa arvioinnin yksityiskohtaisuus (järjestelmärajaus) ja tarkasteltava ajanjakso. Lisäksi päätetään, mitkä ympäristövaikutusluokat tarkasteluun sisällytetään ja valitaan toiminnallinen yksikkö. Toiminnallinen yksikkö on elinkaariarvioinnin yksi peruselementeistä, jota kohden ympäristövaikutukset kohdennetaan.

*2. Inventaariotiedon keräämisessä* kerätään tarvittavat tiedot tarkastelun kohteena olevasta järjestelmästä. Tyypillisimpiä tietoja ovat energiankulutus- ja päästötiedot. Tiedon luotettavuuteen tulisi kiinnittää huomioita ja käyttää mahdollisimman hyvin tarkasteltavaa järjestelmää tai sen osaa kuvaavaa tietoa. Tarkat mittaukset tuotantoprosessista ovat yleensä luotettavia, mutta käytännössä tietoa joudutaan yleensä keräämään useita eri reittejä hyödyntämällä kirjallisuutta, tietokantoja, asiantuntija-arvioita ja mallilaskelmia. Kerättyjä inventaariotietoja käytetään vaikutusarvioinnissa.

*3. Vaikutusarvioinnissa* inventaariotiedot muutetaan ympäristövaikutuksiksi. Sitä varten eri päästöt karakterisoidaan, eli muutetaan yhteismitallisiksi kunkin ympäristövaikutusluokan sisällä. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen osalta kaikki kasvihuonekaasupäästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi. Lisäksi yhteismitallistetut ympäristövaikutusluokkatulokset voidaan normalisoida. Normalisointi voidaan toteuttaa esimerkiksi suhteuttamalla tuotteen ilmastonmuutosvaikutukset koko Euroopan ilmastonmuutosvaikutukseen. Tällöin voidaan arvioida, kuinka merkittäviä eri ympäristövaikutukset ovat toisiinsa nähden. Normalisoidut ympäristövaikutusluokkatulokset voidaan lisäksi painottaa vaikutusten vähentämisen tärkeyden mukaan, minkä jälkeen erilaisia vaikutuksia voidaan laskea yhteen. Normalisointi ja painotus ovat kuitenkin vapaaehtoisia vaiheita.

*4. Tulosten tulkinnan* aikana arvioidaan tuloksiin vaikuttavia tekijöitä sekä arvioidaan tulosten herkkyyttä, täydellisyyttä ja johdonmukaisuutta. Johtopäätökset tehdään tulosten pohjalta. Tulokset esitetään kohderyhmälle ja laaditaan jatkotoimenpiteet.

Ympäristövaikutusten arviointi toteutettiin käyttäen seurannaisvaikutuksellista elinkaariarviointimenetelmää. Siinä nykytilannetta (lannan ja hävikkirehun käsittely tilalla nykyään; ei biokaasuntuotantoa) verrataan vaihtoehtoiseen tapaan käsitellä lantaa (biokaasulaitos kohdetilan lantaketjussa). Tarkastelussa otettiin huomioon suorat vaikutukset päästöihin ja energiankulutukseen varsinaisessa järjestelmässä (lietelannan ja hävikkirehun käsittelyketju tilalla vaihtoehtoiseen), mutta myös seurannaisvaikutukset muihin tuotejärjestelmiin, kuten energian- ja lannoitteiden tuotantoon ja niistä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin. Elinkaariarviointimallinnus toteutettiin käyttämällä SimaPro-ohjelmistoa, johon on kytketty laaja Ecoinvent-tietokanta.

### Tavoite ja soveltamisala

#### *Arvioinnin tarkoitus*

Työn tarkoituksena oli arvioida tilakohtaisen biokaasulaitoksen käyttöön ottamisesta aiheutuvat muutokset tilan lantaketjun elinkaarisissa ympäristövaikutuksissa lypsykarjatilalla. Työssä verrattiin kahta biokaasuvaihtoehtoa nykyiseen lannankäsittelyketjuun ilman biokaasun tuotantoa.

Toiminnallinen yksikkö

Tässä tutkimuksessa toiminnallisena yksikkönä oli 1000 kg naudan lietalannan ja hävikkirehun seosta eläinsuojasta<sup>1</sup>, tuorepainoperusteisen seossuhteen ollessa 95 % lietalantaa ja 5 % hävikkirehua.

Järjestelmä ja sen rajaukset

Perus- eli nykytilanteessa lietalanta levitetään varastoinnin jälkeen käsittelemättömänä ensimmäiselle ja toiselle nurmisadolle kiekkomultaimella. Hävikkirehu kompostoidaan ja komposti levitetään keväällä mullokselle suojaviljaan perustettavan nurmen lannoitteeksi.

Perustilannetta verrattiin kahteen vaihtoehtoiseen lannan ja hävikinurmen käsittelyyn:

- tilan kaikki lietalanta johdetaan biokaasureaktoriin. Tuotettu kaasu käytetään lämmön tuottamiseen, ja käsittelyjäännös käytetään lannoitteena tilan pelloilla. Hävikkirehu kompostoidaan ja levitetään peltoon.
- tilan kaikki lietalanta ja myös hävikkirehu johdetaan biokaasureaktoriin, ja jäännös käytetään lannoitteena tilan pelloilla. Tuotettu kaasu poltetaan CHP-yksikössä, ja lämpö sekä sähkö hyödynnetään tilalla.

Tarkasteluun sisällytettiin suoraan päätuotejärjestelmiin (lannankäsittelyketjut) liittyvät muut oleelliset tuotejärjestelmät, joita ovat energian (sähkö, lämpö) ja mineraalilannoitteiden tuotanto (Kuva 9). Lietalannan käsittely eläinsuojassa oli kaikissa vaihtoehdoissa samanlainen, mutta myös se sisällytettiin tarkasteluun, jotta nähtäisiin siitä aiheutuvat ympäristövaikutukset suhteessa käsittelyketjun muiden osien vaikutuksiin.

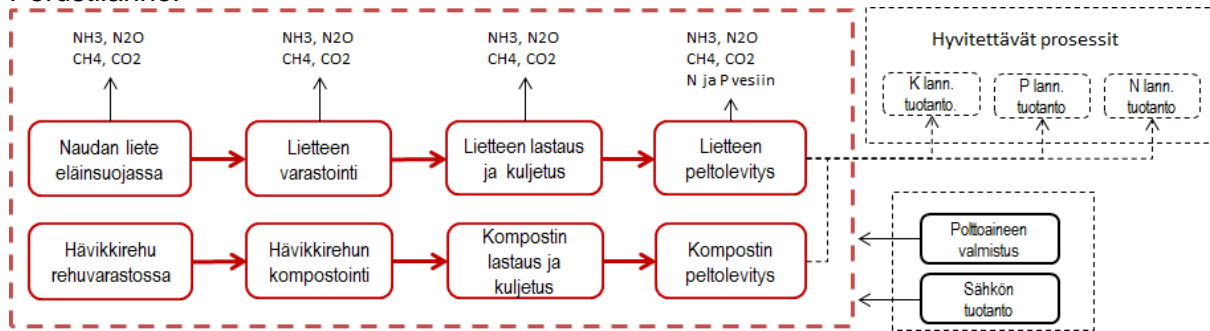
**Laskennassa käytettyjen tietojen lähteet ja laskentatavat**

Päästöjen arvioiminen lannankäsittelyketjun eri vaiheissa pohjautui samoihin menettelytapoihin kuin Baltic Manure –hankkeessa (Hamelin ym. 2013), ja mahdollisuuksien mukaan hyödynnettiin ko hankkeessa lypsylehmien lannan käsittelyketjulle käytettyjä päästöjen laskentamenetelmiä. Käytännössä kaikki muut päästöt kuin ammoniakkipäästöt laskettiin ko hankkeessa esitettyjä menetelmiä käyttäen, jotka noudattavat IPCC:n ja EMEP/EEA:n päästölaskentaohjeita. Ammoniakkipäästöjen kohdalla hyödynnettiin kansallista maatalouden typpimallia (Grönroos ym. 2009). Päästölaskelmien pohjana toimivat lanta-analyysitietoihin perustuvat tiedot lannan ominaisuuksista (Taulukko 1), sekä tiedot lannankäsittelymenetelmistä esimerkkitalalla (ks. luku 2.1). Käsittelyjäännöksen osalta (vaihtoehdoissa 1 ja 2) tukeuduttiin jäännöksen laskennallisiin ominaisuuksiin (Taulukko 1) ja oletuksiin jäännöksen käsittely- ja levitystavoista, jotka on alla kuvattu tarkemmin.

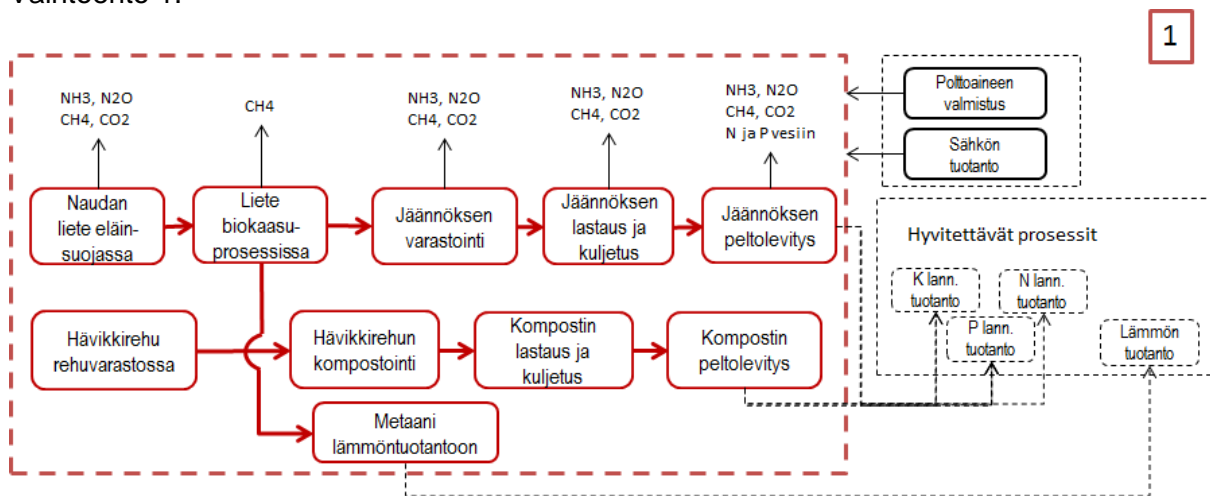
---

<sup>1</sup> Käsittää lannan lisäksi rehuvarastosta tulevan hävikkirehun.

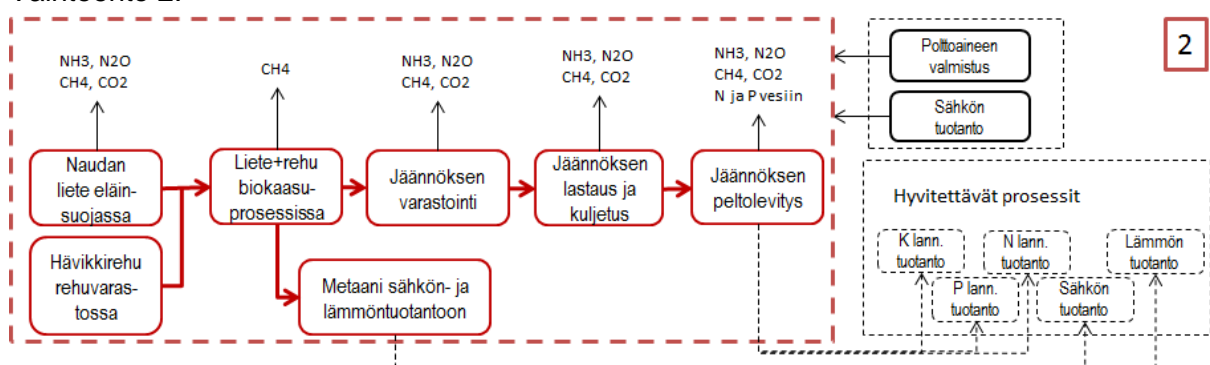
**Perustilanne:**



**Vaihtoehto 1:**



**Vaihtoehto 2:**



**Kuva 9.** Järjestelmärajaukset perustilanteessa ja vaihtoehdossa 1 ja 2. Elinkaariarviointiin sisällytettiin katkoviivalla erotetut osaprosessit.

Hävikkirehun kompostoinnin päästöt arvioitiin käyttämällä hävikkirehun ominaisuustietoja sekä EASETECH-LCA-mallin (EASETECH) sisältämää tietoa hiilen ja typen hajoamiselle puutarhajätteen aumakompostoinnissa (Composting, windrows, garden waste, Aarhus (DK), 2007) (Taulukko 1). Hävikkirehun levityksen jälkeisten ilmaan kohdistuvien päästöjen arvioinnissa käytettiin samoja periaatteita kuin vastaavassa tapauksessa käytettäisiin kuivalannalle.

Peltoon levitetystä lannasta, hävikkirehusta ja käsittelyjäännöksestä aiheutuvat ravinnepäästöt vesiin arvioitiin tekstissä myöhemmin esitetyillä menetelmillä. Laskennassa tukeuduttiin liitteessä 3 esitettyihin lannoitusstrategioihin, joissa on nähtävissä annettujen ravinteiden määrät ja levityskohde eri tapauksissa. Mukaan on fosforin tasauksen ja syksyllä levitetyn typen takia otettu lannan ja käsittelyjäännöksen levitystä seuraavan vuoden (vuosi 2) lannoituskäytännöt, jotta saadaan käsitys lannan- ja käsittelyjäännöksen levityksen vaikutuksista lannoituskäytäntöihin ja ravinnekuormituspotentiaaliin myös levitystä seuraavana vuonna. Levitysstrategioissa on huomioitu ympäristökorvausjär-



jestelmän mukaiset nurmien ja perustettavan nurmen fosfori- ja typpilannoitusrajat. Lannan ja käsittelyjäännöksen levitysmääriä rajoittaa kuitenkin lannassa levitettävän kokonaistypen määrä, joka nitraattiasetuksen mukaan saa olla enintään 170 kg/ha vuodessa. Se osuus tpeestä, joka jää lannassa ja käsittelyjäännöksessä antamatta, korvataan mineraalityypellä, ja fosforivaje täydenetään mineraalifosforilla. Syksyllä levitetty lannan ja käsittelyjäännöksen tyyppi otetaan täysimääräisesti huomioon seuraavan kevään lannoituksessa. Hävikkirehukompostin levitysmäärä oli tiedossa (15 tn/ha), ja levitettyjen ravinteiden määrät arvioitiin sen ja massan päästökörjatun ravinnesisällön (Taulukko 9) pohjalta. Myös lannan ja käsittelyjäännöksen levityksestä aiheutuvien päästöjen arvioinnissa käytettiin päästökörjattuja ominaisuustietoja.

**Taulukko 9.** Tarkastelussa käytetyn naudnan lietalannan, hävikkirehun ja käsittelyjäännösten päästökörjatut ominaisuustiedot (=ominaisuudet levitettäessä, varastoinnin aikaiset kaasumaiset tappiot huomioitu).

	Lietelanta (Perustilanne)	Hävikkirehu (Perustilanne)	Käsittelyjäännös (Vaihtoehto 1)	Käsittelyjäännös (Vaihtoehto 2)
TS (%)	8,2		5,67	6,16
VS (%)	6,6		3,96	4,24
N (kg/t)	3,26	8,36	3,36	3,59
NH <sub>4</sub> -N (kg/t)	1,31	0,98	1,96	2,06
P (kg/t)	0,66	1,29	0,675	0,70
K (kg/t)	2,97	10,53	3,04	3,35
C (kg/t)	44,1	59,32	38,52	38,95

### Lannan levityksestä aiheutuvan vesistökuormituksen arviointi

Eri vaihtoehtojen mukaisten lannan, hävikkirehukompostin ja käsittelyjäännösten levitystapojen ja materiaalien sisältämien ravinnemäärien perusteella (Liite 3) laskettiin lannan sisältämästä fosforista ja tpeestä vesistöihin kulkeutuva osuus. Laskelmissa huomioitiin typen kaasumaiset tappiot, jotka levitysjankohdasta riippuen olivat lannalla ja käsittelyjäännöksellä noin 12-17 %, hävikkirehukompostilla noin 24 % ja mineraalilannoitteilla noin prosentin peltoon leviteystä liukoisesta tpeestä. Tarkasteluissa huomioitiin myös lannoituksen muuttumisesta aiheutuvat muutokset mineraalilannoitteiden käytössä lannanlevitysvuotena (vuosi 1) ja sitä seuraavana vuotena (vuosi 2).

Vesiin kohdistuvat typpi- ja fosforipäästöt laskettiin empiirisillä malleilla. Fosforimalli perustuu Suomessa tehtyihin pitkäaikaisiin kokeisiin fosforilannoitustason vaikutuksesta maan fosforilukuun ja fosforipäästöihin vesiin (Ekholm ym. 2005). Typpimalli perustuu Tanskassa tehtyihin pitkäaikaisiin typpilannoituskokeisiin ja havaittuun typpihuuhtoumaan (Simmelgaard ja Djurhuus 1998). Malli sisältää tyypillisimmät viljelykasvit sekä lannan käytön lannoitteena. Baltic Manure-hankkeessa mallin todettiin toimivan hyvin myös suomalaisella aineistolla.

Lietteen (lietalanta ja käsittelyjäännös) levitys tapahtuu kiekkomultaimella keväällä, kesällä ja syksyllä. Syksyllä levitetyn lietteen osuus oli 15 % kokonaislietelmästä. Hävikkirehukomposti (perustilanne ja vaihtoehto 1) levitetään keväällä mullokselle ja kynnetään maahan ennen suojaviljaan perustettavan nurmen kylvöä.

### Hyvitykset

#### Lannoitekorvaavuudet

Kaikille tarkastelluille vaihtoehdoille laskettiin hyvitykset, jotka saadaan, kun peltoon levitetyn lannan, hävikkirehun tai käsittelyjäännöksen ravinteilla korvataan mineraalilannoitteita. Laskennassa otettiin huomioon ympäristökörvausjärjestelmän mukaiset lannoitusrajat lantapoikkeuksineen (ks. Liite 3). Fosforin mukaisesti viljavuusluokaksi oletettiin "tyydyttävä".

