



TTS:n julkaisuja 435

Reetta Palva, TTS Työtehoseura

Maarit Hellstedt, Sari Luostarinen, Erika Winqvist, Tapio Salo,
Luonnonvarakeskus Luke

Suvi Lehtoranta, Juha Grönroos, Suomen ympäristökeskus SYKE

Hanna Hamina, Suomen Siipikarjaliitto ry

Kimmo Puolamäki, Jyväskylän ammattikorkeakoulu

SIIPIKARJANLANNAN KÄYTÖN TEHOSTAMINEN

Teholanta-hankkeen loppuraportti



Työtehoseura

www.tts.fi

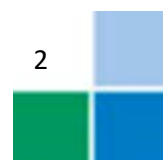
SIIPIKARJANLANNAN KÄYTÖN TEHOSTAMINEN

Teholanta-hankkeen loppuraportti

Julkaisija: Työtehoseura ry
Kiljavantie 6, 05200 Rajamäki
www.tts.fi 09 2904 1200

TTS:n julkaisuja 435

ISBN: 978-951-788-451-8
ISSN: 2489-8341 (verkkojulkaisu)
Nurmijärvi 2019

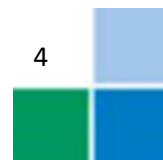


Sisällys

Tiivistelmä	5
Alkusanat	6
1. Johdanto	7
2. Tarkastellut siipikarjanlannan prosessointimenetelmät	9
2.1. Biokaasuprosessi	9
2.2. Biokaasutekniikat	9
2.3. Termiset käsittelyt.....	13
2.3.1. Tilakohtainen poltto.....	13
2.3.2. Terminen kaasutus.....	14
3. Prosessikokeet ja tulokset	15
3.1. Metaanintuottopotentialien määrittäminen	15
3.2. Biokaasuprosessin pilot-kokeet.....	17
3.2.1. Suotopetiprosessikokeet	17
3.2.2. Tulppavirtausprosessikokeet	17
3.3. Termisten käsittelyiden kokeet	18
3.3.1. Testauslaboratoriossa toteutetut polttokokeet	18
3.3.2. Maatiloilla toteutetut polttokokeet.....	23
3.3.3. Terminen kaasutus.....	27
3.4. Prosessoinnin lopputuotteiden hyödynnettävyys peltoviljelyssä.....	28
3.4.1. Biokaasuprosessin mädäte	29
3.4.2. Polton tuhka.....	31
4. Pilottitilat esimerkkiratkaisuissa – lähtötiedot	33
4.1. Broileritila	33
4.2. Kalkkunatila	33
4.3. Munatila	34
4.4. Yhteenveto pilottitilojen lähtötiedoista	34
5. Pilottitiloille valitut lannankäsittelyn esimerkkiratkaisut	36
5.1. Biokaasuprosessin vaihtoehdot	36
5.2. Lannan poltto	37
5.3. Pilottitilojen prosessit ympäristövaikutusten arvioinnissa	37
5.3.1. Broileritilan vaihtoehdot.....	38
5.3.2. Kalkkunatilan vaihtoehdot.....	39
5.3.3. Munatilan vaihtoehdot	41



6.	Biokaasuratkaisujen toteutettavuus ja kannattavuus	43
6.1.	Broileritilan suotopetiprosessi	43
6.1.1.	Biokaasuntuotto pelkällä lannalla.....	47
6.1.2.	Biokaasuntuotto lannalla ja lisäsyötteillä	50
6.2.	Kalkkunatilan suotopetiprosessi.....	53
6.3.	Munatilan suotopeti- ja tulppavirtausprosessit	59
6.3.1.	Suotopetiprosessi	60
6.3.2.	Tulppavirtausprosessi	65
7.	Lannan polton kannattavuus pilottibroileritilalla	70
8.	Siipikarjanlannan käsittelyn ja prosessoinnin ympäristövaikutukset pilottitiloilla... 74	
8.1.	Yleinen menetelmäkuvaus	74
8.2.	Vaikutusarviointimenetelmä	74
8.3.	Lannankäsittelyketjujen päästöjen laskentaperusteet	75
8.3.1.	Lannasta peräisin olevat kaasumaiset päästöt	75
8.3.2.	Kuljetukset ja konetyö	76
8.3.3.	Energian tuotto	76
8.3.4.	Kuivikkeen käyttö.....	77
8.3.5.	Biokaasuprosessi.....	77
8.3.6.	Biokaasuprosessin lisäsyötteiden tuotanto	78
8.3.7.	Maaperän päästöt.....	78
8.3.8.	Hyvitettävät prosessit	79
8.4.	Laskennan epävarmuustekijät ja herkkyystarkastelu	79
8.5.	Pilottitilojen nykytilan ja vaihtoehtojen toimien vertailu.....	80
8.5.1.	Broileritilan vaihtoehtojen elinkaariset ympäristövaikutukset	80
8.5.2.	Kalkkunatilan vaihtoehtojen elinkaariset ympäristövaikutukset.....	85
8.5.3.	Munatilan vaihtoehtojen elinkaariset ympäristövaikutukset.....	89
8.5.4.	Rehevöityminen	94
8.6.	Lannan polton ympäristövaikutukset.....	95
9.	Yhteenveto ja johtopäätökset	97
9.1.	Biokaasuntuotanto siipikarjanlannasta	97
9.2.	Siipikarjan lannan terminen käsittely	98
9.3.	Tarkasteltujen prosessointien ja tehostavien toimenpiteiden elinkaariset ympäristövaikutukset	100
	Lähteet	103
	Liitteet	107



Tiivistelmä

TEHOLANTA-hankkeen (Siipikarjanlannan käytön tehostaminen) tavoitteena oli tuottaa suoraan käytäntöön sovellettavaa tietoa siipikarjanlannan tilakohtaisen hyödyntämisen tehostamiseen. Vaihtoehtoina tarkasteltiin sekä nykyisten käytäntöjen tehostamismahdollisuuksia että erityisesti lannan energiasisältöä hyödyntäviä prosessointimenetelmiä: biokaasutuotantoa ja polttoa tilan olemassa olevissa lämmitysjärjestelmissä.

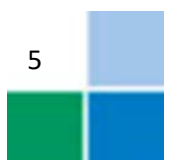
Tekniikoiden käytännön toimivuuden varmistamiseksi sekä kannattavuuden ja ympäristövaikutusten arviointia varten tehtiin pilot-mittakaavan prosessikokeita biokaasutuotannosta (broilerin-, kalkkunan- ja munintakanojen lanta) sekä poltosta (broilerinlanta). Polttoa testattiin myös käytännön olosuhteissa kahdella maatilalla. Lisäksi kokeiltiin termisen kaasutuksen toimivuutta broilerinlannan prosessointina.

Koetulosten pohjalta laadittiin todellisille siipikarjatilaille (pilottitilat eri tuotantosunnissa) esimerkkiratkaisut lannan energiakäytölle. Ratkaisut käsittivät koko toimintaketjun lannan ja mahdollisten muiden syötteiden tuotannosta prosessijäännöksen loppukäyttöön. Esimerkkiratkaisujen tilakohtaista kannattavuutta ja elinkaarisia ympäristövaikutuksia verrattiin nykyisiin käytäntöihin. Lisäksi tarkasteltiin, miten esimerkkitulojen siipikarjatuotannosta syntyviä ympäristövaikutuksia voitaisiin vähentää nykyisiä tuotanto- ja lannankäsittelykäytäntöjä tehostamalla.

Tässä arvioituista tiloista ainoa selkeästi kannattava biokaasutuotannon malli oli munatilalle suunniteltu suotopetiprosessi, jossa lannan lisänä mädätetään nurmea ja biokaasu hyödynnetään liikennekaasun tuotantoon. Merkittävä tekijä on käsiteltävän lannan määrä ja metaanintuottopotentiaali; se oli pilottituloista suurin munatilalla. Esimerkkilaskennan haasteista huolimatta biokaasutuotannon kannattavuus voi olla löydettävissä myös broileri- ja kalkkunatiloilla, sillä ratkaisuissa kannattavuuksineen on tilakohtaisia eroja eikä näiden pilottitulojen tulosta voi yleistää kaikille tiloille.

Lannan tilakohtaisessa poltossa lainsäädännön vaatimusten täyttäminen on tehtyjen kokeiden perusteella haastavaa. Vaaditun palamisen viipymääjan saavuttaminen on vaikeaa ja savukaasujen päästörajat ylittyivät laboratorio-olosuhteissakin merkittävästi. Broilerinlannan poltto ei vaikuta kannattavalta, koska se edellyttäisi käytännössä merkittäviä investointeja savukaasujen puhdistukseen eivätkä vuotuiset säästöt välttämättä kattaisi investointeja pidemmälläkään aikajänteellä.

Lannan biokaasutuotannon ilmastohyödyt riippuvat kuivamädätyksen metaanivuodoista prosessin aikana ja päästöistä prosessin jälkeen. Soveltuvaa mitattua tietoa kuivamädätyksen päästöistä ei kuitenkaan ole. Biokaasun liikennekäytössä päästöt laskevat lähelle nollaa, jos oletetaan, että biokaasu korvaa bensiinin valmistusta ja käyttöä täysimääräisesti. Selvää on, että tilakohtainen kuivamädätys on vielä kehittyvää tekniikkaa ja ympäristöhyötyjen täsmentäminen vaatii lisätutkimusta.



Alkusanat

Suomalainen siipikarjatuotanto on kasvanut viime vuosikymmeninä merkittävästi kulutuksen lisääntymisen myötä. Ala tuotti vuonna 2017 noin 75 miljoonaa kiloa kananmunia, 122 miljoonaa kiloa broilerinlihaa ja 8 miljoonaa kiloa kalkkunanlihaa, joka on jo lähes puolet kotimaisesta eläinproteiinin tuotannosta, kun pois luetaan maidontuotanto. Vuosituhannen vaihteesta tuotanto on kasvanut lähes 70 %.

Tuotanto on keskittynyt läntiseen Suomeen, lähinnä Etelä-Pohjanmaan, Satakunnan, Varsinais-Suomen ja Pirkanmaan maakuntiin lähelle alan tuotantolaitoksia ja rehuviljan viljelyalueita. Näillä alueilla siipikarjanlanta on käytetty perinteisesti pelloilla lannoitteena vilja- ja erikoiskasvien viljelyssä sekä jalostettu erilaisiksi lannoitevalmisteiksi. Entistä suurempien tuotantoyksiköiden myötä yksikkökohtaiset lantamäärät ovat kasvaneet, mikä tuo myös uusia mahdollisuuksia lannan hyödyntämiselle.

Siipikarjatuottajat halusivat lähteä selvittämään uusia vaihtoehtoja lannan hyödyntämiseksi. Tuottajat arvostavat lantaa resurssina, joka halutaan hyödyntää kannattavasti ja kestävästi. Lannan tehokas hyödyntäminen on tärkeää sekä ympäristön että yritysten kannalta. Ravinne- tai energiaomavaraisuuden lisääntyminen voi parantaa kilpailukykyä, ja ympäristöystävälliset toimintatavat edistävät osaltaan myös alan imagoa ja tuotteiden hyväksyttävyyttä.

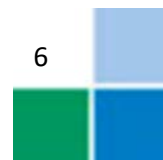
Tähän tarpeeseen syntyi TEHOLANTA-hanke (1.10.2015–31.12.2018). Varsinais-Suomen, Satakunnan ja Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksien alueilla toteutetussa hankkeessa selvitettiin siipikarjanlannan käytön tehostamismahdollisuuksia sekä sen energiasisällön että ravinteiden hyödyntämisen lähtökohdista. Tarkasteluihin valittiin yhteistyössä siipikarjan kasvattajien kanssa biokaasuprosessi ja lannan poltto.

Hankkeen vastuullisena toteuttajana toimi TTS Työtehoseura. Muut toteuttajatahot olivat Luonnonvarakeskus Luke, Suomen ympäristökeskus SYKE, Suomen Siipikarjaliitto ry ja Jyväskylän ammattikorkeakoulu JAMK. Hanke sai tukea Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta (EMR) vesien suojeluun ja ravinteiden kierrätyksen tehostamiseen varatuista erillismäärärahoista Varsinais-Suomen, Satakunnan ja Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksista. Hankkeen muita rahoittajia olivat Atria Suomi, HKScan Finland, Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto MTK, Maa- ja vesitekniikan tuki, Maatalouskoneiden tutkimussäätiö ja Suomen Siipikarjasäätiö.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Juha Kiviniemi (pj), MTK:n siipikarjajaosto, Jukka Nikula, Suomen Siipikarjasäätiö, Jarmo Seikola, **HKScan Finland**, Harri Rosenberg Atria Suomi ja Seppo Jaakonmäki, Varsinais-Suomen ELY-keskus. Lämpimät kiitokset rahoittajille, ohjausryhmälle sekä muille yhteistyötahoille tuesta hankkeen toteuttamisessa.

13.11.2019

Teholanta-hankeryhmä



1. Johdanto

Siipikarjanlantaa arvioidaan muodostuvan Suomessa 300 300 tonnia vuosittain (Suomen normilanta -järjestelmä, eläinmäärä 2017). Noin puolet lannasta on broilerinlantaa (150 050 t/v). Munantuotannossa (munintakanat, kukot, kananpojat) lantaa muodostuu 136 000 t/v ja kalkkunanlannan osuus on 12 250 t/v. Muista siipikarjaryhmistä, kuten hanhet, ankat ja viiriäiset lantaa muodostuu yhteensä noin 2 000 t/v.

Siipikarjanlannan ravinnepitoisuudet ovat korkeat (kok-N 9–30 kg/t ja kok-P 3–12 kg/t; Luostarinen ym. 2017), joten sen lannoitusarvo on hyvä. Lannoille tyypillisesti fosforia on viljelykasvien tarpeisiin nähden enemmän kuin typpeä. Käytännössä viljelijöiden levitysmäärät ovat yleensä 5–10 m³/ha, jolloin fosforin lannoitustaso on 20–50 kg/ha. Tällöin liukaisen typen annos on vain 10–30 kg/ha ja kokonaistypen lisäys 70–130 kg/ha.

Suurella osalla siipikarjatilastoista oma peltoala ei riitä tai peltojen fosforiluvut ovat niin korkeita, että kaikkea lantaa ei voi levittää omille pelloille. Luonnonvarakeskuksen mukaan vuonna 2016 siipikarjatilastoista 57 % luovutti lantaa tilan ulkopuolelle; luovutettu määrä oli 106 000 tonnia. Siipikarjatilastoista lantaa vastaanotti 8,4 %, ja vastaanotettu lantamäärä oli vain 7 000 tonnia.

Siipikarjantuotanto on Suomessa voimakkaasti keskittynyt maan lounais- ja länsiosiin. Näillä alueilla on myös sian- ja naudanlihan sekä maidon tuotantoa, joten korkean eläintuotuksen myötä lannan fosforia syntyy yli alueiden oman tarpeen. Marttisen ym. (2017) selvityksen mukaan suurimmat fosforin ylijäämät syntyvät Pohjanmaalla (ylijäämä 58 % alueella syntyvästä lantafosforista), Etelä-Pohjanmaalla (30 %), Satakunnassa (27 %) ja Varsinais-Suomessa (13 %). Näillä alueilla lannan prosessointi kuljettamista helpottavilla menetelmillä on perusteltua.

Lannan sisältämän typen ja kasvien typen tarpeen välillä alueellinen epätasapaino ei Marttisen ym. (2017) mukaan ole yhtä suuri kuin fosforilla. Typpi voidaan yleensä hyödyntää tuotantotilalla. Lantatypen hyödynnettävyyttä voitaisiin kuitenkin parantaa vähentämällä lannasta tapahtuvia kaasumaisia typen hävikkejä kaikissa lannankäsittelyn vaiheissa, mikä vähentää samalla lannan ympäristöpäästöjä.

Suomi on sitoutunut pyrkimään ravinteiden kierrätyksen esimerkkialueeksi, mikä maatalouden osalta tarkoittaa erityisesti typen ja fosforin kierron parantamista. Lannan ravinteiden mahdollisimman tehokas hyödyntäminen palvelee sekä tilatason tuotannollisia ja taloudellisia tavoitteita, yleisiä ympäristötavoitteita että ruuantuotannon kestävyyttä.

Lannankäsittelyn tehostaminen on myös yksi maa- ja metsätalousministeriön maatalouden ilmasto-ohjelmaan listatuista keinoista kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ja ruuantuotannon kestävyuden lisäämiseksi (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Lannan typpeä tehokkaasti kierrättämällä voidaan myös vähentää fossiilisella energialla tuotetun typpilannoitteen käyttöä. Lannalla on tärkeä merkitys myös hiilen sitomisessa maaperään. Orgaanisen aineksen lisääminen maaperään parantaa maan kasvukuntoa, sadontuottopotentiaalia sekä veden- ja ravinteidenpidätystä.

Yksi maatalouden ilmasto-ohjelman sisältämistä keinoista ruuantuotannon kestävyuden edistämiseksi on lannan hyödyntäminen energianlähteenä. Biokaasutuksella voidaan oikein toteutettuna vähentää lannankäsittelyn päästöjä. Uusiutuvan energian käyttö vä-



hentää fossiilisten energialähteiden käyttöä, jos kokonaisenergiankäyttö ei kasva. Suomen kansallinen tavoite on lisätä uusiutuvan energian käyttöä 50 %:iin energian loppukulutuksesta 2020-luvulla ja että pitkällä aikavälillä energiajärjestelmä perustuu vahvasti uusiutuviin energialähteisiin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Liikenteen kasvihuonepäästöjen poistamiskeinoja selvittänyt työryhmä arvioi raportissaan, että biokaasulla on merkittävä rooli täysin päästöttömän liikenteen saavuttamisessa (Särkijärvi ym. 2018).

Luken tilastokyselyn mukaan ainoa lannan jatkokäsittelymenetelmä vuonna 2016 siipikarjatiloiilla oli kompostointi, jota käytti 11,3 % tiloista. Lannan prosessointi kuitenkin kiinnostaa monia. Prosessoinnissa kiinnostaa pääasiassa lannan tehokkaampi ja laajempi hyödyntäminen sen sijaan, että prosessoinnilla haettaisiin vain ratkaisua lantaongelmaan.

Taloudellinen kannattavuus on tuottajan kannalta lannan prosessoinnin ensisijainen edellytys. Prosessoinnin kautta tulisi voida korvata ostettavia tuotantopanoksia tai vähentää omaa työmäärää. Prosessoinnin avulla mahdollisesti erilleen saatavan ylimääräisen fosforin tuotteistaminen ja myynti kiinnostaa, koska tilalta sellaisenaan luovutettavasta lannasta harvoin saa rahallista korvausta. Lannalle uskotaan olevan kysyntää, kun se on helppokäyttöisessä muodossa, jossa ravintoesuhteet ovat kasvinravitsemuksen kannalta halutussa suhteessa.

