



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 34/2021

# Maatilojen biokaasuntuotannon mahdollisuudet Lapissa

Satu Ervasti, Elina Tampio ja Ville Pyykkönen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 34/2021

# **Maatilojen biokaasuntuotannon mahdollisuudet Lapissa**

Satu Ervasti, Elina Tampio ja Ville Pyykkönen

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2021

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

### Viittausohje:

Ervasti, S., Tampio, E. & Pyykkönen, V. 2021. Maatilojen biokaasuntuotannon mahdollisuudet Lapissa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 34/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 53 s.

Satu Ervasti, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-7489-7717>



ISBN 978-952-380-208-7 (Painettu)

ISBN 978-952-380-209-4 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-209-4>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Satu Ervasti, Elina Tampio ja Ville Pyykkönen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2021

Julkaisuvuosi: 2021

Kannen kuva: Auvo Sairanen

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

## Tiivistelmä

Satu Ervasti<sup>1</sup>, Elina Tampio<sup>2</sup> ja Ville Pyykkönen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Ounasjoentie 6, 96200 Rovaniemi

<sup>2</sup>Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

<sup>3</sup>Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Survontie 9, 40500 Jyväskylä

Biokaasun tuotanto maatiloilla edistää osaltaan paikallista hajautettua energiantuotantoa ja ravinteiden kierrätystä. Maatilakokoluokan biokaasulaitosinvestointeja on kuitenkin rajoittanut taloudellisen kannattavuuden saavuttaminen, ja Lapissa biokaasulaitoksia on vielä muuta maata selvästi vähemmän. Lapissa muodostuu alueelleen ominaisia biohajoavia massoja, kuten poro- ja kalatalouden sivuvirtoja, joista osa on tähän asti ollut heikosti hyödynnettyjä. Maatilat biokaasun tuottajina Lapissa -hankkeen (2017–2020) tavoitteena olikin selvittää lappilaisten maatilojen biokaasuntuottomahdollisuuksia huomioiden myös alueelle ominaiset lisäsyöte-mahdollisuudet.

Lapissa maatalous perustuu nurmenviljelyyn ja nurmea syöviin eläimiin, ja 90 % maakunnan alueella muodostuvasta lannasta on naudanalantaa. Maatilojen biokaasulaitoksen kannalta keskeisimpiä sivuvirtoja alueella ovat peltobiomassat, matkailun biohajoava jäte sekä poro- ja kalasivuvirrat. Näistä suurimmat muodostumismäärät ja metaanintuottopotentiaali on peltobiomassoilla. Kokonaismääränä kala- ja porotalouden sivuvirrat eivät ole välttämättä kovin suuria, mutta niillä voi paikallisesti olla suurikin merkitys ja ne tarjoaisivat maatilojen biokaasulaitoksille runsaasti biokaasua tuottavan lisäsyötteen. Oman haasteensa lisäsyötteiden käytölle tuojoidenkin sivuvirtojen muodostuminen jaksottaisesti vain osan aikaa vuodesta.

Sivuvirtojen käyttöä lantaan pohjautuvan biokaasuprosessin lisäsyötteenä tutkittiin kokeellisesti laboratoriomittakaavassa. Panoskokeissa selvitettiin erilaisten sivuvirtoina muodostuvien lisäsyötteiden metaanintuottopotentiaalit, jotka kaikki osoittautuivat lannan metaanintuottopotentiaalia korkeammiksi. Lisäksi lisäsyötteistä analysoitiin ravinnepitoisuudet ja koostumus. Lisäsyötteiden käyttöä tutkittiin myös jatkuvatoimisilla reaktorikokeilla, joilla simuloitiin maatilamittakaavan biokaasuntuotantoa vaihtuvilla, jaksottaisilla lisäsyötteillä. Lisäsyötteet paransivat metaanintuottoa ja mädätteen ravinnepitoisuuksia, ja biokaasuprosessi kesti lisäsyötteiden vaihdot testatulla maltillisella lisäsyöteosuudella.

Hankkeessa luotiin laskennalliset maatilamallit kahdelle eri maitotilakokoluokalle, pieni tila 60 lypsävää ja iso tila 180 lypsävää. Malleilla kuvattiin maatilamittakaavan biokaasulaitoksen kannattavuutta kyseisissä kokoluokissa ja kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä, mm. lisäsyötteiden käytön vaikutuksia. Pienessä tilakoossa lisäsyötteet noin kaksinkertaistaisivat energiantuotannon, mutta kokonaisuudessaan pienen tilan biokaasulaitos jäi kuitenkin kauas kannattavasta. Isommalla nautatilalla biokaasulaitoksen kannattavuus oli saavutettavissa etenkin, jos käytössä nykyisellään oli kallis lämmitysenergiamuoto.

Lisäsyötteiden käyttöön liittyvän hygienisointiyksikön merkitystä tarkasteltiin kannattavuuslaskelmien avulla. Hygienisointia vaativa, mutta ilmainen poron teurasjäte osoittautui kannattavamaksi lisäsyötteeksi kuin säilörehunurmi. Hygienisointiyksikön kannattavuuden edellytyksiksi osoittautuivat mm. riittävän suuri laitoskokoluokka, investointituet sekä korkeahko tuotetun energian hinta ja hyödyntämisaste.

**Asiasanat:** biokaasu, lisäsyötteet, hygienisointi

# Sisällys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Lapin maatalous biokaasuntuotannon näkökulmasta .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Potentiaaliset lisäyötet ja niiden saatavuus .....</b>	<b>11</b>
3.1. Lisäyötepotentiaali Lapin alueella.....	12
3.2. Vuodenaikavaihtelut eli jaksottaisuus.....	18
3.3. Lisäyötetiden potentiaali.....	19
<b>4. Lisäyötetiden vaikutus biokaasuntuotantoon laboratorikokeissa .....</b>	<b>21</b>
4.1. Erilaisten biomassojen ominaisuudet ja metaanintuottopotentiaalit.....	21
4.2. Lisäyötetiden vaikutukset jatkuvatoimisessa kokeessa .....	26
<b>5. Biokaasuntuotannon vaikutus tilalla .....</b>	<b>33</b>
<b>6. Hygienisointiyksikön merkitys.....</b>	<b>37</b>
6.1. Hygienisointiyksikön hinta ja energiankulutus.....	37
6.2. Kannattavuusvertailu: hygienisoitava teurasjäte vrt. säilörehu biokaasulaitoksen lisäyötetinä .....	38
6.2.1. Kannattavuuslaskelmien lähtöarvot .....	38
6.2.2. Kannattavuuslaskelmien tulokset.....	39
6.2.3. Kannattavuuslaskelmien yhteenveto ja kannattavuuden edellytykset.....	40
<b>7. Pohdinta.....</b>	<b>41</b>
<b>8. Yhteenveto.....</b>	<b>42</b>
<b>Viitteet.....</b>	<b>43</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>45</b>



# 1. Johdanto

## Hankkeen tausta ja tarve

Biokaasuteknologiaa lannankäsittelyssä hyödyntävät kotieläintilat ovat tärkeässä roolissa hajautetun uusiutuvan energian tuottajina. Prosessissa muodostuvaa biokaasua voidaan jalostaa joko sähköksi ja lämmöksi ja käyttää tilan omaan energiantarpeeseen, tai sitä voidaan myydä puhdistettuna, paikallisesti tuotettuna liikennepolttoaineena. Energiantuotannon ohella biokaasuprosessi tuottaa ravinnerikasta mädätysjäännöstä, joka voidaan hyödyntää maataloudessa lannoitteena. Prosessi myös liukoistaa syötteen sisältämää orgaanista typpeä, jolloin mädätysjäännöksen sisältämän typen käyttökelpoisuus kasveille paranee ja tarve mineraalitypen käytölle vähenee. Biokaasuprosessi on usein ensimmäinen prosessointivaihe lannan ravinteiden konsentroinnissa ja käytön tehostamisessa, mikä on avainasemassa ravinnekuormituksen tasaamisessa intensiivisten lannantuotantoalueiden ja viljelyalueiden välillä (Luostarinen ym. 2019).

Biokaasun tuotanto on kiinnostanut myös Lapissa, mutta yhä vuoden 2021 alussa maakunnan alueella on vain yksi biokaasulaitos, joka sijaitsee Kemi-Tornionlaakson koulutuskuntayhtymä Lappian Louen toimipisteessä (kuva 1). Laitos käsittelee koulutustilan navetan lypsykarjan (135 eläintä) lietelannan märkäprosessissa ja tuotettu energia hyödynnetään lämpönä tilan omissa toiminnoissa.



**Kuva 1.** Lapin tällä hetkellä ainoa biokaasulaitos sijaitsee ammattiopisto Lappian Louen toimipisteellä. Kuva: Satu Ervasti.

Harvaanasuttuna ja pohjoisena alueena Lapissa muodostuu alueelleen ominaisia biohajoavia massoja, kuten poro- ja kalatalouden sivuvirtoja, joista osa on tähän asti ollut heikosti hyödynnettyjä. Hajautettu biokaasuntuotanto alueen maatiloilla voisi hyödyntää näitä vajaakäytöllä olevia biomassoja, jolloin järjestely toisi ratkaisun kahteen haasteeseen. Lisäsyötteiden käytöllä voitaisiin kasvattaa lantaan perustuvien biokaasulaitosten energiantuotantoa ja näin parantaa

maatilojen biokaasulaitosten kannattavuutta, ja samalla edistää heikosti hyödynnettyjen sivuvirtojen hyödyntämistä ravinteina ja energiana.

Paikallinen ja uusiutuva energia on nähty tärkeäksi myös maakunnan strategisissa linjauksissa. Lappi-sopimuksen 2018–2021 visioissa vuonna 2040 alueella on korkea omavaraisuusaste paikallisessa elintarvike- ja energiantuotannossa (Lapin liitto 2017). Sopimuksen yhtenä tavoitteena on aluetalouden vahvistaminen biotalouden ratkaisulla ja pyrkiminen vähähiiliseen toimintaympäristöön. Myös Lapin maaseutuohjelmassa vuosille 2021–2027 kierto- ja biotalous sekä uusiutuva energia on nostettu esiin vahvasti. Tavoitteena on, että Lappiin syntyy 30 energiaomavaraista kylää tai asumiskeskittymää (Häyrynen ym. 2019). Kansallisella tasolla Sanna Marinin hallitusohjelmassa vuonna 2019 nostettiin esiin biokaasuntuotanto ja maatalouden biomassat, ja esitettiin kansallisen biokaasuohjelman perustamista sekä biokaasuntuotannon lisäämiseen tähtääviä tukia ja sääntelyn järkevöittämistä, joita edelleen peräänkuulutettiin biokaasuohjelmaa valmistelevalle työryhmälle raportissa (TEM 2020).

EAKR Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelmasta rahoitettu Maatilat biokaasun tuottajina Lapissa -hanke ideoitiin ja toteutettiin edistämään osaltaan paikallista hajautettua energiantuotantoa ja ravinteidenkierrätystä. Hanke toteutettiin yhteistyössä Kemi-Tornionlaakson koulutuskuntayhtymä Lappian ja Luonnonvarakeskus Luken kesken vuosina 2018–2020. Hankkeen tavoitteena oli selvittää lappilaisten maatilojen biokaasuntuotantomahdollisuuksia huomioiden myös alueelle ominaiset lisäsyötemahdollisuudet. Hankkeessa kartoitettiin alueella muodostuvia biomassojen määriä ja ominaisuuksia, määritettiin lisäsyötteiden meetaanintuottopotentiaaleja sekä tutkittiin valittujen lisäsyötteiden käyttöä jatkuvatoimisissa, maatalon biokaasuntuotantoa simuloivissa kokeissa. Lisäksi tarkasteltiin biokaasuinvestoinnin ja eräiden lisäsyötteiden vaatiman hygienisointiyksikön kannattavuutta maataloille.

## 2. Lapin maatalous biokaasuntuotannon näkökulmasta

Maatilamittakaavan biokaasuntuotanto Lapissa tulee todennäköisimmin perustumaan nautakarjan lantojen käsittelyyn. Lapin maatalous on erittäin vahvasti suuntautunut nurmenviljelyyn ja nautakarjatalouteen. Yhteensä maatalous- ja puutarhayrityksiä oli vuonna 2019 Lapin ELY-keskuksen alueella 1294 kpl. Tuotantosunnittain tilat jakaantuivat seuraavasti:

- lypsykarjatalous 243 kpl
- naudanlihantuotanto 120 kpl
- yhdistetty lypsykarja ja naudanlihan tuotanto 17 kpl
- muu laidunkarja (sisältää lammas-, vuohi- ja hevostalouden) 98 kpl
- muu kasvinviljely 765 kpl (sisältää nurmenviljelyn)

Lapin maatalous perustuu siis nurmenviljelyyn ja sitä syöviin kotieläimiin. Siipikarja- tai sikatiiloja ei vuonna 2019 tilastoitu yhtään kappaletta. Vuonna 2019 Keskimääräinen käytössä oleva maatalousmaa per tila oli 34 ha, mikä oli maan toiseksi pienin Etelä-Savon jälkeen. Vuodesta 2010 vuoteen 2019 tilojen määrä Lapissa on vähentynyt 18 %. Samaan aikaan tilakoon keskiarvo on noussut, ollen vuonna 2010 28 ha ja vuonna 2019 34 ha. (SVT: Maatalous- ja puutarhayritysten rakenne)

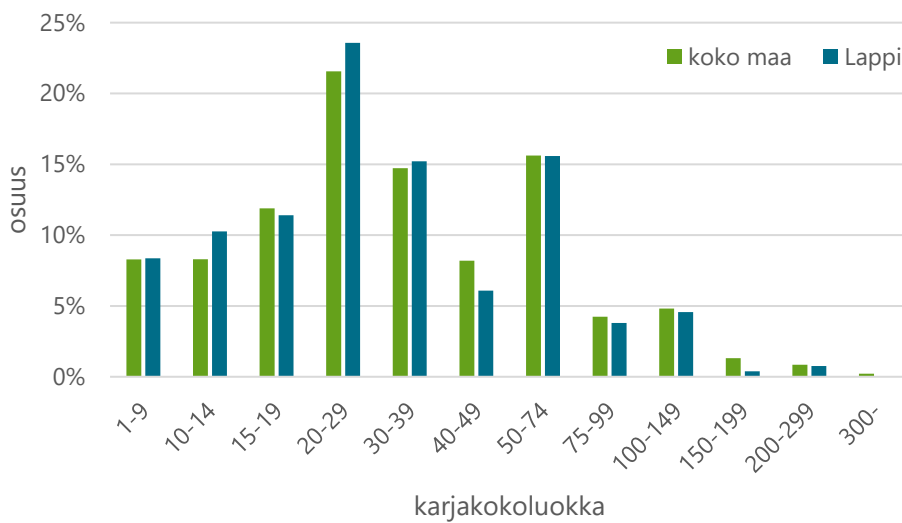


Kuva 2. Lapin maatalouden aluetarkastelu (Kuha 2015).

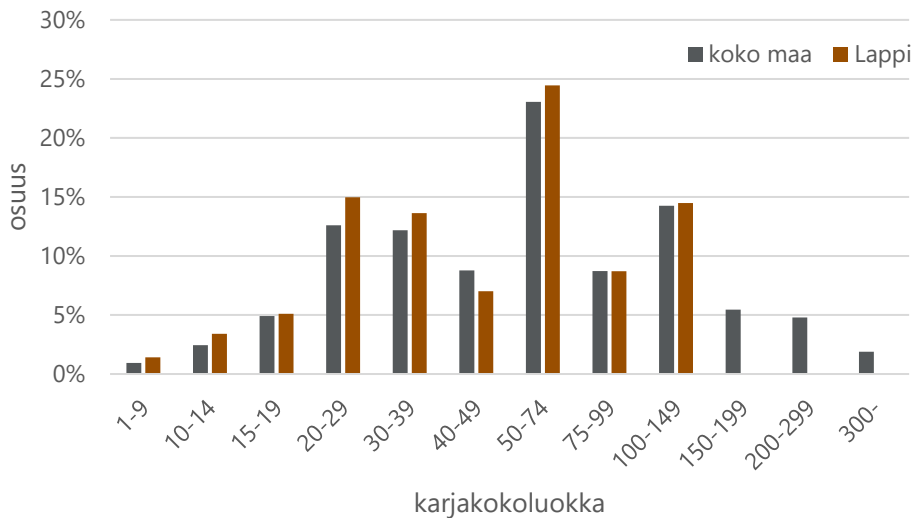


Lapin maatalouden rakennetta voidaan jaotella myös alueittain, josta esimerkkinä Kuhan (2015) laatima jaottelu on esitetty kuvassa 2. Kyseisessä jaottelussa vahvan maatalouden alueeseen kuuluu lounaisen Lapin maaseutukunnat Tornio, Ylitornio, Tervola, Simo ja Kemijärvi. Maatalouden murrosalueeksi on määritetty Pello, Rovaniemi, Kemijärvi, Ranua ja Posio. Pohjoisimman Lapin kunnat, Sodankylä lukuun ottamatta, ovat vähenevän maatalouden kategoriassa.

Lappilaisten maitotilojen kokojakauma on kuitenkin yllättävän samankaltainen koko maan vastaavan kanssa; eniten yksittäisiä maitotiloja on tilakoossa 20–29 lypsävää (kuva 3) ja eläinmäärässä suurin ryhmä on karjakokoluokka 50–74 lypsävää (kuva 4). Erona tai haasteena on kuitenkin tilojen kokonaismäärä; esimerkiksi yli 150 eläimen tiloja oli Lapissa vuonna 2019 vain 3 kpl. (SVT: Kotieläinten lukumäärä)



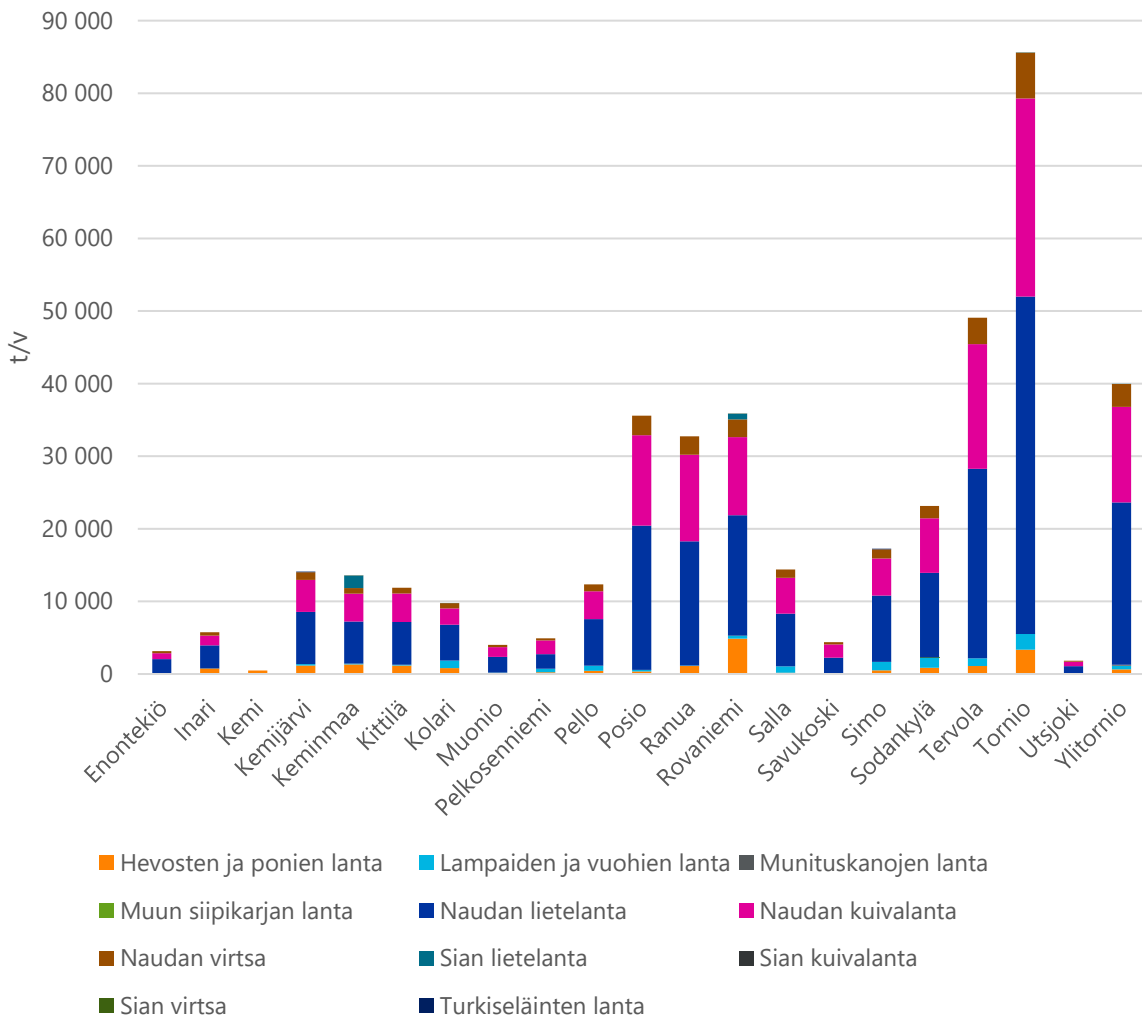
**Kuva 3.** Eri kokoisten maitotilojen osuus prosentteina tilojen määrästä koko maan ja Lapin osalta.