Orgaanisten lannoitteiden liukoinen tyyppi korvaa kokonaisuudessaan mineraalityppeä, joten siinä typpihyvitys lasketaan koko liukoisen tyypin määrän pohjalta. Fosforilla otetaan huomioon lanta-poikkeuksen mahdollistava lantafosforin suurempi käyttö verrattuna tilanteeseen, jossa lannoitetaan kokonaan tai osittain mineraalifosforilla, ja joka vertautuu kasvien todelliseen ravinnetarpeeseen. Sen vuoksi hyvitystä ei voida laskea koko lantafosforimäärälle, vaan se on lietalannalle ja käsittelyjäänökselle 75 % näiden levitettävästä fosforimäärästä. Hävikkirehukompostille hyvitys on kuitenkin 100 %, koska se levitetään perustettavalle nurmelle, jonne levitetään myös mineraalifosforia, eikä lanta-poikkeusta voida käyttää.

Orgaanisten lannoitteiden kalium korvaa myös vain osittain mineraalilannoitteiden kaliumia, koska kaikissa vaihtoehdoissa orgaanisissa lannoitteissa maahan tulee kaliumia enemmän kuin kasvien kannalta on tarpeen. Perustilanteessa hyvitys lasketaan 50 %:lle lietalannan kaliumia ja 20 %:lle hävikkirehukompostin kaliumia. Vaihtoehdoissa 1 ja 2 hyvitysprosentti lasketaan 60 %:lle käsittelyjäännöksen kaliumia.

### Energiakorvaavuudet

Vaihtoehdossa 1 biokaasulla tuotetaan vain lämpöä, joten korvausta saadaan ainoastaan olemassa olevan hakelämmityksen korvaamisesta biokaasulla tuotetulla lämpöenergialla. Tästä saadaan hie-man ilmastohyötyjä, koska hakkeen hankintaprosessin fossiiliset CO<sub>2</sub>-päästöt vältetään.

Vaihtoehdossa 2 biokaasu hyödynnetään CHP-laitoksessa, ja tuotetulla sähköllä korvataan marginaalisähköä, joka Suomessa on fossiilisella polttoaineella tuotettua.

### **Ympäristövaikutusten arviointi**

Varsinaista ympäristövaikutusten tarkastelua hankkeessa ei tehty, sillä vaihtoehtojen välisiä ympäristövaikutuseroja tarkasteltiin vesiin kohdistuvan typpi- ja fosforipäästöpotentiaalin ja ilmaan kohdistuvien ammoniakki- ja kasvihuonekaasupäästöjen kautta. Kasvihuonekaasupäästöt (fossiilinen CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) tosin muutettiin hiilidioksidiekvivalenteiksi käyttämällä IPCC:n oletuskertoimia (Taulukko 10) vertailun helpottamiseksi.

**Taulukko 10.** Ilmastovaikutuksen laskennassa käytetyt CO<sub>2</sub>-ekvivalenttikertoimet (Myhre ym. 2013).

Yhdiste	GWP 100
Hiilidioksidi, fossiilinen (CO <sub>2</sub> )	1
Metaani (CH <sub>4</sub> )	28
Dityppioksidi (N <sub>2</sub> O)	265

#### 2.2.5.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

### **Inventaarioanalyysin tulokset**

Ilmaan kohdistuvat lannankäsittelyvaiheittaiset päästöt perustilanteessa erikseen lannalle ja hävikkirehulle on esitetty taulukoissa 11 ja 12 (per 1000 kg massaa), ja kyseisten massojen päästöt yhteensä per 1000 kg lannan ja hävikkirehun seosta niiden muodostumisen suhteessa (=toiminnallinen yksikkö) on esitetty taulukossa 13. Taulukoissa 14-16 on esitetty vastaavat tulokset vaihtoehdoille 1 ja 2.

Vesistökuormitusarvioinnin tulokset esitetään absoluuttisten huuhtoutumalukujen sijasta sanallisesti kuormituspotentiaalin näkökulmasta. Määrällisiä arvioita ei lopulta kyetty esittämään, koska käytettyjen mallien ei katsottu pystyvän ottamaan tarpeeksi hyvin huomioon lannasta aiheutuvaan kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä.

**Taulukko 11.** Lietelannan käsittelyketjussa muodostuvat päästöt ilmaan perustilanteessa (kg/1000 kg lantaa eläinsuojasta).

	Eläin- suoja	Varastointi	Levitys	Kuljetus pellolle	Levitys, konetyö	Yhteensä
NH <sub>3</sub>	0,461	0,143	0,199	0,000	0,000	0,803
N <sub>2</sub> O	0,002	0,019	0,061	0,0001	0,0001	0,082
NO	0,0004	0,0003	0,012	0,015	0,013	1
CO <sub>2</sub> fossiilinen				2,048	2,244	4,292
CH <sub>4</sub>	0,199	3,781		0,003	0,003	3,986
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvasta tyypestä	0,006	0,002	0,001			0,009
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtoutuvasta tyypestä			Noin 0,003			Noin 0,003

**Taulukko 12.** Hävikkirehun kompostoinnista ja levityksestä aiheutuvat päästöt ilmaan (perustilanne ja vaihtoehto 1; kg/1000 kg tuoretta hävikkirehua).

	Kompos- tointi	Levitys	Kuljetus pellolle	Levitys, konetyö	Yhteensä
NH <sub>3</sub>	0,733	0,161	0,000	0,000	0,894
N <sub>2</sub> O	0,171	0,131	0,0001	0,0001	1,302
NO		0,027	0,019	0,027	0,073
CO <sub>2</sub> fossiilinen			2,611	3,004	5,615
CH <sub>4</sub>	2,246		0,004	0,005	2,255
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvasta tyypestä		0,020			0,020
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtoutuvasta tyypestä		Noin 0,003			Noin 0,003

**Taulukko 13.** Lannankäsittelyketjussa ja hävikkirehukompostin käsittelyssä muodostuvat päästöt ilmaan yhteensä perustilanteessa (kg/1000 kg lantaa+hävikkirehua eläinsuojasta).

	Eläin- suoja (lanta)	Varastointi (lanta+ hävikkirehun kompostointi)	Levitys (lanta+ hä- vikkirehu)	Kulje- tus pellolle	Levitys, kone- työ	Yhteensä (lanta+ hävik- kirehu)
NH <sub>3</sub>	0,438	0,172	0,197	0,000	0,000	0,807
N <sub>2</sub> O	0,002	0,027	0,064	0,0001	0,0001	0,093
NO	0,0004	0,0002	0,0128	0,0141	0,0122	0,040
CO <sub>2</sub> fossiilinen				1,945	2,132	4,077
CH <sub>4</sub>	0,189	3,704		0,003	0,003	3,899
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvas- ta tyypestä	0,006	0,002	0,001			0,009
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtou- tuvasta tyypestä			Noin 0,003			Noin 0,003

**Taulukko 14.** Vaihtoehdossa 1 muodostuvat päästöt ilmaan lannan ja sen käsittelyjäännöksen eri käsittelyvaiheissa (kg/1000 kg lantaa eläinsuojasta).

	Eläin- suoja (lanta)	Biokaasu prosessi (lanta)	Varastointi (käsittely- jäännös)	Levitys (käsittely- jäännös)	Kuljetus pellolle	Peltolevitys, konetyö	Yhteensä
NH <sub>3</sub>	0,461		0,179	0,329	0,000	0,000	0,969
N <sub>2</sub> O	0,002			0,058	0,0001	0,0001	0,060
NO	0,0004		0,0004	0,012	0,021	0,013	0,047
CO <sub>2</sub> fossiilinen					2,899	2,224	5,123
CH <sub>4</sub>	0,199	0,181	2,308		0,005	0,003	2,696
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvasta typestä	0,006		0,002	0,004			0,012
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtoutuvasta typestä				Noin 0,003			Noin 0,003

**Taulukko 15.** Lannan ja sen käsittelyjäännöksen sekä hävikkirehukompostin käsittelyssä muodostuvat päästöt ilmaan ja vesiin **yhteensä** vaihtoehdossa 1 (kg/1000 kg lantaa+hävikkirehua eläinsuojasta).

	Eläin- suoja (lanta)	Biokaasu prosessi (lanta)	Varastointi (käsittelyjäännös; sis. hävikkirehun kompostoinnin)	Levitys (käsittelyjäännös+komposti)	Kuljetus pellolle	Peltolevitys, konetyö	Yhteensä
NH <sub>3</sub>	0,438		0,207	0,313	0,000	0,000	0,957
N <sub>2</sub> O	0,002		0,009	0,055	0,0001	0,0001	0,066
NO	0,0004		0,0003	0,012	0,020	0,012	0,044
CO <sub>2</sub> fossiilinen					2,754	2,113	4,867
CH <sub>4</sub>	0,189	0,172	2,305	-	0,004	0,003	2,673
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvasta typestä	0,006	-	0,002	0,004			0,012
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtoutuvasta typestä				Noin 0,003			Noin 0,003

**Taulukko 16.** Vaihtoehdossa 2 muodostuvat päästöt ilmaan ja vesiin lannan, hävikkirehun ja niiden käsittelyjäännöksen eri käsittelyvaiheissa (kg/1000 kg lantaa + hävikkirehua eläinsuojasta).

	Eläinsuoja (lanta)	Biokaasuprosessi (lanta+hävikkirehu)	Varastointi (käsittely- jäännös)	Levitys (käsittely- jäännös)	Kuljetus pellolle	Peltolevitys, konetyö	Yhteensä
NH <sub>3</sub>	0,438		0,186	0,342	0,000	0,000	0,966
N <sub>2</sub> O	0,002		-	0,061	0,0001	0,0001	0,063
NO	0,0004		0,0004	0,013	0,021	0,013	0,048
CO <sub>2</sub> fossiilinen					2,862	2,196	5,058
CH <sub>4</sub>	0,189	0,207	2,295		0,005	0,003	2,699
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvasta typestä	0,006		0,002	0,004			0,012
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtoutuvasta typestä				Noin 0,003			Noin 0,003

### Muutokset ravinnekuormituspotentiaalissa

Peltoon levitetystä lanta-, hävikkirehu- ja käsittelyjäännöstonnista vesiin kohdistuvaa typpi- ja fosforipäästöjen määrää arvioitiin empiirisillä malleilla (luku 2.2.5.2). Lukuun ottamatta hävikkirehun ravinteiden levityskäytännössä tapahtuvia muutoksia (kuvattu alempana), tilan lannoitusstrategiassa ei oletettu tapahtuvan muutoksia, kun perustilanteesta siirrytään vaihtoehtoihin 1 ja 2. Siten esimerkiksi syyslevitettävän lannan osuus on kaikissa tapauksissa vakio. Lannoituksessa lannan tyyppi on kaikis-

sa tapauksissa levitysmääriä rajoittava tekijä. Biokaasuprosessissa käsiteltävän massan typen liukoisuus kasvaa, minkä seurauksena tarkasteltavan lantatonnin kuormituspotentiaali sekä lisääntyy että pienenee. Lisääntyminen johtuu siitä, että mitä suurempi on lantatonnin liukoisen typen pitoisuus, sitä suurempi on välittömästi huuhtoutumiselle alttiin typen määrä. Kuormituspotentiaalia puolestaan vähentää se, että liukoistumisen seurauksena lantatonnin orgaanisen typen määrä vähenee, mikä vähentää kasvukauden ulkopuolella mineralisoituvan ja siksi herkästi kokonaan huuhtoutuvan typen määrää. Lannan typen liukoistuminen vähentää typpikuormitusta myös toista kautta: kun lantatonnin liukoisen typen määrä lisääntyy, korvataan tuolla lisääntyneellä liukoisen typen määrällä mineraalityppeä. Peltoon levitetyn mineraalityppikilon kuormituspotentiaali on liukoista lantatyyppikiloa suurempi, koska mineraalitypeistä haihtuu ammoniakkinen ilmaan huomattavasti pienempi osuus verrattuna lannan liukoisesta tyyppistä haihtuvaan osuuteen.

Lantatonnin typpihuuhtoutumapotentiaalia lisää	Lantatonnin typpihuuhtoutumapotentiaalia pienentää
Lannan typen mineralisoituminen biokaasuprosessissa: välittömästi huuhtoutumiselle alttiin typen määrä kasvaa	Lannan typen mineralisoituminen biokaasuprosessissa: orgaanisen typen määrä vähenee => kasvukauden ulkopuolella mineralisoituvan typen määrä vähenee
	Lantatypen liukoisuuden lisääntymisen seurauksena lannan tyypellä korvataan mineraalityppeä. Koska lannan liukoisesta tyyppistä suurempi osuus haihtuu ilmaan kuin mineraalitypeistä, huuhtoutumalle alttiin typen määrä maaperässä pienenee.

Vaihtoehtoissa oli lisäksi mukana myös muutokset hävikkirehun käsittelyssä (vaihtoehto 2). Sen kohdalla tilanne oli lantaa monimutkaisempi, koska biokaasuvaihtoehdossa myös osa hävikkirehun tyyppistä levitettiin syksyllä, kun puolestaan perustilanteessa kaikki typpi levitettiin keväällä. Lisäksi hävikkirehun typpi levitettiin biokaasuvaihtoehdossa kokonaisuudessaan nurmelle perustilanteen perustettavan nurmen sijasta. Sen seurauksena perustettavan nurmen typpihuuhtoutumapotentiaali kasvoi, koska sen lannoituksessa siirryttiin kokonaisuudessaan mineraalityppilannoitukseen, jonka typpikuormituspotentiaali oli pienestä typpihaihtumasta johtuen hävikkirehun liukoista tyyppiä suurempi. Toisaalta tuon vaikutuksen kumoaa sama ilmiö hävikkirehun typen uudessa levityskohteessa säilörehunurmella: hävikkirehun liukoisella tyypellä korvataan mineraalityppeä, jonka kuormituspotentiaali on hävikkirehun liukoista tyyppiä suurempi pienemmästä typen haihtumisesta johtuen. Kuormituspotentiaalia kuitenkin pienentää se, että hävikkirehun typpi liukoistuu biokaasuprosessissa, ja uudella liukoisella tyypellä korvataan suuremman kuormituspotentiaalisen (pienemmän typen haihtumisen takia) omaavaa mineraalityppeä.

Hävikkirehutonnin typpihuuhtoutuma-potentiaalia lisää	Hävikkirehutonnin typpihuuhtoutuma-potentiaalia pienentää
Hävikkirehun typen mineralisoituminen biokaasuprosessissa: välittömästi huuhtoutumiselle alttiin typen määrä kasvaa	Hävikkirehun typen mineralisoituminen biokaasuprosessissa: orgaanisen typen määrä vähenee => kasvukauden ulkopuolella mineralisoituvan typen määrä vähenee
Biokaasuvaihtoehdossa hävikkirehun tyyppistä osa levitetään käsittelyjäännöksen mukana syksyllä (perustilanteessa kaikki levitetään keväällä).	Hävikkirehun typen liukoisuuden lisääntymisen seurauksena hävikkirehun tyypellä korvataan mineraalityppeä. Koska hävikkirehun liukoisesta tyyppistä suurempi osuus haihtuu ilmaan kuin mineraalitypeistä, huuhtoutumalle alttiin typen määrä maaperässä pienenee.
Biokaasuvaihtoehdossa hävikkirehun typpi levitetään perustettavan nurmen sijasta säilörehunurmelle: perustettavan nurmen typpilannoitus muutetaan mineraalityppiperusteiseksi, jossa suurempi kuormituspotentiaali.	Biokaasuvaihtoehdossa hävikkirehun typpi levitetään perustettavan nurmen sijasta säilörehunurmelle: säilörehunurmen typpikuormituspotentiaali pienenee, koska hävikkirehun liukoisella tyypellä korvataan suuremman kuormituspotentiaalisen omaavaa mineraalityppeä.



Edellä kuvatun perusteella ja ottaen huomioon se, että lannan ja hävikkirehun massasuhteet ovat 1:0,056 arvioidaan, että vaihtoehtojen 1 ja 2 typpikuormitus on suunnilleen yhtä suurta, ja perustilanteeseen verrattuna niiden typpihuuhtoutuma on noin 5-10 % pienempää toiminnallista yksikköä kohti tarkasteltuna.

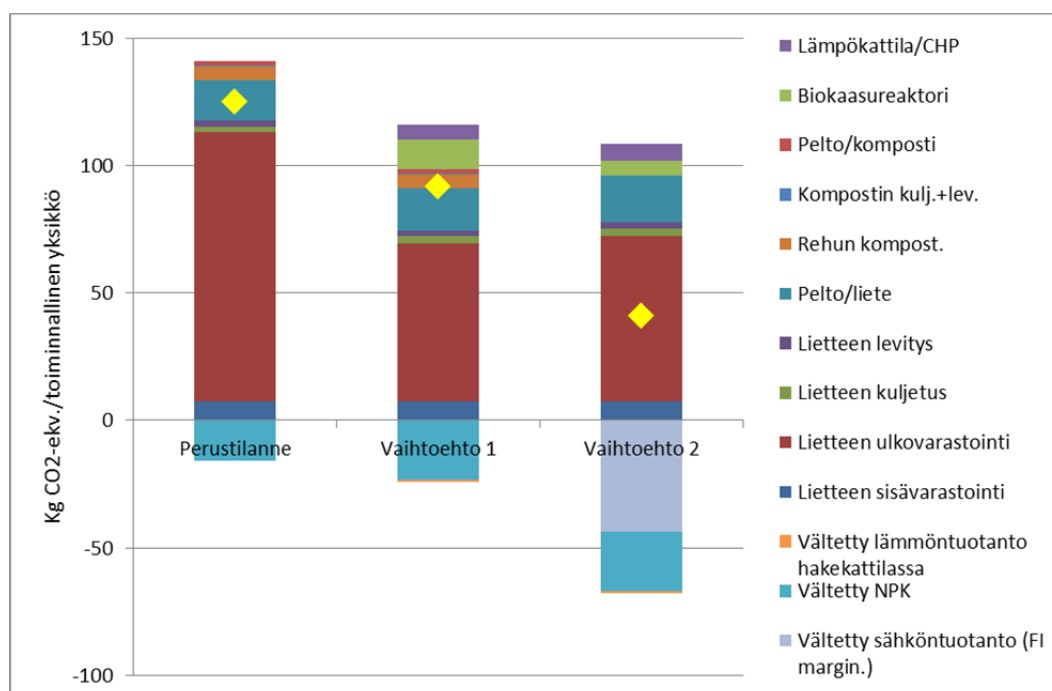
Fosforikuormitukseen ei tarkastelluilla vaihtoehdoilla katsottu olevan vaikutusta, sillä levitettävän fosforin määrä ja fosforitaseet pysyivät samoina kaikissa tapauksissa.