Teholanta-hankkeen tavoitteena oli luoda yhteistyössä siipikarjantuottajien kanssa uudenlaiset, resurssitehokkaat ja tuotannon kannattavuutta ja hyväksyttävyyttä lisäävät ratkaisumallit siipikarjanlannan hyödyntämiseen. Päähuomio oli siipikarjanlannan energiasäällön tilakohtaisessa hyödyntämisessä, ja tarkasteltavat hyödyntämismallit olivat biokaasutuotanto ja poltto. Poltto mahdollistaisi lannan fosforin tiivistämisen tuhkaan, mikä helpottaisi fosforin hyödyntämistä etäämmällä sijaitsevilla alhaisen fosforiluvun pelloilla. Biokaasuprosessin myötä kaikki lannan ravinteet ml. typpi voitaisiin hyödyntää ravinnekiertoissa sekä lisäksi tuottaa energiaa. Myös biokaasuprosessin käsittelyjäännöksestä eli mädätteestä erotettu fosforipitoinen kuivajae voi olla kuljetettavissa kauemmas tilalta/alueelta. Lisäksi vähemmän epämiellyttävältä haiseva mädäte kiinnostaisi lähialueen kasvintuottajia mahdollisesti enemmän kuin raakalanta.

Uusien tekniikoiden käytännön toimivuuden varmistamiseksi sekä kannattavuuden ja ympäristövaikutusten arviointia varten toteutettiin pilot-mittakaavan prosessikokeita siipikarjanlannoilla. Polttokokeita tehtiin myös käytännön olosuhteissa maataloilla. Lisäksi testattiin termisen kaasutuksen toimivuutta siipikarjanlannan prosessointina.

Koetulosten pohjalta laadittiin todellisille siipikarjatiloilta (pilottitilat eri tuotantosuunnissa) esimerkkiratkaisut lannan energiakäytölle. Ratkaisut käsittivät koko ketjun lannan ja mahdollisten muiden syötteiden tuotannosta prosessijäännöksen loppukäyttöön. Esimerkkiratkaisujen tilakohtaista kannattavuutta ja elinkaarisia ympäristövaikutuksia arvioitiin nykytilaan verrattuna.

Lisäksi tarkasteltiin elinkaariarvioinnin avulla, miten esimerkkitulojen siipikarjatuotannosta syntyviä ympäristövaikutuksia voitaisiin vähentää nykyisiä tuotanto- ja lannankäsittelykäytäntöjä tehostamalla.



2. Tarkastellut siipikarjanlannan prosessointimenetelmät

2.1. Biokaasuprosessi

Biokaasuprosessissa (mädätys) eloperäinen aines, kuten lanta, hajoaa mikrobitoiminnan ansiosta biokaasuksi ja mädätteeksi. Biokaasu sisältää runsaasti energiapitoista metaania, joka voidaan hyödyntää lämmön, yhdistetyn lämmön ja sähkön ja/tai liikennepolttoaineen tuotannossa. Mädäte sisältää kaikki prosessoitujen syötteiden ravinteet ja orgaanista ainetta. Se voi toimia lannoitteena ja maanparannusaineena maataloudessa.

Lannan maatilakohtaisella biokaasutuksella tavoitellaan yleensä seuraavia etuja:

- lannan energiasisällön hyödyntäminen tilan toiminnassa (energiaomavaraisuuden lisääminen)
- uusiutuvan energian hyödyntäminen
- lannan ravinnesisällön, erityisesti typen, hyödyntämisen tehostaminen
- mädätteen lantaa suurempi markkina-arvo

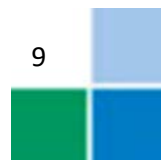
Siipikarjatiloiilla energiaa kuluu runsaasti tuotantohallien lämmitykseen ja ilmanvaihtoon, minkä vuoksi lannan energiasisällön hyödyntäminen tilan energiantuotannossa kiinnostaa monia tuottajia. Jos tilalla ei ole riittävästi omaa lannanlevitysalaa, lannan luovuttaminen tai myynti tilalta pois on tärkeää, ja prosessoituna lannalle voi löytyä enemmän kysyntää. Biokaasuprosessi voi parantaa lannan ravinnesuhteita ja typen käyttökelpoisuutta raakalantaan verrattuna. Lisäksi lannan epämiellyttävä haju vähenee selvästi.

Lanta on yleensä hyvä perussyöte biokaasuprosesseihin. Siipikarjanlannan haasteena on sen korkea typpipitoisuus verrattuna hiilen pitoisuuteen. Liiallinen typpi voi häiritä tai peräti estää hajoamisprosessin biokaasuksi saakka. Ratkaisuna on yleensä syötteen hiilen ja typen suhteen säätäminen lisäämällä syöteseokseen hiilipitoisempaa materiaalia, kuten nurmea. Siipikarjanlannan kuiva-ainepitoisuus on usein korkea, ja prosessitekniikka voi edellyttää käsittelyä yhdessä jonkin alemman kuiva-ainepitoisuuden syötteen kanssa tai veden lisäystä prosessiin.

2.2. Biokaasutekniikat

Siipikarjanlantaa voidaan käsitellä erilaisilla biokaasutekniikoilla. Käytännön ratkaisut vaihtelevat tällöin tekniikan vaatimusten mukaan. Yleisimmin käytössä olevaan märkäprosessiin kuivat siipikarjanlannat eivät sovellu sellaisenaan, koska biokaasureaktorin sisällön kuiva-ainepitoisuus voi olla korkeintaan 15 %. Märkäprosessia varten lannan kuiva-ainepitoisuutta tulisi alentaa joko yhteiskäsittelemällä sitä lietemäisten syötteiden, kuten lietelannan, kanssa, kierrättämällä prosessin loppuosassa poistettua nestettä, tai lisäämällä muuta soveltuvaa nestettä lantaan. Tilatasolla tällaiset ratkaisut eivät ole käytännössä toteutuskelpoisia. Suuremmassa mittakaavassa, esimerkiksi tilojen yhteisissä tai suurissa keskitettyissä laitoksissa, märkämädätys on mahdollista. Siipikarjatuottajan kannattaa siksi myös selvittää, olisiko lähialueella mahdollisuuksia tämän tyyppiseen yhteistyöhön eri toimijoiden välillä.

Kuivaprosesseissa syötteen kuiva-ainepitoisuus voi vaihdella noin 20–60 %. Tekniikoita on erilaisia eivätkä ne ole ratkaisuiltaan yhtä tunnettuja ja koeteltuja kuin märkämädätys.



Siipikarjanlannalle ne voisivat kuitenkin soveltua hyvin lannan korkean kuiva-ainepitoisuuden vuoksi.

Tässä hankkeessa testattiin kahden erilaisen kuivamädätysprosessin toimivuutta broilerin-, kalkkunan- ja munituskanojen lannoille. Tekniikat olivat panostoinen suotopetiprosessi ja jatkuvatoiminen tulppavirtausprosessi.

Suotopetiprosessissa reaktorisiilo täytetään käsiteltävällä syötemateriaalilla ja suljetaan kaasutiiviiksi (kuva 2.1). Prosessoitavaan massa sumutetaan suotovettä eli perkolaationestettä, joka suotautuu massan läpi ja kerätään siilon alaosaan. Neste kiertää erillisen reaktorin läpi ja palautuu jälleen siilon. Nesteen tehtävä on paitsi kuljettaa hapettomasta hajotustoiminnasta vastaavat mikrobit siilossa olevan massan hajottamiseen, myös kerätä vapautuva liukoinen orgaaninen aine. Liuenneesta orgaanisesta aineesta muodostuu biokaasua erillisessä nestereaktorissa. Biokaasua muodostuu myös siilossa. Yhden syöttöpanoksen hajoamisen hiivuttua tietyn viipymän jälkeen siilo avataan ja tyhjenetään. Neste odottaa uutta panosta siilon ja prosessi voi alkaa alusta. Yhdessä siilossa biokaasua muodostuu siis vain syklin kiihkeimmän hajoamisen vaiheessa. Tasaisen biokaasutuotannon saavuttamiseksi siiloja tulee olla useampia, joista yksi on aina aktiivisessa biokaasun tuotantovaiheessa.

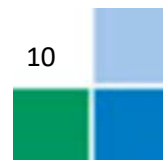
Suotopetiprosessin raaka-aineiksi sopivat mm. kuivat lannat, olki ja nurmi. Tekniikalle optimaalinen kuiva-ainepitoisuus vaihtelee 30–60 %. Vettä ei yleensä tarvitse lisätä syötteeseen. Runsaasti vettä pidättäviä syötteitä prosessoitaessa vettä saatetaan lisätä riittävän perkolaationestemäärän varmistamiseksi. Lisättävän veden ei tarvitse olla puhdasta. Se voi olla hallien katoilta kerättyä sadevettä tai hallien pesuun käytettyä vettä. Syötemateriaalin tulee olla riittävän huokoista, jotta perkolaationeste suotautuu tasaisesti massan läpi ja biokaasu pääsee vapautumaan massan sisältä.

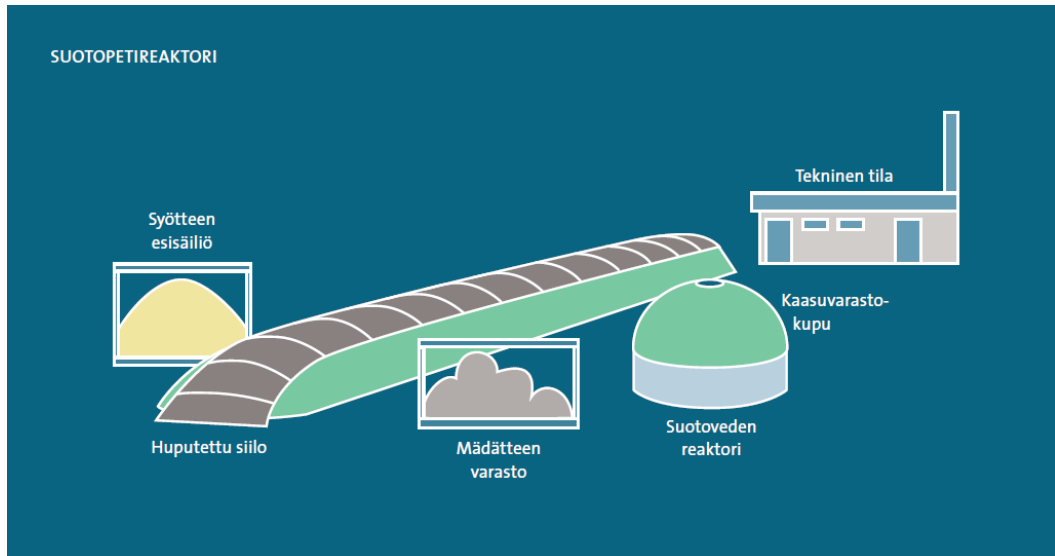
Prosessissa muodostuva mädäte on yleensä kuivalantamaista ja kasassa pysyvää. Se voidaan varastoida esimerkiksi kuivalantalassa ja levittää kuivalannan levityskalustolla.

Tulppavirtausprosessissa syötettä lisätään reaktoriin ja mädätettä poistetaan reaktorista säännöllisesti (kuva 2.2). Reaktori on vaakatasoinen sylinteri, jonka toisesta päästä materiaalia syötetään ja toisesta poistetaan. Sylinterin sisällä käytetään erilaisia teknisiä ratkaisuja prosessoitavan massan sekoittamiseksi aiempaan, mikrobiympöinä toimivaan massaan, massan siirtämiseksi sylinterissä eteenpäin ja kaasun vapauttamiseksi massan sisältä. Biokaasun tuotto on tasaista.

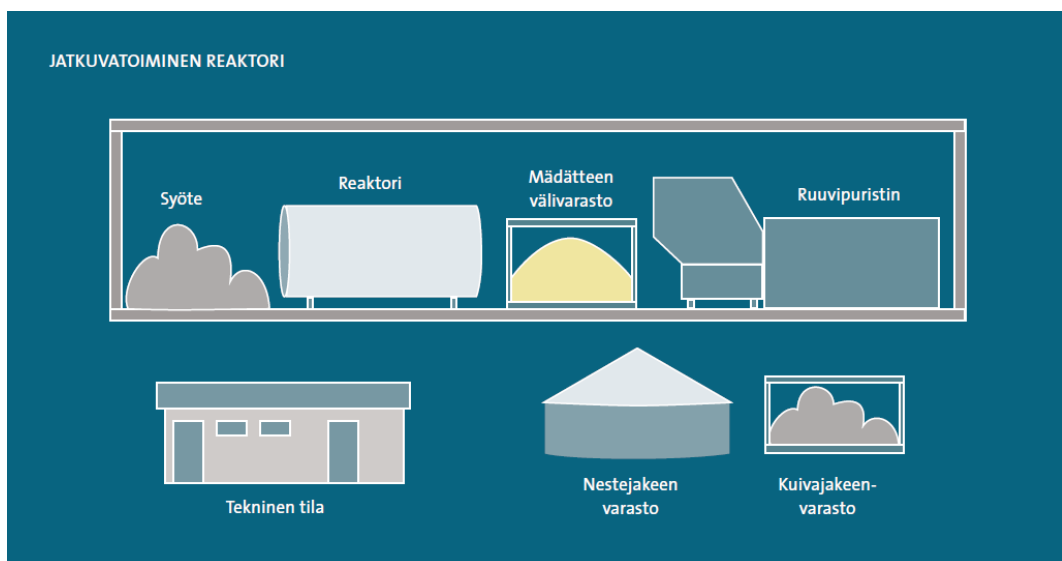
Syötteiksi sopivat monenlaiset kiinteät ja korkean kuiva-ainepitoisuuden syötteet, kuten kuivat lannat ja kasviperäiset massat. Optimaalinen kuiva-ainepitoisuus vaihtelee välillä 15–40 % ja hiilen ja typen suhde tulisi olla 14–16.

Mädäte on usein syötteen alhaisemman kuiva-ainepitoisuuden ja hajoamisen seurauksena hyvin paksua lietettä, jota ei pysty pumppaamaan eikä käsittelemään kuivalannan tavoin. Siksi se usein separoidaan ruuvipuristimella kuiva- ja nestejakeiksi, jotka tarvitsevat erilliset niille soveltuvat varastointitilansa. Suorassa lannoitekäytössä jakeet voidaan levittää liete- (nestejake) ja kuivalannan (kuivajake) levityskalustolla. Tulppavirtaukseen perustuvia biokaasulaitoksia on toteutettu lähinnä biojätteiden käsittelyyn teollisuusmittakaavassa.

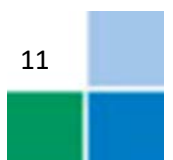




Kuva 2.1. Suotopetiprosessin periaatekuva. Pitkänomainen ”huputettu siilo” on reaktori-siilo, johon syöte on suljettu kaasutiiviisti. Biokaasua muodostuu myös suotoveden reaktorisillassa. Laitoskokonaisuuteen kuuluvat syöte- ja mädätevarastot sekä tekniset tilat laitoksen operointi- ja kaasunkäsittelylaitteineen.



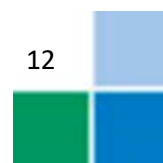
Kuva 2.2. Tulppavirtausprosessin periaatekuva. Syöte lisätään vaakatasoisen reaktorin toisesta päästä ja poistetaan toisesta. Massaa siirretään sylinterin sisällä erilaisin sekoitus-tekniikoin. Laitoskokonaisuuteen kuuluvat syöte- ja loppujaevarastot sekä tekniset tilat laitoksen operointi- ja kaasunkäsittelylaitteineen.



Molempia kuivämädätysprosesseja voidaan käyttää siipikarjanlannan prosessointiin. Soveltuvimman tekniikan valinta on tilakohtaista ja riippuu tilan muista toiminnoista ja saatavilla olevista lisäsyötteistä (taulukko 2.1). Lähtökohtaisesti panostaminen suotopetiprosessi voi olla sopivampi silloin, kun lanta muodostuu tuotantoerittäin, kuten broileri- ja kalkkunatiloilla. Tällöin siilon täyttö on mahdollista ajoittaa tuotantoerän loppuun eikä erillistä esivarastoa tarvita. Vastaavasti jatkuvatoiminen tulppavirtausprosessi voi soveltua paremmin munatilalle, missä lantaa muodostuu jatkuvasti. Yleisesti ottaen tulppavirtauksen selkein etu on jatkuva ja tasainen energiantuotto. Toisaalta suotopetiprosessin kuivailantamainen mädäte ei vaadi lisäkäsittelyjä ja/tai -investointeja, vaan voidaan varastoida ja levittää tilalla yleensä olemassa olevin, raakalannallekin soveltuvin menetelmin.

Taulukko 2.1. Kuivämädätysprosessien vertailua siipikarjanlannan prosessoinnin näkökulmasta.

	Suotopeti	Tulppavirtaus
Prosessityyppi	Panostaminen	Jatkuvatoiminen
Työmäärä	Vaihtelee siilojen täytön ja tyhjennyksen aikataulussa	Säännöllinen
Lisäsyötteet	Mahdollista operoida ilman lisäsyötteitä	Suurempi lisäsyötteiden tarve syötteen ominaisuuksien optimoimiseksi
Laimennusvesi	Ei varsinaista laimennusveden tarvetta, mutta mahdollisesti perkolaationesteen lisäämisen tarve (runsaasti kuiviketta sisältävät lannat)	Mitä kuivempi lanta, sitä suurempi laimennusveden tarve
Esivarastointitarve	Mahdollista ajoittaa siilon täyttö tuotantoerien loppuun broilereilla ja kalkkunoilla (ei esivarastotarvetta), esivarasto munintakanojen lannalle	Esivarastot syötteille säännöllisen syötön mahdollistamiseksi
Energian tuotto	Panoksittainen energiantuotto tai useampia siiloja energiantuoton tasaamiseen	Jatkuva energiantuotto
Mädäte	Kuivia lantoja muistuttava mädäte varastoitavissa ja levitettävissä kuiville lannoille soveltuvin menetelmin, reaktorisilo(t) osa varastointikapasiteettia	Mädäte yleensä separoitava; erilliset varastot ja levityskalusto neste- ja kuivajakeelle



2.3. Termiset käsittelyt

2.3.1. Tilakohtainen poltto

Lannan poltto tilojen olemassa olevissa kiinteän polttoaineen kattiloissa kiinnostaa tuottajia samoin perustein kuin biokaasutus: lannan energiasisällön hyödyntäminen ja tuotannon energiaomavaraisuuden nostaminen. Poltto kiinnostaa myös lannan käsittelyä ja käyttöä helpottavana menetelmänä. Lannanlevitystä rajoittavan fosforin tiivistyminen poltosta jäljelle jäävään tuhkaan mahdollistaisi fosforin kuljettamisen kaukaisemmille pelloille pienemmin kuljetus- ja levityskustannuksin. Tuhkalle olisi myös mahdollisesti helpompi löytää vastaanottajia kuin raakalannalle. Siipikarjan lannoista parhaiten poltettavaksi soveltuu broilerinlanta korkean kuiva-aine- ja energiapitoisuutensa takia. Poltettaessa lannan orgaaninen aines ja typpi kuitenkin menetetään.