**Kuva 4.** Lypsylehmien määrän jakaantuminen eri tilakokojen kesken Suomessa ja Lapissa.

Nautakarjan rehuna käytetään yleensä tilan itse viljelemää nurmirehua ja tilat ovatkin pääosin pystyneet hyödyntämään lannat ja niiden ravinteet omaan nurmenviljelyyn. Lantakeskittymiä Lapin alueella ei ole samoin kuin esimerkiksi Pohjanmaan maakunnissa tai Varsinais-Suomessa (Luostarinen ym. 2019). Näin ollen myöskään lannan prosessoinnille ei ole muodostunut yhtä kovaa tarvetta kuin esimerkiksi Etelä-Pohjanmaan tai Varsinais-Suomen keskittyneen kotieläintuotannon alueilla. Lapin alueella vallitsee kotieläinten lannan ja lannoituspinta-alan välillä lähes tasapaino, lantafosforia muodostuu hieman alle kasvien ravinnetarpeen mukaiseen lannoitukseen vaadittava fosforimäärä. Kuntatasolla vaihtelua on kuitenkin enemmän ja joissain kunnissa lantafosforia muodostuu yli ravinnetarpeen, koska peltoala on vähäinen (Ravinnelaskuri-työkalu; Luke & SYKE).

Lantaa koko Lapin alueella muodostuu vuosittain lähes 420 000 tonnia, josta 90 % on naudan lannoissa (lietelanta, kuivat lannat ja virtsa). Kunnittain Lapin merkittävin lannantuottaja on Tornio (yht. 90 000 t/v). Lisäksi Posiolla, Ranualla, Rovaniemellä, Tervolassa ja Ylitorniossa muodostuu vuosittain lantaa yli 30 000 tonnia (kuva 5).



**Kuva 5.** Lantamäärät kunnittain Lapin alueella jaoteltuna eri eläinluokkiin ja lantatyyppeihin (Suomen normilanta, lanta eläinsuojan jälkeen, Luostarinen ym. 2017a,b; eläintilastot 2017 paitsi hevoset ja turkiseläimet 2016).

Yhtenä erityispiirteenä Lapissa on luonnollisesti myös porotalous. Poromäärää säätelee MMM asetus merkkipiireistä ja suurimmista sallituista poromääristä (857/2014), ja määrittää koko poronhoitoalueen enimmäisporomerkkimääräksi noin 200 000. Poronhoitoalue ulottuu myös Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun alueelle. Vuosittainen teurastusmäärä on noin 70 000–80 000 yksilöä (Paliskuntain yhdistys 2020).

Biokaasuntuotannon näkökulmasta esille nousee usein kysymys riittävän suuresta tilakoosta. Jossain määrin suurempi tilakoko tuo myös mittakaavaetua investointiin, mutta pelkästään tilakokoon perustuvaa kannattavuusrajaa on kuitenkin mahdotonta asettaa (Pyykkönen ym. 2018). Biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuuden tiedetään olevan riippuvainen hyvin monesta asiasta, mm. siitä, kuinka paljon biokaasulla pystytään korvaamaan tilan omaa energiankulutusta, kuinka paljon ja millä hinnalla ylijäävää energiaa pystytään myymään sekä millainen mädätteen lannoitusarvon nousu on.

### 3. Potentiaaliset lisäsyötteet ja niiden saatavuus

Biokaasuteknologia on tunnettu ja kaupallisesti saatavilla oleva tekniikka lannan käsittelyyn. Esimerkiksi jatkuvasekoitteinen märkämädätys on erityisen soveltuva tekniikka melko matalan kuiva-ainepitoisuuden omaaville materiaaleille, kuten lietelannalle. Biokaasuteknologian avulla pystytään samanaikaisesti hyödyntämään lannan energiapotentiaali ja hiili sekä ravinteet. Huolellisesti toteutettuna lannan biokaasukäsittelyllä voidaan vähentää lannankäsittelyketjun päästöjä sekä ilmaan että vesistöihin.

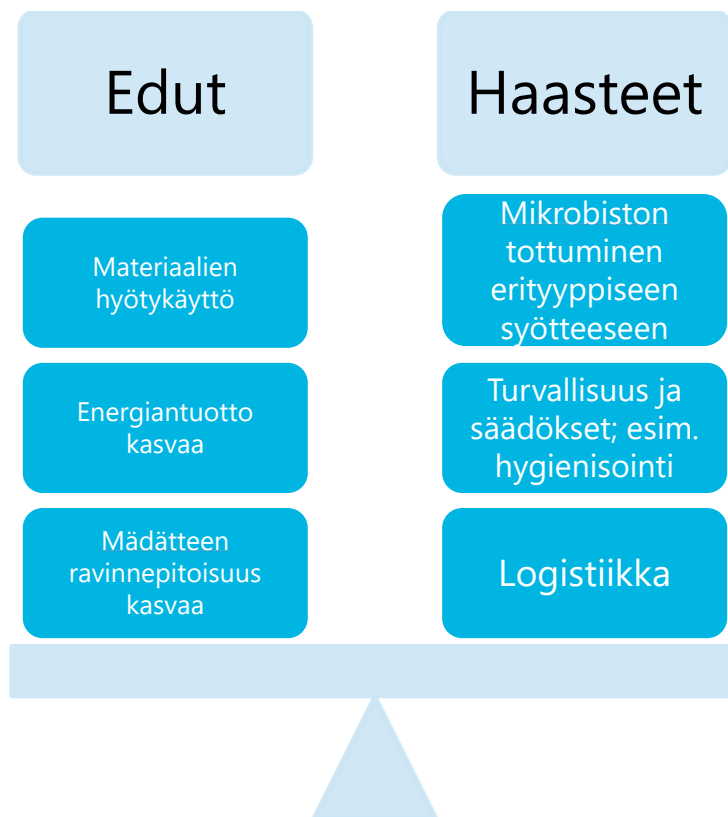
Naudan ja sian lietelantaa on perinteisesti pidetty hyvänä biokaasuprosessin perussyötteenä sen hyvän puskurikapasiteetin sekä tasaisen koostumuksen ja muodostumistahdin vuoksi. Lietelannan metaanintuotokapasiteetti on kuitenkin maltillinen esimerkiksi kuiviin lantoihin tai yhdyskuntien ja teollisuuden orgaanisiin massoihin verrattuna, mikä johtuu lietelannan korkeasta vesipitoisuudesta ja siitä, että eläimen ruuansulatus on käyttänyt jo osan rehun energiasta. Laitoksen metaanintuotannon lisäämiseksi ja toiminnan kannattavuuden parantamiseksi lantaa käsittelevät laitokset usein vastaanottavat myös lisäsyötettä. Erityisesti elintarviketeollisuuden biohajoavia massoja käsiteltäessä laitokset usein saavat myös porttimaksua eli ns. vastaanotomaksua, jollaista ei lantaperäisistä syöttestä ole juurikaan saatavilla.

Lisäsyötettä käytetään yleisesti lisäämään biokaasulaitoksen metaanintuottoa. Metaanisannot lisäsyötettä käytettäessä ovat yleensä korkeampia kuin operoitaessa laitosta pelkällä lannalla. Erityisesti runsaasti orgaanista ainesta, kuten rasvaa, hiilihydraatteja ja proteiineja sisältävät materiaalit ovat myös tehokkaita lisäämään laitoksen metaanintuottoa. Maaseudulla laitokseen soveltuvien lisäsyötteen muodostuminen on kuitenkin usein kausittaista, minkä vuoksi laitoksen perussyötteen, eli lannan, lisänä käytettävä lisäsyöte voi muuttua usein. Lisäsyötteen (esim. kalanperkeet tai leipomojätteet) koostumus rasvojen, proteiinien ja sokereiden suhteen voi olla hyvinkin erilainen verrattuna maatilalaitoksen perussyötteen, mikä voi aiheuttaa mikrobi-toiminnan häiriöitä ja kaasuntuotannon laskua.

Biokaasuprosessissa eloperäinen materiaali hajoaa mikrobien toimesta hapettomissa (anaerobisissa) olosuhteissa. Prosessin aikana materiaalia hajotetaan yhtä pienemmiksi molekyyleiksi ja lopulta metaaniksi ja hiilidioksidiksi eri mikrobisyhteisöjen toimesta. Tämä monimutkainen mikrobiologinen prosessi on herkkä erilaisille muutoksille, esimerkiksi syötteen koostumuksen vaihtelulle. Esimerkiksi korkea orgaanisen aineksen tai ammoniakkityypen määrä prosessissa voi heikentää tai jopa keskeyttää kaasuntuotannon. Ammoniakkia muodostuu erityisesti proteiinipitoisten syötteen hajotessa. Orgaanisen aineksen aiheuttamat ongelmat liittyvät useimmiten korkeisiin syöttömääriin eli kuormitukseen, jolloin mikrobireaktiot eivät ehdi hajottaa materiaalia riittävän nopeasti, mikä aiheuttaa välituotteena muodostuvien rasvahappojen määrän nousun ja edelleen pH-tason laskun. Syötteen aiheuttamia häiriöitä voidaan kuitenkin estää ja kontrolloida maltillisilla kuormitustasojen nostoilla, ja riittävän pitkillä viipymäajoilla.

Lisäsyötteen käytössä on siis paitsi etuja, myös haasteita (kuva 6). Merkittävimpiä lisäsyötteen tuomia etuja erityisesti maatilalaitoksille ovat lisääntynyt energiantuotto ja mädätteen ravinnemäärä. Sivuvirtojen ja muiden lisäsyötemateriaalien tehostunut käyttö lisää myös resurssitehokkuutta ja toiminnan kestävyyttä, mikäli lisäsyöte on aiemmin päätynyt esimerkiksi kaatopaikalle tai haudattu sellaisenaan maahan syntypaikallaan. Suurimpana haasteena voidaan pitää mikrobiologisen prosessin tottumista erilaisiin uusiin lisäsyötteisiin, mutta niiden käyttö velvoittaa usein myös uudentyypisiin turvallisuustoimenpiteisiin, esimerkiksi patogeenien hygienisointiin. Lisäksi tilalle kuljetettavat lisäsyötteet tuovat haasteita sekä syötteen että mahdollisesti myös lisääntyneen mädätteen määrän varastointiin ja logistiikkaan.

Lainsäädännön asettamia veloitteita turvaamaan mm. eläinperäisten sivujakeiden käyttöä on käyty läpi seuraavassa kappaleessa.



**Kuva 6.** Lisäsyötteiden etuja ja haasteita.

### 3.1. Lisäsyötepotentiaali Lapin alueella

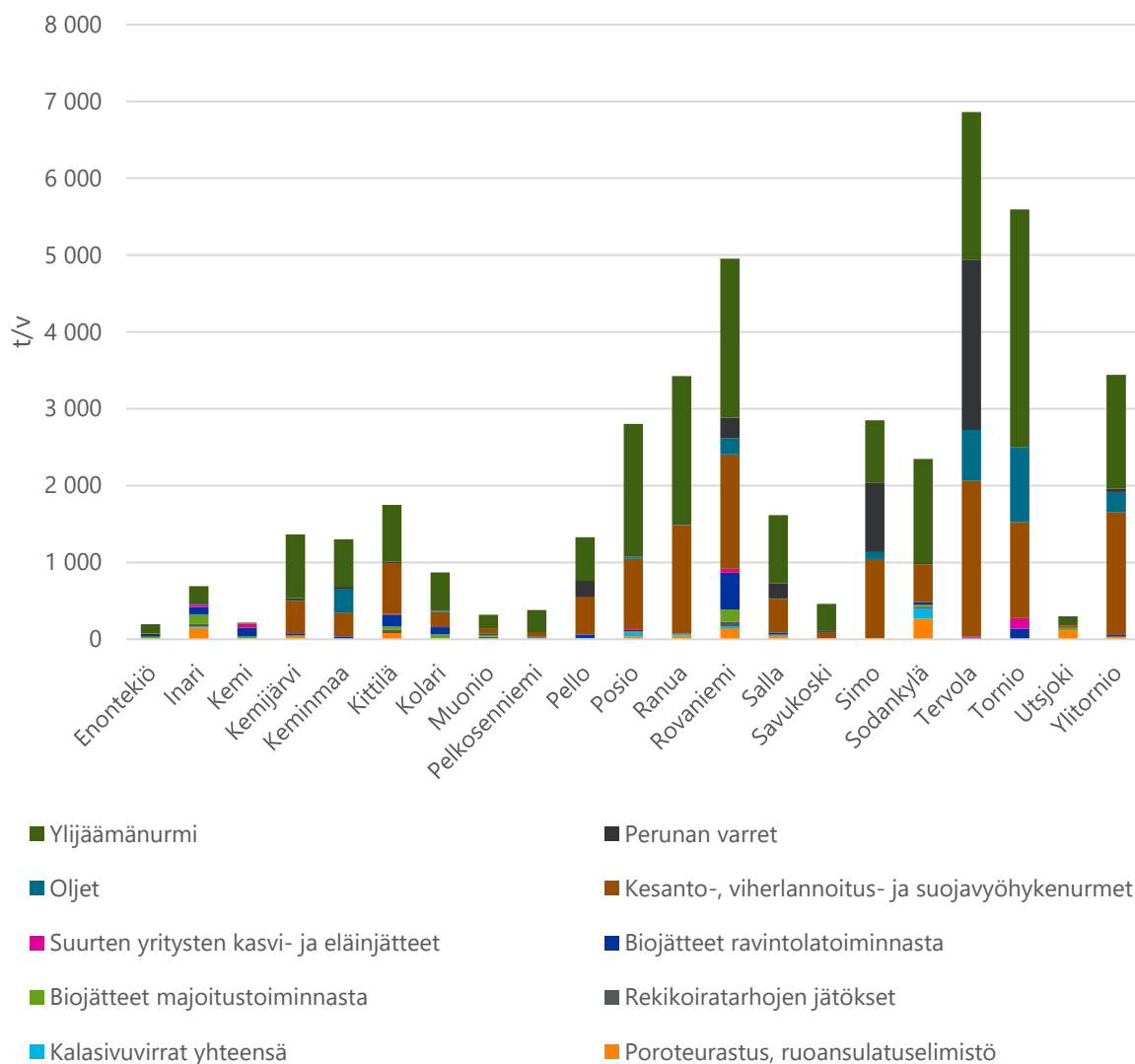
Maatilalaitosten kannalta oleellisten lisäsyötteiden ajallista ja määrällistä saatavuutta Lapin alueella arvioitiin erilaisten tilastojen ja selvitysten pohjalta. Eri puolilla Lappia syntyy erityyppisiä sivuvirtoja riippuen maatalouden ja elintarviketeollisuuden (ml. poro- ja kalatalous) sekä yhdyskuntien koosta ja rakenteesta sekä matkailun määrästä.

Kuvaan 7 on koottu mautilojen biokaasulaitoksen kannalta keskeisimmät sivuvirrat ja niiden saatavuus kunnittain Lapin alueella (tarkempi kuntakohtainen koonti liitteessä 1). Vahvan maatalouden alueella pääroolissa sivuvirtojen määrässä ovat peltobiomassat. Tervolan, Rovaniemen, Tornion ja Ylitornion alueella peltosivuvirtojen määrät ovat Lapin suurimmat. Yli 100 t vuodessa poroteurastuksen sivuvirtoja syntyi Sodankylän, Rovaniemen, Utsjoen ja Inarin alueella. Sodankylän alueella muodostuu myös kalatalouden sivuvirtoja, kuten perkuu- ja leikkuujätettä sekä sivusaalista. Kokonaismääränä kala- ja porotalouden sivuvirrat eivät ole välttämättä kovin suuria, mutta niillä voi paikallisesti olla suurikin merkitys ja ne tarjoaisivat mautilojen biokaasulaitoksille runsaasti biokaasua tuottavan lisäsyötteen.

Matkailussa muodostuu kausittain myös biojätteitä sekä majoituksen yhteydessä (mm. lomämökit) että ravintoloissa. Myös nämä matkailun massat on esitetty kuvassa 7, koska ne voivat olla paikallisesti merkittäviäkin biomassoja, joiden kuljettaminen keskitettyyn käsittelyyn voi aiheuttaa merkittäviä kustannuksia. Yhdyskuntien biojätteitä ja puhdistamolietteitä ei kuvassa



ole huomioitu, mutta ne käsitellään seuraavissa luvuissa. Näiden massojen jätehuollon järjestäminen on kuntien vastuulla ja ne kerätään ja käsitellään usein keskitetysti.



**Kuva 7.** Lapin alueella kunnittain muodostuvien biohajoavien sivuvirtojen muodostuminen vuosittain. Nämä biomassat voitaisiin mahdollisesti hyödyntää osin maatilojen biokaasulaitoksissa. Yhdyskunnissa muodostuvat biojätteet ja puhdistamolietteet on rajattu kuvan ulkopuolelle. Tietojen lähteet on kuvattu tarkemmin alla.

### Sivuvirrat pelloilta

Maatalouden kasvintuotannossa muodostuvia biokaasulaitoksen lisäsyötteiksi soveltuvia sivuvirtoja ovat mm. erilaiset kesanto-, viherlannoitus- ja suojavähykenurmet, jotka tällä hetkellä suurimmaksi osaksi niitetään peltoon (Niemeläinen ym. 2014). Lisäksi erilaiset oljet ovat alihyödynnetty biomassaa, josta osa korjataan kuivikkeeksi, mutta suurimmaksi osaksi oljet muokataan maahan. Lapissa perunanviljely on alueellisesti suuressa roolissa, jolloin viljelyssä muodostuvat perunan varret ja naatit olisivat potentiaalinen sivuvirta biokaasuntuotannolle. Myös säilörehuntuotannossa muodostuu ylijäämää, jonka suuruuden arvioitiin tässä olevan noin 5 % koko nurmisadosta (ProAgraria 2014, Rikkonen 2015). Erilaisten nurmimassojen käyttöä biokaasulaitosten syötteinä on tutkittu melko paljon ja nurmet ovatkin oivallista lisäsyötettä lantaa

käsittelevälle maatilakokoluokan biokaasulaitokselle lisäämään metaanintuottoa. Suurem-  
massa biokaasuntuotannon mittakaavassa nurmien korjuu- ja varastointi voivat kuitenkin  
nousta käytön pullonkauloiksi (Niemeläinen ym. 2014, Seppälä ym. 2014).



**Kuva 8.** Nurmet ovat energiapitoisia biomassoja, joita muodostuu maataloudessa esimerkiksi pilaantuneista rehueristä tai rehuntuotannon ylijäämänä. Kuva: Erkki Oksanen, Luke

Kasvinviljelyn sivuvirrat voisivat tulla biokaasulaitokseen tilan omilta pelloilta tai lähialueen ti-  
loilta. Niiden käyttöä helpottaa se, että varastointiin ja logistiikkaan on vakiintuneet käytännöt,  
mm. säilöntätekniikat ja varastointitavat (kuva 8). Orgaanisen aineksen palautuminen pelto-  
maahan varmistettaisiin palauttamalla prosessoitu mädäte samoille pelloille. Koko Lapin alu-  
eella arvioitiin muodostuvan 20 000 tonnia säilörehunurmen ylijäämää, 13 000 tonnia kesanto-,  
viherrannoitus- ja suojavyöhykenurmia, 2500 tonnia olkia ja 4000 tonnia perunan varsibio-  
massaa. Kasvimassojen suhteen merkittävimmät kunnat olivat Tervola, Rovaniemi, Tornio, Ranua ja  
Simo.

Kasvinviljelyssä muodostuvien sivuvirtojen määrät kartoitettiin Biomassa-atlas karttapalvelun  
avulla. Biomassa-atlaksen kuiva-aineena ilmoittamat sadot laskettiin tuorepainoihin liitteen 2  
mukaisilla tiedoilla.

### **Poroteurastuksen sivuvirrat**

Poroteurastuksessa muodostuvia sivuvirtoja ovat mm. veri, päät ja sorkat, elinniput, ruuansu-  
latuselimistö sekä luut. Maatilojen biokaasulaitoksille soveltuvia lisäsyötteitä teurastamoilta  
voisivat olla esimerkiksi ruuansulatuselimistöt sisältöineen, joille tällä hetkellä ei ole käyttöä  
esimerkiksi eläinrehuna. Poroteurastuksen sivuvirtoja muodostuu Lapin alueella muutamissa  
kunnissa, joista merkittävimpiä ovat Sodankylä, Rovaniemi ja Inari, joista Sodankylässä

teurastuksen ruuansulatuselimistöjä muodostuu noin 270 tonnia vuosittain, Rovaniemellä ja Inarissa 120–130 tonnia vuosittain.

Teurastuksen sivuvirtojen osalta huomioitavaa on kuitenkin eläinperäisiin sivuvirtoihin liittyvä lainsäädäntö (EY/1096/2009). Lainsäädäntö asettaa ruuansulatuselimistöt ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä luokkaan 3, ja vaatii niiden käsittelyn hyväksyttävällä teknologialla. Käytännössä biokaasulaitoksilla tämä tarkoittaa hygienisointia joko ennen mädätystä tai sen jälkeen (1h, 70 °C).