## Ilmastovaikutustulokset

Ilmastovaikutusarvioinnin mukaan biokaasuprosessiin perustuvat vaihtoehdot ovat ilmastovaikutukseltaan selvästi perustilannetta parempia. Varsinkin vaihtoehdon 2 suuri päästökorvaavuushyöty fossiiliseen polttoaineeseen perustuvan marginaalisähkötuotannon välttämisestä lisää vaihtoehdon nettovaikutuksen eroa perustilanteeseen nähden (Kuva 10). Muilta osin ilmastovaikutuseroa selittää erot ulkovarastoinnin metaanipäästöissä. Prosessoimattoman lietalannan metaanipäästöt tonnia kohti ovat selvästi suuremmat kuin biokaasuprosessin läpikäyneen jäännöksen päästöt, vaikka varastointiaika on molemmissa oletettu samanpituisiksi. Biokaasulaitoksesta ja kaasun energiakäytöstä vapautuvat metaanivuodot eivät tuo merkittävää päästöllistä vaihtoehtojen kokonaisilmastovaikutukseen. Metaanivuotojen lisäksi vaihtoehdon 1 biokaasureaktorin ilmastovaikutuksiin vaikuttaa reaktorin tarvitseman ostosähkön tuotannon päästöt.

Massojen peltokäytöstä aiheutuvat päästöt muodostuvat pääosin levitetystä tyypestä vapautuvasta dityppioksidipäästöistä ja ovat suunnilleen samansuuriset kussakin vaihtoehdossa koska levitettävän kokonaistypen määrät ovat suunnilleen samat. Peltolevityksen konetyön ja kuljetusten päästöt eivät ole kokonaisuuden kannalta merkityksellisiä.

Biokaasuvaihtoehdoissa saadaan perustilannetta suuremmat lannoitekorvaavuuksista peräisin olevat päästöhyötykset, koska biokaasuprosessissa käsiteltävien massojen orgaanista tyypeä muuntuu liukoiseen muotoon, jolloin sama määrä käsiteltävää orgaanista massaa korvaa enemmän mineraalittyypeä.



**Kuva 10.** Perustilanteen ja vaihtoehtojen 1 ja 2 linkkariset ilmastovaikutustulokset (kg CO<sub>2</sub>-ekviv./1000 kg lantaa + hävikkirehua eläinsuojasta). Negatiiviset pylvään osat kuvaavat hyvitetävistä prosesseista saatuja ilmastohyötyjä. Keltainen vinoneliö tolpan keskellä kuvaa nettoilmastovaikutusta.

## 2.3. Johtopäätökset lypsykarjatilalle

### 2.3.1. Kannattavuus

Lypsykarjatilalle laskettiin kaksi vaihtoehtoista biokaasulaitosmallia: vaihtoehto 1, jossa tilalle tuotettiin lämpöä pelkämästä naudana lietalannasta, sekä vaihtoehto 2, jossa tilalle tuotettiin lämpöä ja sähköä lietalannasta ja hävikkisäilörehusta.

Vaihtoehdon 1 vaihtoehtoisina lämmöntuotantotapoina tarkasteltiin hake- ja öljylämpölaitosta. Biokaasulaitos oli vaihtoehdoista kallein. Biokaasulla tuotetun lämmön hinnaksi saatiin ilman investointitukea 151,70 €/MWh, hakeella 72,20 €/MWh ja öljyllä 97,40 €/MWh. Biokaasun korkeiden kustannusten vuoksi investointi pelkkään lämmöntuotantoon ei ole tilalle mielekästä, vaikka samalla saavutettaisiinkin muita hyötyjä, kuten parantunut ravinneomavaraisuus ja pienentyneet ympäristövaikutukset. Myöskään investointituki (35 %) ei parantanut kannattavuutta riittävästi hakelämpölaitokseen verrattuna.

Vaihtoehdon 2 biokaasulaitos oli investointina kalliimpi, sillä erityisesti CHP-yksikkö sekä rehun syöttölaite nostivat hintaa. Loppuratkaisu oli kuitenkin energiatehokkaampi hävikkisäilörehun käytön ja reaktorialtaan lisäeristyksen varmistavan lämmöntarpeen kattamisen myötä.

Ilman investointitukea myös vaihtoehto 2 oli hakelämpölaitosta kannattamattomampi, mutta investointituen kanssa niiden kannattavuus oli miltei sama (biokaasu 72,80 €/MWh, hake 62,80 €/MWh). Mikäli vaihtoehdossa 2 rakennetaan uusi reaktoriallas vanhan hyödyntämisen sijaan, laitoksen kokonaiskannattavuus paranee edelleen. Uusi allas ja investointituki huomioiden lämpöenergian hinnaksi saatiin biokaasulla 59,40 €/MWh, mikä oli kaikkein edullisin tapa tuottaa tilan tarvitsema lämpö. Tilan olemassa olevien rakenteiden käyttö osana biokaasulaitosta tuleekin aina arvioida tapauskohtaisesti.

Energian lisäksi biokaasulaitos mahdollistaa tilalla syntyvän hävikkirehun hyödyntämisen ja tilan ravinneomavaraisuuden parantumisen. Hävikkirehun käsittely biokaasulaitoksessa on vähemmän työtä vaativaa kuin kompostointi, ja käsittelyjäännös sisälsi 54 % enemmän kasveille suoraan käyttökelpoista ammoniumtyyppiä kuin raakalanta.

### 2.3.2. Elinkaariset ympäristövaikutukset

Biokaasuvaihtoehdot tuottavat vähemmän ilmastomuutosta kiihdyttäviä päästöjä kuin tilan nykyinen lannankäsittely, mutta riski rehevöitymistä, happamoitumista ja hiukkasvaikutusta aiheuttaviin ammoniakkipäästöihin on typen liukoistumisen myötä suurempi. Ammoniakkipäästöjä on kuitenkin helpompi vähentää kuin kasvihuonekaasupäästöjä. Kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa varsinkin varastoinnin päästöjä voidaan vähentää jopa kymmeniä prosentteja. Lannan tai muun biokaasuprosessissa käsiteltävän materiaalin typen liukoistuminen aiheuttaa sen, että kaasumaisten typpitappioiden – ennen kaikkea ammoniakkin – riski kasvaa, ja päästöjen vähentämisen tärkeys korostuu.

Lannankäsittelyssä suurin ilmastovaikutus muodostuu lannan tai käsittelyjäännöksen varastoinnin aikana metaanin vapautumisen takia. Tilan nykytoimissa tuo vaikutus on biokaasuvaihtoehtoja suurempi, koska biokaasuprosessi pienentää jäännöksen varastoinnin aikaista metaanintuotantoa raakalietteen varastointiin verrattuna. Pelkämästä biokaasuprosessilla voidaan siis merkittävästi vähentää lantaketjun ilmastovaikutusta edellyttäen, että laitoksessa viipymä on riittävän pitkä ja metaanivuodot hallitaan. Lisähyötyjä saadaan korvaushyödyistä.

Vaihtoehdon 2 nettoilmastovaikutukseen vaikuttaa suhteellisen paljon vältetystä sähköntuotannosta saatavat ilmastohyödyt. Tulokseen vaikuttaa se, että vältetyn sähköenergian on oletettu olevan ns. marginaalisähköä, joka Suomessa on fossiililla polttoaineilla tuotettua lauhdesähköä (Soimakallio 2008). Marginaalisähkön laskennassa on käytetty suurimman CO<sub>2</sub>-päästökertoimen omaavan kivihiililauhdesähkön kerrointa, joten tuloksen voidaan katsoa edustavan suurinta mahdollista päästökorvaushyötyä. Jos marginaalisähkön oletetaan olevan maakaasulauhdevoimalassa tuotettua, korva-

ushyöty on noin kolmasosa kivihiililauhdesähkön korvaushyödystä. Kummallakin tavalla laskettuna vaihtoehdon 2 saama nettoilmastovaikutustulos on muita vaihtoehtoja pienempi.

Lannoitteista saatava korvaushyöty on vaihtoehdoissa hieman nykytoimintaa suurempi, mikä johtuu typen liukoistumisesta biokaasuprosessin aikana ja siten suuremmasta mineraalitypen korvauksesta.

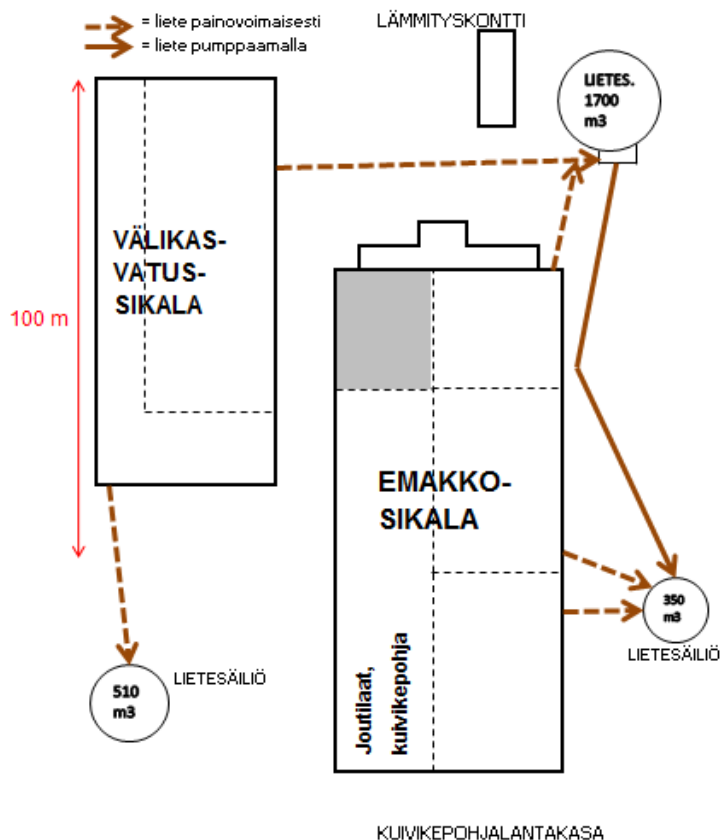
Vesistöön kohdistuvien päästöjen osalta vaihtoehdot eivät merkittävästi eronneet toisistaan. Fosforin osalta eroja ei voitu erottaa lainkaan, ja typen kohdalla kuormitusvähenemäksi oletettiin 5-10 % siirryttäessä biokaasuprosessin sisältämiin vaihtoehtoihin. Selkeämpiä eroja olisi tullut, mikäli vaihtoehdoissa 1 ja 2 biokaasuprosessin lisäämisen lisäksi olisi muutettu tarkasteltavien massojen levitysstrategiaa. Esimerkiksi jos biokaasuprosessin olisi oletettu vaikuttavan lannan levitysjankokseen ja syksyllä levitetyn lannan osuuteen, olisi vaihtoehtojen välille syntynyt selkeämpiä eroja.

### 3. Sikatilan biokaasulaitos

Toinen yksinkertainen biokaasulaitos suunniteltiin varsinaissuomalaiselle sikatilalle hyödyntäen siellä jo olemassa olevia rakenteita, kuten lietesäiliöitä ja lämpökeskusta. Laitos suunniteltiin viljelijän lähtökohdista, ts. päätavoite oli selvittää, paljonko laitosinvestointi maksaisi, millaisia lisäinvestointeja tarvitaan, kannattaisiko biokaasulaitoksen hankinta verrattuna vaihtoehtoisiin lämmöntuottotapoihin (hake, öljy) ja millaisia ympäristövaikutuksia biokaasutuotantoon siirtymisellä tilalla olisi. Seuraavassa esitellään esimerkkitalan toiminnot ilman laitosta, laitossuunnitelma teknisine ratkaisuineen, laitoksen kannattavuus sekä laitoksen ympäristövaikutukset verrattuna tilan nykyiseen lannankäsittelyyn.

#### 3.1. Sikatilan nykytoiminnot

Tarkastellulla sikatilalla on kaksi erillistä sikalarakennusta, joista toisessa pidetään vain vierotettuja porsaita (välikasvattamo) ja toisessa emakoita porsaineen (emakkosikala; Kuva 11). Emakoita on 1100 ja vieroitettuja porsaita 4300 ilman tuotantotaukoja. Emakoista keskimäärin 250 on porsituksessa, ts. pienten porsaiden kanssa, 430 joutilaina ja 420 astutettavana/siemennyksessä.



**Kuva 11.** Tilan nykyinen asemapiirros, jossa näkyy eläinsuojien, lietelinjojen ja lietesäiliöiden sijainti.

Molemmissa eläinsuojissa on osaritulälattiat, joilta lanta päätyy 1172 m<sup>3</sup> lantakuiluun. Kuilu tyhjennetään noin kerran kuussa täysin, mutta lantaa siirretään käytännössä kahdesti viikossa. Emakkosikalan lietelanta siirtyy painovoimaisesti viemärin kautta välikaivoon tilan 1700 m<sup>3</sup> säiliön yhteyteen ja välikasvattamon liete painovoimaisesti suoraan 510 m<sup>3</sup> säiliöön. Lisäksi emakkosikalassa käytetään osin patoluukkuja, joiden avulla osa lietelannasta johdetaan painovoimaisesti 350 m<sup>3</sup> säiliöön. Lietelantaan johdetaan osastojen painepesun vedet, noin 420 m<sup>3</sup>/vuosi.

Emakkolassa on myös erillinen alue joutilaille emakoille kestokuivikepohjalla. Kuivikkeena käytetään purua tai pellettiä (100 m<sup>3</sup>/vuosi) sekä virikkeenä olkea (50 m<sup>3</sup>/vuosi). Kuivikepohjalanta siirretään aika-ajoin omaan lantalaansa emakkosikalan päädyssä.

Olemassa olevat lietesäiliöt ovat eristämättömiä, mutta pääosin maan alla (korkeudesta maan pinnalla 30–40 cm). Kaikki kolme sikalan yhteydessä olevaa säiliötä on kattamattomia. 350 m<sup>3</sup> säiliö on rakennettu vuonna 2001 kolmen metrin betonielementeistä. Se täytetään osin lietepinnan alta ja osin pumpulla päältä. Säiliössä on 7 kW pystysekoitin. 510 m<sup>3</sup> säiliö rakennettiin vuonna 2005 neljän metrin betonielementeistä. Se täytetään lietepinnan alta ja siinä on 11 kW pystysekoitin. 1700 m<sup>3</sup> säiliö rakennettiin vuonna 1996 neljän metrin betonielementeistä. Täyttö tapahtuu lietepinnan alta. Säiliötä ei tällä hetkellä käytetä, mutta sen kyljessä sijaitsee välikaivo, josta lietelantaa siirretään 350 m<sup>3</sup> säiliöön 15 kW pumpulla.

Lisäksi tilalla on kolme etäsäiliötä: vuonna 2008 rakennettu 2500 m<sup>3</sup> säiliö (4 km tilakeskuksesta, 4 m betonielementit, pressukate), vuonna 2012 rakennettu 2500 m<sup>3</sup> säiliö (9 km tilakeskuksesta, 4 m betonielementit, ei katetta) ja 1200 m<sup>3</sup> säiliö (15 km tilakeskuksesta). Kaikki etäsäiliöt täytetään rekasta lietepinnan päältä ja sekoitetaan ennen peltolevitystä traktorikäyttöisellä pumppu- tai potkurisekoittimella. Lietteen varastokapasiteetti riittää 10 kk/vuosi.

Liete levitetään tilan pelloille 210 hv traktorilla ja kaksoiskiekkomultaimella, jonka työleveys on 8 m ja lietesäiliön tilavuus 16,5 m<sup>3</sup>. Liete levitetään pääosin keväällä mullokselle ja osin sänkeen. Oraille ei levitetä, sillä multain rikkoisi kasvuston. Syysviljoille levitetään vain hieman sänkeen. Tilalla on käytössä noin 200 ha peltoa, joilla viljellään pääosin rehuviljaa, hieman sokerijuurikasta ja noin 15 % öljykasveja.

Sikalat lämmitetään kevyellä polttoöljyllä, jota kului vuonna 2012 93 000 litraa. Kustannus on vaihdellut luokassa 0,60-0,80 €/litra. Lämmityksen työajan kulutus arviointiin noin tunniksi kuukaudessa. Asemapiirroksessa näkyy käytössä oleva 600 kW lämpökontti. Lisäksi sikalan nurkassa on 280 kW kattila, jonka yhteydessä on myös varavoimakone. Tilan täytyy uusia lämmitysratkaisu lähivuosiina. Lämpöä voisi käyttää enemmänkin, jotta ilmanvaihtoa saisi parannettua.

Vuonna 2012 tilan sähkönkulutus oli 580 000 kWh. Varavoimana on itsenäinen aggregaatti.

## 3.2. Sikatilan biokaasulaitos

Esimerkkitalalle suunniteltiin yksinkertainen, tilan olemassa olevia rakenteita hyödyntävä biokaasulaitos. Laitosratkaisun päätavoitteina olivat:

- yksinkertaistettu ja täten edullinen laitosratkaisu
- tilan lämmöntarpeen kattaminen lannan avulla
- tarvetarkastelu tarjolla olevan HVP-nurmen hyödyntämiseen
- ravinteiden tehokkaampi hyödyntäminen, erit. lannan typen tehostaminen
- tilan ympäristövaikutusten vähentäminen

Laitosratkaisuja suunniteltiin lopulta yksi, jossa sikatilan liete- ja kuivikepohjalannat johdettiin biokaasuprosessiin. Koska pelkkien lantojen laskettiin kattavan sikalan lämmöntarve, ei alueella saatavilla olevia HVP-nurmia (20 ha alalta) sisällytetty tarkasteluun. Periaatteessa niitä voisi laitoksessa hyödyntää ja täten tarjota selkeä käyttökohde muutoin yleensä vajaahyödynnetylle materiaalille. Nurmi nostaa laitoksen energiantuottoa siinä määrin, että mahdollisesti biokaasusta olisi tällöin syytä tuottaa sähköä ja lämpöä pelkän lämmön sijaan. Tätä vaihtoehtoa ei kuitenkaan hankkeessa tarkasteltu.