Lannan polttoa rajoittaa voimassa oleva lainsäädäntö. Lanta katsotaan EU:n jätelainsäädännössä jätteeksi ja sitä kautta lannan poltto kuuluu jätteenpolttolainsäädännön piiriin. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa eläimistä saatavista sivutuotteista, ns. sivutuoteasetuksessa (Komission asetus (EU) N:o 142/2011) on kuitenkin mahdollistettu lannan polttaminen ilman jätteenpolttolainsäädännön vaatimuksia.

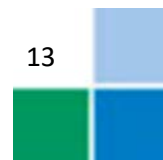
Siipikarjan lannan poltto maataloilla sijaitsevilla polttoaineteholtaan korkeintaan 5 MW:n laitoksissa on ollut mahdollista ilman jätteenpolton vaatimusten noudattamista vuodesta 2014 lähtien, jolloin sivutuotelainsäädäntöön lisättiin lannan polttoainekäyttöä koskevat säännökset. Vaatimukset mm. poltto-olosuhteista ja päästöraja-arvot hiukkasille, typen oksideille ja rikkidioksidille ovat kuitenkin jätteenpolton vastaavien vaatimusten tasolla. Jätteenpoltoissa vaadittavaa jatkuvaa päästöjen mittaamista ei kuitenkaan edellytetä. Päästöt on mitattava ja dokumentoitava kerran vuodessa.

Komission vuonna 2017 antaman asetuksen myötä muidenkaan tuotantoeläinten lannan polttoa polttoaineteholtaan korkeintaan 50 MW kattilassa ei enää katsota jätteen poltoksi. Asetuksella mahdollistettiin lisäksi tiettyjä poikkeuksia polttoon liittyvistä vaatimuksista. Poikkeukset eivät kuitenkaan koske aikaisemmin määriteltyä tilatason siipikarjanlannan polttoa.

Lannan poltosta aiheutuu lähtökohtaisesti hakkeeseen verrattuna korkeampia haitallisia päästöjä ilmaan. Lanta sisältää runsaasti typpeä ja rikkiä, minkä vuoksi typen ja rikin oksidien päästöt voivat olla korkeita (mm. Edström ym. 2011). Lannan suuri tuhkapitoisuus kasvattaa polton hiukkaspäästöjä. Suuret hiukkaspäästöt lisäävät myös lämmönvaihdinpintojen likaantumista. Lannan korkea klooripitoisuus nostaa korroosioriskiä kattilassa ja lämmönsiirtopinnoilla. Lisäksi lannan tuhkan sulaminen verraten alhaisessa lämpötilassa aiheuttaa teknisiä haasteita.

Polttoaineen korkea kosteuspitoisuus voi johtaa epätäydelliseen palamiseen. Jos lantaa halutaan polttaa ilman esikäsittelyä ja kosteusvaihtelut sallien, se tarvitsee todennäköisesti tukipolttoaineen. Tukipolttoaineella varmistetaan riittävän korkea palamislämpötila ja tasataan kosteusvaihtelu (Makkonen & Vuorio 2009).

Tässä hankkeessa testattiin broilerinlannan polton toimivuutta ja mitattiin savukaasupäästöjä testilaboratoriossa ja käytännön olosuhteissa kahdella broileritilalla.



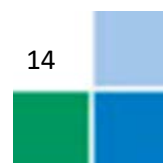
2.3.2. Terminen kaasutus

Termisessä kaasutuksessa orgaaninen aine hajoaa korkeassa lämpötilassa ja alhaisessa happipitoisuudessa muodostaen synteetikaasuja. Termistä kaasutusta on kehitetty viime vuosina lähinnä puun kaasutukseen. Tekniikan soveltuvuudesta siipikarjanlannan käsitteilyyn on vähän tietoa ja kokemuksia.

Tuotettu kaasu hyödynnetään yleensä CHP-laitoksissa eli sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Polttoaineelle on tiukat laatuvaatimukset, jotta muodostuva kaasu soveltuu sähköntuotantoon. Lannan kohdalla syntyvää kaasua voitaisiin hyödyntää suoraan kotieläintilan lämpökattilassa.

Lannan termistä kaasutusta koskevat lähtökohtaisesti samat lainsäädännön vaatimukset kuin lannan polttoa (YM, MMM & Evira 2018). Vaatimukset eivät koske itse kaasutusta-pahtumaa vaan muodostuvan synteetikaasun polttoa. Jos lämpökäsittelyn pääasiallisena tarkoituksena on valmistaa lannasta biohiiltä tai muuta vastaavaa tuotetta, lannan polttoa koskevien vaatimusten sijaan on mahdollista soveltaa tavanomaisen kaasumaisen polttoaineen polton vaatimuksia. Toimivaltainen ympäristöviranomainen tekee harkinnan prosessin erityispiirteet ja lämpökäsittelyssä muodostuvan kaasun ominaisuudet huomioiden.

Hankkeessa tehtiin alustavaa testausta termisen kaasutuksen laitteistolla, jolla laitetoimitaja arvioi olevan potentiaalia myös lannan prosessointiin.



3. Prosessikokeet ja tulokset

3.1. Metaanintuottopotentiaalien määrittäminen

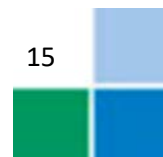
Luonnonvarakeskus määrittä eri siipikarjanlantojen metaanintuottopotentiaalit, koska Suomessa ei ole siitä juurikaan raportoitua ja mitattua kotimaista dataa. Lisäksi metaanipotentiaalitieto auttoi pilot-kokeiden suunnittelussa. Määritykset tehtiin broilerinlannasta (2 näytettä), kalkkunanlannasta (3 näytettä) ja munintakananlannasta (4 näytettä). Lannat kerättiin eri tiloilta ja niiden ominaisuudet on esitetty taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. Metaanintuottopotentiaalimittauksessa käytettyjen siipikarjanlantojen sekä ympin kuiva-aineen (TS) ja orgaanisen aineen (VS) pitoisuudet sekä niiden suhde.

Nimi	TS (%)	VS (%)	VS/TS
Broileri 1	61,6	52,8	85,7 %
Broileri 2	67,7	59,3	87,7 %
Kalkkuna 1	42,9	36,6	85,4 %
Kalkkuna 2	48,4	40,9	84,6 %
Kalkkuna 3	62,7	50,4	80,3 %
Kana 1	73,7	58,4	79,2 %
Kana 2	27,1	18,8	69,5 %
Kana 3	26,8	19,4	72,2 %
Kana 4	85,7	60,5	70,6 %
Ympäri Luke Maaninka, siivilöity	4,2	3,0	71,5 %

Metaanintuottopotentiaali määritettiin mesofiilisessä lämpötilassa (37 °C) automatisoidulla AMPTS II laitteistolla (Bioprocess Control AB, Ruotsi). Koe suoritettiin kolmena rinnakkaisena käsittelynä ja toteutettiin 0,5 litran pulloissa, joihin kaikkiin lisättiin sama määrä mikrobiympäristöä (320 g). Näytteiden ja ympin VS-suhde kaikissa käsittelyissä oli 0,5. Ympäri oli peräisin naudan lietelantaa käsittelevästä Luken Maaninkan maatilamittakaavan biokaasulaitoksesta. Pullojen nestetilavuus tasattiin ionivaihdetulla vedellä, ja pH:n puskuroimiseksi pulloihin lisättiin natriumbikarbonaattia (NaHCO₃) annostuksella 3 g/l. Ennen metaanintuottokokeen aloittamista pullojen kaasutilat huuhdeltiin hiilidioksidilla, jotta olosuhteet saatiin hapettomiksi. Pulloissa muodostuva biokaasu johdettiin natriumhydroksidia sisältävään hiilidioksidin sitouttamisyksikköön. Tämän jälkeen metaani johdettiin edelleen nesteensyrjäytykseen perustuvaan kaasun tilavuusmittaukseen.

Mittaustulosten mukaan (taulukko 3.2) selkeästi korkein metaanintuottopotentiaali orgaanista ainetta (VS) kohti on munintakananlannalla, keskimäärin 262 m³ CH₄/t-VS. Broilerinlannan ja kalkkunanlannan keskimääräiset metaanipotentiaalit olivat vastaavasti 162 m³ CH₄/t-VS ja 153 m³ CH₄/t-VS. Broilerin- ja kalkkunanlannan metaanintuottopotentiaaliin vaikuttavat kuivikkeet, sillä käytetyt turve ja kutterinlastu tuottavat kehnosti metaania. Sen sijaan munintakananlannassa ei kuivikkeita ole ja siksi metaanintuotto on kor-

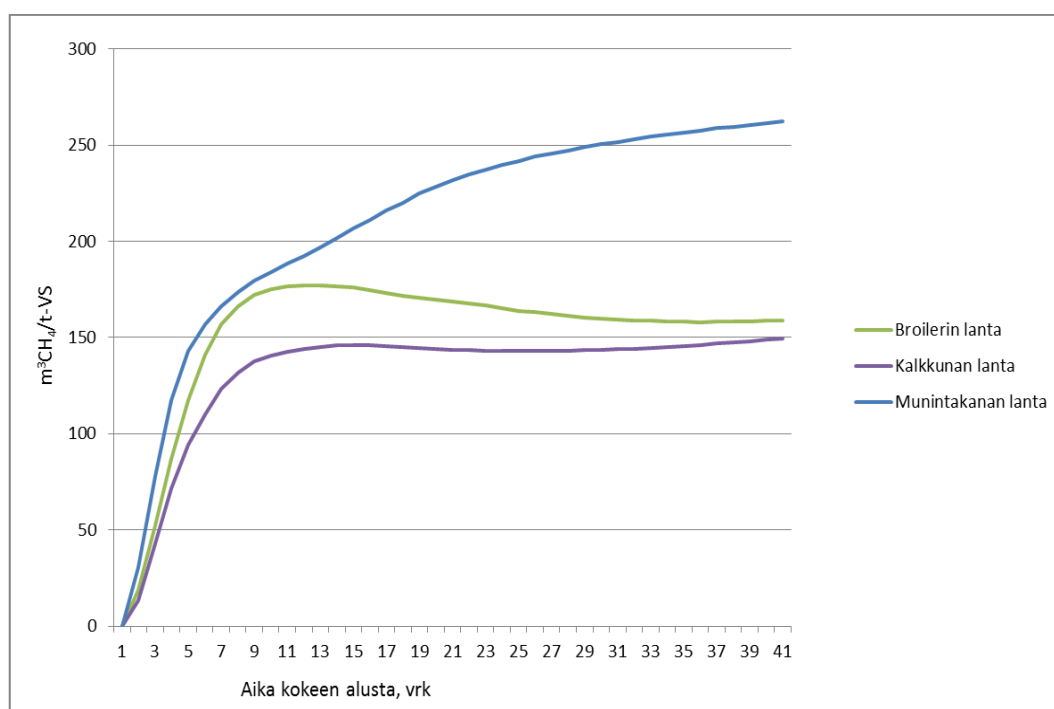


keampi. Koska munintakananlannassa ei ole kuivikkeita, siinä on runsaasti typpeä suhteessa hiileen ja sikäli suurempi riski biokaasuprosessin inhibitioon (metaanintuoton hii-puminen tai loppuminen). Orgaanista ainetta (VS) kohti lasketut metaanintuottopoten-tiaalit ovat lannoille tavanomaisia, mutta tuorepainoa (TP) kohti laskettuna korkeita, mikä johtuu kuivien siipikarjanlantojen keskimäärin korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta.

Lantojen metaanintuotto nousi kokeen alussa melko tasaisesti. Kalkkunanlannalla metaa-nintuotto alkoi tasaantua 5 vrk:n jälkeen ja broilerinlannalla 9 vrk:n jälkeen. Munintaka-nanlannalla metaanintuotto kasvoi koko kokeen ajan, joskin 7 vrk:n jälkeen metaanintuot-to ei enää lisääntynyt yhtä voimakkaasti kuin kokeen alussa (kuva 3.1).

Taulukko 3.2. Eri siipikarjanlantojen keskimääräiset metaanintuottopotentiaalit.

	Broilerinlanta		Kalkkunanlanta		Munintakananlanta	
	m ³ CH ₄ /t-	m ³ CH ₄ /t-	m ³ CH ₄ /t-	m ³ CH ₄ /t-	m ³ CH ₄ /t-	m ³ CH ₄ /t-
keskiarvo	162	88	153	71	262	95
vaihteluväli	141-183	82-95	102-189	54-94	228-267	47-156



Kuva 3.1. Kumulatiivinen metaanintuotto eri siipikarjanlannoilla kokeen aikana.

3.2. Biokaasuprosessin pilot-kokeet

Siipikarjanlannan kuivamädätyksestä teetettiin pilot-mittakaavan kokeet kahdella suomalaisella kuivamädätystä markkinoivalla yrityksellä (2017). Suotopetikokeet toteutti Metener Oy ja tulppavirtausprosessin BioGTS Oy. Prosessikokeiden avulla selvitettiin broilerin-, kalkkunan- ja munintakanojen lantojen soveltumista kuivamädätykseen, tekniikoiden käytännön toimivuutta, prosessien metaanintuottoa ja mädätteiden ominaisuuksia. Kokeiden perusteella valittiin tarkempiin kannattavuus- ja ympäristövaikutustarkasteluihin päätyvät prosessiratkaisut.

3.2.1. Suotopetiprosessikokeet

Kokeet toteutettiin pilot-mittakaavan (200–300 kg) laitteistolla. Prosessien mitoitus ja lisäsyötteiden tarve määräytyivät hankkeen pilottitilojen lantojen ja toiminnan mukaan.

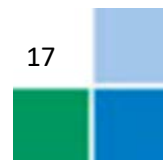
Broilerin kuivikepohjalantaa prosessoitiin sellaisenaan huolimatta sen korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta. Lanta oli sopivan huokoista ja perkolaationeste suotautui tasaisesti sen läpi. Prosessi toimi tasaisesti ja metaanintuotoksi tuli 130 m³/tVS tai 80 m³/t tuorepainossa (metaania keskimäärin 53 % biokaasusta). Voimakkain metaanintuotto kesti noin 35 vrk. Broilerinlannan havaittiin imevän varsin runsaasti perkolaationestettä sen runsaan turvekuivikkeen takia. Mädätteen kuiva-ainepitoisuus oli 20 %, ja se oli edelleen varastoitavissa ja levitettävissä kuivalannan tavoin.

Kalkkunan kuivikepohjalantaan sekoitettiin lisäsyötteenä esimerkkitilalla saatavilla oleva pieni määrä silputtua olkea (8 % syötteen tuorepainosta) hiilen ja typen suhteen säätämiseksi. Lisäsyötteen tarve voi vaihdella riippuen tilalla käytettävästä kuivikkeesta (kokeen lannassa kutterilastun ja turpeen seos). Seos oli sopivan huokoista ja perkolaationeste suotautui siitä hyvin läpi. Prosessi toimi tasaisesti ja metaanintuotoksi tuli 210 m³/tVS tai 103 m³/t tuorepainossa (59 % metaania biokaasussa). Metaanintuotto kesti noin 50 vrk. Myös kalkkunanlanta imi perkolaationestettä. Mädätteen kuiva-ainepitoisuus oli 21 % ja se oli edelleen varastoitavissa ja levitettävissä kuivalannan tavoin.

Munintakanojen lannan typpipitoisuus oli korkea (15,7 g/kg tuorepainoa), joten sen katsottiin vaativan tiloista eniten lisäsyötettä hiilipitoisuuden nostamiseksi. Pilottitilalla viljeltiin apilanurmea, joka valittiin lisäsyötteenä (14 % syötteen tuorepainosta). Koe ei kuitenkaan onnistunut yhtä hyvin kuin broilerin- ja kalkkunanlannalla. Metaanin tuotanto käynnistyi hitaasti ja tuotto jäi alhaiseksi. Syynä tähän oli luultavasti syötesekoksen matala hiilen ja typen suhde (liikaa typpeä) sekä tiivis koostumus, joka esti perkolaationesteen taseisen suotautumisen massan läpi. Munatilan vaihtoehtojen tarkastelemiseksi koostettiin taselaskennalla toimivammaksi odotettu teoreettinen syöteseos, joka sisälsi olkea ja nurmea, molempia 17 % syötteen tuorepainosta; ks. osio 5.3).

3.2.2. Tulppavirtausprosessikokeet

Koeajot toteutettiin pilot-mittakaavan (120 kg) laitteistolla. Prosessien mitoitus ja lisäsyötteiden tarve määräytyivät hankkeen pilottitilojen lantojen ja toiminnan mukaan. Kutakin prosessia ajettiin yht. 55 vrk, jona aikana reaktorin sisältö oli ehtinyt laskennallisesti vaihtua kahteen kertaan, ja jolloin prosessin oletettiin ehtineen sopeutua syötemaasaan ja metaanintuoton tasaantuneen saavutettavissa olevalle tasolle.



Broilerinlannan jatkuvatoiminen mädätys tehtiin syöteseoksella broilerinlanta 50 %, nurmi 20 % ja vesi 30 %. Vettä lisättiin syötteeseen, jotta syötteen kuiva-ainepitoisuus saatiin tulppavirtausreaktorille sopivaksi. Biokaasun metaanipitoisuus oli 54 % ja prosessin metaanintuotoksi vakiintui 175 m³/tVS tai 65 m³/t tuorepainoa. Mädätteen kuiva-ainepitoisuus oli 15 % ja koostumus hyvin paksua lietettä.

Kalkkunanlannan jatkuvatoimisessa mädätyksessä lantasyötteeseen sekoitettiin hiilen ja typen suhteen säätämiseksi nurmea (55 % syötteen tuorepainosta). Vettä ei lisätty. Biokaasun metaanipitoisuus oli 54 % ja prosessin metaanintuotoksi vakiintui 266 m³/tVS tai 77 m³/t tuorepainoa. Mädätteen kuiva-ainepitoisuus oli 15 % ja koostumus hyvin paksua lietettä.