Tällä hetkellä teurastuksessa muodostuville ruuansulatuselimistöille sisältöineen ei ole vakiintuneita hyötykäyttömahdollisuuksia Lapissa, vaan ne sivutuoteasetuksen sallimana haudataan maahan. Jotta jätteiden arvokkaan ravinteet ja orgaaninen aines saataisiin hyötykäyttöön ja edelleen kiertoon, olisi käsittely esimerkiksi biokaasulaitoksessa tärkeää. Koska kuljetusmatkat keskitettyyn biokaasukäsittelyyn ovat Lapissa pitkät, olisi myös teurasjätteiden osalta hyvä huomioida hajautetun käsittelyn mahdollisuudet esimerkiksi maatilalaitoksissa.

Poroteurastuksen sivuvirtojen määrät ovat peräisin Lapin AMK:n koordinoimasta ”Biojätteestä raaka-aineeksi – kala- ja porotalous osaksi kiertotaloutta” -hankkeesta.

### **Kalasisivuvirrat**

Kalantuotannon sivuvirtoja muodostuu esimerkiksi kalasatamissa ja kalan kasvatuslaitoksilla, mutta myös esimerkiksi hoitokalastuksen yhteydessä (kuva 9). Tässä työssä kartoitettiin Lapissa muodostuvat sivuvirrat satamissa ja kasvatuslaitoksissa, ja ne koostuivat perkuu- sekä leikkujätteestä. Vesienhoidon tehopyynnin sivusaalis huomioitiin myös. Kalasisivuvirtoja muodostuu eniten Sodankylässä (yhteensä 130 tonnia/v), jossa myös sivusaaliin osuus on merkittävä (70 t/v). Rovaniemellä muodostuu noin 35 t/v perkuujätettä, ja Posiolla saman verran sivusaalista vuosittain.

Kalaperäisten sivuvirtojen saatavuus on hyvin paikallista ja maatilojen biokaasulaitokset voisivat tarjota keinon näiden materiaalien käsittelyyn. Kuten poroteurastuksen sivuvirrat, myös kalaperäiset sivuvirrat ovat sivutuotelainsäädännön alaisia, ja niiden käsittelyssä biokaasulaitoksissa vaaditaan hygienisointi. Tällä hetkellä kalankasvatuksen sivuvirtoja päätyy esimerkiksi turkistarhoille eläinten rehuksi, kun taas hoitokalastuksen saaliille ei ole hyötykäyttökohdetta, vaan ne haudataan pääsääntöisesti maahan.

Kalasadamista ja kalan kasvatuslaitoksilta muodostuvien kalaperäisten sivuvirtojen määriä on kartoitettu Lapin AMK:n koordinoimasta ”Biojätteestä raaka-aineeksi – kala- ja porotalous osaksi kiertotaloutta” -hankkeessa. Samassa hankkeessa on arvioitu myös vesienhoidon tehopyynnin sivusaaliin määrää.





**Kuva 9.** Esimerkiksi särkeä poistetaan tehopyynneissä vesistöjen rehevöitymisen hillitsemiseksi. Kuva: Satu Ervasti.

### **Yritysten eläin- ja kasvijäte**

Poro- ja kalatalouden ulkopuolisten yritysten eläin- ja kasvijätteitä, esimerkiksi leipomoista ja erilaisista liha- ja kasvistuotteiden jalostuslaitoksilta voitaisiin hyödyntää biokaasulaitoksen lisäsyötteinä. Tässä hankkeessa näiden massojen määrää kartoitettiin Biomassa-atlas karttapalvelun avulla, jossa saatavilla ovat ainoastaan suurempien ympäristölupavelvollisten (AVI:n luvitamat) laitosten jätemassat. Näitä massoja muodostuu yhteensä vain 120 tonnia vuosittain, josta 50 tonnia Kemissä sekä Torniossa ja noin 20 tonnia Kittilässä. Jotta paikallisesti muodostuvista pienistä yritysten jäte-eristä päästäisiin selvytyteen, tulisi tilanne tarkastella esimerkiksi suorien yhteydenotoin paikallisiin yrityksiin. Maatilojen laitosten kannalta myös näillä pienillä jätevirroilla voisi olla laitoksen lisäsyötepotentiaalin kannalta suuri merkitys.

### **Matkailun biohajoava jäte**

Lapin matkailun aiheuttamia biojättekertymiä on aiemmin tarkasteltu VÄLKKEY- vähähiilisuuden ja kestävän kehityksen edistäminen Lapin matkailussa -hankkeen tilaamassa raportissa (LCA Consulting Oy 2020). Raportissa selvitettiin laskennallisesti matkailuun liittyviä majoitus- ja ravintolapalveluissa sekä päivittäistavarakaupoissa muodostuvia biohajoavien jätteiden määriä. Tähän raporttiin poimittiin mukaan majoitus- ja ravintolatoiminnan biojättemäärät, joiden hyödyntäminen keskitetysti saattaa olla haastavaa kausiluontoisuuden, hajanaisen sijainnin sekä suhteellisesti pienien muodostumismäärien vuoksi.

Majoitustoiminnasta raportin mukaan muodostuu noin 580 ja ravintolatoiminnasta 1350 tonnia biojätettä vuosittain Lapin alueella. Merkittävimmät määrät keskittyvät suurimpiin matkailukeskuksiin, Rovaniemelle, Inariin ja Kittilään, myös Torniossa ja Kemissä muodostuu melko runsaasti ravintolatoiminnan biojätteitä asukasmääränsä vuoksi. Tällä hetkellä suuri osa matkailutoiminnan aiheuttamasta biojättemäärästä päättyy polttoon, mutta hajautetulla

biokaasukäsittelyllä voisi olla potentiaalia myös näiden massojen käsittelyssä. Myös biojätteidensä käsittelyssä maatilalaitoksissa tulee huomioida hygienisointitarve.

### **Muut potentiaaliset biomassat**

Muita maatilojen biokaasulaitoksiin soveltuvia paikallisia biomassoja ovat esimerkiksi tilan ulkopuoliset lannat sekä toistaiseksi hyödyntämättömät rekikoirien jätökset. Lapin lantakertymää tarkasteltiin kappaleessa 2, ja esimerkiksi ratsastus- ja ravitallien lanta voisi olla myös tiloille sopivaa lisäsyötettä. Talleilla lannankäsittely ja hyödyntäminen on usein haasteena, ja paikallinen hyödyntämiskohde voi olla kiinnostava. Biokaasulaitoksen kannalta hevosennannan käyttöä lisäsyötteenä heikentää kuitenkin sen korkea kuiva-ainepitoisuus (suuri määrä voi vaatia laimennusta) sekä kuivikkeen suuri osuus. Kuivikkeena käytetään usein puuperäistä materiaalia tai turvetta, mikä laskee lannan metaanintuottopotentiaalia. Aiemmin on arvioitu, että esimerkiksi Rovaniemen lähialueella olisi saatavissa ravitallien hevosennantaa noin 3 000 t/v (Case Mäntyvaara-hanke, Kiviniemi 2020).

LCA Consulting (2020) taas tarkasteli rekikoirien jätösten potentiaalia Lapin kunnissa. Jätöksiä arvioitiin muodostuvan lähes 270 tonnia vuosittain, josta suurimmat potentiaalit olivat Rovaniemen, Kittilän, Inarin ja Muonion kunnissa. Kuntatasolla rekikoirien jätösten massamäärä on samaa luokkaa kuin esimerkiksi kalasivuvirtojen määrä eli paikallisesti näillä massoilla voi olla suurikin merkitys. Rekikoirien jätösten käyttöä biokaasulaitoksen syötteenä ei ole kuitenkaan tutkittu, joten tarkkaa tietoa niiden kaasuntuotosta ei ole. Jätösten hyödyntämisen todennäköisesti vaatisi kuitenkin hygienisoinnin.

### **Yhdyskuntien biojäte ja puhdistamolietteet**

Yhdyskuntien biojätteet ja puhdistamolietteet rajattiin osin biomassaselvityksen ulkopuolelle. Yhdyskunnissa muodostuvien jätteiden jätehuollon järjestäminen on kuntien vastuulla, jolloin jätehuolto on usein keskitettyä ja pienempien erien saaminen maatilalaitoksiin haastavampaa. Lisäksi puhdistamo- tai sakokaivolietteitä tai niitä sisältäviä lannoitevalmisteita ei saa levittää viljelymaille, joilla kasvatetaan kasveja, joita käytetään sellaisenaan ihmisten ravinnoksi tai eläinten rehuksi. Näin ollen käyttö nurmelle ei ole mahdollista, joskin nurmelle kalkkistabiloitua lietettä saa nurmea perustettaessa suojaviljan kanssa ja multaamalla liete huolellisesti.

Yhdyskuntien biojätteiden ja lietteiden määrien arviointi on myös haastavaa. Suuressa osassa Lapin alueesta ei biojätteen erilliskeräys ole vielä käytössä, vaan biojäte päätyy sekajätteen mukana polttoon. Erilliskerätyn biojätteen potentiaalista määrää voidaan kuitenkin arvioida asukasluvun perusteella, olettaen biojätteen muodostumiselle tietty kerroin. Biomassa-atlaksessa yhdyskuntien ja palveluiden erilliskerätyn biojätteen määrän kertymälle käytetään oletusta/arviota 77 kg/vuosi. Tämän perusteella, yhdyskuntien biojätteitä muodostuisi Lapin alueella potentiaalisesti yhteensä noin 13 500 tonnia.

LCA Consultingin (2020) selvityksessä arvioitiin Lapin biojätepotentiaalia tilanteessa, jossa erilliskeräysvelvoite laajenee yli 10 000 asukkaan taajamiin niin, että kaikki vähintään 5 huoneiston kiinteistöt sekä 40 % alle 5 huoneiston kiinteistöistä on erilliskeräyksen piirissä. Yhteensä Lapin alueella tämä tarkoittaisi 3700 tonnin vuotuista jätemäärää. Lisäksi selvityksessä arvioitiin julkiselta sektorilta (koulut, sairaalat jne.) kertyvää jätemäärää, jonka arvioitiin olevan vuosittain koko Lapin alueella noin 2000 tonnia.

Puhdistamolietteiden määrää on aiemmin arvioitu Luken ja SYKEN toteuttaman Ravinlaskuri-työkalun avulla niin, että asukaskohtainen lietemäärä on 76,5 g kuiva-ainetta /as/vrk (perustuen VVY:n raportoiimiin valtakunnallisiin lietemääriin, Vilpanen & Toivikko 2017). Kertoimen avulla

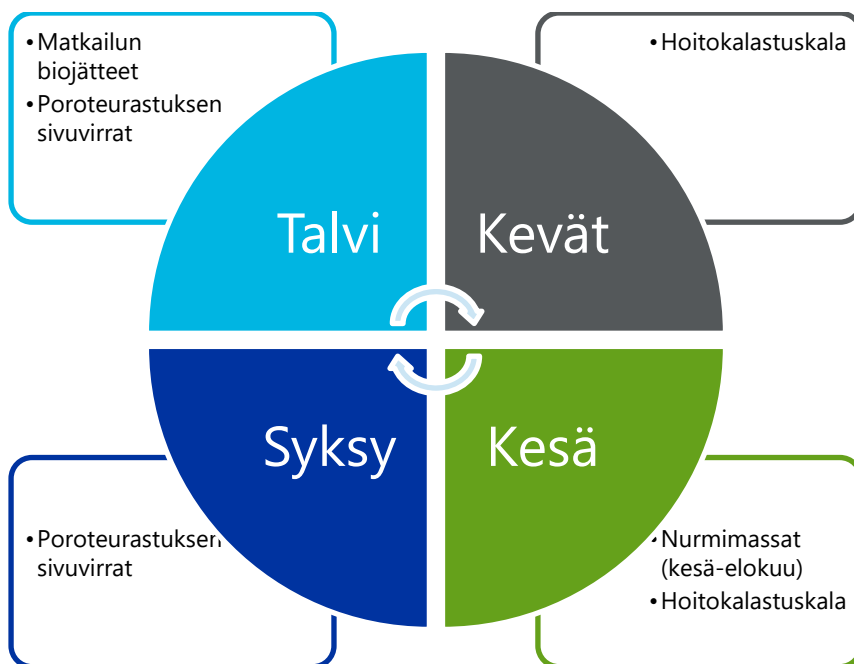


laskettuna Lapin alueella muodostuisi jätevesilietettä yhteensä 24 800 tonnia vuosittain (oletettu lietteen kuiva-ainepitoisuus 20 %). Vertailulukuna voidaan käyttää AFRY:n Rovaniemen Residuumille toteuttamassa selvityksessä haastatteluiden kautta raportoitua lietemäärää 24 250 tonnia Lapin jätevedenpuhdistamoilta (ml. Napapiirin Energia ja Vesi lietemäärä).

### 3.2. Vuodenaikavaihtelut eli jaksottaisuus

Tässä työssä tarkastellut, mautiloilla sekä muussa yritystoiminnassa muodostuvat, biokaasulaitosten lisäsyötteiksi soveltuvat sivuvirrat muodostuvat usein tiettyyn aikaan vuodesta. Tämä vuodenaikavaihtelu ja jaksottaisuus voi asettaa biokaasulaitoksen toiminnalle haasteita, koska laitos on toiminnassa ympäri vuoden ja vaatii syötteitä ympärivuotisesti. Usein biokaasulaitoksia on myös totuttu operoimaan suhteellisen tasaisesti niin, että syötesekoksen ominaisuudet eivät merkittävästi muutu.

Maatilalla lantaa muodostuu tasaisesti ympäri vuoden, eivätkä sen ominaisuudet juurikaan muutu, jolloin lanta on hyvä perussyöte. Mikäli lisäsyötteiden määrä suhteessa lantaan on mallillinen, ei lisäsyötteiden koostumuksen muutoksilla ole niin suurta merkitystä lannan laimentavasta vaikutuksesta johtuen.

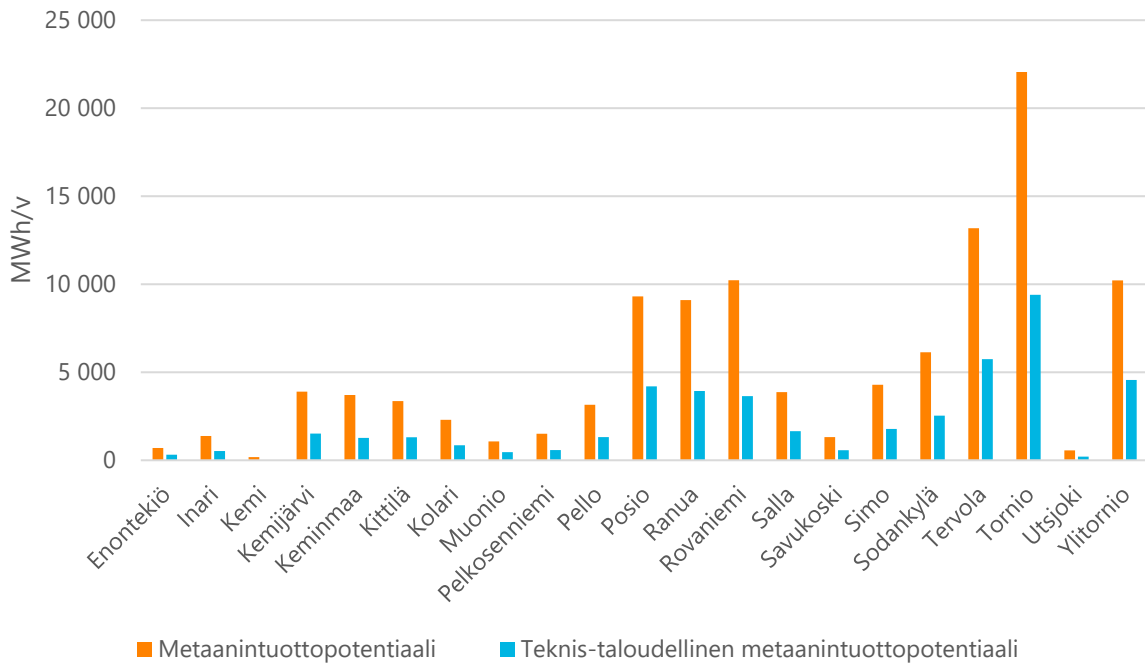


**Kuva 10.** Sivuvirtojen vuodenaikavaihtelut.

Lannan lisäksi ympäri vuoden tasaisesti muodostuvia lisäsyötteitä ovat esimerkiksi yhdyskuntien biomassat, kuten biojätteet ja puhdistamolietteet. Muut potentiaaliset lisäsyötemassat ovat kuitenkin riippuvaisia vuodenajasta (kuva 10). Kasvipäiset sivuvirrat, kuten nurmimassat, oljet ja kasvien varret painottuvat kesään ja syksyyn. Näitä massoja kuitenkin myös säilötään, jolloin esimerkiksi säilörehunurmea on biokaasulaitoksilla käytössä ympäri vuoden. Poroteurastuksen sivuvirtoja muodostuu syksystä talveen, ja esimerkiksi hoitokalastuksen kalavirtoja keväisin ja kesällä. Matkailusta aiheutuvat biojätevirrat Lapissa painottuvat suurimmaksi osaksi talvikauteen.

### 3.3. Lisäyötteiden potentiaali

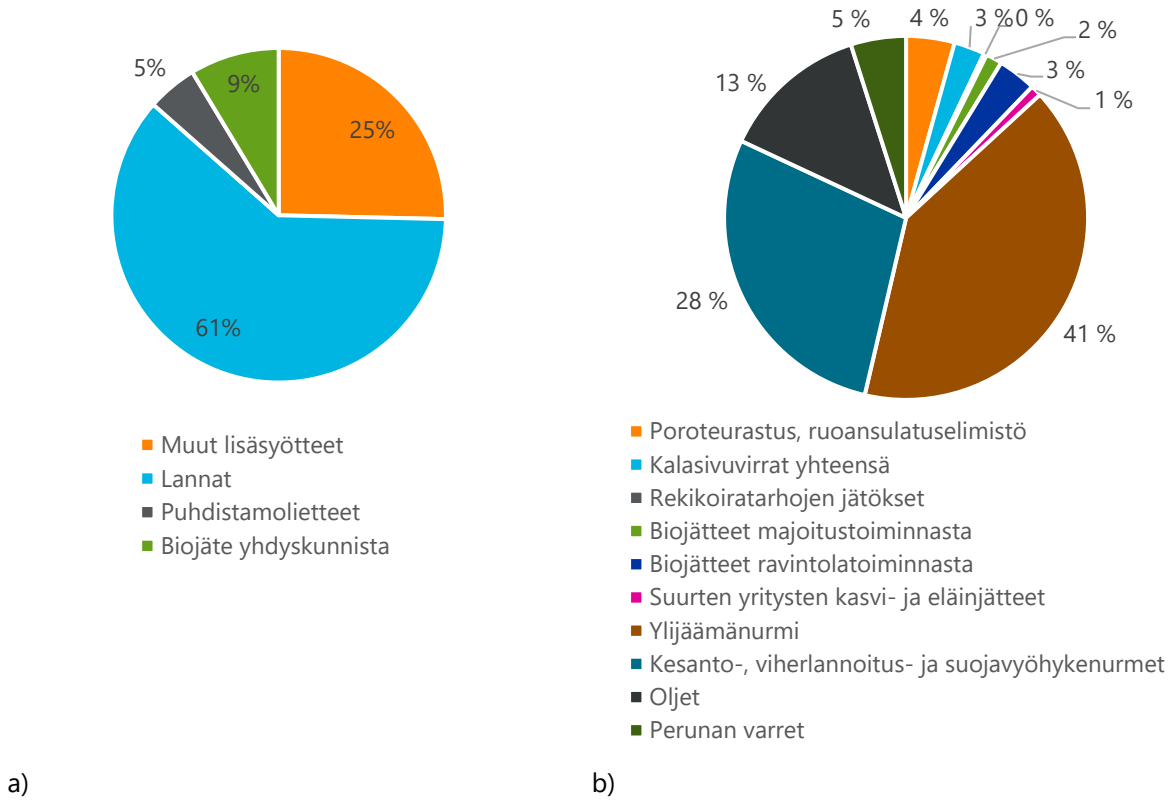
Lapin alueen erilaisten maatalan biokaasulaitoksen lisäyötteeksi soveltuvien sivuvirtojen potentiaalia tarkasteltiin myös niiden metaanintuottopotentiaalin avulla. Lapissa kotieläinten lannan metaanintuottopotentiaali on yhteensä noin 111 000 MWh vuosittain (lannan kaasuntuoton laskenta Luostarinen ym. 2019 mukaan). Kuntatasolla tarkasteltuna korkein biometaanin kokonaispotentiaali on Torniossa noin 22 000 MWh vuosittain. Teknis-taloudellisena potentiaalina pidetään usein sitä, että naudan lietalannasta hyödynnetään biokaasuksi 60 % ja kuivalannasta 40 %. Tällä laskentatavalla koko Lapin alueen lannan teknis-taloudellinen biokaasupotentiaali on 64 300 MWh/v. Esimerkiksi Torniossa lannan teknis-taloudellinen biokaasupotentiaali on noin 9000 MWh (kuva 11).