### 3.2.1. Laitoksen syötteiden sekä käsittelyjäännöksen määrä ja laatu

Laitoksen syötteenä käytettiin ainoastaan tilalla muodostuvat lannat, välikasvattamon lietelanta, emakkosikalan lietelanta sekä emakkosikalan kuivikepohjalanta.

Lietelannan ominaisuudet arvioitiin laskennallisesti hyödyntäen vuoden 2013 erityslaskentaa (J. Nousiainen/Luke) ja Suomen normilanta -hankkeessa luotua laskentapohjaa. Laskenta tuotti keskimääräiset lietelannan ominaisuudet esimerkkitalan eläinmäärillä. Kuivikepohjalannan ominaisuudet ovat Viljavuuspalvelun lanta-analyysituloksista vuosilta 2005-2009 (Viljavuuspalvelu 2015). Orgaanisen aineen (VS) pitoisuuden arvioitiin olevan 82 % kuiva-aineesta kuten lietelannallakin (Taulukko 17). Lantojen ominaisuuksien perusteella laskettiin laitoksen kokonaissyötteen ominaisuudet sekä biokaasulaitoksessa muodostuvan käsittelyjäännöksen ominaisuudet, kuten lypsykarjatilan kohdallakin (Liite 1).

**Taulukko 17.** Sikatilan biokaasulaitoksen syötteen ja käsittelyjäännöksen ominaisuudet.

	Lietelanta	Kuivikepohjalanta	Kokonaissyöte	Käsittelyjäännös
TS (%)	5,94	30,2	8,98	6,33
VS (%)	4,84	24,8	7,34	4,64
N (kg/t)	3,70	7,50	4,18	4,30
NH <sub>4</sub> -N (kg/t)	2,40	2,20	2,37	2,99
NH <sub>4</sub> -N/N (%)	65	29	58	69
P (kg/t)	1,03	4,05	1,41	1,45
K (kg/t)	1,69	4,30	2,02	2,08

Tilalla muodostuvien lantojen määrät arvioitiin kullakin lantatyypillä olevien eläinmäärien ja keskimääräisten lannantuottojen (vähimmäislantalatilavuus, nitraattiasetus 1250/2014) perusteella (Taulukko 18). Kun kasveille käyttökelpoisen ammoniumtyyppien määrä kasvaa biokaasureaktorissa proteiinien hajoamisen ansiosta ja käsittelyjäännöstä käytetään peltojen lannoitukseen lannan sijaan, korvaa biokaasulaitoksessa muodostunut ammoniumtyppi väkilannoitetyyppeä. Biokaasulaitoksen tuottama NH<sub>4</sub>-N-lisäys laskettiin suhteessa syötteeseen (Taulukko 18). Käsittelyjäännöksessä on ammoniumtyyppeä 5838 kg enemmän kuin syötteessä.

**Taulukko 18.** Syötteen ja käsittelyjäännöksen typpimäärät ja biokaasureaktorissa syötteistä vapautuvan ammoniumtyyppien määrä raakalielantaan verrattuna (NH<sub>4</sub>-N-lisäys).

	Tuorepaino (t)	Kokonaistyyppi (kg)	NH <sub>4</sub> -N (kg)	NH <sub>4</sub> -N-lisäys (kg)
Lietelanta	9162	33897	21987	
Kuivikepohjalanta	1642	12304	3609	
Kokonaissyöte	10804	46201	25596	
Käsittelyjäännös	10485	46201	31434	5838

Lietelannan keskimääräiseksi metaanintuottopotentialiksi valittiin 250 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / t VS (Luostari-  
nen 2013), kun puukuivitetun kuivikepohjalannan metaanintuottopotentialin arvioitiin olevan selkeästi alhaisempi, 150 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / t VS (Taulukko 19). Mallinnuksen (Liite 1) perusteella biokaasureaktorissa toteutuu vuoden aikana keskimäärin 93 % syötteen metaanintuottopotentialista, eli lietelanta ja kuivikepohjalanta tuottavat yhteensä n. 156 600 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / v (alempi lämpöarvo 1566 MWh).



**Taulukko 19.** Syötteiden määrät ja metaanintuottopotentialit (BMP) sekä mallinnuksen perusteella toteutuva metaanintuotto biokaasulaitoksessa.

	Syöte (t / vuosi)	Osuus syötteestä (%)	VS- pitoisuus (%)	BMP (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / t VS)	Toteutuva metaanintuotto (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	Osuus tuotetusta metaanista (%)
Lietelanta	9162	85	5,94	250	102473	65
Kuivike- pohjalanta	1642	15	30,20	150	54116	35
Yhteensä	10804				156 600	100

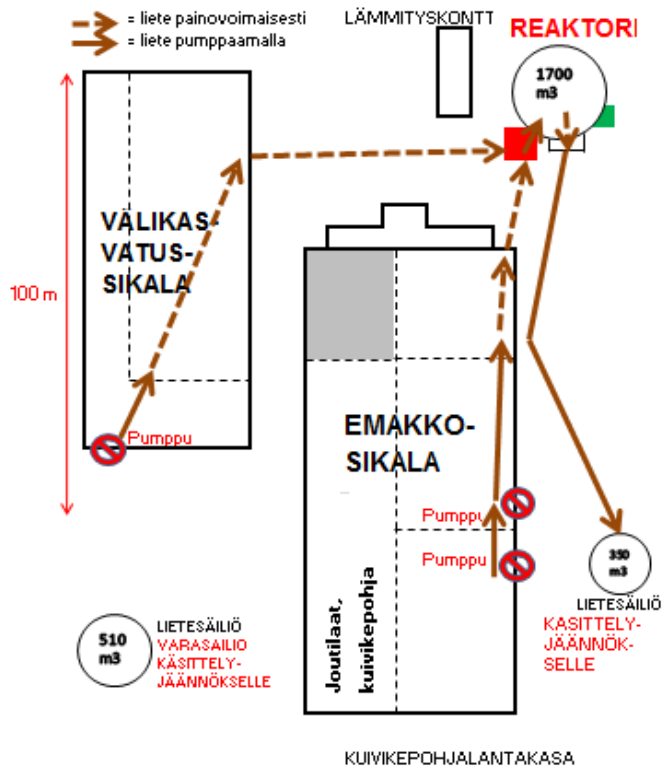
### 3.2.2. Laitoskuvaus

Sikatilan biokaasulaitoksessa hyödynnetään olemassa olevia lietesäiliöitä, lietelinjoja, sekoittimia, pumppuja ja lämpökonttia. Laitoksen perustiedot on esitetty taulukossa 20.

**Taulukko 20.** Sikatilan laitoksen perustiedot.

	Laitos
Reaktorin kokonaistilavuus (m <sup>3</sup> )	1660
Reaktorin lietetilavuus (m <sup>3</sup> )	1500
Reaktorin lämpötila (°C)	35
Viipymä (vrk)	55
Orgaaninen kuormitus (kg VS / m <sup>3</sup> vrk)	1,6
Syötteen kuiva-ainepitoisuus (%)	9,0

Biokaasulaitoksen syöttöä varten molempien sikalarakennusten eteläpuolella sijaitsevat liete-  
lannan poistoreitit tulpataan ja kaikki lietelanta siirretään kohti biokaasureaktoria rakennusten poh-  
joispuolelta. Rakennusten sisällä tapahtuvaa lietteen siirtoa varten sikaloiden tulpattavien poistopis-  
teiden läheisyyteen asennetaan pumput ja lieteputket, joita pitkin lietelanta siirretään kuiluihin, jotka  
kuljettavat lietteen pohjoispäätyjä kohti (Kuva 12). Välikasvattamossa tulpattavia poistoreittejä ja  
asennettavia pumppuja on yksi kpl, emakkolassa kaksi kpl. Molempien rakennusten pohjoispäädyistä  
liete-  
lanta siirtyy painovoimaisesti 1700 m<sup>3</sup> säiliön (biokaasureaktori) kylkeen rakennettavaan 100 m<sup>3</sup>  
kokoiseen lietesyötekaivoon (Kuva 12, punainen neliö), johon asennetaan sekoitin (2,2 kW) ja lie-  
tesyöttöpumppu (4 kW).



**Kuva 12.** Tilan asemapiirros ja tilalle rakennettava biokaasulaitos. Punainen neliö on uusi lietesyöte-kaivo. Vihreä neliö on kuivikepohjalannan syöttökaukalo.

Vanha, 1700 m<sup>3</sup> reaktorin kyljessä oleva välikaivo ottaa vastaan käsittelyjäännöksen, josta jäännös siirretään vanhalla 15 kW pumpulla 350 m<sup>3</sup> lietesäiliöön. 510 m<sup>3</sup> lietesäiliö toimii tarvittaessa käsittelyjäännöksen välivarastona ennen etäsäiliöön kuljetusta. Käsittelyjäännös voidaan kuljettaa sinne 350 m<sup>3</sup> säiliöstä imuvaunulla.

Kuivikepohjalanta kuljetetaan olemassa olevalla kalustolla uudelle, reaktorin kylkeen rakennettavalle syöttökaukalolle. Syöttökaukalosta lanta siirtyy syöttöruuvilla reaktorilietteen sekaan. Oletetaan, ettei kuivikepohjalantaa tarvitse murskata ennen syöttöä.

Reaktori rakennetaan suureen, käytöstä poistettuun 1700 m<sup>3</sup> lietesäiliöön (säde = 23 m, korkeus = 4 m; Kuva 12). Reaktorin kokonaistilavuus on n. 1660 m<sup>3</sup>, kun siihen rakennetaan teräksisen keskipylyvään sekä säiliön seiniin tulevien kiinnikkeiden varassa oleva puinen laipio. Reaktorin nestetilavuudeksi tulee noin 1500 m<sup>3</sup> (nestekorkeus 3,6 m) ja kaasutilan tilavuudeksi noin 170 m<sup>3</sup> (kaasutilan korkeus laipion alla 0,4 m). Laipion päälle, reaktorin pohjalle (sisäpuolelle) ja seiniin (ulkopuolelle) asennetaan 50 mm polystyreeni- tai uretaanieriste. Laipion päälle asennetaan kaasuhappu ja paineilmapumpulla koholla pidettävä sääsuojakupu (molemmat PVC-kangasta).

Reaktoriin asennetaan kolme 7-11 kW tehoista upposekoitinta, jotka toimivat tautetusti, optimoitulla pyörimisnopeudella. Kaksi sekoitinta hankitaan uusina (7,5 kW) ja kolmas on tilan 510 m<sup>3</sup> lietesäiliössä aiemmin ollut sekoitin (11 kW). Reaktoriliete pidetään 35 °C lämpötilassa kierto-vesilämmityksellä, joka toteutetaan asentamalla reaktorin seinälle kuusi kierrosta muovista lämminvesiputkea. Reaktorin lämmitykseen tarvittava energia tuotetaan biokaasusta kaasukattilalla, joka sijoitetaan olemassa olevaan lämpökonttiin. Biokaasu siirretään maanalaista kaasuputkea pitkin kondenssivesikaivon kautta konttiin. Loput laitoksen tuottamasta lämpöenergiasta hyödynnetään sikalan lämmöntarpeen kattamisessa.

### 3.2.3. Investoinnin kannattavuus

#### 3.2.3.1. Investointikustannukset

Sikatilan biokaasulaitosinvestointia laskettaessa käytettiin hyväksi Metener Oy:n lypsykarjatilán laitosta varten antamaa tarjousta (2.2.4.1 Investointikustannukset), Luke Maaningan biokaasulaitoksen investointitietoja (Luostarinen 2013) rakennuskustannusindeksi huomioiden sekä MMM:n määrittelemiá rakennusten ja rakennustilojen hyväksyttáviä yksikkökustannuksia. Taulukkoon 21 on koottu käytetyt investointihinnat prosessivaiheittain.

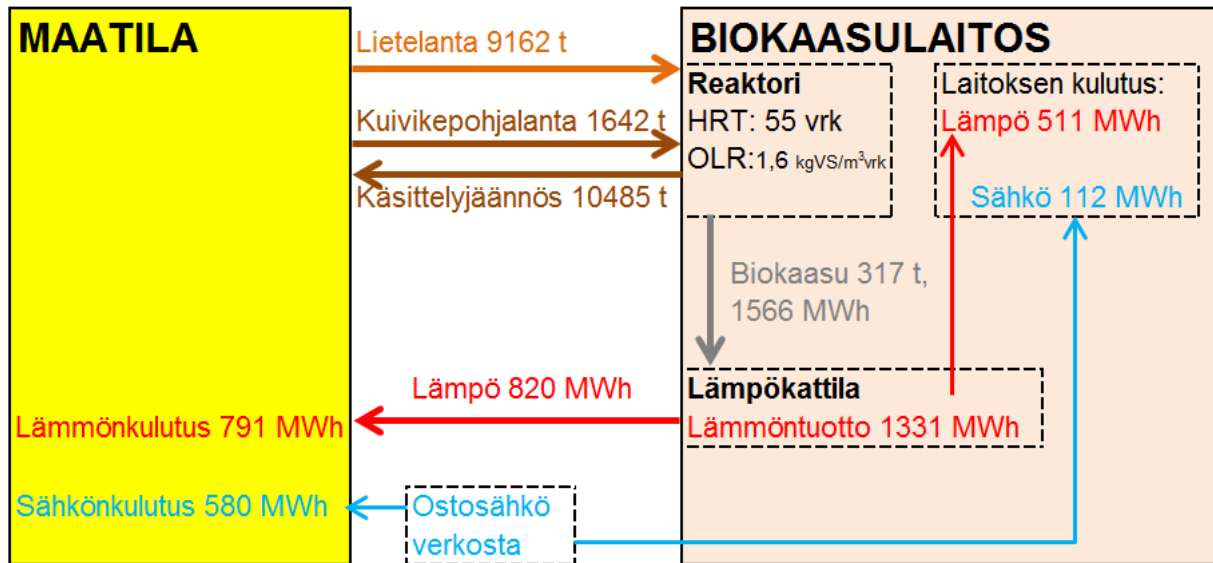
**Taulukko 21.** Sikatilan biokaasulaitoksen investointikustannukset.

Prosessivaihe	Laite	Käyttöikä	Viite
<b>Syöttömateriaalien varastot ja esisáiliöt sekä syöttölaitteet</b>			
	Syöttöpöytä kuivikepohjalannalle	10	Luke Maaninka
	Syöttökaukalo	10	Erillinen tarjous
<b>Válikasvattamo:</b>	Lieteputki (84 m) válikaivoon	20	Oma arvio
	Pumppu vanhan poistopisteen láheisyyteen	15	Metener Oy
	Válikaivo	20	Oma arvio
	Lietelinja syöttökaivoon		Kuuluu tilán varusteluun
<b>Emakkosikala:</b>	Lieteputki (103,5 m) válikaivoon	20	Oma arvio
	Kaksi pumppua vanhojen poistopisteiden láheisyyteen	15	Metener Oy
	Válikaivo	20	Oma arvio
	Lietelinja syöttökaivoon		Kuuluu tilán varusteluun
	Syöttökaivo (100 m <sup>3</sup> )	20	MMM Rakennusten ja rakennustilojen yksikkökustannuksia
	Sekoitin syöttökaivoon (upposekoitin 2,2 kW)	10	Metener Oy
	Syöttöpumppu (uppopumppu 4 kW)	15	Metener Oy
	Syöttöputki (D300) nestemáisten aineiden syötölle	20	Metener Oy
			<b>75 900 €</b>
<b>Biokaasureaktori</b>			
	Lietesáiliön (1700 m <sup>3</sup> ) tyhjennys ja pesu	10	Oma arvio
	Betonisen kaasutilán kaasutiiviyden varmistus pressulla	10	Metener Oy
	Nákölasí betoniseinään	10	Metener Oy
	Timanttíporaukset ja leikkaukset	10	Oma arvio
	Reaktorialtaan lisáeristys (50 mm polystyreeni)	10	www.taloon.com
	Reaktorin lámmitysputket RST, putkikannakkeet ja lápiviennit	10	Metener Oy
	Muovi/RST kiinnitysprofiili ja kiinnitystarvikkeet	10	Metener Oy
	Reaktorin reunavalu ja raudoitus	10	Oma arvio
	RST kehá keskitolppaan	10	Metener Oy
	Reaktorin puurakenteinen láipio + eristys (polystyreeni 50 mm)	10	Oma arvio, www.taloon.com
	Kaasuvarasto- ja sääsuojapressut	10	Metener Oy

Sääsuojan paineenpitopuhallin	10	Metener Oy
Hupun lukitusletkun kompressori ja tarvikkeet	10	Metener Oy
Kaksi sekoitinta (upposekoitin 7,5 kW) + telineet, taajuusmuuttajat	10	Metener Oy, kolmas sekoitin (11 kW) tilan oma
Reaktorin poistoyhde ja ylivaluntaputki	10	Metener Oy
Reaktorin pohjapoisto	10	Metener Oy
		<b>139 300 €</b>
<b>Jäännöksen käsittely ja varastointi</b>		
Välikaivo, pumppu ja lietelinja		Kuuluu tilan varusteluun
<b>Biokaasun keruu- ja hyödyntämislaitteet</b>		
Kaasulinja reaktorista lämpökeskukseen	10	Metener Oy
Reaktorin varoventtiili + läpivienti	10	Metener Oy
Kaasuvaraston huuhteluventtiili + läpivienti	10	Metener Oy
Lämpölinja ja tarvikkeet reaktorin lämpöpöiiriin	10	Metener Oy
Lämpökeskus & tekninen tila (kontti)		Kuuluu tilan varusteluun
Piippu	20	Metener Oy
Sähkösuunnittelu, työt ja -tarvikkeet	10	Oma arvio
Automaatio	10	Metener Oy
Kaasun metaanipitoisuuden arviointi	10	Metener Oy
Ilmapumppu (H <sub>2</sub> S poisto)	10	Metener Oy
Öljykattila (280 kW)		Kuuluu tilan varusteluun
Biokaasupoltin (Oilon GP 26.10.)	10	Metener Oy
Biokaasun paineenkorotuspuhallin	10	Metener Oy
		<b>29 000 €</b>
<b>Muut</b>		
Pihatyöt (sepelipohjainen piha 900 m <sup>2</sup> )	10	MMM Rakennusten ja rakennustilojen yksikkökustannuksia
Projektin suunnittelu ja valvonta	10	Metener Oy
Asennukset	10	Metener Oy
Ympäristölupa	10	Uuraisten kunta
		<b>42 100 €</b>
<b>Investointi yhteensä</b>		<b>286 300 €</b>

### 3.2.3.2. Muuttuvat kustannukset ja kannattavuus

Kuvaan 13 on koottu sikatilan ja biokaasulaitoksen materiaali- ja energiavirrat. Biokaasulaitoksen tuottaman metaanin energiasäiltö (alempi lämpöarvo) on 1566 MWh/v. Kaasua polttavan lämpökattilan hyötysuhde on 85 %, joten lämpöenergiaa tuotetaan 1331 MWh/v, josta 511 MWh/v menee reaktorin lämmitykseen ja loput 820 MWh/v maatilan lämmitykseen (tarve 791 MWh/v). Sähkö ostetaan verkosta kuten aikaisemminkin (maatilalle 580 MWh/v), mutta tilan sähkönkulutus kasvaa biokaasulaitoksen sähköntarpeen (112 MWh) verran (Kuva 13).