Munintakananlannan kokeessa lisäsyötteenä oli apilanurmi (55 % syötteen tuorepainosta), jota arvioitiin olevan saatavilla pilottitilan lähialueelta tai tilan omana lisäviljelynä. Nurmen määrä lantaan nähden oli korkea korostaen hiilen ja typen suhteen säätämisen tarvetta mädätyksessä. Biokaasun metaanipitoisuus oli 51 % ja prosessin metaanintuotoksi vakiintui 224 m³/tVS tai 58 m³/t tuorepainoa. Mädätteen kuiva-ainepitoisuus oli 12 % ja koostumus hyvin paksua lietettä.

Käytännössä kaikkien testattujen jatkuvatoimisen tulppavirtausprosessien mädätteet tulisi separoida heti reaktorista poistamisen jälkeen käsiteltävyyden parantamiseksi ja hyödyntämisen mahdollistamiseksi.

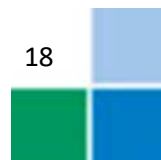
3.3. Termisten käsittelyiden kokeet

3.3.1. Testauslaboratoriossa toteutetut polttokokeet

Broilerinlannan polttoa testattiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun Biotalousinstituutin kattilantestauslaboratoriossa. Kokeissa käytetyn broilerin kuivikemateriaalina oli turve.

Tuloksia verrattiin EU:n sivutuoteasetuksella ((EU) N:o 142/2011) asetettuihin savukaasupäästöjen raja-arvoihin ja valvontavaatimuksiin siipikarjalannan poltolle maataloilla sijaitsevilla korkeintaan 5 MW:n laitoksissa.

Asetuksen mukaiset arvot (taulukko 3.3) käsittävät poltosta syntyvät hiukkaspäästöt, rikin oksidien päästöt (SO₂, SO₃) muunnettuna rikkidioksidiksi (SO₂) ja typen oksidien päästöt (NO, NO₂, N₂O) muunnettuna typpidioksidiksi (NO₂). Kaikki edellä mainitut savukaasupäästöjen pitoisuuksien raja-arvot on annettu milligrammoina kuutiometrissä, retusoituna happipitoisuuteen O₂ red = 11 %, kaasun normaaliolosuhteissa (T_{nom} = 273.15 K, p_{nom} = 101.3 kPa).



Taulukko 3.3. Komission asetuksen (EU) N:o 142/2011 raja-arvot ja valvontavaatimukset eläinperäisen jätteen poltolle/polttamalla hävittämiseksi.

Teho	≤ 5 000 kW
Viipymäaika (850 °C)	2,0 s
Viipymäaika (1100 °C)	0,2 s
Orgaanisen hiilen määrä pohjatuhkassa	< 3 %
SO ₂	50 mg/Nm ³
NO _x	200 mg/Nm ³
Hiukkaset	10 mg/Nm ³

Kokeet 40 kW testauskattilalla

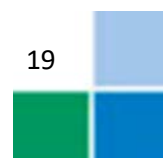
Laboratoriokokeiden ensimmäinen vaihe tehtiin pienen mittakaavan (40 kW) stokeripolttimella varustetulla arinakattilalla kolmella eri polttoaineseoksella. Kokeilla haettiin taustatietoa kattilan toiminnasta, palamislämpötiloista ja savukaasupäästöistä. Tarkoituksena oli testata lannan poltettavuutta ennen maatilamittakaavaan soveltuvaa isomman kokoluokan (500 kW) polttokoetta.

Broilerinlannan seospolttoaineena ja referenssikokeen polttoaineena käytettiin koivuhaketta. Ensimmäinen koeajo tehtiin 100 % hakkeen syötöllä, jolla saatiin aikaan referenssipiste seospolttoa varten. Lannan ja hakkeen seospolttoa testattiin kahdella (25 % ja 50 %) broilerinlannan energiaosuudella.

Broilerinlannan haketta korkeampi kosteuspitoisuus näkyi seostettujen polttoaineiden matalana lämpöarvona ja korkeana kokonaiskosteutena (taulukko 3.5). Polttoaineen korkea kosteuspitoisuus on tyypillisesti ongelmallista pienellä kattilakokoluokalla. Testissä käytettyjen polttoaineiden analyysitulokset ovat taulukossa 3.4. Käytetyt analyysimenetelmät on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 3.4. Testauskattilakokeissa (40 kW) käytettyjen koivuhakkeen ja broilerinlannan analyysitulokset.

	Yksikkö	Koivuhake	Broilerinlanta
Kosteus	m-%	28,2	35,5
Kalorimetrinen lämpöarvo	MJ/kg ka	20,1	17,5
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg ka	18,7	16,3
Tehollinen lämpöarvo	MJ/t ka	5,2	4,5
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	MJ/kg	12,7	9,7
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	MWh/t	3,5	2,7
Irtotiheys saapumistilassa	kg/m ³	252	458
Irtotiheys kuiva-aineessa	kg/m ³	181	296
Tuhkapitoisuus	m-% ka	0,4	13,9
Hiilipitoisuus (C)	m-% ka	50,0	43,1
Vetypitoisuus (H)	m-% ka	6,4	5,5
Typipitoisuus (N)	m-% ka	0,2	4,5



Taulukko 3.5. Testauskattilakokeissa (40 kW) käytettyjen polttoaineseosten ominaisuudet. Polttoaineiden osuudet on laskettu seoksen energiasisällöstä.

Koe	Seos	Seoksen kosteus %	Tehollinen lämpöarvo, kJ/kg ka Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, kJ/kg
1	Koivuhake 100 %	28,2	18675 12725
2	Koivuhake 75 % + broilerinlanta 25 %	30,0	18126 11984
3	Koivuhake 50 % + broilerilanta 50 %	31,9	17578 11243

Taulukko 3.6. Testauskattilakokeiden (40 kW) prosessiarvot.

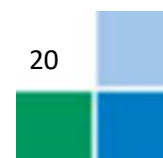
Koe	Seos	Pvm	Aika	Teho kW	Hyötysuhde %
1	Koivuhake 100 %	18.1.2017	klo 14:02 - 16:02	42,3	92,9
2	Koivuhake 75 % + broilerilanta 25 %	19.1.2017	klo 11:50 - 15:29	38,6	93,1
3	Koivuhake 50 % + broilerilanta 50 %	26.1.2017	klo 10:40 - 12:52	13,1	83,5

Suuri siipikarjan kuivikelannan osuus laski merkittävästi lämpötilaa kattilassa, jolloin vaatimusten mukaisiin viipymäaikoihin korkeissa lämpötiloissa ei päästy. Lämpötilan laskun yhteydessä savukaasujen häkä- ja happipitoisuus nousivat (taulukko 3.7) merkittävästi johtuen epätäydellisestä palamisesta. Myös rikin ja typen oksidien sekä kokonaishiukkasten konsentraatio savukaasuissa ylittivät merkittävästi lainsäädännön raja-arvot. Esikokeiden perusteella voidaan todeta, ettei broilerin kuivikelanta sovellu pienen kokoluokan arinapolttoon suurilla seososuuksilla ilman merkittäviä prosessimuutoksia.

Taulukko 3.7. Broilerinlannan ja hakkeen seospolttokokeiden (40 kW) päästömittausten tulokset (O_2 red = 11 %).

Koe	$O_2^{(1)}$	CO_2	CO	NO	NO_2	SO_2	Kokonaishiukkaset	OGC
	%	%	ppm	mg/Nm ³				mg C/m ³
1	8,7	9,3	345	134	205	7	27	5
2	8,2	11,4	1176	234	359	5	82	0
3	16,5	7,7	6966	214	328	270	439	1603

⁽¹⁾ O_2 on mitattu pitoisuus. Muut arvot on redusoitu (O_2 red = 11 %).



Kokeet 500 kW testauskattilalla

Laboratoriokokeiden toisessa vaiheessa lannan polttoa testattiin 500 kW testauskattilalla. Kattila oli tyypiltään Ariterm 500 kW BioTwin, jossa polttimena käytettiin Ariterm Multijet 500 kW porrasarinapoltinta. Kattilan tulipesän seinät oli päällystetty tulenkestävistä tiilistä tehdyllä muurauksella lämmön säteilyn tehostamiseksi ja tulipesän lämpötilan nostamiseksi.

Savukanavasta mitattiin savukaasun kiintoainepitoisuus kahdella menetelmällä, gravimetrisesti isokineettisellä näytteenotolla suodattimelle (ITES) ja reaaliaikaisesti elektrody-naamisesti herkällä sondilla (PCME 990 Stack).

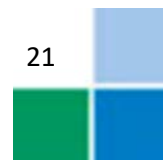
Testeissä käytetyssä polttimessa primääripalamisilma syötetään arinan alle ja sekundääripalamisilma polttoainepatjan päälle. Sekundääri-ilma polttaa primääri-ilman kaasuttamaa polttoainetta. Tertiääri-ilmalla poltetaan palamatta jääneet kaasuuntuneet polttoaineet.

Palamisen lämpötilat mitattiin NiCrNi-termoelementeillä. Palotilan lämpötilat (TT54, TT56) mitattiin palopäästä arinan yläpuolelta liekin oletetusta kuumimmasta kohdasta, jossa palamisilma on jo sekoittunut palavaan kaasuun. Tulipesän lämpötilat (TT61, TT63) mitattiin tulipesän kääntökohdasta, jossa on myös palamisilman tertiäärisyöttö.

Testattavia seoksia oli kaikkiaan kolme, joissa broilerilannan energiaosuus oli 0 %, 25 % ja 50 %. Koe 2, (koivuhake 75 % + broilerin kuivikelanta 25 %) tehtiin tulosten varmistamiseksi kahteen kertaan, koska ensimmäisessä testiajossa mittauslaitteissa esiintyi toimintahäiriöitä. Hakkeena 100 % kokeessa oli mäntyhake ja 75 % ja 50 % kokeissa koivuhake. 500 kW testauskattilakokeiden polttoaineiden analyysitulokset on esitetty taulukossa 3.8. ja käytettyjen polttoaineseosten ominaisuudet taulukossa 3.9.

Taulukko 3.8. 500 kW kattilalla tehdyissä kokeissa käytettyjen polttoaineiden analyysitulokset (mäntyhake ja broilerinlanta).

	Yksikkö	Mäntyhake	Broilerinlanta
Kosteus	m-%	33,4	47,5
Kalorimetrinen lämpöarvo	MJ/kg ka	20,47	17,69
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg ka	19,16	16,52
Tehollinen lämpöarvo	MJ/t ka	5,32	4,59
Tehollinen lämpöarvo saap.tilassa	MJ/kg	11,95	7,52
Tehollinen lämpöarvo saap.tilassa	MWh/t	3,32	2,09
Irtotiheys saapumistilassa	kg/m ³	265,7	
Irtotiheys kuiva-aineessa	kg/m ³	177	
Tuhkapitoisuus	m-% ka	0,4	13
Hiilipitoisuus (C)	m-% ka	44,9	
Vetypitoisuus (H)	m-% ka	5,4	
Typpipitoisuus (N)	m-% ka	3,42	
Rikkipitoisuus (S)	m-% ka	0,51	



Taulukko 3.9. Testauskattilakokeissa (500 kW) käytettyjen polttoaineseoksien ominaisuudet. Polttoaineiden osuudet on laskettu seoksen energiasisällöstä.

Koe	Seos	Seoksen kosteus %	Tehollinen lämpöarvo, kJ/kg ka Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, kJ/kg
1	Mäntyhake 100 %	33,4	19160 11950
2.1	Koivuhake 75 % + broilerinlanta 25 %	22,4	18136 13526
2.2	Koivuhake 75 % + broilerinlanta 25 %	22,4	18136 13526
3	Koivuhake 50 % + broilerinlanta 50 %	32,2	17598 11145

Taulukko 3.10. Testauskattilakokeiden (500 kW) prosessiarvot.

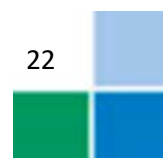
Koe	Seos	Pvm	Aika	Teho kW	Hyöty- suhde %
1	Mäntyhake 100 %	16.5.2017	klo 14:00 – 15:15	533	93,8
2.1	Koivuhake 75 % + broilerinlanta 25 %	18.10.2017	klo 12:57 - 13:57	477	90,5
2.2	Koivuhake 75 % + broilerinlanta 25 %	7.11.2017	klo 12:57 - 13:57	423	94,3
3	Koivuhake 50 % + broilerinlanta 50 %	9.3.2017	klo 14:40 – 16:00	494	93,4

Savukaasun lämpötilat nousivat yli vaadittavan 850 °C:een hetkellisesti kaikissa koeajoissa, mutta kyseisessä lämpötilassa edellytetty viipymäaika (2,0 s) ei toteutunut (taulukko 3.11). Liekin lämpötila laski perusarinakattilassa hyvin nopeasti, ja viipymäajan nostaminen vaatisi erityyppisen kattilan. Lämpötilat nousivat melko korkeiksi osaksi turvekuivikkeen ansiosta.

Taulukko 3.11. Testauskattilakokeiden (500 kW) tulipesän, palopään ja savukaasun lämpötilojen keskiarvot.

Koe	Tulipesä TT54 (°C)	Tulipesä TT56 (°C)	Palopää TT61 (°C)	Palopää TT63 (°C)	Savukaasu (°C)	Viipymäaika (m)/aika (s)
1	716	593	822	932	108	0,16/0,31
2.1	787	636	898	814	113	0,22/0,44
3	921	933	832	683	105	0,13/0,26

Savukaasupäästöt ylittivät vaaditut typen oksidien ja hiukkaspäästöjen raja-arvot kaikissa mitatuissa koeajoissa (taulukko 3.12). Rikkipitoisuutta mittaava anturi oli osassa kokeita epäkunnossa. Lannan 25 % seososuudella rikkipitoisuus jäi alle vaaditun raja-arvon. Rikkipäästöjen mittaaminen luotettavasti on kuitenkin vaikeaa lyhytkestoisissa testeissä, joten



mittaustulosta on pidettävä suuntaa-antavana. Jos kattilassa on aiemmin poltettu haketta, rikkiä sitoutuu puun tuhkaan.

Taulukko 3.12. Broilerinlannan ja hakkeen seospolttokokeiden (500 kW) päästömittausten tulokset (O₂red = 11 %).

Koe	O ₂ ⁽¹⁾	CO ₂	CO	NO	NO ₂	SO ₂	Kokonaishiukkaset PMCE _{elektr.} ITES _{grav.}	
	%	%	ppm	mg/Nm ³				
1	6,3	9,5	141	74	113	0	51	61
2.1	10,3	9,3	30	222	340	0 ⁽³⁾	96	28
2.2	11,0	9,0	18	278	425	21	301	ei mittausta
3	6,7	9,0	128	172	264	0 ⁽³⁾	346 ⁽²⁾	865

⁽¹⁾O₂ on mitattu pitoisuus. Muut arvot on redusoitu (O₂red = 11 %).

⁽²⁾ PMCE hiukkaspitoisuus on ollut suurimman osan mittausajasta yli mittausalueen, maksimissaan 499 mg/m³.

⁽³⁾ Mittalaite ei ole ollut toimintakunnossa (SO₂)

3.3.2. Maatiloilla toteutetut polttokokeet

Broilerinlannan polttoa testattiin kahdella broileritilalla: tila 1 ja tila 2. Kumpikaan tiloista ei ollut pilottibroileritila. Kokeissa tutkittiin lannan polton toimivuutta ja päästöjä käytännön olosuhteissa. Polttoaineseokset polton pilotointiin siipikarjatilalla valittiin 500 kW kiinteän polttoaineen testikattilalla tehtyjen polttokokeiden tulosten perusteella.

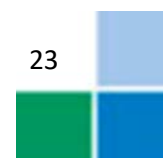
Tiloille kuljetettiin koe- ja mittalaitteet, joista rakennettiin mahdollisimman hyvin kiinteän polttoaineen kattiloiden standardia EN303-5:2012 vastaava mittausympäristö.

Vertailuarvojen saamiseksi seurattiin ja mitattiin aluksi polttoprosessia tilojen olemassa olevilla kattiloilla normaalipolttoaineella nimellisteholla. Näin saatiin taustatietoa kattilan toiminnasta, palamislämpötiloista ja savukaasupäästöistä. Tilalla 1 normaalipolttoaineena oli rehuntuotannon sivutuotteena syntyvä kaurankuori. Tilalla 2 normaalipolttoaineena oli hyvälaatuinen sekapuusta tehty rankahake.

Vertailupolton jälkeen kattiloissa poltettiin valittuja broilerinlantaa sisältäviä seoksia. Seospolttoaineissa käytetty hake oli sekapuusta tehtyä rankahaketta. Pilotoinnissa tehtiin samat mittaukset kuin laboratoriokokeissa. Molemmilla maatiloilla pyrittiin toistamaan mahdollisimman yhdenmukaiset kokeet polttoaineen, lämmitysjärjestelmän ja säätöjen vaikutusten selvittämiseksi. Tilalla 2 kokeessa 3 broilerinlannan osuus polttoaineseoksessa laskettiin 40 %:iin aiempien tilalla 1 mitattujen suurten savukaasun hiukkaspitoisuuksien vuoksi. Järjestelyllä haluttiin saada mittauspiste kuivikelannan osuuksien 25 % ja 50 % väliin, jotta nähtäisiin tarkemmin kuivikelannan vaikutus savukaasun hiukkaspitoisuuteen.

Tilakokeet toteutettiin taulukon 3.13 mukaisesti. Polttokokeiden aikana arvioitiin mahdollisuuksia tehdä kattiloihin rakenteellisia muutoksia tai muita optimointitoimenpiteitä, joilla palamistuloksia voitaisiin parantaa.

Vertailupolttoaineet syötettiin kattiloihin tilojen omilla laitteilla. Kokeissa 2 ja 3 polttoaineseokset syötettiin silon ruuvikuljettimelle pinnankorkeusantureilla varustetulla välisii-



lolla ja hihnakuljettimella. Hihnakuljetinta syötettiin erillisellä vaa'alla olleella kiinteän polttoaineensyöttösilolla.

Kokeiden aikana kerättiin polttoainevirrasta polttoainenäytteet hihnakuljettimelta analyysia varten. Näytteet analysoitiin JAMK Biotalousinstituutissa ja Labtium Oy:ssä. Käytettyistä polttoaineista tehtiin taulukon 3.14. mukaiset analyysit.

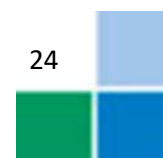
Kattiloiden säätämisestä vastasivat tilan omistajat. Tilalla 1 kokeet tehtiin kesällä lämpimän sään aikaan, jolloin kattilan lämpötehon nostaminen nimellisteholle edellytti myös viljankuivurin käynnistämisen. Kokeiden aikana savukaasupuhaltimen kierrosnopeudet vaihtelivat, mikä näkyi savukaasun virtausnopeuden vaihteluna. Savukaasun suuret virtausmäärät ja korkea hiukkaspitoisuus lyhensivät näytteenottoaikoja. Kokeet saatiin kuitenkin mitattua suunnitellusti. Kokeiden tulokset on esitetty taulukoissa 3.15–3.18.