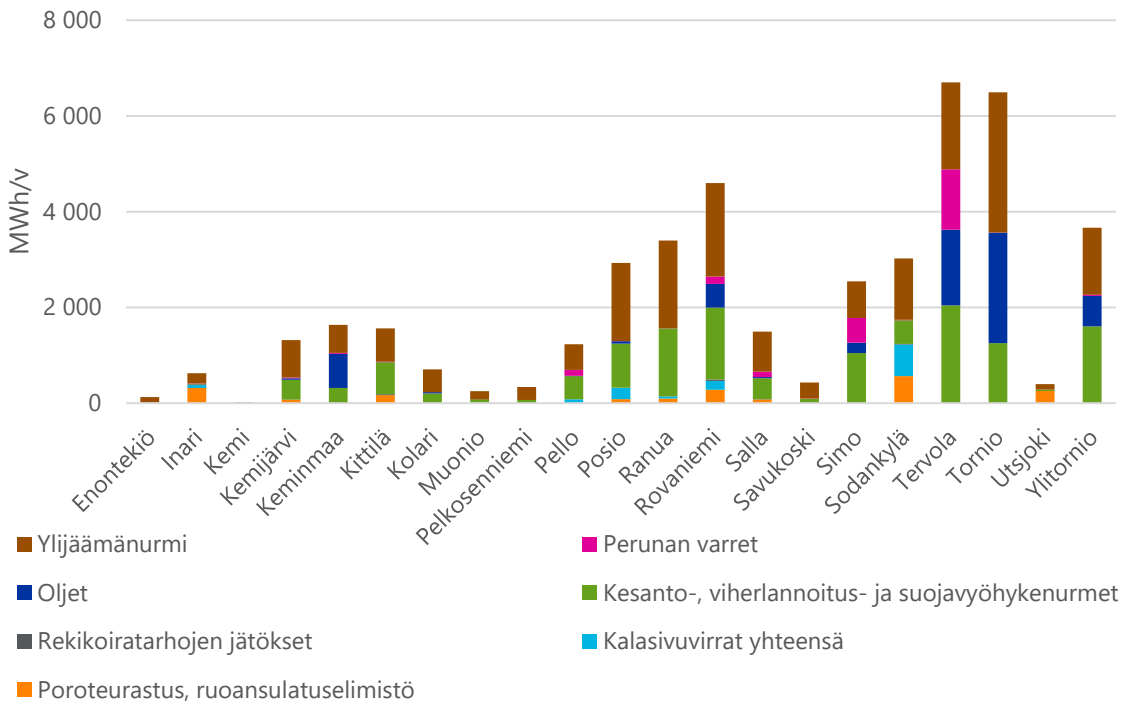
**Kuva 11.** Lannan metaanintuottopotentiaalit. Potentiaalissa huomioitu kaikki lannat ja teknis-taloudellisessa potentiaalissa 60 % naudan lietalannasta ja 40 % naudan kuivalannasta (tuotto ja arviot teknis-taloudellisuudesta perustuen Luostarinen ym. 2019,  $1 \text{ m}^3 \text{CH}_4 = 10 \text{ kWh}$ ).

Kun lantojen kanssa lasketaan myös muut kappaleessa 3.1 esitellyt sivuvirrat, saadaan Lapin alueen yhteenlasketuksi biokaasupotentiaaliksi 182 000 MWh/v. Tästä summasta lannan osuus on 61 %, puhdistamolietteen ja yhdyskuntien biojätteen noin 14 %. Mahdollisten lisäyötteiden osuus on neljäsosa koko potentiaalista (kuva 12). Lisäyötteiden yhteenlasketusta potentiaalista maatalouden nurmi- ja olkimassat kattavat suurimman osan (kuva 12b).

Kun lisäyötepotentiaaleja tarkastellaan kuntakohtaisesti, havaitaan niiden rooli paikallisesti (kuva 13). Esimerkiksi Inarissa on porourastuksen sivuvirroilla kunnan metaanipotentialissa suuri merkitys, samoin teurastuksen ja kalasivuvirtojen osalta Sodankylässä. Metaanintuoton lisäksi kuitenkin myös sivuvirtojen sisältämällä ravinteilla on merkitystä. Suurin osa kunnittain muodostuvista typpi- ja fosforimääristä on kotieläinten lannassa sekä nurmi- ja olkimassoissa, mutta paikallisesti myös muilla biomassoilla ja sivuvirroilla voi olla merkittävä osa. Mikäli näitä muita massoja käsitellään biokaasulaitoksissa, päätyvät niiden sisältämät ravinteet mädätteen mukana pelloille ravinteeksi korvaamaan mineraalilannoitteita.



**Kuva 12.** Lannan ja lisäsyötteiden metaanintuottopotentiali Lapissa, yhteensä noin 182 000 MWh/v. a) Lannan, biojätteiden ja puhdistamolietteiden potentiaalın suhde muihin lisäsyötteisiin. b) Muiden lisäsyötteiden potentiaalın (yht. 46 000 MWh/v) jakautuminen eri biomassoihin.



**Kuva 13.** Maatilan biokaasulaitoksen lisäsyötteeksi soveltuvien sivuvirtojen metaanintuottopotentiali kunnittain Lapissa.

## 4. Lisäsyötteiden vaikutus biokaasuntuotantoon laboratorikokeissa

Lapin maaseudulle ominaisten sivuvirtojen (taulukko 1) käyttöä biokaasuprosessin lisäsyötteenä tutkittiin kokeellisesti laboratoriomittakaavassa. Materiaaleista määritettiin niiden koostumus sekä biokemiallinen metaanintuottopotentiali eli BMP (Biochemical Methane Potential). Lisäksi neljää valittua lisäsyötettä testattiin jatkuvatoimisissa reaktorikokeissa, jotka simuloivat maatilamittakaavan biokaasulaitosta syötteineen ja syötesuhteineen. Kokeiden toteutusmenetelmät esitellään liitteissä 3 ja 4.

### 4.1. Erilaisten biomassojen ominaisuudet ja metaanintuottopotentialit

Eri lisäsyötemassojen ominaisuuksia ja metaanintuottopotentialia tarkasteltiin vuonna 2018 aloitetulla panostoimisella metaanintuottokokeella sekä laboratorioanalyysillä. Mukana oli näytteitä laajalla skaalalla eri lähteistä ja tavoitteena oli tutkia ominaisuuksiltaan erilaisia Lapin maataloudessa ja elintarviketuotannossa muodostuvia sivuvirtoja. Yhteensä eri näytteitä kerättiin 12 kpl, joista yksi oli biokaasulaitoksen perussyöte eli naudan lietelanta. Taulukkoon 2 on koottu yhteenveto analysoitujen näytteiden ominaisuuksista, taulukkoon 3 on koottu näytteiden metaanintuottopotentialit, ja lisäksi kuvissa 14–17 on esitetty näytteiden metaanintuottopotentialit graafisesti. Ensimmäisen lisäsyötekokeen tulokset on raportoitu yksityiskohtaisemmin Ervastin ym. (2019) julkaisussa.

Maatilakokoluokan biokaasulaitoksen perussyötteenä usein käytettävän naudan lietelannan kuiva-ainepitoisuus panoskokeissa oli noin 8 % ja metaanintuottopotentiali 200 m<sup>3</sup>/tVS. Kaikissa tutkituissa lisäsyötteissä oli korkeampi TS-pitoisuus kuin lietelannalla. Korkeampi TS-pitoisuus nostaa käsiteltävän seoksen TS-pitoisuutta ja voi näin vaikuttaa reaktorin sekoitettavuuteen, mutta matalissa seossuhteissa vaikutus ei ole merkittävä. Monet lisäsyötteistä, kuten esimerkiksi hoitokalastuskala sekä leipomon jätejakeet sisälsivät runsaasti typpeä. Biokaasuprosessissa korkea typpipitoisuus voi olla haitaksi, koska se on mikrobien toimintaa inhiboivaa. Lisäsyötteiden typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet kuitenkin myös parantavat mädätteen ominaisuuksia lannoitteena pelkkään lietelantaan verrattuna.

Kaikki analysoidut lisäsyötteet tuottivat metaania enemmän kuin naudan lietelanta. Lietelantaan (190 m<sup>3</sup>/tVS) nähden maltillisia metaanintuottopotentialiaaleja havaittiin nurmimassoilla sekä poroteurastuksesta peräisin olevilla poron mahan sisällöillä (265–315 m<sup>3</sup>/tVS). Elintarviketeollisuuden sivuvirroista perunalla ja leipomojätteellä sekä hoitokalastuskalalla ja poroteurastuksesta peräisin olevien nuorten eläinten suolilla havaittiin hieman korkeampia metaanipotentialiaaleja (350–450 m<sup>3</sup>/tVS). Korkeimmat metaanipotentialit olivat aikuisten porojen suolilla, kirjolohen perkuujätteissä sekä käytetyllä paistorasvalla (690–850 m<sup>3</sup>/tVS), mikä johtui näiden jakeiden korkeista proteiini- ja rasvapitoisuuksista. Suoraa korkean typpipitoisuuden tai rasvapitoisuuden aiheuttamaa mikrobien inhibitiosta johtuvaa metaanintuoton häiriötä ei kokeissa havaittu muiden massojen kuin poronsuolten (nuori eläin) suolijätteiden osalta (kuva 15).

**Taulukko 1.** Biokaasuntuotannon lisäsyötteinä tutkitut materiaalit.

Biomassan tyyppi	Syötteen nimi	Kuvaus syötteestä	Saatavuus
Maatalous	Naudan lietelanta	Lappian Tervolan opetusmaatila, 57 lypsylehmää ja 52 nuorkarjaa	Ympärivuotinen
	Säilörehunurmi	Timotei, ruokonata ja puna-apila -seos, toinen sato	
	Pilaantunut säilörehunurmi	Rehukäytöstä homeen, lämpenemisen tms. vuoksi poistettu nurmi	
Poroteurastuksen sivuvirrat	Mahan sisältö, nuori poro	Teurastuksesta	Syyskuu-tammikuu
	Mahan sisältö, aikuinen poro	Teurastuksesta	
	Poronsuolet, nuori	Teurastuksesta, suolet ja suolen sisältö	
	Poronsuolet, aikuinen	Teurastuksesta, suolet ja suolen sisältö	
Kalasivuvirrat	Hoitokalastuskala	Sisävesikala hoitokalastuksesta	Kevät-kesä
	Kirjolohen perkuujätteet	Perkuujätteet kalanviljelylaitokselta, viljelty kirjलोhi	Ympärivuotinen
Elintarviketuotannon sivutuotteet	Peruna	Koon ja/tai muodon vuoksi myyntiin päättymätön Lapin puikulaperuna	Syksy
	Leipomojäte	Leipomolaitteistojen puhdistuksessa syntyvä sivuvirta, Jokioinen,	Ympärivuotinen
	Käytetty paistorasva	Ammattiopisto Lappian keittiöstä, Tervola	Ympärivuotinen
<b>Jatkuvatoimisessa reaktorikokeessa tutkitut materiaalit</b>			
Maatalous	Naudan lietelanta	Luken Minkiön navetta (Jokioinen), 209 eläimen pihatto (lypsylehmät + hiehot)	Ympärivuotinen
	Säilörehunurmi	Timotei-nurminata seos, 2. sato, Jokioinen	
Elintarviketuotannon sivutuotteet	Peruna	Koon ja/tai muodon vuoksi myyntiin päättymätön Lapin puikulaperuna	Syksy
Kalasivuvirrat	Hoitokalastuskala	Sisävesikala hoitokalastuksesta, särki ja lahna	Kevät-kesä
	Kirjolohen perkuujäte	Perkuujätteet kalanviljelylaitokselta, viljelty kirjलोhi	Ympärivuotinen
Poroteurastuksen sivuvirrat	Poronsuolet	Yksittäinen omaan käyttöön teurastettu aikuinen poro	Syyskuu-tammikuu

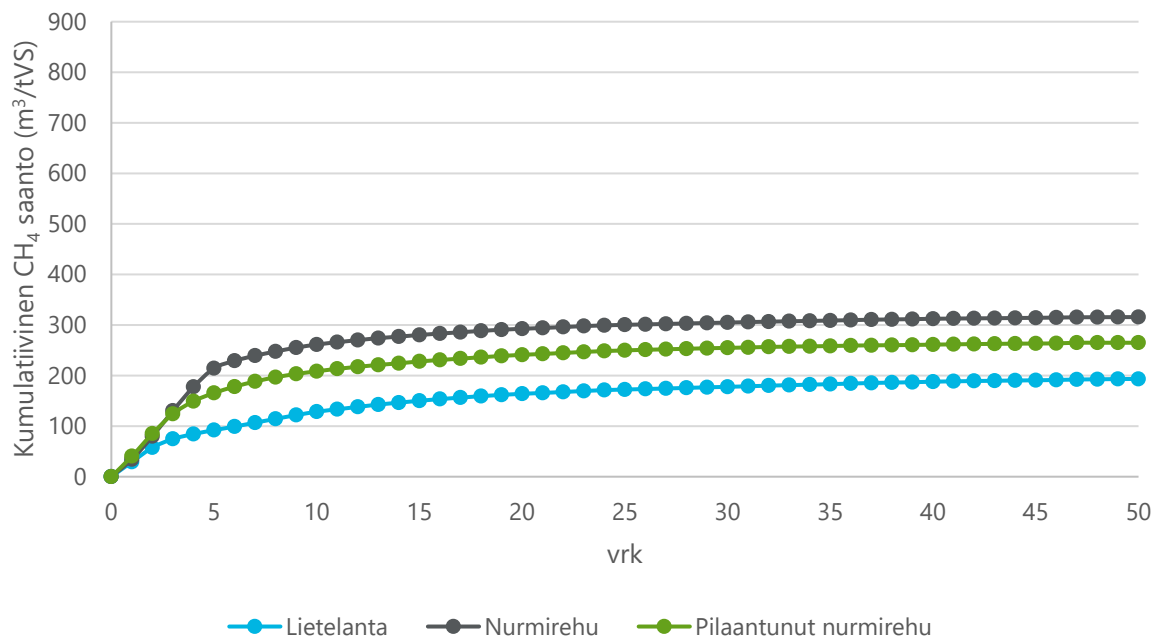


**Taulukko 2.** Biokaasuprosessin perussyötteiden ja mahdollisten lisäsyötteiden ominaisuuksia.

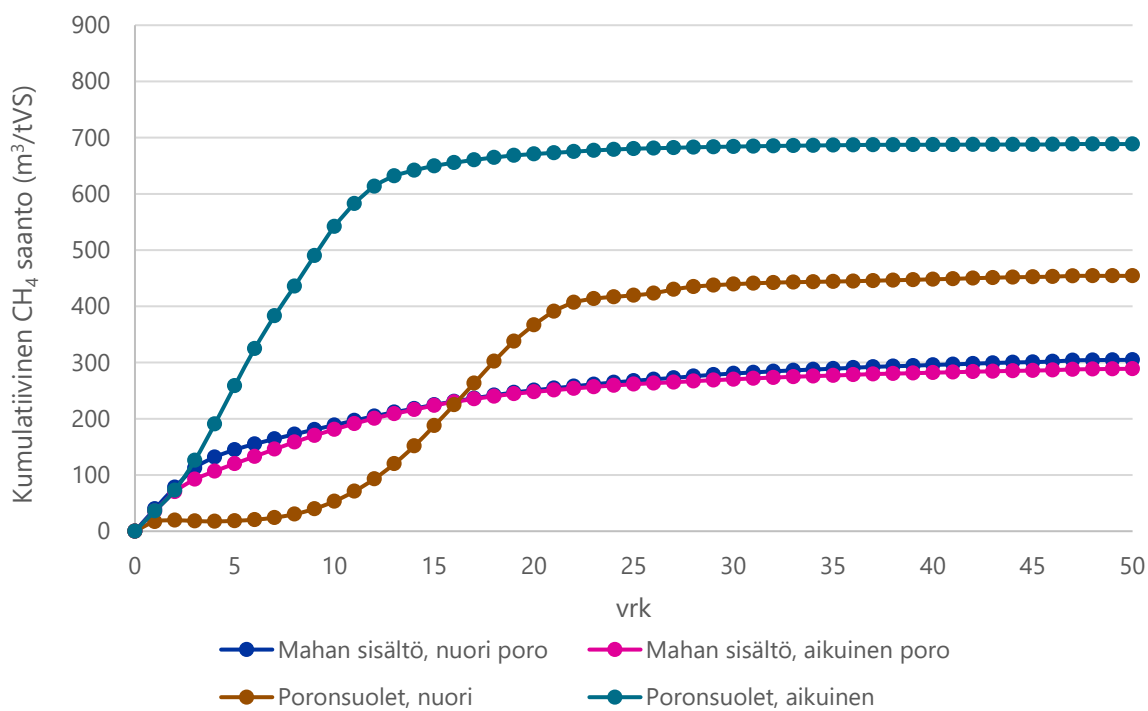
Materiaali	TS (%)	VS (%)	VS/TS (%)	NH <sub>4</sub> -N (g/kg)	TKN (g/kg)	P <sub>tot</sub> (g/kg)	K <sub>tot</sub> (g/kg)
Naudan lietelanta	7,8	6,8	87,8	1,1	2,8	0,4	2,0
Säilörehunurmi	31,2	29,1	93,1	0,5	6,5	0,7	5,0
Pilaantunut säilörehunurmi	27,7	24,4	88,0	0,6	8,4	1,0	7,5
Mahan sisältö, nuori poro	12,2	10,7	87,8	N/A	N/A	N/A	N/A
Mahan sisältö, aikuinen poro	10,6	9,2	86,7	N/A	N/A	N/A	N/A
Poronsuolet, nuori	20,2	18,9	93,3	0,7	16,8	1,8	2,1
Poronsuolet, aikuinen	32,2	31,1	96,5	0,6	12,5	1,5	1,7
Hoitokalastuskala	21,3	17,1	80,4	0,6	24,2	7,4	2,8
Kirjolohen perkuujätteet	71,2	70,8	99,3	0,1	8,1	1,3	1,2
Peruna	26,6	24,5	91,9	1,4	3,5	0,5	5,5
Leipomojäte	73,7	72,6	98,5	0,0	14,4	1,1	1,5
Käytetty paistorasva	100,0	100,0	100,0	N/A	N/A	N/A	N/A

**Taulukko 3.** Testattujen materiaalien metaanintuottopotentialit tuorepainoa (TP), kuiva-ainetta (TS) ja orgaanista kuiva-ainetta (VS) kohti laskettuna.

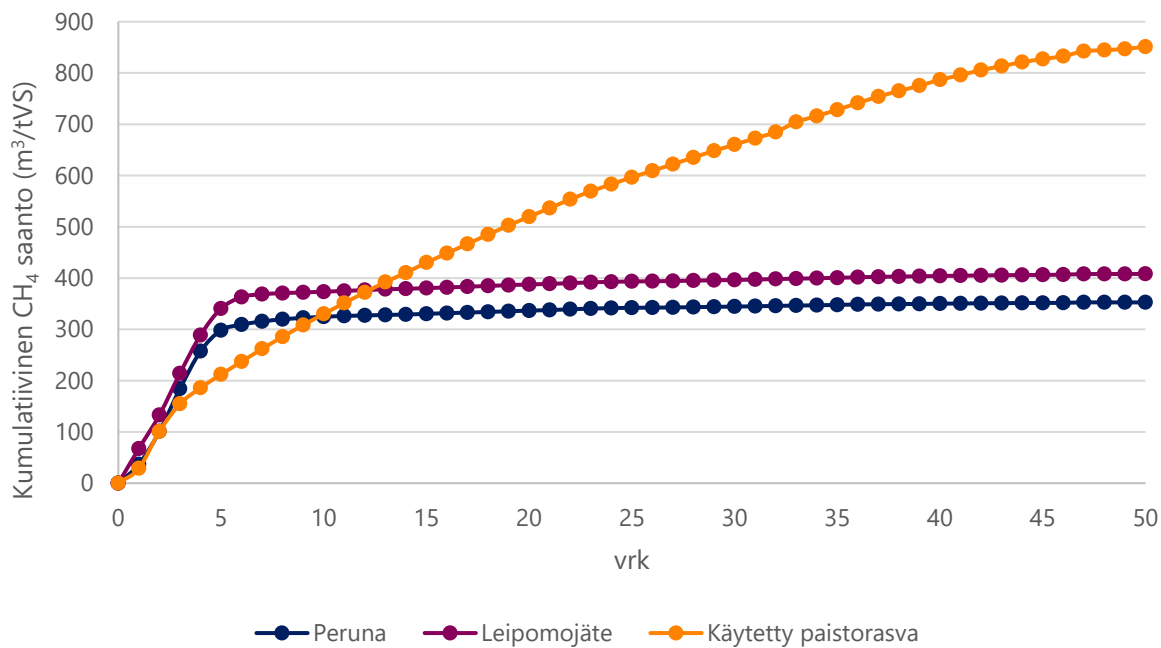
Materiaali	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tTP	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tTS	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS
Naudan lietelanta	13 ± 0,3	170 ± 3	193 ± 4
Säilörehunurmi	92 ± 2	294 ± 7	316 ± 8
Pilaantunut säilörehunurmi	65 ± 2	233 ± 6	265 ± 6
Mahan sisältö, nuori poro	33 ± 1	267 ± 11	305 ± 13
Mahan sisältö, aikuinen poro	26 ± 1	250 ± 11	289 ± 13
Poronsuolet, nuori	86 ± 1	414 ± 3	454 ± 3
Poronsuolet, aikuinen	214 ± 3	664 ± 8	689 ± 9
Hoitokalastuskala	64 ± 3	299 ± 12	372 ± 15
Kirjolohen perkuujätteet	515 ± 62	723 ± 87	728 ± 88
Peruna	86 ± 2	324 ± 7	353 ± 8
Leipomojäte	296 ± 5	402 ± 7	408 ± 7
Käytetty paistorasva	851 ± 7	851 ± 7	851 ± 7



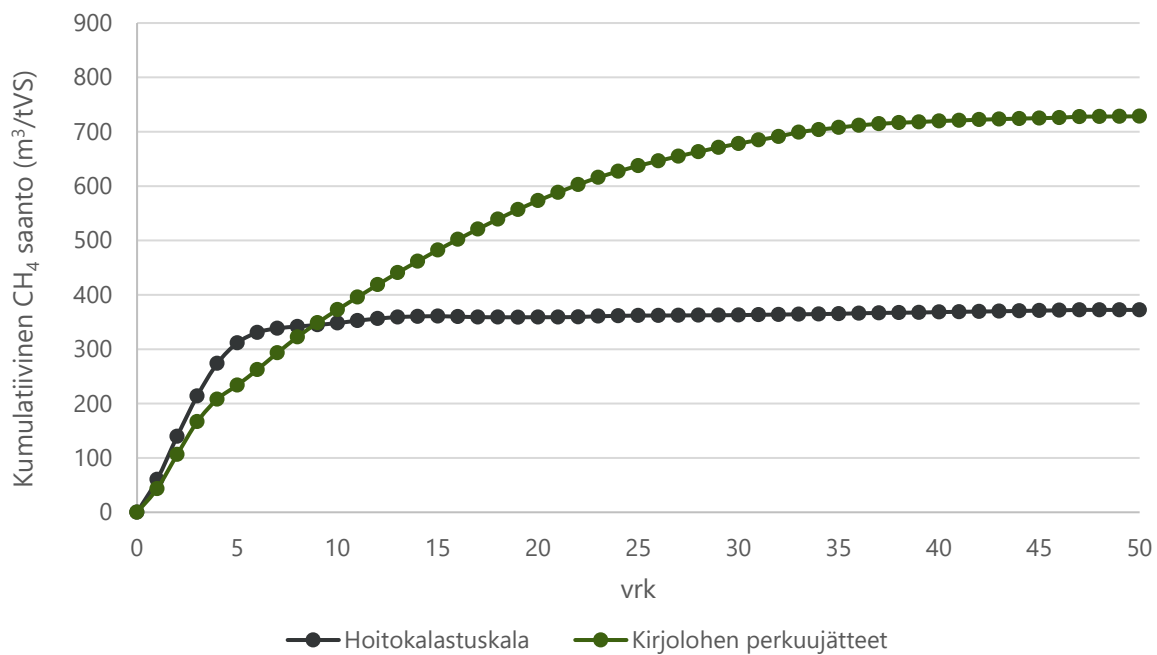
**Kuva 14.** Lietelannan, tavallisen säilörehunurmen ja pilaantuneen säilörehunurmen kumulatiiviset metaanisaannot.