**Kuva 13.** Sikatilan laitoksen energia- ja massatase. HRT = syöttömateriaalin keskimääräinen viipymä reaktorissa, OLR = reaktorin orgaaninen kuormitus.

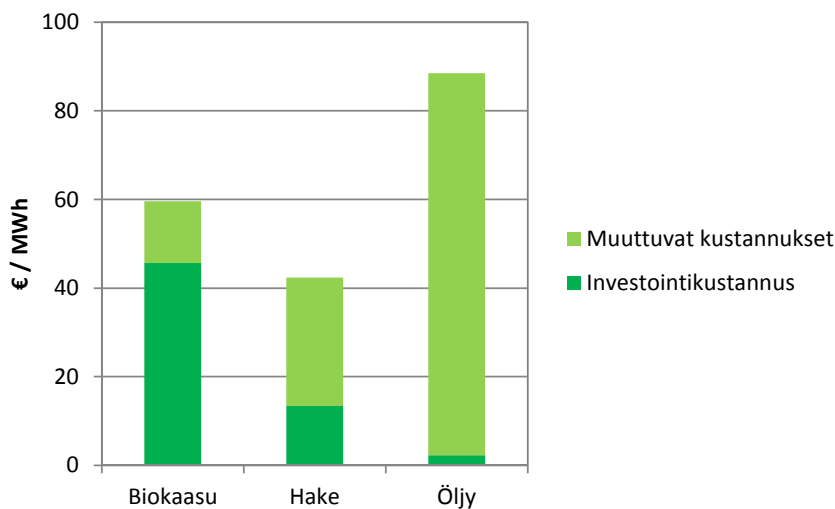
Biokaasulaitos korvasi tilan nykyisen öljylämpölaitoksen lämmön tuotannossa. Biokaasulaitoksen kannattavuutta lämmöntuotossa verrattiin myös hakelämpölaitokseen (Taulukko 22). Vaihtoehtoisten lämmöntuottotapojen kustannukset laskettiin samoin kuin karjatilan kohdalla (2.2.4.3 Vaihtoehtoiset lämmöntuottotavat). Hake- ja öljylämpölaitoksille ostetaan polttoainetta (puuhaketta tai kevyttä polttoöljyä) energiasisällöltään suurempi määrä (930 MWh) kuin mitä tila tarvitsee, koska kattilan hyötysuhteeksi oletettiin 85 %. Biokaasulaitos tuottaa tilan tarvitseman lämmön (791 MWh), mutta käyttää samalla sähköä (112 MWh), mikä huomioidaan lisääntyneenä ostosähkön määränä.

**Taulukko 22.** Lämmöntuotto sikatilalle, vuosittaiset tulot ja menot.

	Biokaasu			Hake			Öljy		
<b>SYÖTTEET</b>	<b>(t)</b>	<b>(€ / t)</b>	<b>(€)</b>						
Lanta	9 161	0	0						
Kuivalanta	1 641	0	0						
<b>JÄÄNNÖS</b>	<b>(kg)</b>	<b>(€ / kg)</b>	<b>(€)</b>						
Lannoitussäästö	5 838	0,95	5 406						
<b>YLLÄPITO</b>	<b>(h / v)</b>	<b>(€ / h)</b>	<b>(€)</b>	<b>(h / v)</b>	<b>(€ / h)</b>	<b>(€)</b>	<b>(h / v)</b>	<b>(€ / h)</b>	<b>(€)</b>
Päivittäinen työ	274	-14,10	-3 860	183	-14,10	-2 573	30	-14,10	-429
Omat huollot	18,2	-14,10	-257	0	-14,10	0	0	-14,10	0
Ostetut huollot	3,0	-55,80	-167	0	-55,80	0	0	-55,80	0
Varaosat			-1 000			-500			0
<b>Yhteensä</b>			<b>-5 284</b>			<b>-3 073</b>			<b>-429</b>
<b>ENERGIA</b>	<b>(MWh)</b>	<b>(€/MWh)</b>	<b>(€)</b>	<b>(MWh)</b>	<b>(€/MWh)</b>	<b>(€)</b>	<b>(MWh)</b>	<b>(€/MWh)</b>	<b>(€)</b>
Lämpö	791	0	0	930	-21,32	-19 856	930	-72,82	-67 725
Sähkö	112	-100,00	-11 158	0	-100,00	0	0	-100,00	0
<b>Yhteensä</b>			<b>-11 158</b>			<b>-19 856</b>			<b>-67 725</b>
<b>MUUTTUVAT YHT.</b>			<b>-11 036</b>			<b>-22 929</b>			<b>-68 154</b>
<b>INVESTOINTI</b>									
Investointi-kustannus			286 330			110 000			18 607
Tuettu investoin-tikustannus			186 115			75 000			18 607
Annuiteetti			-36 091			-10 598			-1 793
Tuettu annuiteetti			-23 459			-7 226			-1 793
<b>KAIKKI YHT. ILMAN TUKEA</b>			<b>-47 127</b>			<b>-33 526</b>			<b>-69 947</b>
<b>KAIKKI YHT. TUETTUNA</b>			<b>-34 495</b>			<b>-30 154</b>			<b>-69 947</b>

Eri vaihtoehtojen muuttuvat kustannukset saadaan laskemalla yhteen syötteiden ja käsittely-jäännöksen, ylläpitotyön sekä energiantuoton aiheuttamat kustannukset (Taulukko 22). Biokaasulaitos on käyttökustannuksiltaan (11 000 €) selkeästi edullisin vaihtoehto. Hakelämpölaitoksen muuttuvat kustannukset ovat kaksinkertaiset (22 900 €) ja öljylämpölaitoksen kuusinkertaiset (68 200 €) biokaasulaitokseen verrattuna.

Biokaasulaitoksen kannattavuutta kuitenkin heikentää korkea investointihinta. Investointituesta huolimatta, kun vuosittaisissa kustannuksissa huomioidaan sekä muuttuvat että kiinteät kustannukset, hakelämpölaitos on edullisempi. Verrattuna lypsykarjatilalla biokaasulaitoksen vaihtoehtoon 1, jossa tuotettiin vain lämpöä, sikatilalla biokaasulaitoksen kannattavuus hakkeeseen verrattuna on kuitenkin parempi. Sikatila tarvitsee enemmän lämpöä, jolloin edullisella käyttökustannuksella on suurempi merkitys. Myös tässä vertailussa öljylämmitys jää kalleimmaksi vaihtoehdoksi. Biokaasulla tuotetun lämpöenergian hinnaksi ilman investointitukea saatiin 59,60 €/MWh, hakkeella 42,40 €/MWh ja öljyllä 88,50 €/MWh (Kuva 14).



**Kuva 14.** Lämpöenergian hinta eri tuotantotavoilla. Hinnat eivät sisällä investointitukea.

Vastaavasti kuin karjatilän biokaasulaitostarkastelussa, myös sikatilalle laskettiin vaihtoehto, jossa biokaasulaitosta varten rakennetaan uusi 1 700 m<sup>3</sup> reaktoriallas (40 800 €). Huolimatta merkittävästä lisäkustannuksesta, uuden reaktorialtaan pidemmän käyttöiän myötä investoinnin annuiteetti on jonkin verran pienempi ja biokaasulla tuotetun lämpöenergian hinta laskee hieman (53,60 €/MWh). Investointituen kanssa päästään tällöin biokaasulla jo lähes samaan hintaan (39,70 €/MWh) kuin tuetun hakkeen hinta (38,10 €/MWh). Vanhalle vuonna 1996 rakennetulle altaalle arvioitiin jäljellä olevaa käyttöikää 10 vuotta ja uudelle altaalle 20 vuotta vastaavasti kuin karjatilän tarkastelussa. Sekä karja- että sikatilalla reaktorialtaiksi valitut lietealtaat olivat tilän vanhimpia (rakennettu vuosina 1995 ja 1996). Jos tilalta olisi löytynyt sopivan kokoinen uudempi allas, olisi sen käyttö reaktorialtaana saattanut olla kannattavaa.

### 3.2.4. Elinkaariset ympäristövaikutukset

#### 3.2.4.1. Tausta ja tavoite

Tavoitteena oli arvioida tilakohtaisen biokaasulaitoksen käyttöönottamisesta aiheutuvat muutokset tilan lantaketjun elinkaarisisissa ympäristövaikutuksissa sikatilalla. Työssä verrattiin biokaasun tuotantoon perustuvaa järjestelmää kaasun ja käsittelyjäännöksen hyödyntämiseen tilan nykyiseen lannankäsittelyyn.

Tilakohtaisen biokaasulaitoksen aiheuttamat suurimmat muutokset lannankäsittelyketjun elinkaarisisissa ympäristövaikutuksissa liittyvät tuotetun biokaasun energiahyödyntämiseen ja sen tuottamiin ympäristöhyötyihin, ja lannan ominaisuuksien muuttumiseen biokaasuprosessin aikana seurannaisvaikutuksineen.

#### 3.2.4.2. Menetelmät

##### **Yleinen menetelmäkuvaus**

Arvioinnissa käytetty menetelmä noudatti lypsykarjatilaaesimerkissä luvussa 2.2.5 kuvattua menetelmää.

##### **Tavoite ja soveltamisala**

Arvioinnin tarkoitus

Työn tarkoituksena oli arvioida tilakohtaisen biokaasulaitoksen käyttöön ottamisesta aiheutuvat muutokset tilan lantaketjun elinkaarisisissa ympäristövaikutuksissa sikatilalla.



Työssä verrattiin yhtä biokaasuvaihtoehtoa tilan nykyiseen lannankäsittelyketjuun ilman biokaasun tuotantoa.

### Toiminnallinen yksikkö

Toiminnallisena yksikkönä oli 1 tonni sian lietalannan ja kuivikepohjalannan seosta eläinsuojasta samassa massasuhteessa kuin niitä muodostuu: 85 % lietalantaa (9162 tonnia), 15 % kuivikepohjalantaa (1641 tonnia).

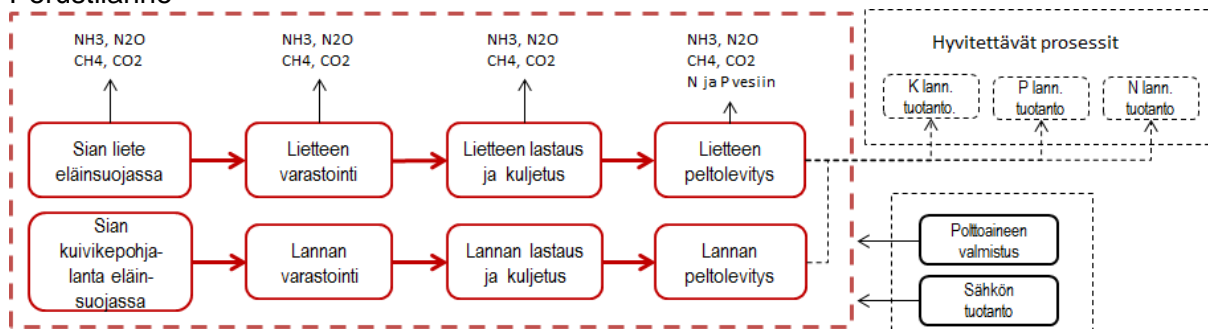
### Järjestelmä ja sen rajaukset

Tässä tutkimuksessa oli tarkasteltavana perustilanteen (tavanomaiset lietalannan ja kuivikepohjalannan käsittelyketjut) rinnalla yksi biokaasutukseen perustuva lannan käsittelyvaihtoehto, jossa tilan kaikki liete- ja kuivikepohjalanta johdetaan biokaasureaktoriin. Tuotettu kaasu käytetään lämmön tuottamiseen, ja käsittelyjäännös käytetään lannoitteena tilan pelloilla. Jäännöksestä 90 % levitetään varastoinnin jälkeen kaksoiskiekkomultaimella mullokselle ennen ohran kylvöä keväällä. 10 % jäännöksestä levitetään kaksoiskiekkomultaimella syksyllä sängelle.

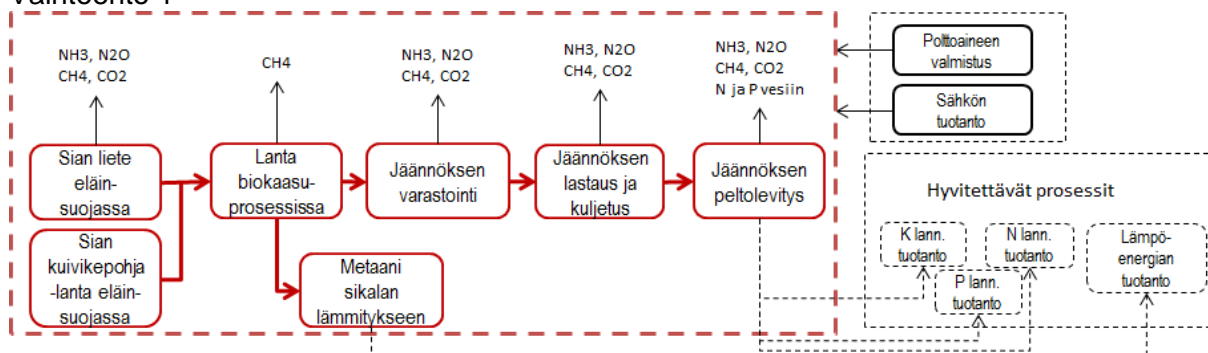
Nykytilanteessa 90 % lietalannasta levitetään varastoinnin jälkeen kaksoiskiekkomultaimella käsittelemättömänä mullokselle ennen ohran kylvöä keväällä. 10 % lietalannasta levitetään kaksoiskiekkomultaimella syksyllä sängelle. Kuivikepohjalannasta 90 % levitetään keväällä pinalannoituksena mullokselle ennen ohran kylvöä ja mullataan äestämällä 12-24 tunnin sisällä levityksestä. 10 % kuivikepohjalannasta levitetään syksyllä sängelle ja mullataan 12-24 tunnin sisällä levityksestä kynämällä tai kultivoimalla.

Tarkasteluun sisällytettiin suoraan päätuotejärjestelmiin (lannankäsittelyketjut) liittyvät muut oleelliset tuotejärjestelmät, joita ovat energian (sähkö, lämpö) ja mineraalilannoitteiden tuotanto (Kuva 15). Lietalannan käsittely eläinsuojassa oli kaikissa vaihtoehdoissa samanlainen, mutta myös se sisällytettiin tarkasteluun, jotta nähtäisiin siitä aiheutuvat ympäristövaikutukset suhteessa käsittelyketjun muiden osien vaikutuksiin.

### Perustilanne



### Vaihtoehto 1



**Kuva 15.** Systemirajaukset perustilanteessa ja vaihtoehdossa 1. Elinkaariarviointiin sisällytettiin katkoviivalla erotetut osaprosessit.

## Laskennassa käytettyjen tietojen lähteet ja laskentatavat

Päästöjen arvioiminen lannankäsittelyketjun eri vaiheissa pohjautui samoihin menettelytapoihin kuin Baltic Manure –hankkeessa (Hamelin ym. 2013), ja mahdollisuuksien mukaan hyödynnettiin ko hankkeessa lihasikojen lannan käsittelyketjuille käytettyjä päästöjen laskentamenetelmiä. Käytännössä kaikki muut päästöt kuin ammoniakkipäästöt laskettiin ko hankkeessa esitettyjä menetelmiä käyttäen, jotka noudattavat IPCC:n ja EMEP/EEA:n päästölaskentaohjeita. Ammoniakkipäästöjen arvioinnissa hyödynnettiin kansallista maatalouden tyypimallia (Grönroos ym. 2009). Päästölaskelmien pohjana toimivat lietalannalla laskennalliset ominaisuustiedot ja kuivikepohjalannalla lanta-analyytitietoihin perustuvat lannan ominaisuustiedot (Taulukko 17), sekä tiedot lannankäsittelymenetelmästä esimerkkitilalla. Käsittelyjäännöksen ominaisuudet (vaihtoehdossa 1) perustuivat jäännöksen laskennallisiin ominaisuustietoihin (Taulukko 17) ja oletuksiin jäännöksen käsittely- ja levitystavoista.

Laskennassa tukeuduttiin liitteessä 4 esitettyihin lannoitusstrategioihin, joissa on nähtävissä annettujen ravinteiden määrät ja levityskohteet. Mukaan on fosforin tasauksen ja syksyllä levitetyn typen takia otettu lannan ja käsittelyjäännöksen levitystä seuraavan vuoden (vuosi 2) lannoituskäytännöt, jotta saadaan käsitys lannan- ja käsittelyjäännöksen levityksen vaikutuksista lannoituskäytäntöihin ja ravinnekuormituspotentiaaliin myös levitystä seuraavana vuonna. Levitysstrategioissa on huomioitu ympäristökorvausjärjestelmän mukaiset viljan (ohra) fosfori- ja typpilannoitusrajat. Fosforitasaus on tehty kahdelle vuodelle, ja lannoituksessa sovellettiin ns. lantapoikkeusta. Peltojen fosforin mukaiseksi viljavuusluokaksi oletettiin ”hyvä”. Lannan ja käsittelyjäännöksen levitysmääriä rajoittaa lannassa levitettävän fosforin määrä, jolloin lannassa tullut typpivaje on korvattu mineraalitypellä. Syksyllä levitetty lannan ja käsittelyjäännöksen tyyppi otetaan täysimääräisesti huomioon seuraavan kevään lannoituksessa. Tarkastelussa lannan levitystä syksyllä ei siis seurannut syysvilja, vaan seuraavana keväänä kylvetty ohra. Lannan ja käsittelyjäännöksen levityksestä aiheutuvien päästöjen arvioinnissa käytettiin päästökorjattuja ominaisuustietoja, missä on otettu huomioon varastoinnin aikaisten kaasumaisten tappioiden vaikutukset ravinnepitoisuuksiin (Taulukko 23).