Taulukko 3.13. Maatiloilla toteutetut polttokokeet.

Tila/kattila	Päivämäärä	Koe	Polttoaine
TILA 1/ 950 kW	25.6.2018	1	Kaurankuori 100 %
	26.6.2018	2	Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %
	27.6.2018	3	Sekahake 50 % + broilerinlanta 50 %
TILA 2 /760 kW	19.11.2018	1	Sekahake 100 %
	20.11.2018	2	Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %
	21.11.2018	3	Sekahake 60 % + broilerinlanta 40 %

Taulukko 3.14. Tilakokeissa käytettyjen polttoaineiden analyysitulokset.

Polttoaine	Kosteus m-%	Tehollinen lämpöarvo saap.tilassa kJ/kg	Tuhkapiitoisuus m-% ka	C	H	N	S
				m-% ka			
TILA 1							
Kaurankuori	10,2	15440	4,6	46,2	5,9	1,1	0,07
Sekahake	40,3	10270	0,5	50,0	6,0	0,2	0,01
Broilerinlanta	50,2	7200	11,8	43,8	5,5	4,4	0,51
Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	34,7	11040	3,6	48,5	5,9	1,2	0,14
Sekahake 50 % + broilerinlanta 50 %	45,5	8735	6,2	45,8	5,6	2,9	0,43
TILA 2							
Sekahake	34,4	11110	0,7				
Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	32,8	11120	2,8				
Sekahake 60 % + broilerinlanta 40 %	31,9	11280	6,5				



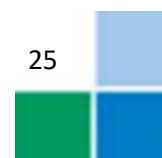
Taulukko 3.15. Tilakokeiden prosessiarvot.

Koe	Seos	Pvm	Aika	Teho, kW
TILA 1/950 kW				
1	Kaurankuori 100 %	25.6.2018	klo 15:25-17:10	684
		27.6.2018	klo 9:03-10:38	793
2	Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	26.6.2018	klo 12:00-14:13	842
3	Sekahake 50 % + broilerinlanta 50 %	27.6.2018	klo 13:17-14:36	815
TILA 2/760 kW				
1	Sekahake 100 %	20.11.2018	klo 10:15-10:54	474
2	Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	20.11.2018	klo 13:17-15:10	608
3	Sekahake 60 % + broilerinlanta 40 %	21.11.2018	klo 10:15-11:55	446

Tilalla 1 hakkeen ja broilerinlannan polttoaineseoksissa kosteuspitoisuus vaihteli, vaikka seoksia tehdessä seokset pyrittiin sekoittamaan huolellisesti. Kosteuspitoisuuden vaihtelu aiheutti kattilan tehovaihtelua ja savukaasuvirtausten muutoksia. Täyden tehon palamisen vaihteluista huolimatta polttoaine paloi arinalla loppuun, ja tuhkan orgaanisen aineen pitoisuudet jäivät alhaiseksi (taulukko 3.16). Tasalaatuisemmalla polttoaineella palaminen olisi ollut vielä täydellisempää.

Taulukko 3.16. Tilakokeiden kattilan pohjatuhkien analyysitulokset.

Koe	Seos	Tuhkapitoisuus m-% ka	Palavat orgaaniset yhdisteet m-% ka
TILA 1			
1	Kaurankuori	96,9	3,1
2	Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	97,2	2,8
3	Sekahake 50 % + broilerinlanta 50 %	97,4	2,6
TILA 2			
1	Sekahake	99,4	0,6
2	Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	99,9	0,1
3	Sekahake 60 % + broilerinlanta 40 %	100,0	0,0



Taulukko 3.17. Tilakokeiden tulipesän ja savukaasun lämpötilojen keskiarvot.

Koe	Seos	Pvm	Tulipesä TT1 (°C)	Tulipesä TT2 (°C)	Savukaasu (°C)
TILA 1					
1	Kaurankuori 100 %	25.6.2018 27.6.2018	901	835	91
2	Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	26.6.2018	705	590	97
3	Sekahake 50 % + broilerinlanta 50 %	27.6.2018	639	623	85
TILA 2					
1	Sekahake 100 %	20.11.2018	945	676	165
2	Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	20.11.2018	957	726	169
3	Sekahake 60 % + broilerinlanta 40 %	21.11.2018	890	760	159

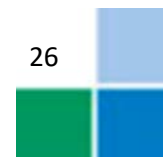
Savukaasupäästöjen osalta hiukkaspitoisuudet olivat tilakokeissa laboratoriokokeita suurempia (taulukko 3.18). Syynä olivat todennäköisesti epäoptimaaliset ilmamäärät ja palamisilman vaihteisuus. Savukaasun häkä- ja happipitoisuudet olivat korkeita eli palamisprosessi ei toiminut optimaalisesti. Samasta syystä typen oksidien pitoisuudet puolestaan jäivät laboratoriomittauksia alemmalle tasolle, koska typen oksidien pitoisuudet nousevat palamislämpötilojen noustessa.

Taulukko 3.18. Tilakokeiden päästömittausten tulokset (O₂red = 11 %).

Koe	Seos	O ₂ ⁽¹⁾	CO	NO	NO ₂	SO ₂	Kokonaishiukkaset ITES _{grav}
		%	mg/Nm ³				
TILA 1							
1	Kaurankuori 100 %	12,1	82	178	273	82	284
2	Sekahake 75 % + kuivikelanta 25 %	14,1	2117	156	239	4	567
3	Sekahake 50 % + kuivikelanta 50 %	14,7	1394	158	243	5	561
TILA 2							
1	Sekahake 100 %	15,4	3791	58	89	0 ⁽²⁾	1161
2	Sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	14,5	292	118	181	0 ⁽²⁾	647
3	Sekahake 60 % + broilerinlanta 40 %	15,5	475	108	166	0 ⁽²⁾	877

⁽¹⁾ O₂ on mitattu pitoisuus. Muut arvot on redusoitu (O₂red = 11 %).

⁽²⁾ Laite mittasi rikkipitoisuuden oikein kalibrointikaasulla, mutta savukaasumittauksessa näytti nollaa.



3.3.3. Terminen kaasutus

Termisen kaasutuksen soveltuvuutta broilerinlannan käsittelyyn testattiin kiinteän polttoaineen kaasutukseen soveltuvalla 170 kW pilottilaitteistolla. Kokeet tehtiin yhteistyössä laitetoimittajan kanssa. Laitteiston oli valmistanut Fiskarsin Voima Oy. Tarkempi testaus-ten toteuttamissuunnitelma laadittiin laitetoimittajan kanssa.

Kaasutuslaitteisto oli rakennettu konttiin, ja kokonaisuus sisälsi kaasuttimen lisäksi polttoaineen syöttöjärjestelmän, kaasun- ja ilmapuhaltimen, hiukkassuodattimen, kaasulauhduttimen, lauhdeastian, kaasun ohjausventtiilit, kaasupolttimen, soihdun ja tuhksiilon. Hiukkasista suodatettu kaasuttimella tuotettu kaasun poltettiin 500 kW testikattilassa tulipesän luokkuun asennetulla kaasupolttimella.

Kaasutin vaatii erittäin kuivan, seulotun ja tasakokoisen palakoon polttoaineen toimiakseen. Broilerinlanta briketöitiin testejä varten, jotta polttoaineseoksen hienoinen saatiin vähennettyä ja kaasuttimen toimintaa paremmaksi. **Briketöinti tehtiin JAMK:in briketöintikontissa, jossa on murskain, spiraalikuljetin ja magneettierottajalla varustettu brikettipuristin.** Kokeissa käytettiin tavanomaisen seulotun koivuhakkeen lisäksi laitetoimittajan omaa karkeaa sekahaketta (Fiskarsin hake). Testipolttoaineiden analyysitulokset on esitetty taulukossa 3.19. Testiajot tehtiin 100 % hakkeella ja hake-lanta -seoksella, jossa lannan tai lantabriketin energiaosuus oli 25 %. Testiajojen prosessiarvot on esitetty taulukossa 3.20.

Lannan briketöinnistä huolimatta seoksen kaasutus oli vaikeaa saada toimimaan muutoin kuin hyvin lyhyinä jaksoina. Briketit hajosivat kaasuttimessa ja tukkivat sen. Tulokset ovat sen vuoksi suuntaa-antavia. Typen oksidien pitoisuus lantaseosta poltettaessa nousi hyvin korkeaksi johtuen korkeista lämpötiloista kaasuttimessa (taulukko 3.21).

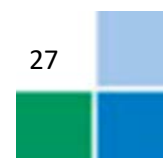
Taulukko 3.19. Termisen kaasutuksen kokeissa käytettyjen polttoaineiden analyysitulokset.

Polttoaine	Kosteus m-%	Tehollinen lämpöarvo saap.tilassa kJ/kg	Tuhka- pitoisuus m-% ka	CHNS			
				m-% ka			
Fiskarsin karkea sekahake	13,4	16110	0,5	50,4	6,2	0,15	0,01
Seulottu koivuhake	15,0	17070	0,5	50,0	6,4	0,18	0,01
Broilerinlanta/ briketti	12,7	15250	14,5	44,9	5,4	3,42	0,51

Taulukko 3.20. Termisen kaasutuksen prosessiarvot.

Koe	Polttoaine	Pvm	Aika	Teho, kW ¹
1	Fiskarsin karkea sekahake	20.12.2017	klo 13:50-14:30	154
2	Fiskarsin karkea sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	11.1.2018	klo 18:08-18:58	142
3	Seulottu koivuhake 75 % + broilerinlantabriketti 25 %	18.1.2018	klo 17:05-17:45 klo 18:45-19:25	131

¹ Teho (kW) on mitattu kaasunpolttimella varustetusta kattilasta



Taulukko 3.21. Termisen kaasutuksen päästömittausten tulokset (O₂red = 11 %)

Koe	Seos	O ₂ ⁽¹⁾	CO	NO	NO ₂	SO ₂	Kokonais- hiukkaset ITES _{grav}
		%	mg/Nm ³				
1	Fiskarsin karkea sekahake	9,7	23	15	81	– ⁽²⁾	15
2	Fiskarsin karkea sekahake 75 % + broilerinlanta 25 %	11,1	2	209	320	– ⁽²⁾	158
3	Seulottu koivuhake 75 % + broilerinlantabriketti 25 %	4,9	5	408	626	50	109

⁽¹⁾ O₂ on mitattu pitoisuus. Muut arvot on redusoitu (O₂red = 11 %).

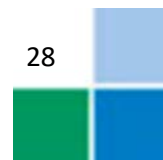
⁽²⁾ Mittaus ei toiminut

3.4. Prosessoinnin lopputuotteiden hyödynnettävyys peltoviljelyssä

Lopputuotteiden ravinnepitoisuudet ja liukaisen typen sekä fosforin pitoisuudet määritettiin laboratoriossa, jotta voitiin arvioida ravinteiden käyttökelpoisuutta kasveille. Lopputuotteiden fosforin käyttökelpoisuus arvioitiin astiakokeessa. Tulppavirtausprosessin mädäte analysoitiin sellaisenaan sekä laboratoriossa että astiakokeessa, vaikka käytännön levityksessä se olisi separoitava neste- ja kuivajakeeseen. Mädätteen erotteluun ei ollut käytettävissä sopivia pienen mittakaavan laitteita, ja astiakokeen käsittelyissä voitiin verrata fosforin käyttökelpoisuutta ilman jakeistamista kuten tehtiin suotopetiprosessin mädätteistä.

Biokaasuprosessien syötteiden ja pilotoinneissa muodostuneiden mädätteiden ominaisuudet määritettiin Luonnonvarakeskuksen Jokioisten laboratoriossa. Kuiva-ainepitoisuus määritettiin 70 °C lämpötilassa, kunnes näytteen paino ei pienentynyt. Orgaanisen aineksen (VS=volatile solids) ja tuhkan pitoisuudet määritettiin kuivatusta näytteestä neljän tunnin kuivapoltolla (550 °C). Kokonaistypen pitoisuus määritettiin tuoreesta näytteestä Kjeldahl-poltton ja typen tislauksen kautta. Liukoinen kokonaistyyppi ja ammonium- sekä nitraattityppi määritettiin 1:5 vesiutosta Skalar-autoanalysaattorilla. Nitraattia ei havaittu näytteissä. Kokonaishiilen pitoisuus määritettiin kuivatusta näytteestä Dumas'n menetelmällä (Leco). Kivennäisten määrittämistä varten tehtiin märkäpoltto typpihapossa ja liuksesta määritettiin ICP-OES laitteella P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu ja Zn. Mädätteistä määritettiin lisäksi pH ja johtokyky 1:5 vesiutosta. Tilavuuspaino määritettiin yhden litran tilavuudesta. Tuloksia on esitetty taulukoissa 3.22 ja 3.23 sekä liitteessä 2.

Mädätteiden ja polttokokeen (500 kW, koe 3) tuhkanäytteen fosforin käyttökelpoisuuden arviointia varten tehtiin kesällä 2017 astiakoe, jossa koekasvina oli raiheinä. Koemaa oli hietä, jonka viljavuusfosforin pitoisuus oli matala, 2,1 mg/l. Fosforikontrollit olivat lannoittamaton, 10, 50 ja 150 mg fosforia yhtä maan kuiva-ainekiloa kohden. Fosforilannoitus annettiin superfosfaattina. Muut ravinnat annettiin kokeen perustamisen yhteydessä, ja näiden ravinteiden annostelu mitoitettiin niin, etteivät ne rajoittaisi kasvua. Mädätteissä annettiin kokonaisfosforia 50 mg/kg maata ja tuhkassa 100 mg/kg maata. Tuhkan fosforin käyttökelpoisuus arvioitiin huonommaksi kuin mädätteiden. Koe perustettiin 8–9.6.2017, kolme satoa korjattiin 38, 61 ja 89 vrk perustamisen jälkeen. Raiheinäsadot korjattiin, kuivattiin 60 °C, punnittiin kuivapaino, jonka jälkeen heinänäytteistä määritet-



tiin fosforipitoisuus typpihappouutolla ja ICP-OES mittauksella. Tuloksissa verrattiin raiheinän sadontuottoa ja fosforinottoa lantojen ja fosforitasojen välillä.

3.4.1. Biokaasuprosessin mädäte

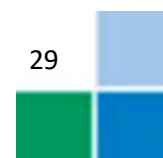
Syötteissä käytetyt nurmet ja lannat lähetettiin määrittelyyn kokeet toteuttaneista yrityksistä. Nurmien kuiva-ainepitoisuudet olivat korkeat, lähes 80 %. Hiilen ja typen pitoisuudet olivat nurmikasveille tyypilliset ja hiili-typpisuhde (C/N) oli näytteissä 33–34. Broilerin ja kalkkunanlannan kuiva-ainepitoisuudet olivat yli 50 %, mutta munintakananlanta oli selvästi kosteampaa. Lantojen kokonaistypen pitoisuudet olivat siipikarjan lannoille tyypillisen korkeita ja hiili-typpisuhteet olivat 6–11 (taulukko 3.22). Ammoniumtypen pitoisuudet kokonaistypestä olivat lantanäytteissä vain 11–26 %. Liukoista orgaanista typpeä (liukaisen typen ja ammoniumtypen erotus) oli tuoreessa broilerin ja kalkkunanlannassa runsaasti, sillä sen osuus kokonaistypestä oli 19–25 %. Lantojen fosforipitoisuus oli pienin munintakanan lannassa, 3,9 kg/t. Broilerinlannan fosforipitoisuus oli 8 kg/t ja kalkkunanlannan 7 kg/t.

Taulukko 3.22. Pilot-mittakaavan biokaasukokeissa käytettyjen syötteiden ominaisuudet.

Syöte	Apila-nurmi	Heinä-nurmi	Broilerin-lanta	Kalkkunanlanta	Munintakanlanta
Kuiva-aine, %	79,6	76,9	69,8	53,3	29,5
VS, %	73,7	71,9	61,8	46,6	20,8
Tuhka ka:sta, %	7,6	6,4	11,5	12,5	29,5
Kok-N, kg/t tuoretta	10,2	10,3	26,2	27,8	15,7
Liuk N, kg/t tuoretta	-	-	7,9	14,2	5,0
NH ₄ -N, kg/t tuoretta	-	-	2,9	7,1	4,2
C, kg/t tuoretta	347	342	288	215	94
C/N	34	33	11	8	6
tot-P kg/t tuoretta	2,0	1,5	8,0	7,0	3,9
tot-K kg/t tuoretta	16,4	14,4	17,0	11,4	6,7

Tulppavirtausprosessin vedenlisäys alensi mädätteiden kuiva-ainepitoisuudet 12–15 %:iin (taulukko 3.23). Nurmisyötteiden ja vesilisyksen seurauksena kokonaistypen pitoisuudet mädätteissä olivat 6–12 kg/t. Mädätteen tyyppistä oli tulppavirtausprosessin jäljiltä 35–45 % ammoniummuodossa ja 24–42 % liukoissa orgaanisessa muodossa (liukoinen N - NH₄-N). Näin peräti 68–77 % tulppavirtausprosessin mädätteen kokonaistypestä oli melko hyvin kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Tähän vaikuttivat korkeat lisäsyötteiden osuudet.

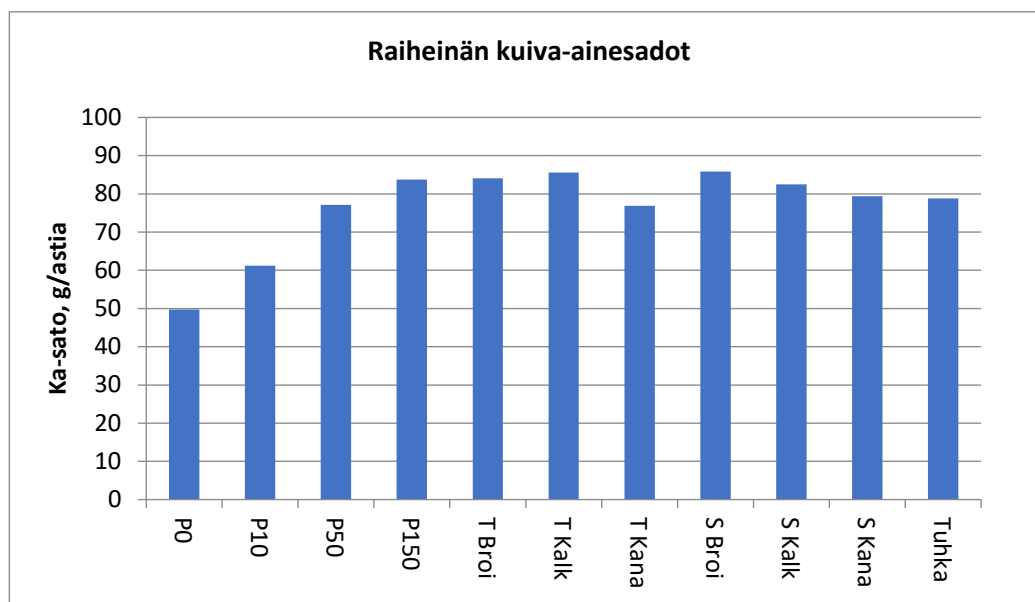
Suotopediprosessin mädätteissä kuiva-ainepitoisuudet olivat 20–31 % (taulukko 3.23). Lisäsyötteiden kanssa mädätettyjen kalkkunan- ja munintakananlannan mädätteissä kokonaistypestä oli 36–46 % ammoniummuodossa, mutta broilerinlannan (mädätys ilman lisäsyötteitä) kokonaistypestä vain 22 %. Liukaisen orgaanisen typen osuus kokonaistypestä oli suotopedin jälkeen vain 11–14 % kaikkien lantojen mädätteissä. Suotopedin mädätteiden kokonaistypestä oli siten 36–59 % melko hyvin kasveille käyttökelpoisessa muodossa.