**Kuva 15.** Poroteurastuksen sivuvirtojen kumulatiiviset metaanisaannot.



**Kuva 16.** Peruna- ja leipomojätteen sekä käytetyn paistorasvan kumulatiiviset metaanisannot.



**Kuva 17.** Hoitokalastuskalan ja kirjolojen perkuujätteiden kumulatiiviset metaanisannot.

## 4.2. Lisäsyötteiden vaikutukset jatkuvatoimisessa kokeessa

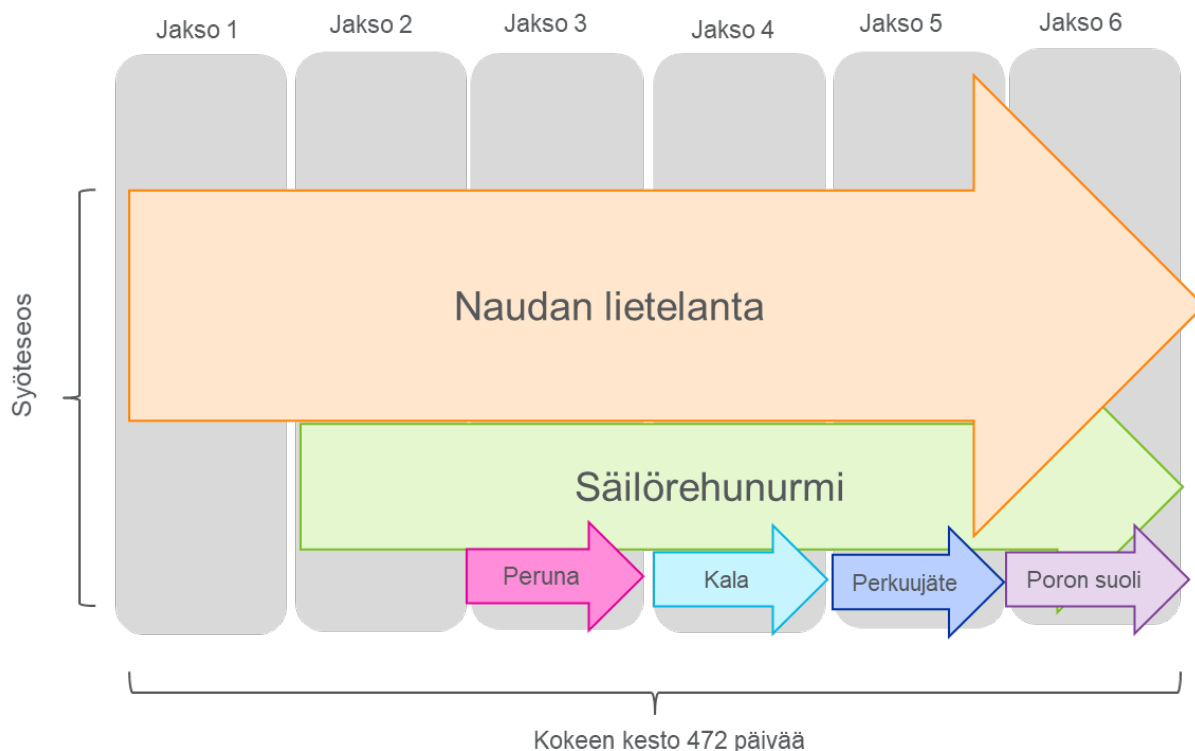
Panoskokeiden jälkeen valittiin tarkempaan tarkasteluun 5 lisäsyötejaetta, joiden käyttäytymistä tarkasteltiin jatkuvatoimisissa laboratoriomittakaavan biokaasun tuotantokokeissa. Jatkuvatoimisissa reaktorikokeissa tavoitteena oli jäljitellä syötteiltään ja olosuhteiltaan maatalomittakaavan biokaasuprosessia, jossa pääsyötteenä on naudan lietelanta. Lisäksi metaanintuottoa pyrittiin lisäämään maatilalle tyypillisellä lisäsyötteellä säilörehunurmella, mutta myös lantaprosessiin harvemmin käytetyillä lisäsyötteillä. Näitä olivat peruna, hoitokalastuskala, kirjolohen perkuujäte sekä poronsuolet. Testattavat lisäsyötteet valittiin jatkuvatoimisiin kokeisiin metaanintuottopotentiaalikoekoiden sekä massojen muodostumistietojen perusteella.

---

*Jatkuvatoimisen kokeen syöttömäärät mitoitettiin simuloimaan noin sadan eläimen lypsykarjatilaa (lantaa noin 1450 t/vuosi), joka käyttäisi biokaasuntuotantoon vuositasolla säilörehunurmea noin 77 t. Lisäsyötteiden määrät olisivat vastaavasti: peruna 82 t/v, hoitokalastuskala 101 t/v, kirjolohen perkuujätteet 40 t/v tai poronsuolet 132 t/v.*

---

Koe toteutettiin kahdessa rinnakkaisessa reaktorissa, ja se koostui kuudesta noin kolmen kuukauden mittaisesta tutkimusjaksosta. Kokonaisuudessaan reaktorikokeen kesto oli 428 päivää. Koe aloitettiin kontrollijaksolla, joissa reaktorien syötteenä oli ensin pelkkää naudan lietelantaa (jakso 1) ja lantaa + säilörehunurmea (jakso 2) (kuva 18). Varsinaiset lisäsyötteiden testijaksot aloitettiin välittömästi toisen kontrollijakson jälkeen, mikrobistoa totuttamatta ja jatkaen lietelannan ja säilörehunurmen osalta jakson 2 syöttömääriä. Kokeessa testattiin vuorotellen perunan, hoitokalastuskalan, kirjolohen perkuujätteen ja poron suolten käyttöä lisäsyötteenä. Kaikkien lisäsyötteiden orgaanisen kuiva-aineen (VS) osuus oli sama 19 % koko syöttöseoksen orgaanisesta kuiva-aineesta (taulukko 4). Ensimmäisellä kontrollijaksolla reaktoreiden orgaaninen kuormitus (OLR) oli 1,6 kgVS/m<sup>3</sup>d, toisella kontrollijaksolla 2,2 ja lisäsyötejaksoilla 2,8 kgVS/m<sup>3</sup>d. Viipymä pidettiin koko kokeen ajan 23 päivässä. Tarkemmin kokeen menetelmät on kuvattu liitteessä 4.



**Kuva 18.** Jatkuvatoinisen kokeen jaksot ja syötteen.

**Taulukko 4.** Syötteen koostumus reaktorikokeen eri jaksoilla, prosenttia organisesta kuiva-aineesta.

Jakso	Syötteen	Lietelanta	Säilörehu	Lisäsyöte
1	Lietelanta (L)	100 %	0 %	0 %
2	L + Säilörehunurmi (SN)	71 %	29 %	0 %
3	L + SN + Peruna	57 %	24 %	19 %
4	L + SN + Hoitokalastuskala	57 %	24 %	19 %
5	L + SN + Kirjolohen perkuujätteet	57 %	24 %	19 %
6	L + SN + Poronsuolet	57 %	24 %	19 %

Jatkuvatoinen koe toteutettiin noin vuosi panoskoetta myöhemmin, ja käytetyt materiaalit olivat eri lähteistä kuin panoskokeissa. Myös jatkuvatoinisessa kokeessa käytetyistä materiaaleista määritettiin metaanintuottopotentialit ja kemialliset ominaisuudet (taulukko 5). Metaanintuottopotentialit määritettiin myös käytetyistä syöttöseoksista (taulukko 6).



**Taulukko 5.** Jatkuvatoimisessa kokeessa käytettyjen syötteiden ominaisuudet.

Syöte	TS (%)	VS (%)	NH <sub>4</sub> -N (g/kg)	TKN (g/kg)	P (g/kg)	Raaka-rasva (g/kg)	Hiili-hydraatit (g/kg)	Proteiini (g/kg)	BMP (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS)
Naudan lietelanta	5,0	4,1	1,06	2,3	0,5	3,7	9,5	7,9	153
Säilörehunurmi	33,0	30,3	0,29	7,3	1,0	21,1	65,3	44,1	356
Peruna	25,7	24,7	0,19	3,8	0,4	0,1	176,0	22,6	347
Hoitokalastuskala	25,6	20,0	0,14	29,0	11,6	18,8	2,3	180,3	447
Kirjoloihen perkuujäte	51,2	50,3	0,64	13,6	2,0	353,1	5,8	81,1	971
Poron suoli	16,9	15,3	1,20	16,5	2,2	30,9	7,5	95,8	463

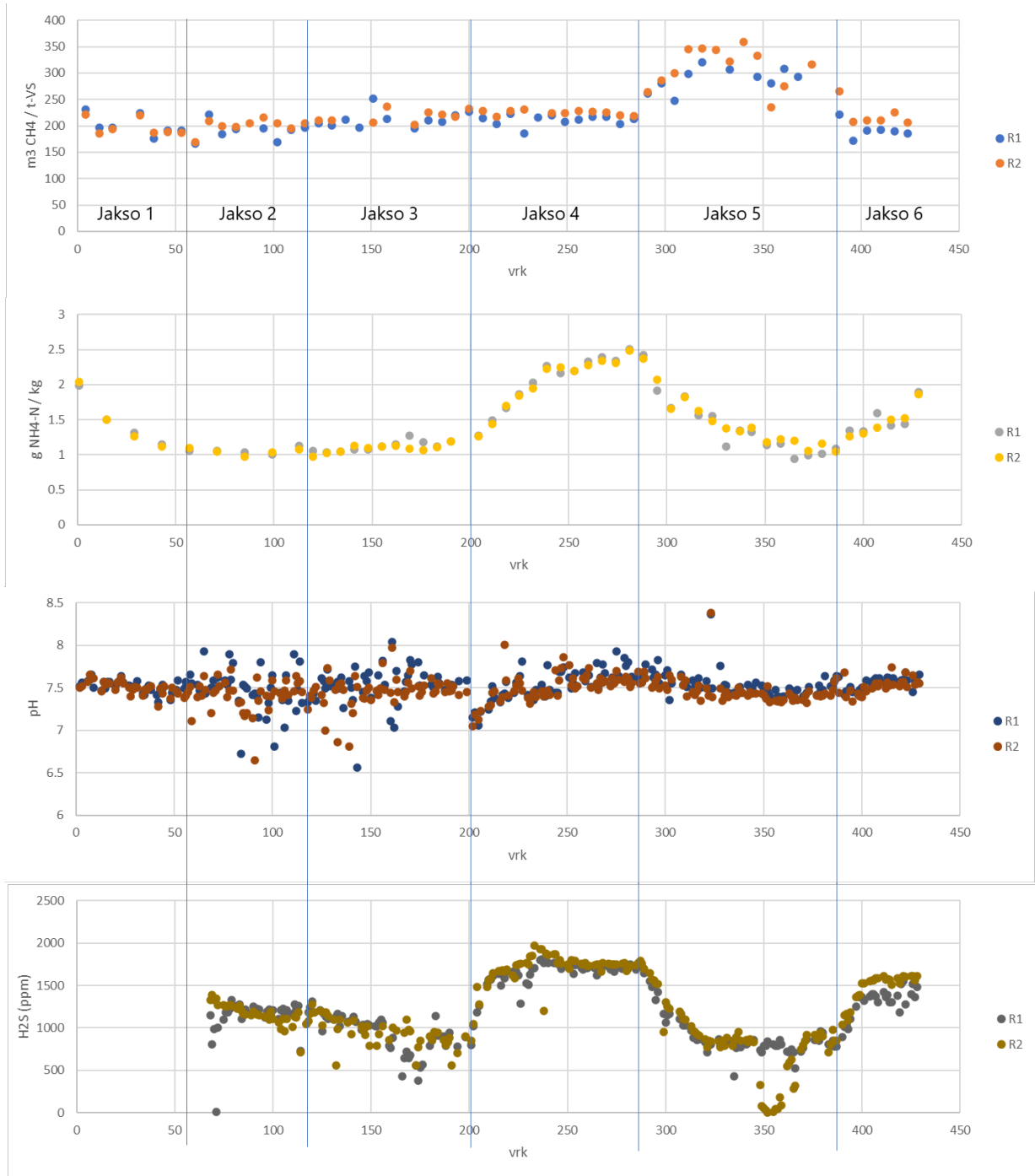
Reaktorikokeen aikana seurattiin päivittäin sekä prosessin kaasuntuottoa että kaasun metaanipitoisuutta. Myös reaktorimädätteen pH mitattiin päivittäin. Viikoittain mädätteestä seurattavia parametrejä olivat TS, VS, haihtuvat rasvahapot eli VFAt sekä ammoniumtyppi (NH<sub>4</sub>-N). Kunkin lisäsyötejakson lopuksi analysoitiin myös mädätteen ravinneominaisuudet.

Kahden ensimmäisen koejakson, eli kontrollijaksojen, aikana metaanintuotto syötteen tai syöteseoksen VS-määrää kohden oli melko tasainen, noin 200 m<sup>3</sup>/tVS (kuva 19, taulukko 6). Nurmen lisääminen lietelannan ohelle ei tässä kokeessa ja käytetyllä nurmen osuudella vaikuttanut VS-kohtaiseen kaasuntuottoon. Koejaksolla 3 syöteseokseen lisättiin perunaa, ja jaksolla havaittiin metaanintuoton kasvua, joskin vaikutus oli melko maltillinen tuoton ollessa noin 215 m<sup>3</sup>/tVS. Neljännellä jaksolla hoitokalastuskala nosti metaanintuottoa edelleen, tuoton ollessa reaktorissa 1 keskimäärin 212 m<sup>3</sup>/tVS ja reaktorissa 2 keskimäärin 226 m<sup>3</sup>/tVS. Reaktorikokeiden korkeimmat metaanintuotot mitattiin viidennellä koejaksolla, jossa lisäsyötteenä oli rasvapitoinen kirjoloihen perkuujäte. Metaanintuotto nousi selvästi saavuttaen parhaimmillaan tason 350 m<sup>3</sup>/tVS, ja keskimäärinkin noin tason 300 m<sup>3</sup>/tVS. Viimeisellä jaksolla syötetyt poronsuolet taas laskivat reaktorien metaanintuoton jopa alkuperäiselle (noin 200 m<sup>3</sup>/tVS) tasolle tai sen alle (R1-reaktorissa tuotto 190 m<sup>3</sup>/tVS). Poronsuolisyötteen vaikutus metaanintuottoon olikin siis hyvin erilainen kuin aiemmin tehdyissä panoskokeissa, joissa poron suolilla oli varsin korkeat metaanintuottopotentiaalit.

**Taulukko 6.** Keskimääräiset metaanintuotot orgaanista kuiva-ainetta kohden eri syöttöjaksoilla rinnakkaisissa reaktoreissa (R1 ja R2) sekä panoskokeissa analysoitu syöteseosten metaanintuottopotentiaali.

Jakso	Syötteet	R1 tuotto (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS)	R2 tuotto (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS)	Syöteseosten BMP:t (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS)
1	Lietelanta (L)	202	199	153
2	L + Säilörehunurmi (SN)	195	206	207
3	L + SN + Peruna	213	219	233
4	L + SN + Hoitokalastuskala	212	226	247
5	L + SN + Kirjoloihen perkuujätteet	293	316	412
6	L + SN + Poronsuolet	187	213	254

Kokeen aikana seurattiin säännöllisesti reaktorin pH-arvoa ja mädätteen VFA-pitoisuutta, koska nämä parametrit kertovat, mikäli prosessissa on ongelmia ja epästabiilisuutta. Epästabiilisuus johtuu usein liian korkeasta kuormituksesta tai mikrobitoimintaa inhiboivien yhdisteiden lisäämisestä tai kertymisestä reaktoriin, mikä vaikuttaa hajotusprosessin vaiheisiin ja aikaansaa yleensä välituotteena muodostuvien rasvahappojen liiallisen tuotannon. VFA:n määrän lisääntyminen havaitaan usein myös pH-arvon laskussa, mutta viiveellä. Tässä kokeessa reaktorimädätteen pH-arvossa oli jonkin verran vaihtelua toisen (lisäsyötteenä nurmi) ja kolmannen (lisäsyötteenä nurmi ja peruna) jakson aikana, mutta vastaavasti VFA-pitoisuuksissa ei havaittu juurikaan häiriöitä. Yhtä havaintopistettä lukuun ottamatta molempien reaktoreiden VFA-pitoisuudet olivat alle 500 mg/kg, suurimmaksi osaksi ajasta vain 100 mg/kg, mikä on alhainen pitoisuus biokaasuprosessille. Reaktorin pH-arvon vaihtelut saattoivatkin johtua enimmäkseen nurmirehun ja perunamassan pH-arvon vaihteluista. Molemmat syötteenä ovat herkkiä hapottumiselle varastoinnin yhteydessä. Neljännen koejakson (lisäsyötteenä hoitokalastuskala) alussa pH laski molemmissa reaktoreissa syötteenvaihdon yhteydessä selkeästi, lähelle tasoa pH 7, mutta nousi kuitenkin tasaisesti biokaasunprosessin normaalille tasolle (yli 7,5) noin yhden viikön aikana.



**Kuva 19.** Metaanintuotot ( $m^3/tVS$ ), mädätteen  $NH_4-N$  pitoisuudet ja pH:t sekä kaasun  $H_2S$ -pitoisuudet kokeen kuluessa.

Kokonaisuudessaan kaikki reaktorikokeissa testatut lisäyöttestä olivat biokaasuprosessiin soveltuvia eikä inhibitiota tai muita ongelmia prosessissa havaittu. Merkittävimmän lisän kaasuntuotantoon toi rasvapitoinen kirjolojen perkuujäte, joka myös BMP-kokeissa tuotti runsaasti metaania. Vaikka rasvapitoinen materiaali voi aiheuttaa prosessissa mikrobitoinnin inhibitiota, ei sitä tässä kokeessa havaittu. Tämä johtuu todennäköisimmin siitä, että perkuujätteen osuus reaktorin syöteseoksessa oli hyvin maltillinen. Kuitenkin jo maltillisella perkuujättemäärällä pystyttiin kaasuntuottoa lisäämään tasolta  $200 m^3/tVS$  tasolle  $300 m^3/tVS$ . Mikäli perkuujätettä otetaan biokaasulaitoksille lisäyöttestä, tulisi niiden kuormitukseen kiinnittää huomiota, samoin prosessin eri parametrien (mm. pH ja VFA) seurantaan.