**Taulukko 23.** Tarkastelussa käytetyn sianlietalannan, kuivikepohjalannan ja käsittelyjäännöksen ominaisuustiedot levitettäessä (=päästökorjatut ominaisuudet, jossa huomioitu varastoinnin aikaisten pitoisuusmuutokset).

	Lietelanta (Perustilanne)	Kuivikepohjalanta (Perustilanne)	Käsittelyjäännös (Vaihtoehto 1)
TS (%)	4,9		
N (kg/t)	3,22	7,5	4,01
NH <sub>4</sub> -N (kg/t)	2,09	2,2	2,7
P (kg/t)	0,96	4,05	1,54
K (kg/t)	1,57	4,3	2,8
C (kg/t)	23,3		

## Lannan levityksestä aiheutuvan vesistökuormituksen arviointi

Eri vaihtoehtojen mukaisten lantojen ja käsittelyjäännöksen levitystapojen ja materiaalien sisältämien ravinne määrrien perusteella laskettiin lannan sisältämästä fosforista ja tyypeistä vesistöihin kulkeutuva osuus. Laskelmissa huomioitiin typen kaasumaiset tappiot, jotka levitysajankohdasta riippuen olivat lietalannalla ja käsittelyjäännöksellä noin 12-17 %, kuivikepohjalannalla noin 24 % ja mineraalilannoitteilla noin prosentin peltoon leviteystä liukoisesta tyypeistä. Tarkasteluissa huomioitiin myös lannoituksen muuttumisesta aiheutuvat muutokset mineraalilannoitteiden käytössä lannanlevitysvuotena (vuosi 1) ja sitä seuraavana vuotena (vuosi 2).

Vesiin kohdistuvat typpi- ja fosforipäästöt laskettiin empiirisillä malleilla, ja ne on kuvattu edellä maitokarjatilaesimerkin yhteydessä luvussa 2.2.5.2. Satotasoksi oletettiin kaikissa tapauksissa 4000 kg ohraa/ha.

## Hyvitykset

### Lannoitekorvaavuudet

Kaikille tarkastelluille vaihtoehdoille laskettiin hyvitykset, jotka saadaan, kun peltoon levitetyn lannan, hävikkirehun tai käsittelyjäännöksen ravinteilla korvataan mineraalilannoitteita. Laskennassa otettiin huomioon ympäristökorvausjärjestelmän mukaiset lannoitusrajat lantapoikkeuksineen. Fosforin mukaiseksi viljavuusluokaksi oletettiin ”hyvä”.

Orgaanisten lannoitteiden liukoinen tyyppi korvaa kokonaisuudessaan mineraalityyppiä, joten siinä typpihyvitys lasketaan koko liukoisen tyyppien määrän pohjalta. Fosforilla otetaan huomioon lantapoikkeuksen mahdollistava lantafosforin suurempi käyttö verrattuna tilanteeseen, jossa lannoitetaan kokonaan tai osittain mineraalifosforilla, ja joka vertautuu kasvien todelliseen ravinnetarpeeseen. Sen vuoksi hyvitystä ei voida laskea koko lantafosforimäärälle, vaan se on kaikille masseille (lietelanta, kuivikepohjalanta ja käsittelyjäänös) 33 % näiden levitettävästä fosforimäärästä.

Orgaanisten lannoitteiden kalium korvaa myös vain osittain mineraalilannoitteiden kaliumia, koska kaikissa vaihtoehdoissa orgaanisissa lannoitteissa maahan tulee kaliumia enemmän kuin kasvien kannalta on tarpeen. Perustilanteessa hyvitys lasketaan 50 %:lle lietelannan kaliumia ja 75 %:lle kuivikepohjalannan kaliumia. Vaihtoehdossa 1 hyvitysprosentti lasketaan 60 %:lle käsittelyjäänöksen kaliumia.

### Energiakorvaavuudet

Vaihtoehdossa 1 biokaasulla tuotetaan vain lämpöä, joten korvausta saadaan olemassa olevan öljylämmityksen korvaamisesta biokaasulla tuotetulla lämpöenergialla. Tästä saadaan ilmastohyötyjä, koska öljyn polton fossiiliset CO<sub>2</sub>-päästöt vältetään.

### 3.2.4.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

## Inventaarioanalyysin tulokset

### Ilmaan kohdistuvat päästöt

Ilmaan kohdistuvat lannankäsittelyvaiheittaiset päästöt perustilanteessa erikseen lannalle ja hävikkirehulle on esitetty taulukoissa 24 ja 25 (per 1000 kg massaa), ja kyseisten massojen päästöt yhteensä per 1000 kg lannan ja hävikkirehun seosta niiden muodostumisen suhteessa (=toiminnallinen yksikkö) on esitetty taulukossa 26. Taulukoissa 27 on esitetty vastaavat tulokset vaihtoehdoille 1 ja 2.

Kuten edellä lypsykarjatilaesimerkissä, vesistökuormitusarvioinnin tulokset esitetään absoluuttisten huuhtoutumalukujen sijasta sanallisesti kuormituspotentiaalinen näkökulmasta. Määrällisiä arvioita ei lopulta kyetty esittämään, koska käytettyjen mallien ei katsottu kykenevän ottamaan tarpeeksi hyvin huomioon lannasta aiheutuvaan kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä.

**Taulukko 24.** Lietelannan käsittelyketjussa muodostuvat päästöt ilmaan perustilanteessa (kg/1000 kg lantaa eläinsuojasta).

	Eläinsuoja	Varastointi	Levitys	Kuljetus pellolle	Levitys, konetyö	Yhteensä
NH <sub>3</sub>	0,443	0,343	0,190	0,000	0,000	0,976
N <sub>2</sub> O	0,010	0,022	0,0533	0,0001	0,0001	0,085
NO	0,0004	0,0004	0,011	0,013	0,013	0,038
CO <sub>2</sub> fossiilinen				1,848	2,2757	4,124
CH <sub>4</sub>	0,268	2,424		0,003	0,004	2,700
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvasta tyy- pestä	0,006	0,004	0,002			0,013
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtoutu- tuvasta tyypeistä			Noin 0,005			Noin 0,005

**Taulukko 25.** Kuivikepohjalannan käsittelyketjussa muodostuvat päästöt ilmaan perustilanteessa (kg/1000 kg lantaa eläinsuojasta).

	Eläinsuoja + varastointi	Levitys	Kuljetus pellolle	Levitys, konetyö	Yhteensä
NH <sub>3</sub>	2,750	0,462	0,000	0,000	3,212
N <sub>2</sub> O	0,119	0,119	0,0001	0,0001	0,239
NO	0,213	0,025	0,012	0,027	0,278
CO <sub>2</sub> fossiilinen			1,722	3,004	4,726
CH <sub>4</sub>	0,025		0,003	0,004	0,033
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvasta tyypeistä	0,037	0,006			0,043
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtoutu- vasta tyypeistä		Noin 0,005			Noin 0,005

**Taulukko 26.** Lietelannan ja kuivikepohjalannan käsittelyketjussa muodostuvat päästöt ilmaan perustilanteessa (kg/1000 kg lantaa eläinsuojasta).

	Eläinsuoja	Varastointi	Levitys	Kuljetus pellolle	Levitys, konetyö	Yhteensä
NH <sub>3</sub>	0,789	0,292	0,231	0,000	0,000	1,311
N <sub>2</sub> O	0,026	0,019	0,063	0,0001	0,0001	0,108
NO	0,032	0,000	0,013	0,013	0,015	0,074
CO <sub>2</sub> fossiilinen				1,829	2,385	4,214
CH <sub>4</sub>	0,232	2,061		0,003	0,004	2,300
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvasta ty- peistä	0,010	0,004	0,003			0,017
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtoutuvasta tyypeistä			Noin 0,005			Noin 0,005

**Taulukko 27.** Vaihtoehdossa 1 muodostuvat päästöt ilmaan lannan ja sen käsittelyjäännöksen eri käsittelyvaiheissa (kg/1000 kg lantaa eläinsuojasta).

	Eläinsuoja	Biokaasuprosessi	Varastointi (käsittelyjäännös)	Levitys (käsittelyjäännös)	Kuljetus pelloille	Peltoviljitys, konetyö	Yhteensä
NH <sub>3</sub>	0,789		0,465	0,224	0,000	0,000	1,477
N <sub>2</sub> O	0,026		0,010	0,063	0,0001	0,0001	0,099
NO	0,032		0,001	0,012	0,012	0,012	0,070
CO <sub>2</sub> fossiilinen					1,722	2,120	3,842
CH <sub>4</sub>	0,232	0,157	1,930		0,003	0,004	2,325
Epäsuora N <sub>2</sub> O haihtuvasta typestä	0,010		0,006	0,002			0,018
Epäsuora N <sub>2</sub> O huuhtoutuvasta typestä	-	-	-	Noin 0,005			Noin 0,005

### Vesiin kohdistuvat päästöt

Lannoitusstrategiassa ei oletettu tapahtuvan muutoksia biokaasuprosessin takia. Syyslevitetyn lannan osuudet pysyvät siis ennallaan. Lantatonnin kuormituspotentiaalia lisäävät ja vähentävät samat tekijät kuin edellä mainittiin lypsykarjatilatarkastelun yhteydessä (luku 2.2.5.3). Biokaasuprosessissa käsiteltävän massan typen liukoisuus kasvaa, minkä seurauksena tarkasteltavan lantatonnin kuormituspotentiaali sekä lisääntyy että pienenee. Lisääntyminen johtuu siitä, että mitä suurempi on lantatonnin liukoisen typen pitoisuus, sitä suurempi on välittömästi huuhtoutumiselle alttiin typen määrä. Kuormituspotentiaalia kasvattaa myös se, että biokaasuprosessin seurauksena tilan kuivikepohjalannan ravinteet levitetään peltoon sijoittavalla lietteenlevityskalustolla, minkä seurauksena ammoniakkinen haihtuvan typen osuus pienenee selvästi verrattuna perustilanteen kuivalannanlevitykseen. Koska typpitappio ilmaan pienenee, suurenee vesiin kohdistuva typpikuormituspotentiaali.

Kuormituspotentiaalia vähentää se, että liukoistumisen seurauksena lantatonnin orgaanisen typen määrä vähenee, mikä vähentää kasvukauden ulkopuolella mineralisoituvan ja siksi herkästi kokonaan huuhtoutuvan typen määrää. Lannan typen liukoistuminen vähentää typpikuormitusta myös siksi, koska lantatonnin liukoisen typen määrän lisääntyessä korvataan mineraalityppeä: koska peltoon levitetyn mineraalityypikilon kuormituspotentiaali on liukoista lantatyypikiloa suurempi pienemmän typen haihtumisen takia, pienenee typpikuormituspotentiaali.

Lantatonnin typpihuuhtoutumapotentiaalia lisää	Lantatonnin typpihuuhtoutumapotentiaalia pienentää
Lannan orgaanisen typen mineralisoituminen biokaasuprosessissa: välittömästi huuhtoutumiselle alttiin typen määrä kasvaa	Lannan orgaanisen typen mineralisoituminen biokaasuprosessissa: orgaanisen typen määrä vähenee => kasvukauden ulkopuolella mineralisoituvan typen määrä vähenee
Kuivikepohjalannan typestä levityksen jälkeen haihtuva osuus pienenee biokaasuprosessin seurauksena, koska prosessoinnin jälkeen se levitetään vähäpäästöisellä lietelannan levitystekniikalla. Sen seurauksena huuhtoutumalle alttiin typen määrä maaperässä kasvaa.	Lantatypen liukoisuuden lisääntymisen seurauksena lannan tyypellä korvataan mineraalityppeä. Koska lannan liukoisesta typestä suurempi osuus haihtuu ilmaan kuin mineraalitypestä, huuhtoutumalle alttiin typen määrä maaperässä pienenee.

Edellä kuvatun perusteella arvioidaan, että biokaasuvaihtoehdossa lantatonnin typpihuuhtoutuma on noin 5 % perustilannetta pienempi. Typpihuuhtoutuman väheneminen arvioidaan pienemmäksi kuin lypsykarjatilatarkastelussa (luku 2.2.5.3), koska kuivikepohjalannan käsittelyn muuttumisen seurauksena siitä ilmaan ammoniakkinen haihtuvan typen määrä levityksen jälkeen on pienempää

perustilanteeseen verrattuna. Se puolestaan lisää huuhtoutumalle alttiin liukoisen typen määrää maassa.

Fosforikuormitukseen ei tarkastelluilla vaihtoehdoilla katsottu olevan vaikutusta, sillä levitettävän fosforin määrä ja fosforitaseet pysyivät samoina kaikissa tapauksissa.

## Ilmastovaikutustulokset

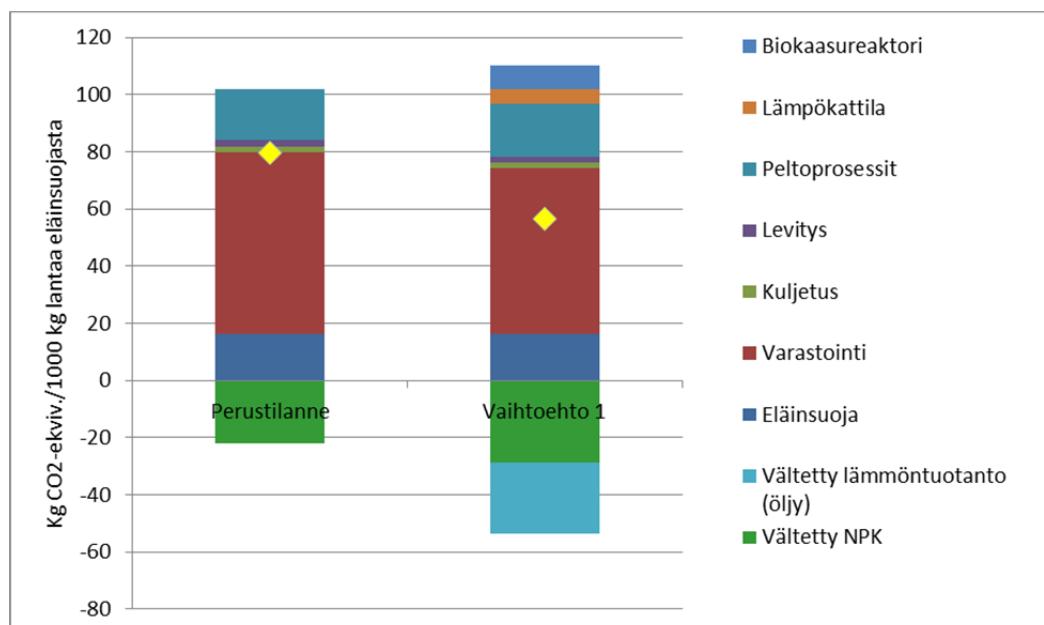
Ilmastovaikutusarvioinnin mukaan biokaasuprosessiin perustuva vaihtoehto on ilmastovaikutukseltaan jonkin verran perustilannetta parempi.

Biokaasureaktorista ja kaasukattilasta aiheutuu hieman metaanivuotoja, mutta suuremmat lannoitekorvaavuushyödyt, pienemmät varastoinnin aikaiset metaanipäästöt ja vältetystä öljynpoltosta saadut hyvitykset painavat vaihtoehdon 1 nettoilmastovaikutukset selvästi perustilannetta pienemmäksi (Kuva 16).

Varastoinnin metaanipäästöt vastaavat suurimmasta osasta tarkasteltujen järjestelmien ilmastovaikutuksesta. Massan biokaasutuksella varastoinnin päästöjä voidaan pienentää.

Massojen peltokäytöstä aiheutuvat päästöt muodostuvat pääosin levitetystä tyypestä vapautuvasta suorista dityppioksidipäästöistä, jotka ovat suunnilleen saman suuriset molemmissa tapauksissa, koska levitettävän kokonaistypen määrät ovat suunnilleen samat. Peltolevityksen konetyön ja kuljetusten päästöt eivät ole kokonaisuuden kannalta merkityksellisiä. Vaihtoehdon 1 hieman perustilannetta suuremman levityksen ilmastovaikutuksen selittää suuremmista ammoniakkipäästöistä johtuvat suuremmat epäsuoran dityppioksidin päästöt (ks. Taulukot 24-27).

Biokaasuvaihtoehdossa saadaan perustilannetta suuremmat lannoitekorvaavuuksista peräisin olevat ilmastohyvitykset, koska biokaasuprosessissa käsiteltävien massojen orgaanista tyypeä muuntuu liukoiseen muotoon, jolloin sama määrä käsiteltävää orgaanista massaa korvaa enemmän mineraalityyppiä.



**Kuva 16.** Perustilanteen ja vaihtoehdon 1 elinkaariset ilmastovaikutustulokset (kg CO<sub>2</sub>-ekviv./1000 kg lantaa eläinsuojasta). Negatiiviset pylvään osat kuvaavat hyvitetävistä prosesseista saatuja ilmastohyötyjä. Keltainen merkki tolpan keskellä kuvaa nettoilmastovaikutusta.