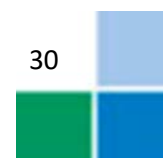
Taulukko 3.23. Mädatteiden ominaisuuksia pilot-mittakaavan kokeissa suotopeti- ja tulppavirtausprosesseissa.

Mädäte	Suotopetiprosessi			Tulppavirtausprosessi		
	Broile- rinlanta	Kalkku- nanlan- ta	Muninta- kanan- lanta	Broile- rinlanta	Kalkku- nanlanta	Muninta- kanan- lanta
Kuiva-aine, %	20,0	21,0	30,7	15,4	14,8	11,6
VS, %	16,7	16,9	21,9	12,7	12,4	9,2
Tuhka ka:sta, %	16,4	19,5	28,7	17,6	16,6	21,2
Kok-N, kg/t tuor.	8,3	7,0	11,9	6,0	8,3	5,9
Liuk-N, kg/t tuor.	3,0	3,3	7,0	4,6	5,9	4,0
NH ₄ -N, kg/t tuor.	1,8	2,5	5,4	2,1	3,8	2,6
C kg/t tuor.	85,3	88,3	116,7	65,0	62,7	48
C/N	10	13	10	11	8	8
tot-P kg/t tuor.	2,9	2,9	6,2	1,5	1,9	1,3
tot-K kg/t tuor.	5,8	5,3	8,5	4,0	5,5	4,8

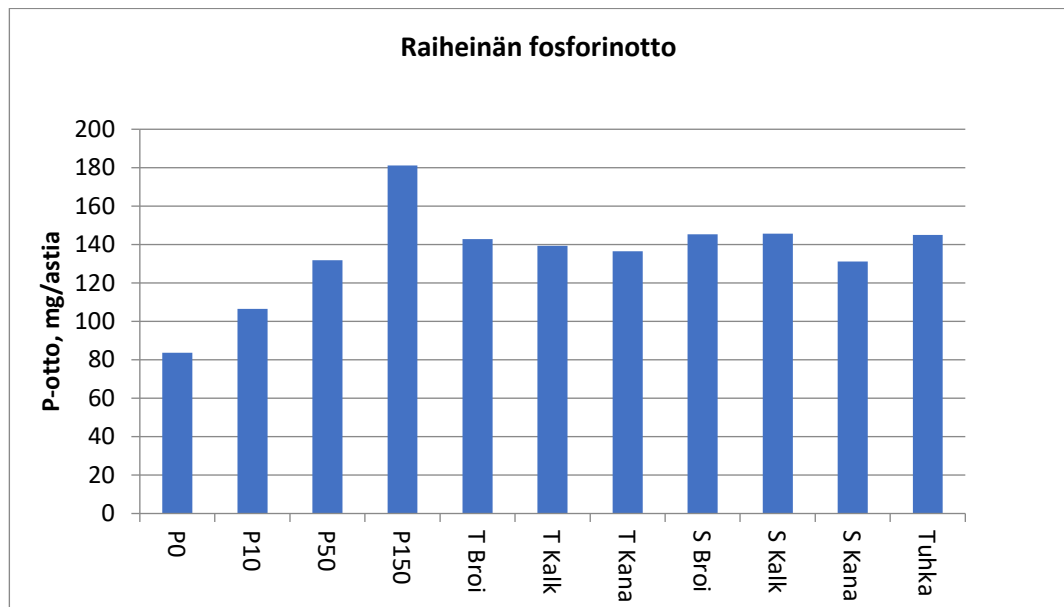
Kuiva-ainesadon muodostuksessa tulppavirtausprosessin mädatteistä broilerin- ja kalkkunanlannan fosforin käyttökelpoisuus oli jopa hieman parempi kuin superfosfaatin (kuva 3.2). Saman prosessin munintakananlannan fosfori vastasi superfosfaattia sadonmuodostuksessa. Suotopetiprosessin mädatteissa broilerinlannan fosfori oli käyttökelpoisempaa kuin superfosfaatin, mutta muiden lantojen fosforin käyttökelpoisuus vastasi superfosfaattia.



Kuva 3.2. Astiakokeen yhteenlasketut kuiva-ainesadot kolmesta sadonkorjuusta. Mädatteissa fosforia on lisätty 50 mg/kg maata ja tuhkassa 100 mg/kg maata. (P0–150 = fosforilannoituksen verranteet 0–150 mg/kg maata, S = Suotopeti ja T = Tulppavirtaus, Broi = Broilerinlanta, Kalk = Kalkkunanlanta, Kana = Munintakananlanta.)



Sadon fosforinoton tulokset (kuva 3.3) kuvaavat parhaiten fosforin saatavuutta koemateriaaleista suhteessa superfosfaattiin. Sekä tulppavirtaus- että suotopetiprosessin mädätteiden fosforinotto oli raiheinällä superfosfaatin tasolla. Suotopedistä saatujen broilerin ja kalkkunanlannan mädätteiden aiheuttama fosforinotto näytti olevan hieman suurempi kuin superfosfaatin tuottama, mutta tilastollista merkitsevyyttä ($P=0,05$) ei aivan saavutettu. Yhteenvetona voidaan todeta, että mädätys säilytti siipikarjanlantojen fosforin käytökelpoisuuden hyvänä. Mädätteessä lisätystä fosforista raiheinäkasvusto otti kolmessa sadossa noin 20 %, mikä oli samaa luokkaa kuin superfosfaatista.



Kuva 3.3. Astiakokeen yhteenlasketut fosforin otot kolmesta sadonkorjuusta. Mädätteissä fosforia on lisätty 50 mg/kg maata ja tuhkassa 100 mg/kg maata. (P0–150 = fosforilannoituksen verranteet 0–150 mg/kg maata, S = Suotopetiprosessi ja T = Tulppavirtausprosessi, Broi = Broilerinlanta, Kalk = Kalkkunanlanta, Kana = Munintakananlanta.)

3.4.2. Polton tuhka

Polttokokeista saatiin laboratoriomäärityksiin neljä tuhkanäytettä. Testauslaboratoriossa tehdyistä ajoista määrityksiin saatiin tuhkanäyte 500 kW kattilakokeista kokeesta 3, joka oli peräisin broilerinlannan ja koivuhakkeen seoksesta, jossa lannan energiasuus oli 50 %. Tilakokeista määrityksiin saatiin tuhkanäytteet tilalta 1, missä syötteinä olivat kaurankuori (100 %) sekä broilerinlannan ja sekahakkeen seokset, joissa lannan energiasuudet olivat 25 % ja 50 %. Näytteistä määritettiin kuiva-ainepitoisuus 105 °C ja kuningasvee-teen liuenneista metalleista mitattiin ICP-OES laitteella P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Al, As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni ja Pb.

Tuhkat olivat määrityksiin saapuessaan kuivia, kuiva-ainepitoisuus oli 99 % (taulukko 3.24). Tilakokeen tuhkanäytteistä mitattiin orgaaninen aines 550 °C kuivapoltoissa, ja kauran tuhkassa orgaanista ainesta oli jäljellä 3,3 %, 25 % seoksessa 3,2 % ja 50 % seoksessa 2,8 % (taulukko 3.24). Laboratoriokokeen tuhkanäytteen yhteenlaskettu PK-pitoisuus oli 26 %, mutta tilakokeen lantaa sisältävissä näytteissä fosforin ja kaliumin summa oli alhaisempi, 10–13 % (taulukko 3.24). Eläinperäisen tuhkan lannoitevalmiste-

laissa annetun 5 %:n minimivaatimuksen fosforin ja kaliumin yhteismäärälle kaikki lanta-peräiset tuhkat ylittävät selvästi.

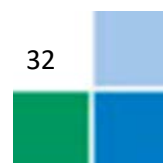
Broilerinlannan tuhkan ravinnepitoisuuksista on tehty kansainvälisiä tutkimuksia, joiden tarkoitus on ollut arvioida tuhkan käyttökelpoisuutta tuotantoeläinten ruokinnassa. Esimerkiksi Blake ja Hess (2014) ovat käyttäneet ruokintakokeessa broilerin lannan tuhkaa, jonka fosforipitoisuus oli 10 %, kaliumpitoisuus 7,6 % ja kalsiumpitoisuus 16,7 %. Kivennäispitoisuudet kuitenkin vaihtelevat sillä Codling ym. (2002) raportoivat fosforipitoisuudeksi 5,3 % ja kaliumpitoisuudeksi vain 0,39 % tutkimuksessa, jossa arvioitiin broilerinlannan tuhkan fosforin käyttökelpoisuutta kasvintuotannossa.

Haitallisten metallien pitoisuudet tuhkanäytteistä on raportoitu liitteessä 2. Kadmiumin, kromin, nikkelin ja lyijyn pitoisuudet olivat selvästi lannoitevalmistelaissa peltotuhkille asetettujen enimmäispitoisuuksien (Cd < 2,5 mg/kg ka, Cr < 300 mg/kg ka. Ni < 100 mg/kg ka. ja Pb < 100 mg/kg ka.) alapuolella. Laboratoriokokeen tuhkan kuparipitoisuus oli korkeampi kuin lannoitevalmistelain enimmäispitoisuus peltotuhkalle 600 mg/kg ka, mutta tilakokeen tuhkassa kuparin ja sinkin pitoisuudet olivat pieniä. Sinkin enimmäispitoisuus peltotuhkalle on 1500 mg/kg ka.

Astiakokeessa tuhkalannoituksen vaikutus kuiva-ainesatoon vastasi melko hyvin fosforisältöä (kuva 3.2). Fosforinoton tulosten perusteella havaitaan, että tuhkalannoituksen P-annos 100 mg/kg maata ei tuottanut selkeästi korkeampaa fosforinottoa verrattuna superfosfaatin lisäykseen P 50 mg/kg, mutta tuotti selvästi pienemmän fosforinoton kuin lannoitustaso P 150 mg/kg (kuva 3.3). Tuhkassa lisäystä fosforista raiheinäkasvusto otti kolmessa sadossa 10 %, mikä on samalla tasolla kuin korkeimman superfosfaatin lannoitustason tuottama fosforinoton ja lannoituksen suhde. Koska fosforinotto lisääntyi melko vähän tasojen P 50 mg/kg ja P 150 mg/kg maata välillä, tuhkan fosforin käyttökelpoisuus suhteessa superfosfaattiin oli kuitenkin hyvä eli 84 %. Codling ym. (2002) vertasivat hietamailla siipikarjan lannan tuhkan käyttökelpoisuutta kaliumfosfaattiin. Kun maan pH nostettiin kokeen alussa lähtötilan alle 4,5:sta 6,5:een, siipikarjan lannan tuhkan fosforin lannoitusvaikutus vastasi kaliumfosfaattia.

Taulukko 3.24. Broilerinlannan polttokokeista saatujen tuhkanäytteiden ravinnepitoisuudet kunin-gasvesiuuton avulla määritettynä. Lannan ja hakkeen osuudet (%) seoksen energiasisällöstä.

Tuhka	50 % lanta 50 % koivuhake	100 % kau- rankuori	25 % lanta 75 % sekahake	50 % lanta 50 % sekahake
Kuiva-aine, %	99,8	98,8	98,4	99,2
VS, %		3,3	3,2	2,8
Tuhka ka:sta, %		96,7	96,8	97,2
tot-P kg/t tuoretta	96,6	32,6	32,0	29,7
tot-K kg/t tuoretta	165	85,0	84,8	73,1
tot-Ca kg/t tuoretta	126	13,6	21,2	17,5
tot-Mg kg/t tuoretta	63,0	12,3	16,2	15,0
tot- S kg/t tuoretta	13,3	2,4	3,7	1,3
tot- Mn kg/t tuor.	5,9	0,6	1,0	0,9
tot-Cu g/t tuoretta	670	40	73	65
tot-Zn g/t tuoretta	950	148	236	198
tot-Mo g/t tuoretta	24,0	7,4	7,3	5,0



4. Pilottitilat esimerkkiratkaisuissa – lähtötiedot

4.1. Broileritila

Broileritilalla on 80 000 lintupaikkaa, joista on käytössä keskimäärin 78 000 paikkaa. Vuodessa tilalla kasvatetaan noin seitsemän lintuerää eli yhteensä 546 000 broileria.

Linnut tulevat tilalle kahden vuorokauden ikäisinä ja kasvatusjakso kestää 37 päivää. Kaikissa halleissa käytetään kuivikkeena turvetta. Turvetta levitetään tilan kolmeen kasvatushalliin yhteensä 150 m³ kasvatuserää kohti reilun kolmen senttimetrin kerrokseksi. Kasvatuskauden aikana turvetta ei lisätä eikä lantaa poisteta. Kasvatuserän vaihtuessa kuivikepohja poistetaan, ja halli pestään sekä desinfioidaan. Pesuvedet johdetaan umpisäiliöön, joka tyhjennetään imupainevaunulla ja neste levitetään keväällä nurmelle.

Vuosittain tilalla arvioidaan syntyvän lantaa yhteensä 1 400 m³ (567 t). Lannan varastointiin tilalla on kaksi kattamatonta asfalttipohjaista kuivalantala. Lannasta käytetään omalla tilalla noin 60 % ja loput luovutetaan lähialueen tiloille. Luovutettavan lannan arvo hyvitetään vastaanottavien tilojen välisessä viljakaupassa.

Tilan sähkönkulutus on noin 280 MWh vuodessa sisältäen asuinrakennuksen mutta ei viljankuivausta. Lämpö tuotetaan kiinteän polttoaineen kattilalla (500 kW). Polttoaineena on käytetty kesäaikaan pääosin haketta omista metsistä ja jonkin verran ostopuuta ja talvella useimmiten palaturvetta. Palaturpeen vuotuinen kulutus on ollut n. 1 000 m³ ja hakkeen 500 m³.

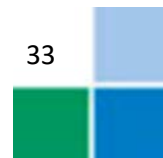
4.2. Kalkkunatila

Kalkkunatilalla on 21 000 lintupaikkaa ja vuodessa kasvatetaan yhteensä 52 500 lintua kahdessa ja puolessa kasvatuserässä. Kukot ja kanat kasvatetaan samoissa halleissa, mutta hallit on jaettu kahteen osastoon, sillä kanat lähtevät aikaisemmin ja kukot jäävät sen jälkeen koko hallin alalle. Kanojen kasvatusjakso on n. 99 päivää ja kukkojen n. 122 päivää.

Tilalla on yhteensä neljä kasvatushallia. Untuvikot otetaan aluksi kahteen halliin, joissa on valmiiksi levitettynä kuivikkeena pohjalla 3–5 cm turvetta ja sen päällä saman verran kutterinlastua. Kutterinlastua käytetään valoisuuden vuoksi, jotta linnut oppivat liikkumaan ja löytämään ruokinta- ja juomapaikat. Kolmen viikon iässä osa untuvikoista siirretään kahteen muuhun halliin, joissa kuivikkeena on pelkästään turve.

Alussa kuivikepohjan paksuus on noin 7–10 cm. Kutterinlastua lisätään 8.–9. kasvatusviikolta alkaen kerran viikossa noin yhdeksän viikon ajan. Kasvatuskaudella lisätään kutterinlastua paaleista lähinnä juoma- ja ruokintalaitteiden ympäristöön. Lantaa ei poisteta kasvatuskaudella.

Vuodessa kuivikepohjalantaa kertyy yhteensä n. 980 m³ (590 t). Tyhjennyksen jälkeen hallit pestään kuumalla vedellä ja desinfioidaan. Pesuvedet ohjataan hallien umpisäiliöihin, mistä neste imetään imupainevaunuun ja levitetään peltoon.



Noin puolet lannasta levitetään omille pelloille sekä puolet kahden sopimustilan pelloille. Lanta levitetään tarkkuuslevittimellä. Vastaanottajat eivät maksa lannasta ja kustantavat levityksen itse.

Tilan sähkönkulutus on vuodessa noin 70 000–80 000 kWh. Asuinrakennuksen sähkönkulutus on tästä noin 15 000 kWh vuodessa. Lisäksi viljankuivaamo käyttää sähköä. Tilalla on uusi kiinteän polttoaineen kattila (400 kW), jossa poltetaan tilan omaa ja ostopuuta.

4.3. Munatila

Munatilalla on yhteensä 65 000 paikkaa muniville kanoille virikehäkeissä. Lisäksi tilalla on nuorikkokasvattamo, jossa 32 500 lintupaikkaa.

Päivän ikäisinä tilalle tulevat untuvikot kasvatetaan nuorikkohallissa 16 viikkoa ennen siirtoa munituskanalaan. Munintakausi alkaa noin 20 viikon iässä ja kestää 52–60 viikkoa. Lanta putoaa häkin alla olevalle 1,4 metriä leveälle hihnalle, jolla se siirretään kaksi kertaa viikossa lantalaan. Lantaa muodostuu vuodessa yhteensä noin 3 480 m³ (2 200 t). Kana-lassa ei käytetä kuiviketta.

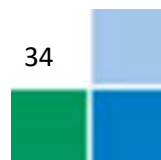
Tilalla on kaksi katettua lantala, joissa on betonipohja ja harkkoseinät. Pieni osa lannasta levitetään oman tilan luomupelloille, mutta pääosa lannasta luovutetaan alueen muille tiloille. Kaikkiaan 15–20 tilaa vastaanottaa lantaa. Sopimusala lannan levittämiseen on käytössä yhteensä noin 1200 hehtaaria, suurin osa luomutiloilla.

Kanaloiden sähköenergiankulutus on vuodessa yhteensä noin 100 000 kWh, joka aiheutuu pääasiassa valaistuksesta ja ilmanvaihdosta. Munintakanalassa ei tarvita lämmitystä. Nuorikkokasvatuksessa lämmitykseen käytetään vuosittain noin 3000 litraa polttoöljyä.