Mädätejäännöksestä analysoitujen ravinnepitoisuuksien perusteella lisäsyötteiden käytöllä saavutetaan hyötyjä myös mädätteen lannoitusarvoon. Mädätteen ravinnepitoisuudet olivat kaikilla lisäsyötejaksoilla suuremmat kuin pelkällä naudon lietelannalla toteutetulla kontrollijaksolla, eli lisäsyötteet vaikuttivat mädätteen ravinnepitoisuuksia nostavasti (taulukko 7). Erityisesti typpi- ja fosforipitoisuudet nousivat proteiinipitoisten lisäsyötteiden (mm. kalaperäiset jakeet ja poron suoli) lisäyksen seurauksena. Myös liukoisen typen pitoisuus ja osuus kokonaisuudesta nousi erityisesti hoitokalastuskalaa sekä poron suolia käsittelevillä jaksoilla. Lisääntynyt liukoisen typen määrä mahdollistaa pienemmän mädätteen levitysmäärän typpilannoitusvaihtuksen aikaansaamiseksi.

**Taulukko 7.** Mädätteen ominaisuudet kunkin koejakson lopussa.

Jakso	TS (%)	TKN (g/kg)	NH <sub>4</sub> -N (g/kg)	NH <sub>4</sub> -N/TKN (%)	C/N-suhde	P (g/kg)	K (g/kg)
1	3,8	2,2	1,1	49,0	14,8	0,4	2,5
2	4,3	2,4	1,1	46,0	13,1	0,5	2,9
3	4,9	2,7	1,2	44,6	12,6	0,5	2,9
4	5,2	3,8	2,5	65,9	9,2	1,2	3,6
5	4,9	3,0	1,1	35,6	13,3	0,6	3,1
6	5,0	3,8	1,9	49,9	10,7	0,7	3,2

### Jälkikaasukokeet

Jatkuvatoimisen kokeen mädätteistä, lukuun ottamatta ensimmäisen pelkällä lietelannalla toteutetun kontrollijakson mädätteitä, määritettiin myös niin kutsutut jälkikaasupotentiaalit. Koe suoritetaan samalla laitteistolla ja menetelmällä kuin BMP-kokeet, mutta ilman mikrobiymppiä, puskurointikemikaalia ja vettä. Korkea jälkikaasupotentiaali voi kertoa prosessin häiriöistä ja hajoamisen vaikeudesta itse varsinaisessa reaktorissa. Kyseisessä maatalan biokaasulaitosta simuloivassa kokeessa jälkikaasukokeen voidaan katsoa vertautuvan jälkikaasualtaassa jatkuvaan kaasuntuottoon, joskin jälkikaasuallasta ei yleensä lämmitetä, toisin kuin koeasetelmassa.

60 vuorokauden jälkikaasupotentiaalit olivat 71–98 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS (taulukko 8). Pienimmät jälkikaasutuotot olivat kontrollijakson (Jakso 2; L + SN) sekä poron suoli -lisäsyötejakson jälkeen (jakso 6). Suurimmat jälkikaasuntuotannot mitattiin kirjolohen perkuujätteen -jakson päätteeksi. Tämä tukee varsinaisen kokeen aikana tehtyä havaintoa kirjolohen perkeiden energiantuottoa huomattavasti nostavasta vaikutuksesta.

**Taulukko 8.** Koejaksojen lopussa mitatut mädätejäännösten jälkikaasupotentiaalit orgaanista kuiva-ainetta kohti laskettuna.

Jakso	Syötteet	R1 jälkikaasun- tuotto (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS)	R2 jälkikaasun- tuotto (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tVS)
1	Lietelanta (L)	ei mitattu	ei mitattu
2	L + Säilörehunurmi (SN)	76	73
3	L + SN + Peruna	81	89
4	L + SN + Hoitokalastuskala	82	83
5	L + SN + Kirjoloihen perkuujätteet	91	98
6	L + SN + Poronsuolet	73	71

## 5. Biokaasuntuotannon vaikutus tilalla

Maatilamittakaavan biokaasuntuotannon vaikutuksia lappilaisen maatalon energiantuotantoon sähkön ja lämmön osalta sekä biokaasulaitosinvestoinnin taloudellista kannattavuutta tarkasteltiin laskennallisesti maatilamallien avulla.

Tarkastelujen taustalla on hankkeessa vuonna 2019 toteutetut haastattelut neljälle lappilaiselle nautakarjatilalle koskien tilojen energiankulutuksia sekä biokaasutukseen soveltuvia biomassoja. Valitut tilat olivat eri puolilta Lappia, vahvan ja vähenevän maatalouden alueilta, ja edustivat eri karjakokoluokkia. Haastattelujen sekä tilastojen ja kirjallisuuden pohjalta laadittiin maatilamallit, eli case-esimerkit biokaasulaitosinvestoinnin vaikutuksesta kahdessa eri kokoluokassa, ”pieni tila” ja ”iso tila”. Maatilamallien eläin- ja lantamäärät sekä energiankulutustiedot on esitetty taulukossa 9. Esimerkit kuvaavat Lapissa yleistä tilakokoa (pieni tila) sekä trendinä olevaa suurempaa karjatilaa (iso tila). Mallien perustilanteessa syötteenä on oman tilan biomassat, eli lannat ja ylijäämänurmi. Tämän lisäksi mallinnettuna on myös tilanne, jossa käyttöön otettaisiin tilan ulkopuolelta tulevia lisäsyötteitä, poroteurastuksen sivuvirtoja sekä kalasivuvirtoja. Malleissa on myös vertailtu, miten nykyisen lämpöenergian hinta vaikuttaa biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuuteen.

Maatilamallien laskennassa käytetyt taustatiedot, oletukset ja laskentamenetelmät on esitetty yksityiskohtaisemmin liitteessä 5. Laskennassa käytettiin apuna vuonna 2020 uudistettua Biokaasulaskuria (<https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas>).

**Taulukko 9.** Maatilamallien eläin- ja lantamäärät, tilan ulkopuolisten sivuvirtojen määrä sekä tilojen omat energiankulutukset.

	Pieni tila	Iso tila
Eläin- ja biomassamäärät		
Lypsylehmät (kpl)	60	180
Eläimet yhteensä (lypsävät + nuorkarja)	102	306
Lietelannan määrä yhteensä (t/v)	1 375	4 125
Kuivalannan määrä yhteensä (t/v)	86	259
Säilörehunurmi biokaasuntuotantoon (t/v)	50	150
Tilan ulkopuoliset lisäsyötteet		
Poronteurasjäte, ruuansulatuselimistöt (t/v)	134	134
Kalasisivuvirta, kirjolohen perkuujäte (t/v)	11	11
Energiankulutukset		
Lämmönkulutus (kWh/vuosi)	108 800	326 400
Sähkönkulutus (kWh/vuosi)	51 200	153 600

### ”Pieni tila”

Pienen tilan biokaasulaitoksen investointikustannukseksi arvioitiin 261 200 euroa. Biokaasulaitos tuottaa sähköä tilan omilla biomassaresursseilla (lanta + ylijäämänurmi) vuositasolla likimain maatalon ja bk-laitoksen omakulutusten verran. Lämmön osalta maatila olisi omavarainen touko-lokakuun välisellä jaksolla, mutta muuna aikana lämpöenergiaa tulisi tuottaa tai ostaa myös muulla tavoin. Biokaasuprosessi lisää liukoisen typen määrää 798 kg/vuosi, mikä vastaa

nykyisillä typpilannoitehinnoilla noin 678 euroa/vuosi. Laitosinvestoinnin vaikutuksia energia- ja ravinnemääriin on koottu taulukkoon 10, ja taloudellisia vaikutuksia taulukkoon 11.

Pienen tilan tapauksessa tilan ulkopuolisten lisäsyötteiden käyttö näkyy merkittävästi energiapotentiaalissa. Tuotetun energian määrä kaksinkertaistuu perustilanteeseen verrattuna. Samalla oma energiantuotanto riittää kattamaan oman laitoksen ja yrityksen energiankulutuksen ympäri vuoden. Sähkön myyntipotentiali kyseisessä tapauksessa on noin 85 MWh/vuosi. Lisäsyötteiden siivittämänä prosessissa liukoistuu typpeä yhteensä 1842 kg, vastaten N-lannoitteiden kustannussäästönä 1 566 euroa/vuosi.

**Taulukko 10.** Pienen tilan biokaasulaitosinvestoinnin vaikutukset energia- ja ravinnemääriin.

	Tilan omat biomassat	Lisänä tilan ulkopuoliset lisäsyötteet
Biokaasun energiasisältö (kWh/v)	269 648	556 879
Lämmön tuotanto (kWh/v)	167 182	345 265
Ylijäämlämpö yrityksen ja bk-laitoksen omasta käytöstä (kWh/v)	9 041	177 470
Sähkön tuotanto (kWh/v)	83 591	157 823
Sähkön myyntipotentiali (kWh/v)	285	85 257
Liukoisen typen lisääntyminen bk-prosessissa (kg/v)	798	1 842

Pienen tilan tapauksessa lisäsyötteet siis kaksinkertaistaisivat energiantuotannon, vaikka syötönmäärissä mitattuna niiden osuus on alle 10 % syötteiden kokonaismäärästä.

Pienen tilan tapauksessa merkittävänä kannattavuuteen vaikuttavana tekijänä on nykyisin käytössä olevan energian, erityisesti lämmitysenergian hinta. Mikäli korvattava energia on kallista, esimerkiksi sähköä tai öljyä, pienenee biokaasulaitosinvestoinnin takaisinmaksuaika jopa alle puoleen, verrattuna tilanteeseen, jossa nykyisin käytössä oleva lämmitys on jo valmiiksi edullisempaa, esimerkiksi omaan hakkeen tuotantoon ja käyttöön perustuvaa.

Toisena tekijänä kannattavuuden parantamiseksi voidaan nostaa omasta käytöstä ylijäävän lämmön hyödyntäminen. Mikäli lämpöenergialle löydetään ostaja ja markkinat, josta saisi korvausta, paranee kannattavuus huomattavasti.

Kokonaisuudessaan pienen tilan biokaasulaitos jäi kuitenkin kauas kannattavasta. Pienen tilan mittakaava oli biokaasulaitosinvestoinnille liian pieni. Vaikka lisäsyötteet lisäsivät biokaasuntuotantokapasiteettia, pysyi pienen tilan oma energiankäyttö silti samana. Paras hinta tuotetulle energialle saadaan oman energiankäytön korvaamisesta, jolloin esim. tuotetun sähkön hinta vastaa ostosähkön hintaa, joka sisältää myös siirtohinnan sekä sähköveron. Kun taas tuotetaan sähköä myyntiin, vertautuu myyntihinta senhetkiseen sähköpörssin hintaan. Lämmön osalta taas saadaan hinta ainoastaan sille lämmölle, jonka tila pystyy itse hyödyntämään. Ylijäämlämmön oletettiin tässä esimerkissä menevän hukkaan.



**Taulukko 11.** Pienen tilan biokaasulaitosinvestoinnin taloudelliset vaikutukset.

	Tilan omat biomassat		Lisänä tilan ulkopuoliset lisäyöt	
	Halpa nykyinen lämmitys	Kallis nykyinen lämmitys	Halpa nykyinen lämmitys	Kallis nykyinen lämmitys
Bk-laitoksen investointihinta (€)	261 200	261 200	358 300	358 300
Liukoisen N lisääntyminen, lannoitusarvon nousu (€/v)	678	678	1 566	1 566
Korvaushyöty lämmön omasta käytöstä (€/v)	7 616	11 968	7 616	11 968
Korvaushyöty sähkön omasta käytöstä (€/v)	5 632	5 632	5 632	5 632
Sähköenergian myynti (€/v)	0	0	4263	4263
Kate (€)	2 720	7 072	4 861	9 213
Tulos (€)	-12 309	-7 957	-17 051	-12 699
Takaisinmaksuaika (v)	58	22	44	23

**”Iso tila”**

Ison tilan tapauksessa biokaasulaitoksen takaisinmaksuaika oli pelkillä maatalan omilla biomassoilla jo huomattavasti lyhyempi kuin pienen tilan skenaarioissa, 11 vuotta (taulukko 13). Tässä huomataan siis mittakaavaetua, sillä investointikustannus ei kasva samassa suhteessa käsiteltävien massamäärien kanssa, investointikustannuksen ollessa ison tilan biomassoille 368 300 euroa.

Koska energiankulutukset erikokoisilla tiloilla olivat samassa suhteessa, myös ison tilan tapauksessa ostoenergiaa vaaditaan marras-huhtikuussa. Myyntipotentialia sähkölle on kuitenkin vuositasona 46 000 kWh (taulukko 12).

Tilan ulkopuolisten lisäyötteiden käytön vaikutus oli huomattavan erilainen verrattuna pienen tilan tilanteeseen: Sähkön myyntipotentialia noin kolminkertaistuu perustilanteesta (135 MWh/vuosi), mutta investointikustannus hygienisointiyksikköön kääntää tuloksen miinusmerkiseksi ja takaisinmaksuajan perustilanteeseen verrattuna vuoden pidemmäksi. Hygienisointikustannus mukaan lukien, lisäyötteistä ei tässä esimerkissä saada riittävästi lisäarvoa, koska kasvanut energiantuotantomäärä kasvattaa ainoastaan myytävän sähkön määrää. Ison tilan esimerkissä jo pelkillä tilan omilla biomassoilla osa tuotetusta sähköstä myytiin. Koska tilan oma energiantarve ei kasva lisäyötteiden myötä, niiden käyttö ainoastaan lisää myytävän sähkön määrää. Osa lisääntyneestä lämmön tuotannosta pystyttiin hyödyntämään tilalla, mutta lämmön suhteen tilanne on silti jopa huonompi, koska lisäyötteitä käytettäessä enemmän lämpöä meni hukkaan.

**Taulukko 12.** Ison tilan biokaasulaitosinvestoinnin vaikutukset energia- ja ravinnemääriin.

	Tilan omat biomassat	Lisänä tilan ulkopuoliset lisäyöt
Biokaasun energiasisältö (kWh/v)	809 399	1 102 833
Lämmön tuotanto (kWh/v)	501 827	683 757
Ylijäämälämpö yrityksen ja bk-laitoksen omasta käytöstä (kWh/v)	35 709	213 288
Sähkön tuotanto (kWh/v)	250 914	341 878
Sähkön myyntipotentiali (kWh/v)	46 465	133 828
Liukoisen typen lisääntyminen bk-prosessissa (kg/v)	2 394	3 426

**Taulukko 13.** Ison tilan biokaasulaitosinvestoinnin taloudelliset vaikutukset.

	Tilan omat biomassat		Lisänä tilan ulkopuoliset lisäyöt	
	Halpa nykyinen lämmitys	Kallis nykyinen lämmitys	Halpa nykyinen lämmitys	Kallis nykyinen lämmitys
Bk-laitoksen investointihinta (€)	436 200	436 200	520 900	520 900
Liukoisen N lisääntyminen, lannoitusarvon nousu (€/v)	2 035	2 035	2 912	2 912
Korvaushyöty lämmön omasta käytöstä (€/v)	22 848	35 904	22 848	35 904
Korvaushyöty sähkön omasta käytöstä (€/v)	16 896	16 896	16 896	16 896
Sähköenergian myynti (€/v)	2 323	2 323	6 691	6 691
Kate (€)	24 912	37 968	27 261	40 317
Tulos (€)	797	13 853	-2 965	10 091
Takaisinmaksuaika (v)	11	7	11	8

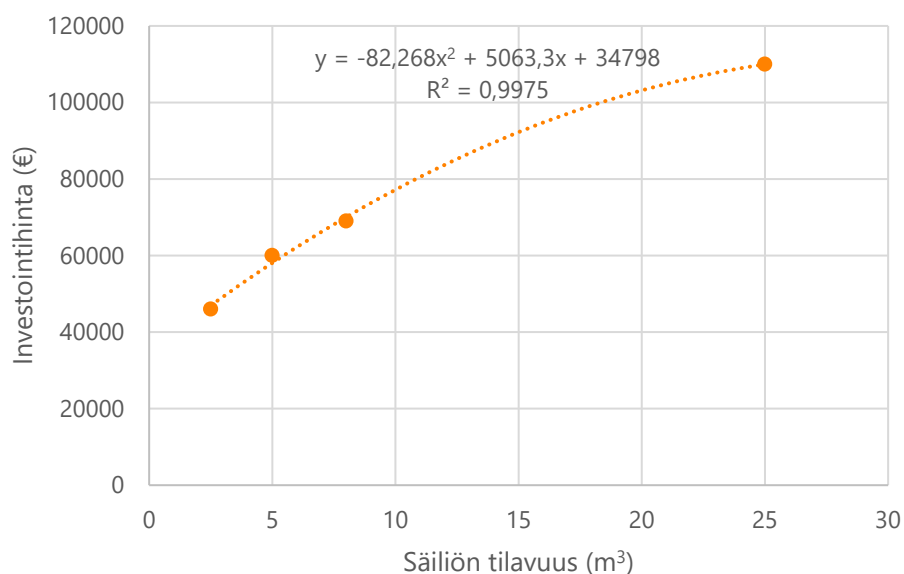
## 6. Hygienisointiyksikön merkitys

Tilan ulkopuolelta tulevien lisäsyötteiden hyödyntämisen vaatiman hygienisoinnin merkitystä tarkasteltiin vielä maatilamalliesimerkkejä tarkemmin energia- ja kannattavuuslaskelmilla. Kuten edellisessä kappaleessa tuli ilmi, hygienisointiyksikkö ja lisäsyötteiden käyttö ei automaattisesti lisää kannattavuutta ja tavoitteena olikin selvittää kannattavuuden ehdot hygienisointiyksikön investoinnille. Maatilamalliesimerkeistä poiketen CHP-tuotannosta syntyvä sekä sähkö että lämpö oletettiin hyödynnettävän tilalla. Toisena vaihtoehtona tarkasteltiin biokaasun jalostusta biometaaniksi ja hyödyntämistä liikennekaasuna.

Hygienisointiyksikön, eli luokan 3 eläinperäisten sivutuotteiden hyödyntämisen kannattavuutta verrattiin myös säilörehunurmen käyttöön lisäsyötteenä. Aiemmissa kappaleissa säilörehunurmi on oletettu olevan eläinten rehuntuotannosta ylijäävänä hävikkinä, jolle ei ole laskettu omaa tuotantokustannusta. Nurmea on kuitenkin mahdollista tuottaa myös nimenomaan biokaasuntuotantoa varten, jolloin tuotantokustannus kohdistetaan suoraan nurmelle.

### 6.1. Hygienisointiyksikön hinta ja energiankulutus

Hygienisointiyksikön hinnalle muodostettiin yhden laitevalmistajan (Landia A/S, Tanska) antamien neljän eri kokoluokan hintatiedon mukaan regressioyhtälö, jolla voidaan laskea myös ilmoitettuja kokoluokkia pienemmän tai suuremman hygienisointiyksikön hinnan (kuva 20). Kannattavuuslaskelmissa hygienisointiyksikön tarvittava tilavuus laskettiin jakamalla hygienisoitavan syötteen tonnimäärä 365:lla, eli oletettiin, että päivässä hygienisoidaan vain yksi "panos" eli säiliöllinen (oletuksena, että hygienisoitavan materiaalin tiheys on 1000 kg/m<sup>3</sup>). Yhden panoksen hygienisointiaika on 3 tuntia, joten panoksia voidaan ajaa enintään 8 kpl vuorokaudessa. Täten kapasiteetti riittää myös harvemmin toimitettavalle suuremmalle kertamäärälle hygienisoitavaa materiaalia.



**Kuva 20.** Hygienisointiyksikön hinta hygienisointisäiliön tilavuuden (m<sup>3</sup>) mukaan. Landia A/S:n säiliötilavuudet ovat 2,5, 5, 8 ja 25 m<sup>3</sup>.

Hygienisoinnin lämmönkulutus on noin 150 kWh/tonni, jos oletetaan, että lämpötila nostetaan 20:sta 70 asteeseen (Maagaard 2020). Jos hygienisoitu, 70-asteinen materiaali syötetään välittömästi biokaasureaktoriin, se lämmittää reaktoria ja vähentää vastaavasti reaktorin lämmitystarvetta. Tällöin hygienisointiyksikkö ei lisää biokaasulaitoksen lämpöenergian tarvetta. Hygienisointiyksikkö kuluttaa sähköä 0,085 kWh/tonni käsiteltäviä materiaalia (Timonen ym. 2019).

## 6.2. Kannattavuusvertailu: hygienisoitava teurasjäte vrt. säilörehu biokaasulaitoksen lisäsyötteenä

### 6.2.1. Kannattavuuslaskelmien lähtöarvot

Kannattavuuslaskelmat tehtiin Biokaasulaskurilla, joka löytyy osoitteesta <https://maatalous-info.luke.fi/fi/laskurit/biogas>. Kannattavuuslaskelmissa vertailtiin naudan lietelantaa perussyötteenään käyttäviä eri kokoluokkien biokaasulaitoksia, jotka käyttävät lisäsyötteenään säilörehunurmea tai poron teurasjätettä (ruoansulatuselimistö). Lisäsyötteen määräksi valittiin 8 % lietelannan massasta. Lisäsyötemäärä on sellainen, että se ei aiheuta todennäköisesti biokaasureaktorissa mikrobitoiminnan häiriöitä (esim. rasvasta tai typestä johtuvia inhibitioita). Laskelmat tehtiin biokaasulaitoksille, jotka käsittelevät 1 000–13 000 tonnia vuodessa lietelantaa sekä lisäsyötettä 80–1 040 tonnia vuodessa (8 % lietelannasta). Laskelmat toteutettiin 1 000:n lietelantasyötetonnin välein. 100 lehmää tuottaa lietelantaa noin 2 500 tonnia vuodessa.