### 3.3. Johtopäätökset sikatilalle

#### 3.3.1. Kannattavuus

Sikatilalle suunniteltiin yksinkertainen biokaasulaitos, joka tuottaa tilalle tilan tarvitseman lämmön. Syötteenä käytettiin tilan lietelantaa ja kuivikepohjalantaa. Vaihtoehtoisina lämmöntuotantotapoina tarkasteltiin hake- ja öljylämpölaitosta. Biokaasulla tuotetun lämpöenergian hinnaksi ilman investointitukea saatiin 59,60 €/MWh, hakkeella 42,40 €/MWh ja öljyllä 88,50 €/MWh. Sikatilalla biokaasulaitoksen kannattavuus hakkeeseen verrattuna on parempi kuin lypsykarjatilalla. Sikatila tarvitsee enemmän lämpöä, jolloin edullisella käyttökustannuksella on suurempi merkitys. Öljylämmitykseen verrattuna biokaasu on sikatilalla huomattavasti edullisempi energiamuoto.

Biokaasulaitoksen kannattavuus parani, kun laitokseen rakennettiin uusi betoniallas reaktorialtaaksi. Lämpöenergian hinnaksi uudella altaalla ilman investointitukea saatiin 53,60 €/MWh. Vastavasti lämpöenergian hinnaksi investointituki huomioiden saatiin biokaasulla 39,70 €/MWh ja hakkeella 38,10 €/MWh. Näin ollen ero hakkeeseen jää enää pieneksi. Kun lisäksi otetaan huomioon tilan parantunut energia- ja ravinneomavaraisuus sekä lannankäsittelyn parantunut hygienia ja vähentyneet hajuhaitat, on mahdollista että tilan lämmöntuotantoon valitaan biokaasulaitos.

#### 3.3.2. Elinkaariset ympäristövaikutukset

Biokaasuvaihtoehto tuottaa nettomääräisesti vähemmän ilmastomuutosta kiihdyttäviä päästöjä kuin perustilanne, mutta riski rehevöitymistä, happamoitumista ja hiukkasvaikutusta aiheuttaviin ammoniakkipäästöihin kasvaa lantatypen liukoistuksessa prosessissa. Ammoniakkipäästöjä on kuitenkin helpompi vähentää kuin kasvihuonekaasupäästöjä. Tarkastelluissa tapauksissa varsinkin varastoinnin päästöjä voidaan vähentää jopa kymmeniä prosentteja kattamalla lietesäiliöt.

Tarkasteltujen lannankäsittelyketjujen suurin ilmastovaikutus muodostuu lannan tai käsittelyjäännöksen varastoinnin aikana metaanin vapautuessa. Tilan nykytoimissa tuo vaikutus on biokaasuvaihtoehtoa suurempi, koska biokaasuprosessi pienentää jäännöksen varastoinnin aikaista metaanintuotantoa raakalietteen varastointiin verrattuna. Pelkästään biokaasuprosessilla voidaan siis vähentää lantaketjun ilmastovaikutusta. Edellytyksenä tälle tosin on riittävän pitkä viipymä aika kaasukeräyksen piirissä ja hallitut metaanivuodot. Muuten hyödyt menetetään. Lisähyötyjä saadaan mineraalilannoitteiden korvaamisesta. Niiden hyödyt olivat biokaasuvaihtoehdolla tilan nykytoimintaa suuremmat orgaanisen typen liukoistumisen takia. Lisäksi vaihtoehdon nettoilmastovaikutusta alensi öljyn korvaamisesta saatavat päästöhyödyt, mitä ilman tarkastellut tapaukset olisivat nettoilmastovaikutukseltaan lähellä toisiaan.

Vesiin kohdistuvilta päästöiltään vaihtoehdot eivät merkittävästi eronneet toisistaan. Fosforilla eroja ei voitu erottaa lainkaan, ja typen kohdalla kuormitusvähenemäksi oletettiin 5 % siirryttäessä biokaasuprosessin sisältämään vaihtoehtoon. Eroja olisi tullut, mikäli vaihtoehdossa olisi biokaasuprosessin lisäämisen lisäksi muutettu tarkasteltavien massojen levitysstrategiaa, esimerkiksi vähennetty syyslevityksen osuutta.



## 4. Suositukset maatilojen yksinkertaisten biokaasulaitosten suunnitteluun

Maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus on tapauskohtaista. Esimerkiksi hyödynnettäessä tilan olemassa olevia rakenteita ja käytettyjä laitteita, kannattaa huomioida näiden tuleva käyttöikä. Tässä raportissa esimerkiksi vanhan, reaktoriksi muutettavan lietesäiliön jäljellä oleva käyttöikä on 10 vuotta, jolloin uuden lietesäiliön rakentaminen reaktoriksi (käyttöikä 20 v) olisi kannattavampaa.

Sopivan kokoisen reaktorin tai reaktorin ja jälkikaasualtaan valinnassa, oli se vanha tai uusi, voi harkita useita tekijöitä:

- Liian pieni reaktori on altis mikrobiologisille ylikuormitustilanteille, etenkin, jos syötemääriä joudutaan muuttamaan esim. maatilan lämmöntarpeen mukaan eri vuodenaikoina. Liian lyhyeksi jäävä viipymä voi myös hukata osan biokaasulaitoksen metaanipotentialista energiantuotannossa ja aiheuttaa metaanipäästöjä käsittelyjäännöksen varastoinnissa. Pienehkö reaktori tarvitsee tuekseen jälkikaasualtaan.
- Liian suuri reaktori taas kuluttaa suuren lämpöhävikin vuoksi paljon lämpöenergiaa sekä lisää sekoituksen sähkönkulutusta. Lämpöhävikkiä voidaan osaltaan kompensoida lisäämällä eristeitä. Toisaalta suuressa reaktorissa syötteen hydraulinen viipymä on pitkä ja orgaaninen aines hajoaa tehokkaasti, minkä ansiosta käsittelyjäännöksen kasveille käyttökelpoisen ammoniumtyypen pitoisuus kasvaa ja metaanipäästöt vähenevät. Tarpeeksi iso reaktori varmistaa tehokkaan metaanin muodostuksen ja voi poistaa jälkikaasualtaan tarpeen.

Rikkivedyn poistoon biokaasusta kannattaa kiinnittää huomiota, sillä sen aiheuttama korrosio voi aiheuttaa tuhoa etenkin kaasunpolttolaitteissa. On myös kannattavampaa investoida kaikissa metalliosissa ruostumattomaan teräkseen kuin korjata hajoavia metalliosia. Korkea rikkivetypitoisuus lisää huomattavasti CHP-yksikön korjaustarvetta ja lyhentää öljynvaihtoväliä. Lämpökattila ja sen kaasupoltin taas kestävät paremmin korkeita (1500 – 2000 ppm) rikkivetypitoisuuksia.

Biokaasun tehokkainta tapauskohtaista käyttömuotoa kannattaa harkita huolellisesti. Lämmön ja sähkön tuotannon mahdollistavan CHP-yksikön hankinta nostaa investointikustannuksia, mutta sen avulla biokaasusta saadaan lämmön lisäksi sähköä. Lypsykarjatilalla, jossa yli puolet tilan energiankulutuksesta oli sähköä, CHP-yksikön hankinta paransi biokaasulaitoksen kannattavuutta alkuinvestoinnin kasvusta huolimatta. Myös ympäristöllisesti on tärkeää pyrkiä hyödyntämään tuotettu energia kokonaan.

Tilan ravinnekiertoja kannattaa arvioida. Mikäli biokaasulaitos mahdollistaa tilan jätteiden ja sivutuotteiden hyödyntämisen aiempaa tehokkaammin lannoitteena, se lisää laitosratkaisun kannattavuutta. Samalla on kuitenkin muistettava huomioida käsittelyjäännöksen lisääntynyt liukoisen tyypin pitoisuus. Jäännös on varastoitava ja levitettävä siten, että typhenukat minimoidaan.

## 5. Lähteet

- Bioenergia, 2014. Lämpökeskukset ja voimalat. Bioenergia nro 3 / 2014, s. 24-28.
- Composting, windrows, garden waste, Aarhus (DK), 2007. Perustuen: Andersen, J. K., A. Boldrin, T. H. Christensen and C. Scheutz. "Mass Balances and Life-Cycle Inventory for a Garden Waste Windrow Composting Plant (Aarhus, Denmark)." *Waste Manag Res* 28, no. 11 (2010): 1010-20 ja Andersen, J. K., A. Boldrin, J. Samuelsson, T. H. Christensen and C. Scheutz. "Quantification of Greenhouse Gas Emissions from Windrow Composting of Garden Waste." *J Environ Qual* 39, no. 2 (2010): 713-24.
- EASETECH. LCA-malli. <http://www.easetech.dk/> [vaatii lisenssin].
- Grönroos, J., Mattila, P., Regina, K., Nousiainen, J., Perälä, P., Saarinen, K., Mikkola-Pusa, J. 2009. Development of the ammonia emission inventory in Finland Revised model for agriculture. *The Finnish Environment* 8 / 2009.
- Hamelin, L., Baky A., Cano-Bernal J., Grönroos J., Kuligowski K., Pehme S., Rankinen K., Skura D., Wenzel H., Wesnæs M., Ziolkowsky M. 2013. Life cycle assessments of manure management techniques for the Baltic Sea Regions. *Baltic Manure report*. [Balticmanure.eu](http://www.balticmanure.eu). [http://www.balticmanure.eu/download/Reports/lca\\_final\\_report\\_wp5\\_web.pdf](http://www.balticmanure.eu/download/Reports/lca_final_report_wp5_web.pdf)
- ISO 14040. 2006. Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.
- Luostarinen, S. (toim.) 2013. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi - Käytännönkokeimuksia MTT:n maatilakohtaiselta laitokselta. *MTT Raportti* 113. 96 s.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Puumala, M., Paasonen, M., 2001. Lantavarastot ja pihatoiden ritiläpalkistot. *VAKOLAn tiedote* 85/2001, 45 s. [http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/440468/vtiedote85\\_2001.pdf?sequence=1](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/440468/vtiedote85_2001.pdf?sequence=1)
- Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H. & Paappanen, T. 2008. Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation in Finland - Dealing with the uncertainties. *Energy Policy* 37:1 (80-90).
- Viljavuuspalvelu, 2015. Lantatilasto vuosilta 2005-2009. <http://viljavuuspalvelu.fi/fi/tilastot>

## 6. Liitteet

### Liite 1. Biokaasuntuoton, reaktorin lämmitystarpeen sekä käsittelyjäännöksen määrän ja laadun mallintaminen

#### 1. Karja- ja sikatilan lämpöenergian kulutus

Karjatilan hakkeen kulutus on nykytilanteessa 201 MWh/v. Hakekattilan hyötysuhteeksi arvioitiin 85 %, joten maatilan energiakulutus on 171 MWh/v. Sikatilan kevyen polttoöljyn kulutus nykytilanteessa on 930 MWh/v ja 85 % oletetulla öljykattilan hyötysuhteella laskettuna sikatilan lämmönkulutus on 791 MWh/v.

#### 2. Ulkoilman, maaperän ja biokaasulaitoksen syötteiden lämpötilat

Kuukausittaiset lämpötilalaskelmat ja niistä johdetut lämpöenergiantarvelaskelmat perustuivat vuoden 2012 Jyväskylän lentoaseman säädädataan (Ilmatieteen laitos, Taulukko 1). Samaa kuukauden keskiarvolämpötilaa käytettiin laskelmissa kunkin kuukauden jokaiselle päivälle ulkoilman, maaperän ja syötteiden lämpötilojen laskennassa.

**Taulukko 1.** Kuukausittaiset ilman lämpötilat sekä niiden perusteella lasketut maaperän, lietelantasyötteiden ja kuivasyötteiden (Karjatila vaihtoehto 2: rehu, Sikatila: kuivikepohjalanta) lämpötilat.

Kuukausi →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuosi
<b>Ilma</b>	276	262	271	274	283	286	288	286	283	277	274	262	277
<b>Maa 0-1,5 m</b>	276	275	275	276	281	283	285	283	281	277	275	275	279
<b>Maa 0-3 m</b>	277	276	276	276	280	281	282	282	280	278	276	276	278
<b>Lietelannat</b>	277	277	277	277	283	286	288	286	283	277	277	277	280
<b>Kuivasyötteet</b>	276	273	273	274	283	286	288	286	283	277	274	273	279

Lietelannan lämpötilan oletettiin olevan sama kuin ulkoilman lämpötila, mutta kuitenkin vähintään 4 °C (277,15 K). Kyseinen 4 °C pyörästetty arvo perustuu Luke Maaningan biokaasulaitoksen 100 m<sup>3</sup> esisäiliössä tehtyihin lämpötilamittauksiin. Kuivasyötteiden (hävikkirehu/kuivikepohjalanta) lämpötilan oletettiin olevan sama kuin ulkoilman lämpötila, mutta vähintään 0 °C (273,15 K). Pyörästetty minimilämpötila 0 °C perustuu Luke Maaningalla talvella tehtyihin biokaasulaitoksen syötteenä olleiden rehupaalien lämpötilamittauksiin.

Maaperän lämpötila laskettiin regressiomallilla (Kaava 1, Taulukko 2), joka johdettiin Maaningan Halolan v. 2013 maaperän lämpötilamittauksista (Ilmatieteen laitos). Karkeasti dataan perustuen maanpinnan lämpötilan oletettiin olevan sama kuin ilman lämpötilan, mutta kuitenkin vähintään 0 °C. Regressiomallilla voidaan laskea maan pinnasta alaspäin mennessä aina seuraavan 0,5 m syvyyden lämpötilakaavalla 1:

$$T_2 = a \cdot T_1 + b \quad (1)$$

jossa

$T_1$  = lämpötila (K) lähempänä maanpintaa,

$T_2$  = lämpötila (K) puolta metriä syvemmällä kuin  $T_1$ ,

a ja b ovat regressioyhtälössä käytettäviä lukuja (Taulukko 2).

**Taulukko 2.** Maan eri syvyyksien lämpötilan laskemiseen (0,5 – 2 m syvyydet) käytetyt regressioyhtälöiden luvut (Kaava 1) sekä mallien selitysasteet (R<sup>2</sup>).

Syvyys	a	b	R <sup>2</sup>
0 m → 0,5 m	0,7894	58,508	0,9553
0,5 m → 1 m	0,6666	92,475	0,9636
1 m → 1,5 m	0,6191	105,96	0,9383
1,5 m → 2 m	0,5974	112,04	0,9254

Esimerkiksi, kun ilman lämpötila on 273 K (0 °C) ja siten maanpinnan (syvyys 0 m) lämpötila on sama, maan lämpötila 0,5 m syvyydessä ( $T_2$ ) = 0,7894\*273 K+58,508 = 274 K (1 °C). Maan lämpötila 1 m syvyydessä taas on 0,6666\*274 K+92,475 = 275 K, ja niin edelleen. Yli 2 m syvyydessä maan lämpötilan oletettiin olevan sama kuin 2 m syvyydessä (mittausdata oli vain syvyyksille 0 – 2 m).

Karjatilan biokaasulaitoksen reaktorin korkeudesta 1,5 m ja sikatilan biokaasureaktorisäiliön korkeudesta 3,0 m oli sijoitettu maan alle (Taulukko 3). Laskettaessa lämmön johtumista reaktorista maaperään käytettiin reaktorisäiliön maanalaisen lieriön pinta-alaa (Taulukko 3) sekä maaperän keskiarvolämpötilaa syvyydeltä 0 – 1,5 m (karjatilan reaktori) tai 0 – 3 m (sikatilan reaktori). Lämpöhävikkilaskelmat on esitetty kohdassa 3.

### 3. Biokaasureaktorin lämpöenergian tarpeen mallintaminen

Automaattinen lämminvesikierto (kiertovesiputkisto reaktorin seinillä) pitää reaktorin 35 °C lämpötilassa, jossa biokaasua tuottavat mesofiiliset anaerobimikrobit menestyvät. Reaktorin lämmitystarpeen laskennassa huomioitiin syötteiden lämmitys 35 °C lämpötilaan, lämpöhäviö reaktorista ympäristöön johtumalla (lämpöhävikki) sekä mikrobien tuottama lämpöenergia. Reaktorin sekoituksen vaikutusta sekä reaktorin laipion (katon) päällä olevien PVC-kankaisten kaasuväestön ja sääsuojakuvun vaikutusta reaktorin lämmitystarpeeseen ei huomioitu lämpöenergian tarvelaskelmassa. Mallissa ei huomioitu lämmön siirtymistä konvektiolla (tuuli, ilmavirta sääsuojakuvun sisällä, biokaasun virtaus ulos reaktorista, sekoittimien aiheuttama lietteen virtaus).

Reaktorin lämpöenergiankulutus laskettiin kaavalla 2:

$$E_{th} = E_{syöte} + E_{häviö} - E_{mikr} \quad (2)$$

jossa

$E_{th}$  = biokaasulaitoksen reaktorin lämpöenergian kulutus (lämmitysveden energiasisältö, kWh/vrk),

$E_{syöte}$  = syötteiden lämmittämiseen 35 °C:een tarvittava energiamäärä (kWh/vrk),

$E_{häviö}$  = lämpöhäviö reaktorista ympäristöön (kWh/vrk), ks. kaava 5

$E_{mikr}$  = biokaasureaktorin mikrobien tuottama lämpö (kWh/vrk)

$E_{seko}$  = reaktorin sekoittimien sähkönkulutus (kWh/vrk)

Reaktorin syötteiden lämmittämiseen tarvittava teoreettinen lämpöenergiämäärä laskettiin kaavalla 3:

$$E_{syöte} = C * m * \Delta T \quad (3)$$

jossa

C = syötteiden ominaislämpökapasiteetti (kWh/(t°C)), ks. kaava 4,

m = syötteiden massa (t/d),

$\Delta T$  = reaktorin lämpötilan (35 °C) ja syötteiden lämpötilan erotus.