4.4. Yhteenvedo pilottitilojen lähtötiedoista

Lantaa muodostuu broileritilalla tonneina suunnilleen sama määrä kuin kalkkunalla, vaikka broileritilalla lintuja kasvatetaan kymmenkertainen määrä kalkkunatilaan verrattuna (taulukko 4.1). Kummankin tilan lanta on tyypiltään kuivikepohjalantaa. Munatilalla lantaa muodostuu noin nelinkertainen määrä broileri- ja kalkkunatilaan verrattuna. Lannan joukossa ei ole kuiviketta, ja se on selvästi kosteampaa kuin broileri- ja kalkkunatilojen lanta. Lantojen tarkemmat koostumukset on esitetty liitteessä 3.

Kaikilla kolmella siipikarjatilalla on oma lämpökeskus. Broileritilalla lämpöä tuotetaan metsähakkeella ja palaturpeella, kalkkunatilalla metsähakkeella ja munatilalla kevyellä polttoöljyllä (taulukko 4.2). Tilat ostavat tarvitsemansa sähkön verkosta.



Taulukko 4.1. Yhteenveto tiloilla kasvatettavista linnuista ja muodostuvista lannoista.

	Broileritila	Kalkkunatila	Munatila
Lintuja yht./vuosi	546 000	52 500	65 000 (32 500*)
Lintupaikkoja	78 000	21 000	
Kasvatuseriä	7	2,5	1
Kasvatusjakson pituus (vrk)	37	122	365 (112*)
Turve (m ³)	1 050	875	
Kutterinlastu (m ³)		407	
Lannan tilavuus, arvio (m ³)	1 400	1 170	3 480
Lannan paino, arvio (t)	567	590	2 200
Lannan tilavuuspaino, laskennallinen (kg/m ³)	405	504	632
Kuiva-ainepitoisuus (%)	70	53	30

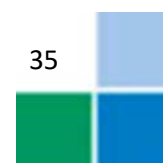
* Munatilalla lisäksi oma nuorikkokasvatus, joka kestää 112 vrk

Taulukko 4.2. Pilottitilojen lämmön ja sähkön tuotto ja kulutus.

LÄMPÖ	Broileritila	Kalkkunatila	Munatila
Metsähake (m ³)	500	1960	
Lämpöarvo (MWh/m ³)	0,79	0,79	
Hyötysuhde	0,85 ^b	0,85 ^b	
Tuotettu lämpö (MWh)	336	1319	
Palaturve (m ³)	1000		
Lämpöarvo (MWh/m ³)	1,32		
Hyötysuhde	0,85		
Tuotettu lämpö (MWh)	1124		
Polttoöljy (m ³)			3,0
Lämpöarvo (MWh/m ³)			11,9
Hyötysuhde			0,95
Tuotettu lämpö (MWh)			34
Lämpö yht. (MWh)	1460	1319	34
SÄHKÖ			
Tila + asuinrakennus (MWh) ^a	280	130	115

^a Ei sisällä viljan kuivausta

^b Tuomi (2013)



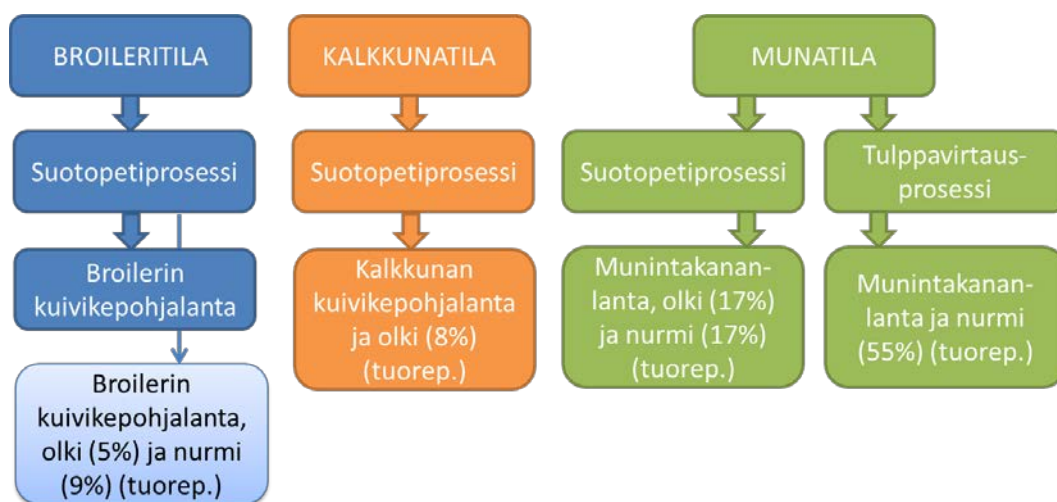
5. Pilottitiloille valitut lannankäsittelyn esimerkkiratkaisut

5.1. Biokaasuprosessin vaihtoehdot

Tarkempiin tarkasteluihin valittiin koetulosten perusteella kullekin pilottitilalle parhaiten soveltuvat prosessiratkaisut (kuva 5.1). Sekä broileri- että kalkkunatilalle tarkasteluun valittiin suotopetiprosessi, koska lannat soveltuivat paremmin siinä käsiteltäviksi. Tuotantoerittäin tapahtuva lintujen kasvatus tukee panostoimista lannan jatkokäsittelyä, ja tiloilla muodostuvat lantamäärät olivat tulppavirtausprosessin tehokkaalle hyödyntämiselle liian pienet.

Broileritilalle tehtiin koeasetelman lisäksi toinen laskennallinen esimerkki, jossa broilerin kuivikepohjalannan joukkoon oli sekoitettu olkea (5 % syötteen tuorepainosta) ja säilörehua (9 % syötteen tuorepainosta). Molempia lisäsyötteitä on saatavilla pilottitilalla ja niillä pyrittiin nostamaan prosessin energiantuottoa. Kalkkunanlannalle tarkasteluun tuli koeasetelman mukainen yhteiskäsittely pienen olkimäärän kanssa.

Munatilalle tarkasteluun valittiin sekä suotopeti- että tulppavirtausprosessi. Suotopetiprosessin epäonnistuneen koeajon vuoksi prosessille tehtiin uusi laskennallinen syöte-seos, jossa lantaan sekoitettiin suurempi määrä olkea ja nurmea (molempia 17 % syötteen tuorepainosta). Seoksen hiilen ja typen suhde (14,2) pitäisi olla prosessille suotuisa ja myös massan rakenne perkolaationesteen suotautumista edistävä. Munatilan tulppavirtausprosessin tarkastelut vastasivat koeajoa.



Kuva 5.1. Biokaasuprosessikokeiden perusteella täsmällisempiin tarkasteluihin sekä ympäristövaikutus- ja kannattavuusarviointeihin valitut laitosratkaisut ja syötteet siipikarjatilalla.

Tarkastellut biokaasulaitosratkaisut pyrittiin integroimaan pilottitilojen muihin toimintoihin siten, että niistä aiheutuisi tiloille mahdollisimman vähän lisätyötä ja muutoksia aikaisempiin toimintatapoihin. Lisäsyötteiden käyttö sidottiin tilojen todellisiin vaihtoehtoihin. Tavoite oli maksimoida lannan energiasisällön ja ravinteiden hyödyntäminen ja löytää

taloudellisesti kannattavat laitosratkaisut ja toimintatavat. Vaikka tarkastelut sidottiin pilottitiloille, vastaavia ratkaisuja voidaan tehdä myös muilla siipikarjatilastoilla. Tarkastelujen tulokset myös tuovat esille ne reunaehdot ja huomioitavat asiat, joilla toimiva ja kannattava laitosratkaisu tiloille voidaan toteuttaa.

5.2. Lannan poltto

Lannan polton tarkastelussa lähtökohtana oli poltto tilojen olemassa olevissa lämmityskattiloissa. Polttovaihtoehdon kannattavuutta tarkasteltiin vain pilottibroileritilalla, koska broilerinlanta soveltuu siipikarjanlannoista parhaiten polttoon sen muita lantoja korkeamman kuiva-ainepitoisuuden vuoksi. Broilerinlannan kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 60–70 %.

Tarkastelu tehtiin 10–50 % osuudelle pilottitilan broilerikasvattamossa kuluvastä lämmitysenergiasta. Polttokokeiden perusteella lannan 50 % energiaosuus on tilatason lämmityskattiloissa toiminnallisesti haastava, mutta mahdollinen. Tulosten mukaan lannan poltto edellyttää joka tapauksessa investointeja savukaasujen puhdistuslaitteisiin sekä syöttöjärjestelmiin.

5.3. Pilottitilojen prosessit ympäristövaikutusten arvioinnissa

Pilottitilojen lantaketjujen elinkaariset ympäristövaikutukset arvioitiin tilojen nykyisillä lannan käsittelymenetelmillä, nykytilaa tehostavilla toimenpiteillä sekä biokaasuprosessiin perustuissa lantaketjuissa. Arviointeihin sisällytetyt osaprosessit eri vaihtoehdoissa on esitetty kuvissa 5.2.–5.7.

Tehostetussa nykytilassa lannankäsittelyketjuun tehtiin muutoksia mm. levitykseen ja varastointiin. Lisäksi tarkasteltiin kuivikevalinnan vaikutusta kalkkunatilalla ja lämmityspolttoainevalinnan vaikutusta broileritilalla.

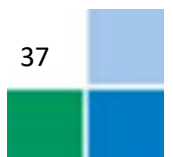
Toiminnallisena yksikkönä kaikissa tapauksissa käytettiin 1000 kg siipikarjanlantaa eläinsuojasta.

Siipikarjanlannan käsittely nykytilassa käsittää viisi päävaihetta:

- eläinsuoja
- lannan poisto
- lannan varastointi
- lannan lastaus ja kuljetus
- lannan peltolevitys

Siipikarjanlannan käsittely biokaasulaitoksessa käsittää kuusi päävaihetta:

- eläinsuoja
- lannan poisto
- biokaasuprosessi
- mädätteen varastointi (ja separointi)
- mädätteen lastaus ja kuljetus
- mädätteen peltolevitys



5.3.1. Broileritilan vaihtoehdot

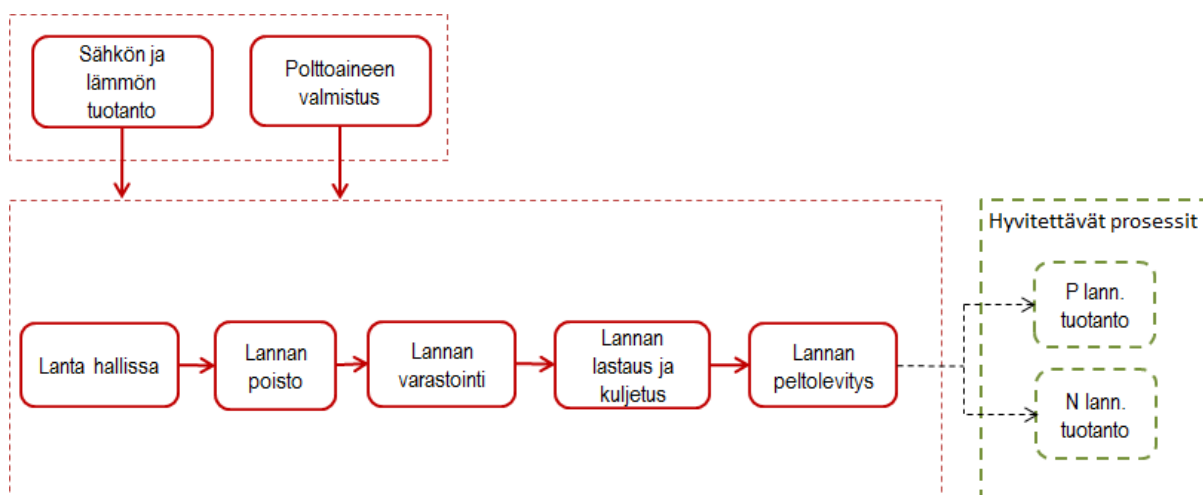
Nykytila

Vuoden aikana muodostuva lanta (576 t) varastoidaan kattamattomissa varastoissa. Kaikki lanta levitetään keväällä, ellei syysviljaa ole kylvössä. Levitykseen käytetään tarkkuuslevitintä. Lanta pyritään multaamaan nopeasti levityksen jälkeen, suurimmaksi osaksi levityspäivän aikana. Kaikkea lantaa ei kuitenkaan käytännön järjestelyiden vuoksi ehditä mullata välittömästi. Yksi kolmasosa lannasta mullataan äestämällä alle neljän tunnin sisällä levityksestä, yksi kolmasosa 4–12tunnin sisällä, ja yksi kolmasosa 12–24 tunnin sisällä (liite 4 a). Kasvatushallien kuivikkeen käyttöä ei sisällytetty tarkasteluun.

Tehostettu nykytila

Tehostetussa nykytilassa lanta varastoidaan kattamattoman lantalalan sijasta katetussa lantalassa. Jotta lannan levitystä voitaisiin tehostaa, oletettiin, että kaikki levitetty lanta mullataan alle neljän tunnin sisällä lannan levityksestä.

Tehostetussa vaihtoehdossa tilan lämpö tuotetaan hakkeen ja turpeen sijasta pelkällä hakkeella.



Kuva 5.2. Broileritila: nykytilaan ja tehostettuun nykytilaan sisällytetyt osaprosessit.

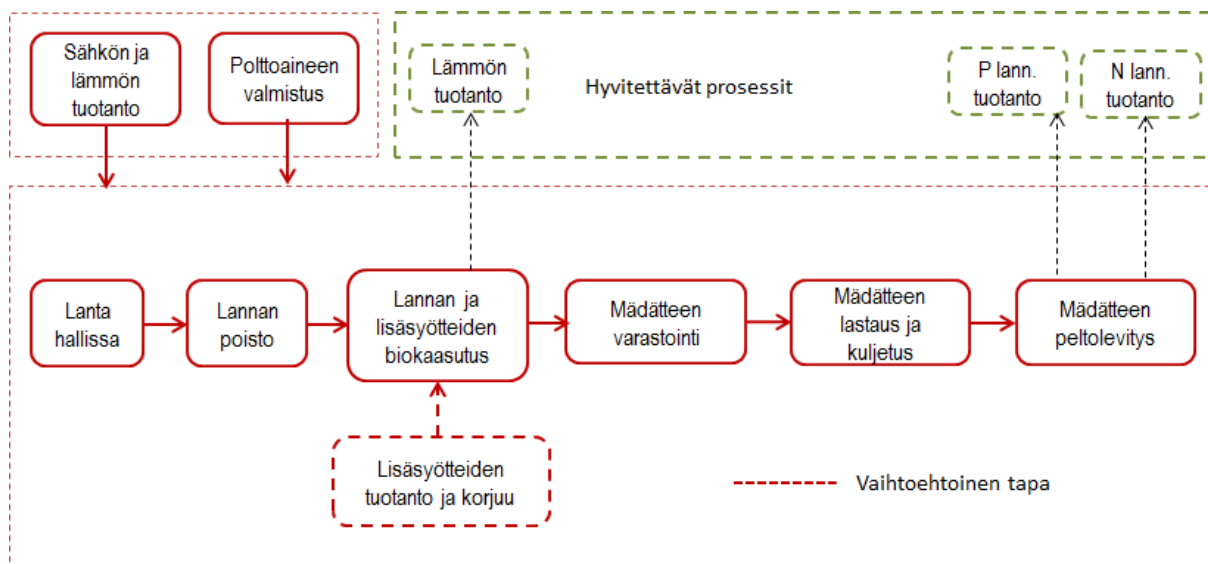
Lannan käsittely biokaasulaitoksessa

Biokaasuvaihtoehdossa lanta siirretään suoraan eläinsuojasta siiloon biokaasutusta varten. Siiloja on kaksi ja viipymäaika siilossa on 3,4 kk. Viisi erää mädätettä varastoidaan tilan nykyisessä kattamattomassa varastossa, mistä se levitetään peltoon liitteen 4 a mukaisesti. Kaksi erää levitetään pellolle ilman välivarastointia.

Broileritilalle tehtiin kaksi vaihtoehtoista biokaasutarkastelua. Ensimmäisessä vaihtoehdossa syötteenä käytetään pelkkää lantaa ja toisessa vaihtoehdossa lannan lisäksi pelto-biomassaa. Lisäsyötteenä hyödynnetään tilan toinen sato heinästä sekä olkea. Heinää tuotetaan nykytilassa hevosille.

Heinä lannoitetaan mädätteellä ja lannoitus täydennetään mineraalityypilannoitteella. Heinä paalataan ja muovitetaan ja varastoidaan katetussa varastossa, kuten nykytilassa. Olki paalataan ja varastoidaan pellon reunassa aumamuovilla peitettynä.

Biokaasulla tuotetaan tilalla lämpöä, joka vähentää turpeen käyttöä.



Kuva 5.3. Biokaasun tuotanto broilerinlannasta ja siihen sisällytetyt osaprosessit. Lisäsyötteiden korjuu (katkoviivoin) on vaihtoehtoinen skenaario.

5.3.2. Kalkkunatilan vaihtoehdot

Nykytila

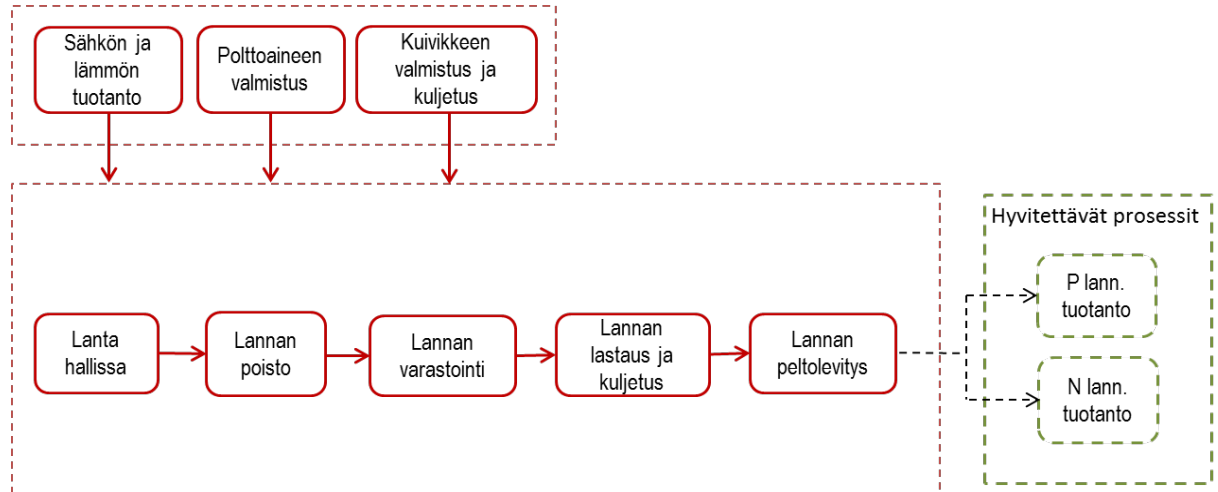
Pilottitilalla syntyy kuivikepohjalantaa vuodessa 590 tonnia. Keväällä ja syksyllä halleista poistettava lanta ajetaan pellolle aumaan odottamaan levitystä. Keskimäärin yksi tyhjenyserä vuodessa sijoittuu vuodenvaihteen tienoille tai alkuvuoteen, jolloin lanta siirretään katettuun lantalaan.