Molempien lisäsyötteiden murskaus- ja lastauskustannuksena käytettiin 8,5 €/tonni. Teurasjäte oletettiin olevan biokaasulaitoksille ilmainen syöte, mutta se vaatii hygienisoinnin (laitteenhankinta, ylläpito ja sähkönkulutus). Säilörehunurmi ei vaadi hygienisointia, mutta sen tuotantokustannukseksi arvioitiin 20 €/tonni (alv 0 %). Laskelmissa käytettiin teurasjätteen ja säilörehunurmen metaanintuottopotentialina ja ravinnepitoisuuksina liitteessä 2 ilmoitettuja arvoja (teurasjätteen liukoisen typen pitoisuutena 0,6 kg/t).

Kannattavuuslaskelmissa biokaasulaitos koostuu reaktorista ja jälkikaasuuntumisaltaasta, joissa kummassakin syötteen hydraulinen viipymäaika on 21 vrk. Kannattavuuslaskelmissa vertailtiin tuotantosuuntina sähkön ja lämmön yhteistuotantoa (CHP) ja liikennebiokaasun tuotantoa. CHP-laitokset tuottavat biokaasusta itse tarvitsemansa sähkön ja lämmön CHP-yksiköllä. Loput CHP-yksikön tuottamasta sähköstä lämmöstä, eli nettoenergia, menee maatilan käyttöön (tai muuhun hyötykäyttöön).

Liikennebiokaasua tuottavissa laitoksissa oletettiin olevan kaasun jalostus- ja tankkauslaitteiston lisäksi lämpökattila, joka tuottaa biokaasulaitoksen tarvitseman lämpöenergian (reaktorin lämmitys). Oletuksena oli, että liikennekaasulaitokset ostavat verkosta laitoksen tarvitseman sähkön. Laskelmissa sähkön arvo oli 11 snt/kWh (alv 0 %, ostosähkön hinta tai ostosähkön korvaaminen biokaasusta tuotetulla sähköllä). Lämmön arvona käytettiin 7 snt/kWh (CHP-laitosten maataloilta tuottama lämpö). Liikennebiokaasun myyntihinta oli 1,23 €/kg eli 8,85 €/kWh, olettaen, että jalostetun kaasun metaanipitoisuus on 100 %. Biokaasuprosessi vapauttaa orgaanisesta tyypeistä kasveille käyttökelpoista ammoniumtyyppiä. Tämän prosessissa mineralisoituvan typen arvoksi oletettiin 0,85 €/kg. CHP-laitosten investointituen tasoksi valittiin 40 % ja liikennekaasulaitoksen tueksi 30 %. Annuiteettimenetelmässä laskentakorkokanta oli 4 %.

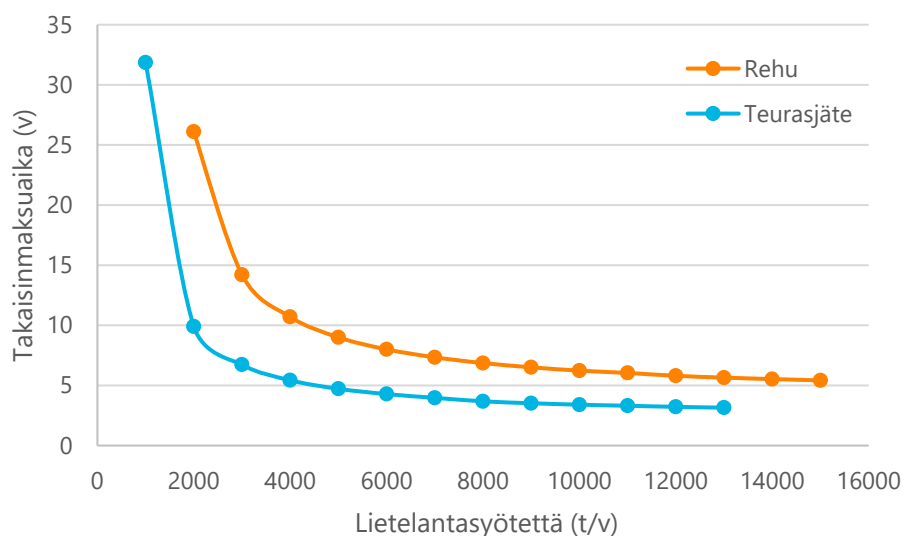
## 6.2.2. Kannattavuuslaskelmien tulokset

Kannattavuuslaskelmissa vertailtiin naudan liettelantaa käsitteleviä biokaasulaitoksia, jotka käyttävät lisäsyötteenään joko poron teurasjätettä (ruoansulatuselimistö) tai säilörehunurmea. Lisäsyötteen määrä oli 8 % lietelannan määrästä.

Poron teurasjäte osoittautui kannattavammaksi lisäsyötteenä kuin säilörehunurmi. Teurasjätteen tuoremassalla on noin kaksinkertainen metaanintuottopotentiali säilörehunurmeen verrattuna (teurasjäte 210 m<sup>3</sup>/t, säilörehu 95 m<sup>3</sup>/t, 1 m<sup>3</sup> metaania = 10 kWh energiaa), mikä parantaa suuresti sen kannattavuutta syötteenä. Teurasjätteen hygienisointi tuottaa kustannuksia, mutta se toimitetaan biokaasulaitokselle ilmaiseksi. Säilörehunurmi oletettiin saatavaksi biokaasulaitokselle suhteellisen pienellä kustannuksella, 20 €/tuotetonna.

CHP-tuotantosuunnassa naudan lietelannan ja poron teurasjätteen yhteiskäsittelyssä kannattavuusraja saavutetaan syötemäärällä noin 2000 tonnia lietelantaa + 160 tonnia teurasjätettä vuodessa. Tällöin annuiteettimenetelmällä laskettu tulos on +380 €/v (laitos on kannattava, kun annuiteettimenetelmällä laskettu tulos on positiivinen). Kannattavuusrajalta laitoksen investointihinta on 348 300 € (hygienisointiyksikön osuus 37 000 €) ja takaisinmaksuaika 9,9 vuotta.

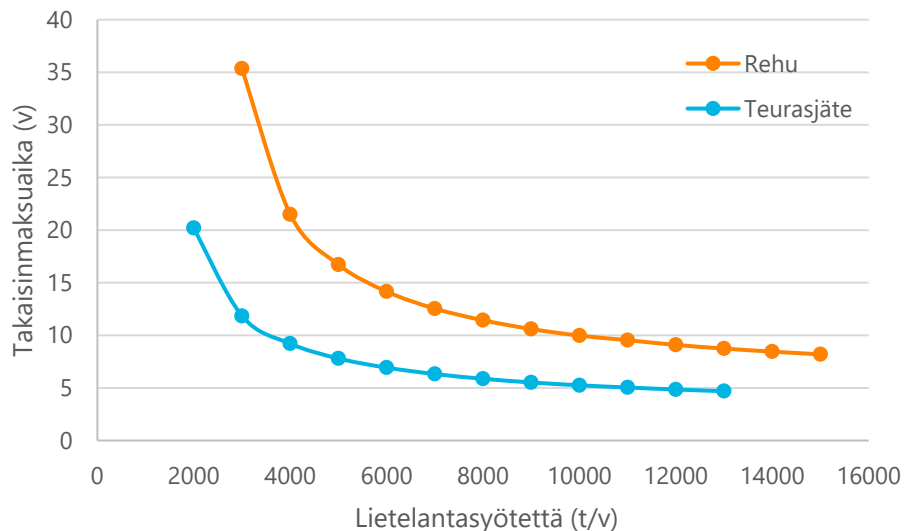
CHP-tuotannossa lietelannan ja säilörehunurmen yhteiskäsittelyssä kannattavuusraja on noin 4 000 tonnia lietelantaa + 320 tonnia nurmea vuodessa. Tällöin tulos on +240 €/v, laitos maksaa 426 700 € ja takaisinmaksuaika on 10,7 vuotta (kuva 21).



**Kuva 21.** CHP-biokaasulaitoksen takaisinmaksuaika lietelantamäärän mukaan, kun lisäsyötteenä on säilörehunurmea tai teurasjätettä 8 % lietelannan massasta.

Liikennebiokaasun tuotannossa lietelannan ja teurasjätteen yhteiskäsittelyssä kannattavuusraja saavutetaan syötemäärällä vajaa 4000 tonnia lietelantaa + 320 tonnia teurasjätettä vuodessa, eli laskentaan valituilla energian hinnoilla liikennekaasun tuotanto on vähemmän kannattavaa kuin CHP-tuotanto. Syötemäärällä 4 000 t/v lietettä + 320 t/v teurasjätettä annuiteettimenetelmällä laskettu tulos on +3350 €/v, investointihinta 623 300 € (jalostus- ja tankkausyksikkö on kalliimpi kuin CHP-yksikkö) ja takaisinmaksuaika 9,2 vuotta.

Liikennebiokaasun tuotannossa lietelannan ja säilörehunurmen yhteiskäsittelyssä kannattavuusraja on noin 9 000 tonnia lietelantaa + 720 tonnia rehua vuodessa. Tällöin tulos on -450 €/v, laitosinvestointi 917 500 € ja takaisinmaksuaika 10,6 vuotta (kuva 22).



**Kuva 22.** Liikennekaasua tuottavan biokaasulaitoksen takaisinmaksuaika lietelantamäärän mukaan, kun lisäsyötteenä on säilörehunurmea tai teurasjätettä 8 % lietelannan massasta.

### 6.2.3. Kannattavuuslaskelmien yhteenveto ja kannattavuuden edellytykset

Yhteenvetona kannattavuuslaskelmien perusteella voidaan listata seuraavia kannattavuuden edellytyksiä:

- Tarpeeksi suuri kokoluokka (syötemäärä)
- Tuet oleellisia etenkin pienessä mittakaavassa
- Korkeahko tuotetun energian hinta ja hyödyntämisaste (suuri kysyntä).
- Valituilla energian hinnoilla ja 100 %:n hyödyntämisasteella CHP-tuotanto oli kannattavampaa kuin liikennekaasun tuotanto.
- Käytännössä esim. kaikki tuotettu lämpö voi olla vaikeaa hyödyntää yksittäisellä maatilalla ja etenkin lämpöenergian arvo voi olla alhaisempi kuin 7 snt/kWh.
- Toisaalta etenkin alkuvaiheessa liikennekaasun kysyntä voi olla pientä uudella alueella (esim. Lapissa).
- Tarvitaan paljon biokaasua tuottavia ja/tai halpoja lisäsyötteitä. Pelkällä lietelannalla biokaasulaitos on vaikea saada kannattavaksi, ainakaan pienillä maataloilla.
- Hygienisointia vaativa, mutta ilmainen teurasjäte on kannattavampi lisäsyöte kuin suhteellisen halpa säilörehunurmi.

## 7. Pohdinta

Tutkimuksen yksi päätavoitteista oli tutkia mahdollisuuksia lisätä maatilamittakaavan biokaasulaitoksen energiantuotantoa ja sitä myötä kannattavuutta erilaisten lisäsyötteiden avulla. Lisäsyötteiden testausta tehtiin niin panos- kuin jatkuvatoimisesti, ja niiden tulokset erosivat keskenään melko paljon. Lisäsyötteiden jaksottainen muodostuminen tunnistettiin haasteeksi jo ennen jatkuvatoimisia kokeita.

Poronsuolet tuottivat panoskokeissa metaania huomattavasti enemmän kuin lietelanta. Jatkuvatoimisessa kokeessa poron suolisto lisäsyötteenä ei kuitenkaan parantanut metaanintuottoa. Asiaan voi olla syynä biokaasuprosessin mikrobiston vaikeus ja hitaus tottua uudelleenlisäsyötteeseen. Poroteurastuksen sivuvirtoja olisikin tarpeen tutkia vielä lisää ja tarkastella esimerkiksi mikrobiston muutoksia lisäsyötejaksojen välillä. Äkillisten lisäsyötteidenvaihdosten haasteet olivat odotettuja, mutta ilmenivät tässä tutkimuksessa vain poronsuoli-lisäsyötejaksoilla.

Sivutuoteasetuksen mukaisia eläinperäisiä sivutuotteita käsitellään nykyään pääosin keskitehtyissä yhteiskäsittelylaitoksissa. Niille erilaisten energiapitoisten ja porttimaksullisten syötteiden käyttö on elinehto. Myös maatilamittakaavassa porttimaksut muuttaisivat huomattavasti laitoksen tulorakennetta. Tilanne voi olla edessä, mikäli poro- ja kalamassojen hautaaminen maahan ei olisi enää sallittua.

Sivuvirroille voi myös kehittyä kilpailevia hyödynnysmuotoja. Kiertotalousajattelu on nousemassa, ja materiaaleille voi löytyä korkeamman arvon käyttöä esimerkiksi ruokana, rehuna tai arvotuotteina. Esimerkkinä Maa- ja metsätalousministeriö julkisti vuonna 2020 kotimaisen kalan edistämishjelman, jossa tavoitteena on mm. kaksinkertaistaa kotimaisen luonnonkalan elintarvikekäyttöä vuoteen 2027 mennessä. Toisaalta hyödyntäminen ravinteina ja energiana voi olla myös tarvittava alkusysäys materiaalien logistiikkaketjujen aikaansaamiseksi. Lisäksi korkeamman lisäarvon jalostusprosesseissa usein syntyy jakeita, jotka voitaisiin hyödyntää edelleen biokaasuprosessin avulla.

Vaikka hajautetun biokaasuntuotannon taloudellinen kannattavuus energian ja lannoitteiden nykyhinnoilla on haastavaa, on sillä merkittävä rooli fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämisessä sekä tilojen energiaomavaraisuuden lisäämisessä. Hajautetun energiantuotannon kustannuksia ja taloudellisia hyötyjä pitäisi pystyä tarkastelemaan myös yksittäistä tilaa laajemmin, paikallisesti ja alueellisesti. Perinteisiä fossiilisia polttoaineita käytettäessä pääoma valuu usein alueen ulkopuolelle. Mikäli maatilalla biokaasulaitos hyödyntää muutoin hyödyntämättä jääviä sivuvirtoja, edistää käsittely myös ravinteiden kierrätystä, koska mädätejäännöksellä korvataan väkilannoitteita kasvien viljelyssä. Hajautettu energiantuotanto parantaa myös huoltovarmuutta.

Tämänkin raportin laskelmissa pienten tilojen biokaasulaitosten taloudellinen kannattavuus osoittautui haasteelliseksi. Yksi mahdollisuus on arvioida tilannekohtaisesti useamman tilan yhteisen laitoksen mahdollisuutta, jolloin investointikustannus suhteessa alenee.

Toistaiseksi Suomen pohjoisin biokaasun tankkausasema sijaitsee Oulussa. Liikennekaasun käytön laajeneminen Lappiin toisi mukanaan myös mahdollisuuden jalostaa biokaasusta biometania myyntiin liikennepolttoaineeksi, mikä voisi lisätä biokaasuntuotannon kannattavuutta. Pienille tiloille tämäkään ei tosin sovi, koska investointi biokaasun puhdistus- ja paineistusyksikköön vaatii tietyn minimikapasiteetin ollakseen kannattava. Liikennekäytön lisäksi biometaanilla voidaan myös korvata maakaasun käyttöä teollisuudessa, myös elintarviketeollisuudessa.



## 8. Yhteenveto

Maatilamittakaavan biokaasuntuotantoon on Lapissa käytettävissä lähinnä naudan lantaa. Maakunnan tasolla suurin CH<sub>4</sub>-potentiaali on kotieläinten lannoissa, biojätteissä ja peltobio-massoissa. Määrinä poroteurastuksen sivujakeet ja kalasivuvirrat ovat pieniä verrattuna näihin, mutta paikallinen vaikutus voi yksittäisille maatiloille olla silti merkittävä ajatellen sivuvirtojen käyttöä maatilamittakaavan laitoksen lisäsyötteenä.

Tutkimuksissa lisäsyötteen metaanintuottopotentiaalit olivat korkeammat kuin naudan liete-lannalla (190 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS). Korkeimmat metaanintuotot panoskokeissa mitattiin aikuisten poro-jen suolilla, kirjolohen perkuujätteissä sekä käytetyllä paistorasvalla (700–850 m<sup>3</sup>/tVS). Lisäsyöt-teistä heikoimminkin tuottava pilaantunut säilörehunurmi tuotti metaania 265 m<sup>3</sup>/tVS ja kaikki muut testatut lisäsyötteen yli 300 m<sup>3</sup>/tVS.

Poronsuolia lukuun ottamatta, lisäsyötteen lisäsivät metaanintuottoa myös jatkuvatoimisissa kokeissa, vaikka niiden osuus syötteen kokonaismäärästä oli melko alhainen, 19 % syöt-töseoksen VS-määrästä ja 2,5–8 % syöttöseoksen tuorepainosta. Pelkällä naudan liete-lannalla jatkuvatoimisen biokaasuprosessin metaanintuotto oli noin 200 m<sup>3</sup>/tVS. Korkeimmat metaa-nintuotot jatkuvatoimisissa kokeissa saavutettiin, kun lisäsyötteenä käytettiin kirjolohen per-kuujätettä (yli 300 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS), mikä on linjassa myös panoskokeiden tulosten kanssa.

Maatilamittakaavassa pienellä maitotilalla (60 lypsävää) 50 km tieverkon säteeltä saatavat poro- ja kalasivuvirrat voisivat kaksinkertaistaa biokaasuntuotannon verrattuna tilan omiin bio-massoihin. Samalla laitosinvestoinnin takaisinmaksuaika puolittui, vaikka lisäsyötteen käyttö vaatii myös hygienisointiyksikön investoinnin. Suuremmalla maitotilalla (180 lypsävää) sama lisäsyöttemäärä ei tuonut kannattavuushyötyä.

Eläinperäisten sivutuotteiden käyttö vaatii hygienisointia, mikä tuo lisää investointi- ja käyttö-kustannuksia. Hygienisointikustannus voi kuitenkin olla pienempi kuin esimerkiksi säilöre-hunurmen tuotantokustannus, mikä puoltaa myös erilaisten lisäsyötteen käytön mahdolli-suutta.

## Viitteet

- Ervasti, S., Vainio, M., & Tampio, E. 2019. Use of local resources as co-substrates in a farm-scale biogas plant. *Open Agriculture* 4: 650–660.
- Häyrynen, T., Asiala, J. & Ristioja, A. 2019. Lapin maaseutuohjelma 2021–2027. Lapin liitto. 103 s.
- Kiviniemi, S. 2020. Napapiirin Kiertotalouspuistohanke, Selvitys biomassojen ja pilaantuneiden maiden määristä. AFRY. 42 s.
- Kuha, R. 2015. Lapin maatalouden rakenne ja tuotanto 2014, Lapin maatalouden ja elintarviketuotannon tarkastelua. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 50/2015. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 20 s.
- Lapin liitto 2017. Lappi-sopimus, Lapin maakuntaohjelma 2018–2021. Lapin liitto. Rovaniemi. 47 s. + liitteet.
- LCA Consulting 2021. Biojätteselvitys: Biojättemäärät, keräys ja käsittely Lapin alueella. 79 s.
- Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T. & Yli-vainio, K. 2019. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot. Luonnonvara ja biotalouden tutkimus 40/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 75 s.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017a. Suomen normilanta – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 54 s.
- Luostarinen, S., Perttilä, S., Nousiainen, J., Hellstedt, M., Joki-Tokola, E. & Grönroos, J. 2017b. Turkiseläinten lannan määrä ja ominaisuudet: Tilaseurannan ja lantalaskennan tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 30 s.
- Maagaard, T. 2020. Landia A/S. Vastaus hintatiedusteluun. Henkilökohtainen tiedonanto Satu Ervastille sähköpostilla 20.10.2020.
- Niemeläinen, O., Hyvönen, T., Jauhiainen, L., Lötjönen, T., Virkkunen, E. & Uusi-Kämppe, J. 2014. Hoidettu viljelemätön pelto biokaasuksi – biomassan sopivuus syötteenä ja korjuun vaikutukset tukiohjelmien muiden tavoitteiden saavuttamiseen. Loppuraportti. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT. Jokioinen. 31 s.
- Paliskuntain yhdistys 2020. Poronhoidon ja porotalouden tilastoja. Yhdistyksen verkkosivut.
- ProAgria 2014. NurmiArtturi, Hävikit kuriin ja säilörehun laadunvaihtelu hallintaan. NurmiArtturi-hanke. 24 s.
- Pyykkönen, V., Rasi, S. & Virkkunen, E. 2018. Biokaasulaitoksen hankinta ja tarjouspyyntö. Biokaasuliiketoimintaa ja -verkostoja Keski-Suomeen (BiKa-hanke) Hankkeen selvityksiä 1/2. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2018. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 42 s.
- Rikkonen, P. 2015. Maatalouden energia- ja ilmastopolitiikan suuntia vuoteen 2030. Hillintäkeinojen analyysi tilatason vaikutuksista ja keinojen hyväksyttävyydestä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 35/2015. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 108 s.

Seppälä, A, Kässi, P., Lehtonen, H., Aro-Heinilä, E., Niemeläinen, O., Lehtonen, E., Höhn, J., Salo, T., Keskitalo, M., Nysand, M., Winqvist, E., Luostarinen, S. & Paavola, T. 2014. Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi. MTT Raportti 151. MTT. Jokioinen. 97 s.