Kaavassa 5 syötteiden (lietelanta ja säilörehu) ominaislämpökapasiteetti (C, kJ/kg°C) laskettiin kuten Chen (1983), joka muodosti regression tekemiensä naudanlannan ominaislämpökapasiteetin mittausten perusteella (kaava 4):

$$C = (4,19 - 0,0275 * TS \%) / 3,6 \quad (4)$$

C = syötteen ominaislämpökapasiteetti (kWh/(t°C))

TS % = syötteen TS-pitoisuus (%)

Lämpöhäviö reaktorista ympäristöön laskettiin kaavalla 5:

$$E_{\text{häviö}} = U * A * \Delta T \quad (5)$$

jossa

U = reaktorin osan lämmönläpäisykerroin (W/(m<sup>2</sup>K), ks. kaava 6)

A = reaktorin osan pinta-ala (m<sup>2</sup>)

ΔT = reaktorin sisälämpötilan (35 °C = 308,15 K) ja ympäristön lämpötilan (K) erotus

Lämmönläpäisykerroin laskettiin kaavalla 6:

$$U = 1 / (R_1 + R_2 + R_n \dots) \quad (6)$$

jossa R<sub>1</sub>...R<sub>n</sub> = reaktorin seinämien eri materiaalien lämmönvastukset ((m<sup>2</sup>K)/W)

Lämmönvastus R laskettiin kaavalla 7:

$$R = d / \lambda \quad (7)$$

jossa

d = reaktorin seinämän materiaalin paksuus (m)

λ = reaktorin seinämän materiaalin lämmönjohtavuus (W/(mK))

Mikrobien tuottaman lämmön (E<sub>mikr</sub>) oletettiin olevan 0,21 kWh reaktorin tuottamaa metaanikuutiota kohti. Likiarvo perustuu Lübkenin ym. (2007) tutkimukseen, jossa mallinnettiin mikrobien lämmöntuottoa karjanlannan ja seosrehun yhteiskäsittelyssä (syötteen lanta:rehu VS-suhde 80:20).

Karja- ja sikatilan laskelmissa lämmitettäväksi tilavuudeksi oletettiin sekä reaktorin nestetilavuus että laipion alapuolinen kaasutilavuus. Kunkin casen reaktorin mitat, lämmönjohtavuudet ja U-arvot on lueteltu taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Biokaasureaktoreiden mitat, materiaalit (eristeenä polystyreeni), materiaalien lämmönjohtavuudet ( $k$ ) ja paksuudet ( $d$ ) sekä reaktorin eri osien lämmönläpäisykertoimet ( $U$ -arvot).

	Karjatila vaihtoehto	Karjatila vaihtoehto	Sikatila
	1	2	
Betoniseinän paksuus $d$ (m)	0,1	0,1	0,1
Betonin lämmönjohtavuus $k$ (W/mK)	2,0	2,0	2,0
Eristeen lämmönjohtavuus $k$ (W/mK)	0,036	0,036	0,036
Betonipohjan paksuus $d$ (m)	0,2	0,2	0,2
Reaktorin $h$ (m)	3,0	3,0	4,0
Reaktorin $d$ (m)	16,0	16,0	23,0
Nestetilan $h$ (m)	2,6	2,6	3,6
Kaasutilan $h$ (m)	0,4	0,4	0,4
Kaasutilan $V$ (m <sup>3</sup> )	80	80	166
Nestetilavuus $V$ (m <sup>3</sup> )	523	523	1496
Kokonaistilavuus (neste+kaasutila) (m <sup>3</sup> )	603	603	1662
Reaktorin korkeudesta ( $h$ ) maan alla (m)	1,5	1,5	3,0
Reaktorin korkeudesta ( $h$ ) maan päällä (m)	1,5	1,5	1,0
Laipion $A$ (m <sup>2</sup> )	201	201	415
Laipion eristeen paksuus $d$ (m)	0,05	0,13	0,05
Laipion $U$ -arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,72	0,28	0,72
Maanpäällisen lieriön $A$ (m <sup>2</sup> )	75	75	72
Maanpäällisen lieriön eristeen paksuus (m)	0,05	0,05	0,05
Maanpäällisen lieriön $U$ -arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,69	0,69	0,69
Maanalaisen lieriön $A$ (m <sup>2</sup> )	75	75	217
Maanalaisen lieriön eristeen paksuus (m)	0,05	0,05	0,05
Maanalaisen lieriön $U$ -arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,69	0,69	0,69
Pohjan $A$ (m <sup>2</sup> )	201	201	415
Pohjan eristeen paksuus (m)	0,05	0,05	0,05
Pohjan $U$ -arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,67	0,67	0,67
Reaktorin kokonaispinta-ala $A$ (m <sup>2</sup> )	553	553	1120
Reaktorin $U$ -arvo keskimäärin (W/m <sup>2</sup> K)	0,70	0,53	0,70

#### 4. Biokaasulaitoksien sähkökulutuksen mallintaminen

Biokaasulaitoksen sähkökulutuksen laskenta perustuu Luke Maaningan biokaasulaitoksella mitattuihin sähkölaitteiden energiankuluksiin (Taulukko 4). Laskelmassa reaktorin upposekoittimien, paineenkorotuspuhaltimen + polttolaitteen (kattila), reaktorin syöttölaitteiden (lietepumppu ja ruuvi) sähkökulutukset ovat riippuvaisia laitoksen koosta, tuotetun biokaasun määrästä ja syötteiden määrästä (ks. yksiköt). Reaktorin sääsuojakuvun paineilmapuhaltimen, reaktorin lämmityksessä käytettävän kiertovesipumpun sekä muiden sähkölaitteiden sähkökulutuksen ei ole oletettu olevan riippuvaisia laitoksen koosta (yksiköt: kWh/vrk).

**Taulukko 4.** Sähkölaitteiden energiankulutus.

Laite (yksikkö)	Arvo
Reaktorin sekoitusteho (W/m <sup>3</sup> reaktorinestettä)	6,0
Biokaasun paineenkorotuspuhallin + polttolaitte (kWh/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	0,10
Reaktorin lietesyöttöpumppu (kWh/t syötettä)	0,09
Rehun/kuivikepohjalannan syöttöruuvi (kWh/t syötettä)	0,54
Reaktorin sääsuojakuvun paineilmapuhallin (kWh/vrk)	1,9
Reaktorin kiertovesipumppu (kWh/vrk)	7,2
Muut sähkölaitteet (kWh/vrk)	37,5



## 5. Reaktorin metaanintuotto

Reaktorin metaanintuotto laskettiin Chenin & Hashimoton (1978) staattisella mallilla, kaavalla 8:

$$G = B_0 * L * \left( \frac{K}{\mu_m * \theta - 1 + K} \right) \quad (8)$$

jossa

$G$  = reaktorin tuotto ( $\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{m}^3$  reaktorinestettä)

$B_0$  = kokonaissyötteen BMP eli metaanintuottopotentiaali ( $\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{kg VS}$ )

$L$  = orgaaninen kuormitus eli OLR ( $\text{kgVS}/\text{m}^3$  reaktorinestettä\*vrk)

$K$  = kineettinen parametri, ks. Kaava 9

$\mu_m$  = maksimi spesifi kasvunopeus (mikrobit), ks. Kaava 10

$\theta$  = syötteen hydraulinen viipymä reaktorissa eli HRT (vrk)

Kaavan 8 kineettinen parametri  $K$  laskettiin kaavalla 9:

$$K = 0,8 + (0,0016) * \text{EXP}(0,06 * S_0) \quad (9)$$

jossa

$S_0$  = kokonaissyötteen orgaanisen aineen (VS) pitoisuus ( $\text{kg VS}/\text{m}^3$ , oletus  $1 \text{ m}^3 = 1 \text{ t}$ ).

Maksimaalinen spesifi mikrobien kasvunopeus  $\mu_m$  laskettiin kaavalla 10 (Hashimoto ym. 1981):

$$\mu_m = 0,013 * T - 0,129 \quad (10)$$

jossa  $T$  = reaktorin lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ), tämän raportin laskelmissa  $35^{\circ}\text{C}$ .

## 7. Käsittelyjäännöksen määrä ja laatu sekä typen mineralisoituminen

Reaktorin tuottaman biokaasun sisältämän hiilidioksidin ( $\text{CO}_2$ ) tilavuuspitoisuus laskettiin oletuksella, että lannoista (lietelanta ja kuivikepohjalanta) muodostuvan kaasun metaanipitoisuus ( $\text{CH}_4$ ) on 60 % (pyörästetty arvo perustuu Triolon ym. 2011 tutkimukseen) ja hävikkirehusta muodostuvan biokaasun metaanipitoisuus on 55 %. Metaanin tiheys on  $0,717 \text{ kg}/\text{m}^3$  ja  $\text{CO}_2$  tiheys on  $1,96 \text{ kg}/\text{m}^3$  ( $0^{\circ}\text{C}$  ja  $101,3 \text{ kPa}$ ). Biokaasun oletettiin sisältävän vain  $\text{CH}_4$  ja  $\text{CO}_2$ .

Biokaasua muodostuu orgaanisesta aineesta. Biokaasuntuoton ja sen komponenttien tiheyden perusteella laskettiin reaktorista poistuvan massan määrä. Kaasun mukana poistuu mallin mukaan vain hiiltä, vetyä ja happea ( $\text{CH}_4$  ja  $\text{CO}_2$ ). Loput syöttestä poistuu reaktorista lietemäisenä käsittelyjäännöksenä. Tämän vuoksi jäännöksessä on alhaisempi TS- (kuiva-aine) ja VS-pitoisuus kuin syötteessä, mutta korkeampi kokonais-NPK-pitoisuus. Käsittelyjäännöksen määrä laskettiin kaavalla 11:

$$\text{Käsittelyjäännöksen massa (t)} = \text{Syötemassa (t)} - \text{Tuotetun biokaasun massa (t)} \quad (11)$$

Käsittelyjäännöksen kokonais-NPK-pitoisuudet laskettiin jakamalla syötteen NPK-määrä (kg) käsittelyjäännöksen määrällä (t).

Lisäksi, proteiinien hajotessa biokaasuprosessissa ammoniumtypen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) pitoisuus kasvaa enemmän kuin kokonaistypen pitoisuus. Typen mineralisoituminen eli  $\text{NH}_4\text{-N}$ -pitoisuuden kasvu laskettiin perustuen Frostin & Gilkinsonin 2011 kokeeseen, jossa orgaanisen typen (kokonaistyyppi –  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) vähenemän ja orgaanisen aineen (kokonais-VS) vähenemän suhdeluku oli 0,73. Tämän perusteella laskettiin käsittelyjäännöksen sisältämän orgaanisen typen määrä (t) kaavalla 12:

$$\text{Syötteen org. N määrä (t)} - \text{VS-vähenemä (t)} * 0,73 \quad (12)$$

Orgaanisen typen määrän ja käsittelyjäännöksen määrän perusteella voi laskea käsittelyjäännöksen  $\text{NH}_4\text{-N}$ -pitoisuuden.

## **LÄHTEET liitteeseen 1**

- Chen, Y. R., & Hashimoto, A. G. (1978). Kinetics of methane fermentation. *Biotechnology and Bioengineering Symposium*, 8, 269–282.
- Frost, P. & Gilkinson, S. 2011. 27 months performance summary for anaerobic digestion of dairy cow slurry at AFBI Hillsborough. Interim technical report.
- Hashimoto, A. G., Chen, Y. R., & Varel, V. H. (1981). Theoretical aspects of anaerobic fermentation: State-of-the-art. In: *Livestock Wastes: A Renewable Resource* (pp. 86–91). Michigan: ASAE, St. Joseph.
- Triolo, J.M., Sommer, S.G., Moller, H.B., Weisbjerg, M.R. & Xin Y. Jiang 2011. A new algorithm to characterize biodegradability of biomass during anaerobic digestion: Influence of lignin concentration on methane production potential. *Bioresource Technology* 102 9395–9402.

## Liite 2. Metaanintuottopotentiaalikoheet (BMP)

Karjatiljan lietelannoista (2 näytettä) ja hävikkirehusta (1 koontinäyte) tehtiin metaanintuottopotentiaalikoheet (BMP, biological methane potential) Luke Jokioisilla. BMP-koheet suoritettiin kolmena rinnakkaisena 500 ml lasipulloissa, joihin kaikkiin lisättiin sama määrä, 260 g mikrobiymppiä. Näytteen ja ympin VS/VS -suhde kokeissa oli 1. Näytemäärä mitoitettiin siten, että lisätyssä näytemäärässä oli kaikilla koejäsenillä sama määrä orgaanista ainetta (VS). Pullot täytettiin ionivaihdetulla vedellä 400 ml nestetilavuuteen, mikä vakioi orgaanisen kuiva-aineen pitoisuudet. Pulloihin lisättiin pH:n puskuroimiseksi natriumbikarbonaattia ( $\text{NaHCO}_3$ ) annostuksella 3 g/l. Näyteseosten pH mitattiin ennen kokeen alkua, ja tarkistettiin että pH:t olivat yli 7,2. Näyteseosten pH:t olivat vaadittavalla tasolla eikä pH:n nostoa tarvittu. Pullot suljettiin kaasutiiviisti ja korkeista lähtevät kaasuletkut kiinnitettiin. Pulloissa muodostuva biokaasu johdettiin yksikköön, jossa biokaasun sisältämä hiilidioksidi reagoi natriumhydroksidin kanssa ja sitoutuu. Jäljelle jäävä metaani johdettiin edelleen kaasun tilavuusmittaukseen, joka perustuu nesteensyrjäytykseen. Ennen kokeen alkua pullojen kaasutila ja letkulinjat huuhdeltiin typpikaasulla, jotta olosuhteet saatiin hapettomiksi.

**Liite 3. Lypsykarjatilan lannoitusstrategia perustilanteessa ja vaihtoehdoilla 1 ja 2.**

Lietelannassa, hävikkirehukompostissa, käsittelyjäännöksessä ja mineraalilannoitteissa annettujen ravinteiden (liukoinen tyyppi ja kokonaisfosfori) levitysmäärät eri vaihtoehdoissa (perustilanne ja vaihtoehdot 1 ja 2) varsinaisena levitysvuotena (vuosi 1) ja sitä seuraavana vuotena (vuosi 2). Levitysjankohdat: lohko 1 = kevät tai kesä, lohko 2 = syksy. Tummennetut solut: syyslevitys.

Perustilanne, lietelanta (säilörehunurmelle):

	Kevät/Kesä				Syksy			
	Liete-liukN [kg/ha]	Mineraali-N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali-P [kg/ha]	Liete-liukN [kg/ha]	Mineraali-N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali-P [kg/ha]
Lohko 1:								
vuosi 1	68	132	34,3	0				
<b>vuosi 2</b>	<b>0</b>	<b>200</b>	<b>0</b>	<b>15,7</b>				
Lohko 2:								
vuosi 1	0	200	0	20	35	0	17,6	0
<b>vuosi 2</b>	<b>0</b>	<b>165</b>	<b>0</b>	<b>2,4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Perustilanne ja Vaihtoehto 1: hävikkirehukomposti (perustettavalle nurmelle).

	Ke- vät/kesä				Syksy			
	Liete-liukN [kg/ha]	Mineraali-N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali-P [kg/ha]	Liete-liukN [kg/ha]	Mineraali-N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali-P [kg/ha]
Lohko 1:								
vuosi 1	14,6	75,4	19,3	6,7				
<b>Vuosi2</b>	<b>normaali säilörehunurmivuosi</b>							

## Vaihtoehto 1: lietelannan käsittelyjäännös (säilörehunurmelle).

	Kevät/Kesä				Syksy			
	Liete- liukN	Mineraali- N	Liete-P	Mineraali- P	Liete- liukN	Mineraali- N	Liete-P	Mineraali- P
	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]
Lohko 1:								
vuosi 1	99	101	34,1	0				
vuosi 2	0	200	0	15,9				
Lohko 2:								
vuosi 1	0	200	0	20	35	0	12,0	0
vuosi 2	0	165	0	8,0	0	0	0	0

## Vaihtoehto 2: lietelannan ja hävikkirehun käsittelyjäännös (säilörehunurmelle).

	Kevät/Kesä				Syksy			
	Liete- liukN	Mineraali- N	Liete-P	Mineraali- P	Liete- liukN	Mineraali- N	Liete-P	Mineraali- P
	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]
Lohko 1:								
vuosi 1	97	103	33,2	0				
vuosi 2	0	200	0	16,8				
Lohko 2:								
vuosi 1	0	200	0	20	35	0	12,0	0
vuosi 2	0	165	0	8,0	0	0	0	0

**Liite 4. Sikatilan lannoitusstrategia perustilanteessa ja vaihtoehdossa 1.**

Lietelannassa, kuivikepohjalannassa, käsittelyjäännöksessä ja mineraalilannoitteissa annettujen ravinteiden (liukoinen typpi ja kokonaisfosfori) levitysmäärät eri vaihtoehdoissa (Perustilanne ja vaihtoehto 1) varsinaisena levitysvuotena (vuosi 1) ja sitä seuraavana vuotena (vuosi 2). Levitysjankohdat: lohko 1 = kevät tai kesä, lohko 2 = syksy. Tummennetut solut: syyslevitys.

**Perustilanne, lietelanta:**

	Kevät				Syksy			
	Liete-liukN [kg/ha]	Mineraali-N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali-P [kg/ha]	Liete-liukN [kg/ha]	Mineraali-N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali-P [kg/ha]
Lohko 1:								
vuosi 1	32,6	57,4	15,0	0				
<b>vuosi 2</b>	<b>0</b>	<b>90,0</b>	<b>0</b>	<b>5,0</b>				
Lohko 2:								
vuosi 1	0	90,0	0	5,0	32,6	0	15,0	0
<b>vuosi 2</b>	<b>0</b>	<b>57,4</b>	<b>0</b>	<b>0,0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Perustilanne, kuivikepohjalanta:**

	Kevät				Syksy			
	Liete-liukN [kg/ha]	Mineraali-N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali-P [kg/ha]	Liete-liukN [kg/ha]	Mineraali-N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali-P [kg/ha]
Lohko 1:								
vuosi 1	8,2	81,8	15,0	0				
<b>vuosi 2</b>	<b>0</b>	<b>90,0</b>	<b>0</b>	<b>5,0</b>				
Lohko 2:								
vuosi 1	0	90,0	0	5,0	8,2	0	15,0	0
<b>vuosi 2</b>	<b>0</b>	<b>81,8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## Vaihtoehto 1, käsittelyjäännös:

	Kevät				Syksy			
	Liete- liukN [kg/ha]	Mineraali- N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali- P [kg/ha]	Liete- liukN [kg/ha]	Mineraali- N [kg/ha]	Liete-P [kg/ha]	Mineraali- P [kg/ha]
Lohko 1:								
vuosi 1	29,1	60,9	15,0	0				
vuosi 2	0	90,0	0	5,0				
Lohko 2:								
vuosi 1	0	90	0	5	29,1	0	15,0	0
vuosi 2	0	60,9	0	0	0	0	0	0





luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Viikinkaari 4  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000