Suomen virallinen tilasto (SVT) 2020. Kotieläinten lukumäärä. Lypsylehmien lukumäärä karjakkoluokittain. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

Suomen virallinen tilasto (SVT) 2020. Maatalous- ja puutarhayritysten rakenne. Maatalous- ja puutarhayritysten lukumäärä tuotantosuunnittain ELY-keskuksittain. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

TEM 2020. Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:3. Työ- ja elinkeinoministeriö. Helsinki. 64 s.

Vilpanen, M. & Toivikko, S. 2017. Yhdyskuntaliikenteen käsittelyn ja hyödyntämisen tilannekatsaus. Vesi-laitosyhdistyksen monistesarja nro 46. Vesilaitosyhdistys. Helsinki. 38 s.

## Liitteet

### LIITE 1. Sivuvirtojen määriä taulukoituna.

Taulukko L1.1. Poroteurastuksen, kalasivuvirtojen, rekikoiratarhojen ja matkailun lisäyötemäärät kunnittain.

Kunta	Poroteurastus <sup>1</sup>	Kalasivuvirrat <sup>1</sup>			Rekikoiratarhat <sup>2</sup>	Matkailu <sup>2</sup>	
		Ruoansulatus-elimistö	Perkuujäte	Leikkuujäte		Sivusaalis	Jätökset
Enontekiö					14	19	35
Inari	151	5	6	1	34	128	93
Kemi					3	32	116
Kemijärvi	34				7	11	25
Keminmaa						2	28
Kittilä	80				41	48	143
Kolari					10	57	89
Muonio					33	24	17
Pelkosenniemi					11	12	8
Pello		5	6	5		2	42
Posio	40	2	9	35	7	11	17
Ranua	47	2	7		3	6	9
Rovaniemi	134	36			59	158	479
Salla	38				13	9	27
Savukoski					3	1	2
Simo						0	4
Sodankylä	268	16	47	67	25	26	36
Tervola						0	23
Tornio						2	136
Utsjoki	121					24	4
Ylitornio	32				3	1	21
<b>Summa</b>	<b>945</b>	<b>65</b>	<b>74</b>	<b>108</b>	<b>266</b>	<b>573</b>	<b>1354</b>

<sup>1</sup> Lapin AMK:n koordinoima ”Biojätteestä raaka-aineeksi – kala- ja porotalous osaksi kiertotaloutta” -hanke

<sup>2</sup> LCA Consulting 2020

Taulukko L1.2. Maatalouden lisäsyötemäärät kunnittain (Biomassa-atlas).

Kunta	Maatalouden sivuvirrat (pl. lannat)						
	Säilörehu-nurmen ylijäämä	Suojavyöhyke-nurmi	Kesanto-nurmi	Viherlannoitusnurmien mahdollinen alkusato	Nurmen siemenen olki	Olki	Perunan varret
Enontekiö	120	0	9	0	0	0	0
Inari	228	0	9	0	0	0	8
Kemi	8	0	10	0	0	0	0
Kemijärvi	829	163	250	0	0	12	21
Keminmaa	620	205	113	0	0	299	26
Kittilä	737	393	270	0	0	0	14
Kolari	500	88	113	0	0	10	3
Muonio	177	0	68	0	0	0	0
Pelkosen- niemi	286	4	58	0	0	0	1
Pello	567	285	198	0	0	3	159
Posio	1 726	183	730	0	0	21	7
Ranua	1 937	545	865	0	0	0	3
Rovaniemi	2 068	678	813	0	0	208	200
Salla	884	28	388	17	0	10	148
Savukoski	354	28	63	0	0	0	8
Simo	810	260	758	22	0	91	670
Sodankylä	1 355	230	260	0	0	0	13
Tervola	1 922	950	1 078	0	0	664	1 641
Tornio	3 097	478	768	0	1	969	4
Utsjoki	120	0	30	0	0	0	0
Ylitornio	1 483	845	748	0	0	267	31
<i>Summa</i>	<i>19 828</i>	<i>5 359</i>	<i>7 593</i>	<i>39</i>	<i>1</i>	<i>2 554</i>	<i>2 958</i>

Taulukko L1.3. Yrityksen sekä yhdyskuntien biomassat kunnittain (Biomassa-atlas, Luken ja SY-KE:n Ravinnelaskuri-työkalu).

Kunta	Yritysten eläin- ja kasvijäte					Yhdyskuntien jätteet ja lietteet	
	t/v	Keittiö- ja ruokalajitteet	Liha- ja kalatuotteiden tuotannon eläinkudokset	Alkutuotannon eläinkudokset	Ruokaöljyt ja ravintorasvat	Alkutuotannon kasvijätteet	Puhdistamoliete (potentiaali)
Enontekiö						252	138
Inari		25				922	512
Kemi	48					3 018	1 612
Kemijärvi	5					1 074	562
Keminmaa	0	0				1 160	622
Kittilä	17					839	455
Kolari						497	267
Muonio						317	169
Pelkosenniemi						129	71
Pello						460	240
Posio			12			480	246
Ranua						555	296
Rovaniemi	0		45	5		8 551	4 796
Salla			2			513	264
Savukoski						146	78
Simo						439	228
Sodankylä						1 208	641
Tervola	0		10			442	233
Tornio	52		31	19	37	3 061	1 659
Utsjoki						154	82
Ylitornio						590	304
<i>Summa</i>	123	25	100	24	37	24 808	13 475

**LIITE 2. Biokaasu- ja ravinnepotentiaalien laskennassa käytetyt tausta-arvot lähteineen.**

	TS (%)	VS (%)	BMP (m <sup>3</sup> /tVS)	N (g/kgTP)	P (g/kgTP)	Lähde
Poroteurastus, ruoansulatuselimistö	32	31	680	13	1,5	Ervasti ym. 2019
Kalasisivuirrat	71	70	730	8,1	1,3	Ervasti ym. 2019
Rekikoirien jätökset	25	23	210	20	18	Arvio perustuen ketunlannan ominaisuuksiin TURKISTEHO-hankkeessa
Biojätteet	28	26	450	6,2	1,0	TEM 2020
Rasvat, öljyt	40	36	800	1,2	0,4	TEM 2020
Kasvijätteet (ml. Perunanvarret)	27	24	320	5,1	0,5	TEM 2020
Säilörehunurmi	30	27	350	7,7	0,8	TEM 2020
Viherlannoitus-, ke-santo- ja suojavyöhy-kenurmet	40	36	280	5	0,6	TEM 2020
Olki	90	85	280	4,5	0,9	TEM 2020
Puhdistamoliete	20	12	300	11	1,4	TEM 2020
Alkutuotannon teuras-jätteet	35	31,5	600	31,5	2,5	Biokaasulaskuri 2021

TS, kuiva-aine; VS, orgaaninen kuiva-aine; TP, tuorepaino; BMP, metaanintuottopotentiaali

### LIITE 3. Metaanintuottopotentialin määrittäminen

Metaanintuottopotentialin (BMP, Biochemical Methane Potential) määrittäminen toteutettiin kolmena rinnakkaisena käsittelemällä automaattisen laitteiston avulla (Bioprocess Control Ab, Ruotsi, kuva L3.1). Koe toteutettiin 500 ml lasipulloissa, joihin kaikkiin lisättiin sama määrä, 300 g, mikrobiympäristöä. Näytteiden määrä mitoitettiin orgaanisen kuiva-aineen (VS) pitoisuuksien perusteella siten, että näytteen ja ympin VS:n suhde oli 0,75, lukuun ottamatta rasva- ja/tai typpi-pitoisia syötteitä. Kalasivuvirroilla suhde oli 0,5 ja käytetyllä paistorasvalla 0,25. Pullot täytettiin ionivaihdetulla vedellä 400 ml nestetilavuuteen. Lämpötila kokeessa oli  $37 \pm 1$  °C.

Näyteseosten pH mitattiin ennen ja jälkeen koetta. Ennen kokeen alkua todettiin, että pulloissa olevan seoksen pH:t olivat yli 7,2 jolloin ne eivät tarvitse pH muokkausta. Pulloihin lisättiin pH:n puskuroimiseksi natriumbikarbonaattia ( $\text{NaHCO}_3$ ) annostuksella 3 g/l. Pullon suljettiin kaasutiiviisti.

Pulloissa muodostuva biokaasu johdettiin  $\text{CO}_2$ -sitoutusyksikköön, jossa biokaasun sisältämä hiilidioksidi reagoi sitoutumalla natriumhydroksidiin. Metaani johdettiin edelleen nesteensyrjäytykseen perustuvaan kaasun tilavuusmittaukseen. Ennen kokeen alkua pullojen kaasutila ja letkulinjat huuhdeltiin typpikaasulla, jotta olosuhteet saatiin hapettomiksi.

Kaasuntuottotulokset laskettiin sekä tuorepainossa (TP) että kuiva- ja orgaanista kuiva-ainepitoisuutta kohti (TS ja VS). Näytteiden kaasuntuotto laskettiin vähentämällä ympin osuus kaasuntuotosta.

Jatkuvatoimisten reaktorikokeiden jälkeen toteutettiin myös ns. jälkikaasukokeet käyttäen reaktorikokeissa muodostuvaa mädätettä. Mädätettä lisättiin pulloihin 300 g, eikä vettä tai muita materiaaleja tai kemikaaleja lisätty.



Kuva L3.1. Kokeessa käytetty metaanipotentialin mittauslaitteisto. Kuva: Elina Tampio.



#### LIITE 4. Jatkuvat toimiset reaktorikokeet

Jatkuvat toimiset reaktorikokeet toteutettiin kahdessa Metener Oy:n valmistamassa nestetilavuudeltaan 10 litran bioreaktorissa (Kuva L4.1). Reaktorit syötettiin arkipäivisin ja mädätysjännöstä poistui painovoimaisesti. Reaktoreiden lämpötila oli mesofiilinen 37 °C, ja sisältöä sekoitettiin jatkuvatoimisesti (nopeus 150 rpm).



Kuva L4.1. Reaktorit, joilla kokeet toteutettiin. Kuva: Elina Tampio.

Biokaasureaktorissa hydraulinen viipymäaika (hydraulic retention time, HRT) kuvaa sitä aikaa, jona reaktorin sisällön nestetilavuus vaihtuu laskennallisesti kerran. Tässä kokeessa viipymäajaksi valittiin maatilakokoluokan laitoksille tyypillinen viipymä, 23 päivää. Kokeet jokaisella lisäsyötteellä kestivät aina kolme laskennallista viipymää eli  $3 \times 25 \text{ d} = 69 \text{ d}$ . Viimeisellä lisäsyötteellä (poronsuolet) koe kesti ainoastaan kaksi viipymää. Yleisesti ottaen, noin kolmen viipymän jälkeen prosessin oletetaan saavuttaneen tasaisen toiminnan. Viipymäaika lasketaan kaavalla:

$$HRT (d) = \text{Reaktorin tilavuus (m}^3\text{)} / \text{Syöttömäärä (m}^3\text{/d)}$$

Reaktorin orgaanisen aineen kuormitus (organic loading rate, OLR) taas kuvaa sitä orgaanisen aineen (VS) määrä, joka syötetään päivässä reaktoritilavuutta kohden. Kuormitus lasketaan kaavalla:

$$OLR (\text{kgVS/m}^3\text{/d}) = \text{Viipymän aikana syötettävä VS määrä (kgVS)} / HRT (d) / \text{reaktorin tilavuus (m}^3\text{)}$$

Kuormitus ja viipymäaika ovat toisistaan riippuvaisia, minkä vuoksi koeajoissa syötettä laimennettiin vedellä, jotta kuormitus pysyisi samana jokaisella lisäsyötteellä. Mitä enemmän orgaanista ainesta reaktoreihin syötetään, sitä suurempi on riski prosessin ylikuormittumiselle ja kaasuntuoton laskulle. Taulukkoon L4.1 on koottu reaktorien operointiparametrit eri syötejaksoilla.

Muodostuvan biokaasun määrä mitattiin kaasukellolla (RITTER Apparatebau GmbH & Co. KG, Saksa). Kaasun metaanin (CH<sub>4</sub>), hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) ja rikkivedyn (H<sub>2</sub>S) pitoisuudet mitattiin kannettavalla Combimass GA-m kaasuanalysointilaitteella (Binder Engineering GmbH, Saksa). Kaikki kaasumäärät laskettiin ns. standardiolosuhteisiin (paine 101,32 kPa, lämpötila 0 °C = 273,15 K) huomioimalla kaasunmittausten vallitseva huoneenlämpötila ja ilmanpaine.

Taulukko L4.1. Jatkuvat toimisten kokeiden syötteet ja operointiarvot kokeen ajalta.

Jakso	Syöte	Koepäivät	OLR (kgVS/m <sup>3</sup> d)	HRT (d)
1	Lietelanta (L)	1–56	1,6	23
2	L + Nurmi (N)	57–117	2,2	23
3	L + N + Peruna	118–200	2,8	23
4	L + N + Hoitokalastuskala	201–285	2,8	23
5	L + N + Kirjoloihen perkuujätteet	286–385	2,8	23
6	L + N + Poronsuolet	386–428	2,8	23

Kokeiden aikana kaikkien reaktoreiden sisällöstä (mädäte) otettiin näytteet viikoittain ja reaktorien pH mitattiin päivittäin VWR pH110 mittarilla. Kemialliset analyysit tehtiin Luken Jokioisten laboratoriossa. Viikoittain mädätteistä analysoitiin haihtuvat rasvahapot (volatile fatty acids, VFA<sup>1</sup>), ammoniumtyppi (NH<sub>4</sub>-N<sup>2</sup>) sekä TS ja VS<sup>3</sup>. Joka toinen viikko analysoitiin lisäksi kokonaistyyppi (total Kjeldahl nitrogen, TKN<sup>4</sup>) ja liukoinen kemiallinen hapenkulutus (soluble chemical oxygen demand, sCOD<sup>5</sup>). Jokaisen viipymääjän päättyessä otettiin vielä laajempi näytesetti, josta analysoitiin edellisten lisäksi vielä kokonaisfosfori (P<sub>tot</sub>), kokonaiskalium (K<sub>tot</sub>) sekä muita hivenaineita (Ca, Na, Zn, Mg, Mn)<sup>6</sup> sekä hiili-typpisuhde (C/N<sup>7</sup>), raakarasva, proteiini ja hiilihydraatit<sup>8</sup>.

<sup>1</sup> Etikkahappo, propionihappo, voihiappo, isovoihiappo, valerianaanahappo, isovalerianaanahappo, kapronihappo analysoitu suodatetusta näytteestä HP 6890 kaasukromatografilla, kuten kuvattu Tampio ym. (2014).

<sup>2</sup> Spektrofotometrinen määrittely McCullough (1967) mukaisesti.

<sup>3</sup> SFS 3008. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittely. Suomen standardoimisliitto 1990.

<sup>4</sup> Kjeldahl-typen määrittely AOAC (1990) mukaisesti Foss Kjeltec 2400 analysointilaitteella (Foss Tecator AB, Höganäs, Sweden) ja kuparikatalyyttillä.

<sup>5</sup> Näytteen (2493 x g, 15 min) ja edelleen supernatantin sentrifugointi (16168x g, 10 min) ja analyysi SFS 5504 mukaisesti.

<sup>6</sup> Näytteen hajotus HNO<sub>3</sub>:lla Luh Huang and Schulte (1985) mukaan, minkä jälkeen ICP-OES mittaus laitevalmistajan ohjeen mukaisesti.

<sup>7</sup> C ja N analyysi pakkaskuivatusta näytteestä, analyysi Duma'n menetelmällä Leco CN-2000 Elemental Analyzer laitteella (Leco Corp., USA) valmistajan ohjeen mukaisesti.

<sup>8</sup> Pakkaskuivatusta näytteestä kokonaissokerit analysoitiin kolorimetrisellä menetelmällä (MTT, 2011), raakarasva Soxhlet-Soxtec -analysointilaitteella (AOAC, 1990; Foss Tecator Application Note AN 390) ja proteiinipitoisuus laskettiin orgaanisen typen (TKN – NH<sub>4</sub>-N) pitoisuudesta kertoimen 6,25 avulla.

## LIITE 5. Maatilanallien laskennassa käytetyt tausta-arvot ja menetelmät

Maatilanallien kokoluokkien ja tuotantosuunnan valinta perustui hankkeessa tehtyjen maati-lahaastatteluihin sekä tilastotietoihin eläinmääristä ja tilakokoluokista. Malleiksi valittiin mah-dollisimman kattavasti lappilaisia eläintiloja edustavat kaksi vaihtoehtoa.

Kuten kappaleessa 2 nähtiin, lypsylehmien määrässä suurin karjakokoluokka on 50–74. Myös tilahaastatteluissa puolet tiloista (2 kpl) oli kyseisessä kokoluokassa ja lisäksi yksi lihakarjatila lantamääriltään samaa kokoluokkaa. Näin ollen ensimmäinen maatilanalliksi *pieni tila* valittiin 60 lypsävän eläimen maitotila.

Toisena maatilanallina on kolme kertaa suurempi, 180 lypsävän *Iso tila*. Tilakoot ovat kasvussa ja suuremman kokoluokan laitosten ovat pieniä laitoksia edullisempia investointihinnaltaan ja käyttökustannuksiltaan (Pyykkönen, Rasi & Virkkunen 2018)

Mallitiloilla muodostuva lannan määrä laskettiin Suomen normilantajärjestelmän mukaisesti (Luostarinen ym. 2017). Laskennassa käytettiin ex-housing (lanta eläinsuojasta) lukuja, joista oli vähennetty laitumelle ja ulkotarhoihin jäänyt lanta.

Nurmirehua arvioitiin olevan tiloilla käytettävissä 5 % tilan nurmirehutuotannosta (ProAgria 2014, Rikkonen 2015).

Biokaasuntuotannossa energia oletettiin tuotettavan kokonaisuudessaan CHP-yksiköllä, eli yh-distettynä sähkön- ja lämmöntuotantona. Tarkastelussa suljettiin pois kaasun jalostus liikenne-polttoaineeksi, teknologiainvestoinnin ollessa vielä tarkasteluaikana melko kallis ja käytössä huomattavasti isommissa yksiköissä.

Omasta käytöstä ylijäävä sähkö oletettiin myytävän kokonaan. Ylijäämälämmölle ei peruslas-kelmissa oletettu olevan markkinoita, joten lämmön myyntipotentiaali jätettiin peruslaskel-missa hyödyntämättä.

Tilan ulkopuolelta käyttöön otettaviksi lisäsyötteiksi valittiin poroteurastuksessa muodostuvat ruuansulatuselimistöt sekä kalaperäinen sivuvirta lohien perkuujäte. Poron ruuansulatuselimis-töt ovat nykyisellään vajaan hyödynnetty ja niiden hyödyntäminen ravinteina ja energiana ei kilpaile ruuantuotannon tai materiaalikäytön kanssa. Kirjoloihen perkuujätteet havaittiin hank-keen omissakin tutkimuksissa erittäin energiapitoisiksi ja siksi potentiaaliseksi, energiantuottoa nostavaksi lisäsyötteeksi. Tilan ulkopuolisten lisäsyötteiden vuosittaiset syöttömäärät valittiin niin ikään maati-lahaastatteluiden pohjalta; 134 tonnia poroteurasjätettä ja 11 tonnia kalasivu-virtaa oli saatavilla 50 km tieverkon säteellä yhdellä haastatelluista tiloista (suurin lisäsyöte-määrä haastateltujen tilojen joukossa).

Biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuuden arviointi suoritettiin Biokaasulaskurilla. Lannoilla, nurmirehuilla sekä kalasivuvirralla käytettiin laskennassa laskurin oletusominaisuuksia. Poro-teurastuksen sivuvirralla ominaisuustietoja muokattiin hankkeessa toteutettujen analyysitulosten mukaisiksi (laskurin "teurasjäte" kategoriassa) taulukon L5.1 mukaisesti.

Biokaasutuksen teknologiaksi valittiin molemmissa tilakokoluokissa märkämädätystekniikka.

Korvattavan lämmitysenergian hintoina käytettiin halvalle energialle 0,07 euroa/kWh ja kalliille skenaariolle 0,11 euroa/kWh.

Biokaasulaitosinvestointiin oletettiin saatavan 40 % investointituki.

Eläinperäisiä sivutuotteita käytettäessä investointikustannuksiin lisättiin 65 000 euron hygienesointiyksikön investointi.

Ulkolämpötilan arvioina käytettiin Sodankylän keskilämpötiloja vuosilta 1981–2010 (taulukko L5.2).<sup>9</sup>

Taulukko L5.1. Poron teurasjätteelle käytetyt ominaisuudet.

Yksikkö	Arvo
TS (%)	32
VS (%)	31
VS/TS -suhde	0,97
BMP (m <sup>3</sup> /tVS)	680
CH <sub>4</sub> -pitoisuus kaasussa (%)	60
TKN (g/kg)	13
NH <sub>4</sub> -N (g/kg)	0,6
P (g/kg)	1,5

Taulukko L5.2. Laskennassa käytetyt ulkolämpötilat.

Ulkolämpötilat (Sodankylä Tähtelä 1981–2010)	
Tammikuu	-13.5
Helmikuu	-12.7
Maaliskuu	-7.5
Huhtikuu	-1.3
Toukokuu	5.3
Kesäkuu	11.6
Heinäkuu	14.5
Elokuu	11.7
Syyskuu	6.2
Lokakuu	0.1
Marraskuu	-7.1
Joulukuu	-11.7

<sup>9</sup> Ilmatieteen laitos 2020. Kuukausitilastot, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Latokartanonkaari 9  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000