Noin puolet lannasta levitetään omille pelloille ja puolet kahden sopimustilan pelloille. Kaksi kolmasosaa lannasta levitetään keväällä mullokselle ja äestetään samana päivänä. Yksi kolmasosa lannasta levitetään syksyllä sängelle ja mullataan kultivaattorilla tai lautasmuokkaimella samana päivänä (liite 4 a).

Tehostettu nykytila

Tehostetussa nykytilassa kaksi kolmasosaa syntyvästä lannasta varastoidaan katetussa lantalassa ja yksi kolmasosa ajetaan aumaan ennen levitystä. Näin toimimalla kaikki lanta voidaan levittää keväällä. Lisäksi oletettiin, että lanta mullataan alle neljän tunnin kuluttua levityksestä.

Lisäksi tarkasteltiin turvekuivikkeen vaihtamista kutterinlastuun. Kuivikkeen osalta tarkasteltiin hankintaketjua sekä vaikutuksia eläinsuojassa. Kutterinlastun vaikutuksia peltokäyttöön ei sisällytetty tarkasteluun.



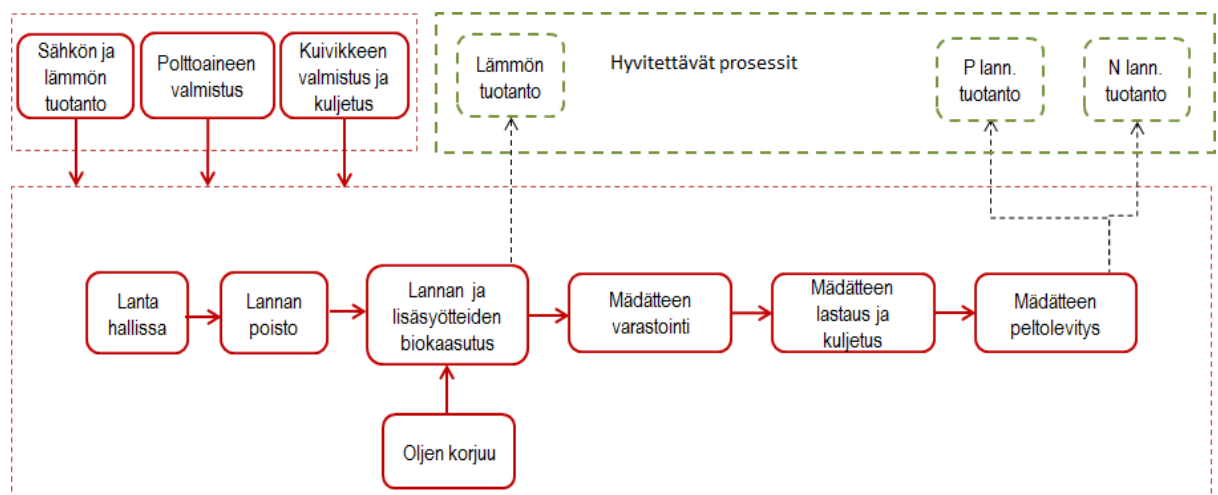
Kuva 5.4. Kalkkunatila, nykytilaan ja tehostettuun nykytilaan sisällytetyt osaprosessit.

Biokaasun tuotanto

Biokaasuvaihtoehdossa lanta siirretään suoraan eläinsuojasta siiloon biokaasutusta varten. Viipymäaika siilossa on 4,8 kk. Mädate varastoidaan katetussa lantalassa, mutta osa päätyy peltoon ilman välivarastointia. Mädatteesta menee peltoon ilman varastointia 40 %, ja 33 % katetun varaston ja 27 % aumavarastoinnin jälkeen. Lanta levitetään peltoon liitteen 4 a mukaisesti.

Kalkkunanlannan lisäksi biokaasulaitoksessa käytetään syötteenä pientä määrää paalattua olkea. Koska olki syntyy sivutuotteena, sen tuotannosta huomioidaan ainoastaan oljen paalautustyöt. Nykytilanteessa olkea ei paalata pelloilta. Oljen ominaisuuksien oletettiin säilyvän samana varastoinnin ajan.

Biokaasulla tuotetaan lämpöä tilan tarpeisiin, mikä vähentää metsähakkeen kulutusta.



Kuva 5.5. Biokaasun tuotanto kalkkunanlannasta ja siihen sisällytetyt osaprosessit.

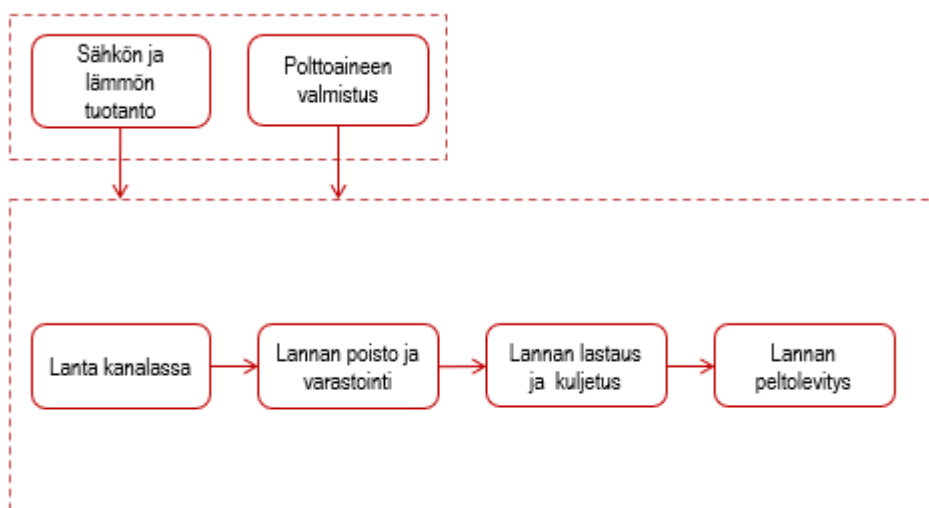
5.3.3. Munatilan vaihtoehdot

Nykytila

Kaikesta vuoden aikana muodostuvasta lannasta (2200 t) noin puolet ajetaan varastosta aumaan lyhyeksi aikaa odottamaan levitystä. Puolet lannasta levitetään ilman välivarastointia. Lanta levitetään pääosin luomupelloille.

Pääosa lannasta levitetään keväällä mullokselle kylvön yhteydessä. Lanta mullataan heti levityksen jälkeen. Noin 10 % lannasta levitetään kasvukauden aikana kasvustoon. Syksyllä levitetään kesän aikana muodostunut lanta, ja sängelle levitetty lanta mullataan välittömästi. Noin puolet syksyllä levitetystä lannasta levitetään syysviljan alle.

Munatilalla tehostamistoimenpidemahdollisuudet olivat vähäiset, joten tehostamisvaihtoehtoa ei laskettu munatilalle.



Kuva 5.6. Munatila, nykytilaan sisällytetyt osaprosessit. Hyvitettäviä prosesseja ei synny luomutilalla, sillä lanta ei korvaa mineraalilannoitteiden käyttöä.

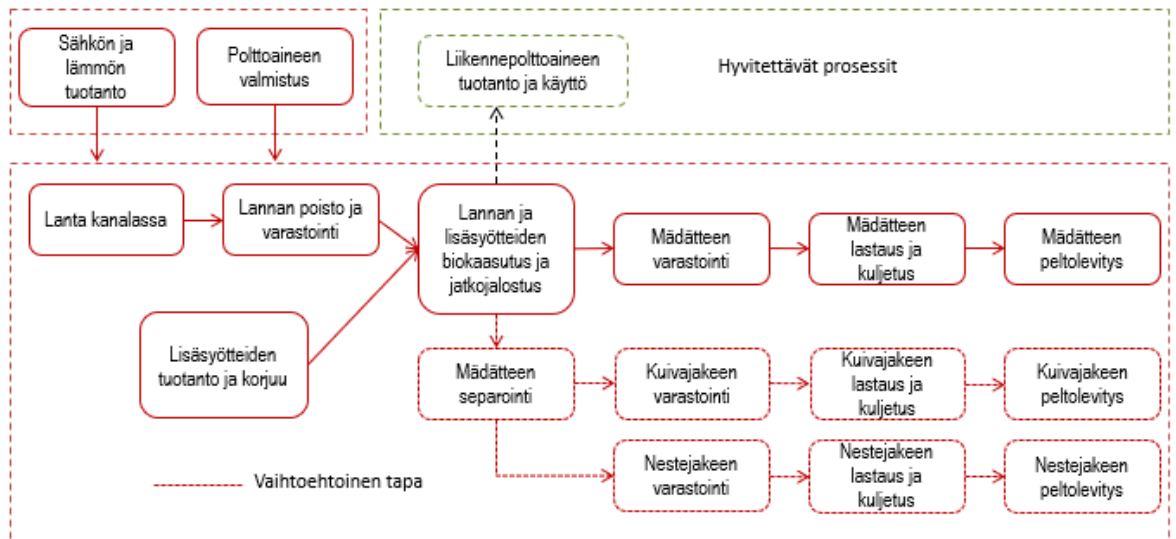
Biokaasun tuotanto

Munatilalle muodostettiin kaksi vaihtoehtoista biokaasuvaihtoehtoa, mistä toinen perustuu tulppavirtausprosessiin ja toinen suotopetiprosessiin. Suotopetiprosessissa lanta siirretään lyhyen välivarastoinnin kautta siiloon biokaasutusta varten. Viipymäaika siilossa on 3 kk. Noin 75 % mädätteestä varastoidaan tilan nykyisessä katetussa varastossa, mistä se levitetään peltoon liitteessä 4 b esitetyn mukaisesti. Noin 25 % mädätteestä levitetään pellolle suoraan siilosta ilman välivarastointia.

Tulppavirtauslaitoksen prosessi on jatkuvatoiminen, missä viipymäaika on 20–30 vrk. Määdä separoidaan kuiva- ja nestejakeeseen ennen varastointia. Nestejake varastoidaan kannellisessa säiliössä ja kuivajake katetussa varastossa. Levitysjankohdat ja -menetelmät ovat vastaavat kuin nykytilassa.

Suotopetivaihtoehdossa lannan lisäksi syötteenä käytettiin HVP-nurmea, heinää ja olkea. Olki paalataan ja säilytetään katetussa varastossa. Oljen ominaisuuksien oletettiin säilyvän muuttumattomana varastoinnin ajan.

Tulppavirtausprosessissa (katkoviivalla kuvassa 5.7) lisäsyötteenä käytettiin säilörehunurmea. Säilörehunurmi tuotetaan tilalla sekä lähialueella. Lisäsyötteitä korjataan nykytilassa omilta pelloilta 30 %.



Kuva 5.7. Biokaasun tuotanto kananlannasta ja siihen sisällytetyt osaprosessit. Vaihtoehtoinen tapa kuvaa tulppavirtausprosessia, jossa mädäte separoidaan ennen varastointia.

6. Biokaasuratkaisujen toteutettavuus ja kannattavuus

6.1. Broileritilan suotopetiprosessi

Broileritilan biokaasulaitoksena tarkasteltiin panostimista suotopetiprosessia, joka ei vaadi kuivikepohjalannan välivarastointia tuotantoerien välissä. Reaktorisiilojen täyttö ajoitetaan tuotantohallin tyhjennykseen, jolloin lanta ajetaan suoraan reaktorisiiloon. Valmis mädäte siirretään siilon purun yhteydessä olemassa olevaan kuivalantalaan, josta se edelleen levitetään peltoon. Uutta lantalakapasiteettia ei tarvita, ja osa mädätteestä voidaan levittää myös suoraan siilosta peltoon. Biokaasulla tuotettava lämpö korvaa osittain tilalla nykyisin käytettävää palaturvetta ja sähkö korvaa verkosta ostettavaa sähköä. Loput tarvittavasta lämmöstä tuotetaan nykyisellä biolämpökattilalla.

Broileritilalle laskettiin kaksi vaihtoehtoista suotopetiprosessia, jotka erosivat syötteiltään. Ensimmäisessä ratkaisussa biokaasun tuotantoon käytetään vain tilalla syntyvää kuivikepohjalantaa ja toisessa lannan lisäksi omilta pelloilta korjattua olkea ja nurmea (taulukot 6.1 ja 6.2).

Taulukko 6.1. Broileritilan suotopetiprosessin syötteet, mädätteet ja energian tuotto.

Syötteet ja mädätteet	Massa (t)	Tilavuus (m ³)	Tilavuuspaino (kg/m ³)	Metaanisaanto (Nm ³ CH ₄ /t tp)	CH ₄ (m ³)	Energia (MWh)
Broilerinlanta (100 %) = SYÖTE 1	567	1 400	405	80	45 530	455
Broilerinlannan mädäte = MÄDÄTE 1	1 407	1 752	803	-	-	-
Broilerinlanta (86 %) + olki (5 %) + nurmi (9 %) = SYÖTE 2	661	1 693	390	87	57 350	574
Broilerinlannan ja lisäsyötteiden mädäte = MÄDÄTE 2	1 500	1 868	803	-	-	-

Taulukko 6.2. Broileritilalla saatavilla olevat kasviperäiset massat.

Lisäsyötteet	Olki	Nurmi (yksi niitto)
Pinta-ala (ha)	15	7
Kuiva-ainesato (kg ka/ha)	2000	2500
Kuiva-ainepitoisuus (%)	85	30
Tuorepaino (t)	35	58
Tilavuuspaino reaktorissa (kg/m ³)	200	500
Tilavuus reaktorissa (m ³)	176	117

Broileritilan suotopetiprosessiin oletettiin kaksi 240 m³ reaktori silloa (taulukko 6.3), joiden viipymäksi tulee 3,4 kuukautta huomioiden seitsemän broilerin tuotantoerää. Pelkkää lantaa prosessoitaessa syötteiden vuosittainen määrä on 1400 m³, lannan ja lisäsyötteiden (olki+nurmi) prosessoinnissa 1690 m³. Laitostoimittajan ilmoittama minimiviipymä per panos on kaksi kuukautta, mikä mahdollistaa 2880 m³/vuosi prosessoitavaa syötettä. Laitokseen jää näin ollen vielä vapaata kapasiteettia, jota voisi hyödyntää keräämällä lisää kasviperäistä massaa lähiseudulta. Laitostoimittajan ilmoittama laitoksen tehontarve on 1 kW/1000 m³ reaktori sillo. Kahden 240 m³ reaktori silloin vuosittaiseksi sähkönkulutukseksi saadaan näin 4,2 MWh.

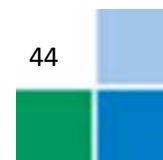
Suotopetiprosessin syötteeseen ei reaktori silloin täyttövaiheessa lisätä vettä. Prosessissa kiertävästä perkolaationesteestä kuitenkin imeytyy jonkin verran nestettä petiin. Koska broilerin kuivikepohjalanta on hyvin kuivaa ja kuivikkeena käytetyn turpeen vedensitomiskapasiteetti korkea, vettä joudutaan prosessin aikana lisäämään perkolaationestesäiliöön. Taulukossa 6.3. arvioitu lisäveden tarve on laskettu prosessin massataseen avulla.

Taulukko 6.3. Broileritilan suotopetiprosessin parametrejä.

	Laitoksen kapasiteetti	Lanta	Lanta + lisäsyötteet
Reaktorikoko (m ³)	240	240	240
Täyttö per panos (m ³)	240	200	240
Reaktorien lkm	2	2	2
Viipymä (kk)	2	3,4	3,4
Latausten määrä	12	7	7
Kapasiteetti (m ³)	2 880	1 400	1680
Prosessin kuluttama vesi (m ³)	-	954	983
Laitoksen sähkön tarve (MWh/vuosi)	-	4,2	4,2

Prosessikokeiden perusteella saatiin pelkän lannan prosessoinnista muodostuneen mädätteen (MÄDÄTE 1) ominaisuudet analysoituina. Analyysituloksia korjattiin kuitenkin sillä oletuksella, että typpeä ei häviä prosessissa (taulukko 6.4.). Prosessikokeessa oli liuenut jonkin verran typpeä perkolaationesteeseen. Käytännössä perkolaationesteen koostumus tasaantuu tiettyyn pitoisuuteen, jonka jälkeen typpeä ei enää siirry suotopedistä perkolaationesteeseen.

Teoreettisen esimerkin (lanta + lisäsyötteet) mädätteen (MÄDÄTE 2) ominaisuudet (taulukko 6.4.) laskettiin syötteiden metaanintuottopotentialin ja muodostuneen biokaasun metaanipitoisuuden avulla. Lisäksi teoreettisen esimerkin mädätteen kuiva-ainepitoisuus oletettiin samaksi kuin prosessikokeessa. Lisäsyötteiden (olki ja nurmi) metaanintuottopotentialit saatiin Biokaasulaskurista (www.biokaasulaskuri.fi). Prosessikokeessa broilerinlannasta saadun biokaasun metaanipitoisuus oli 53 %. Peltobiomassasta (olki ja nurmi) muodostuvan biokaasun metaanipitoisuudeksi arvioitiin 55 % (Motiva 2013). Orgaanisen aineen hajoaminen arvioitiin massataseiden avulla. Prosessissa typen, fosforin ja kaliumin kokonaismäärät eivät muutu, mutta niiden pitoisuudet kuiva-ainetta kohti nousevat, koska hiiltä poistuu. Osa tyydestä muuttuu liukoiseen muotoon. Teoreettista mädätteen koostumusta laskettaessa oletettiin, että liukaisen typen suhde kokonaistyypeen ja vastaavasti



ammoniumtypen suhde liukoiseen tyypeen pysyvät samoina kuin prosessikokeen mädätteessä. Tällöin typen liukoistumiskertoimeksi saatiin 1,2 (liukoisen typen määrän lisäytyminen) ja ammoniumtypen lisääntymiskertoimeksi vastaavasti 2,0. Näitä kertoimia käytettiin jatkossa myös kalkkunatilan ja munatilan teoreettisen mädätteen ominaisuuksia laskettaessa.

Syötteeseen verrattuna suotopetiprosessin mädäte on huomattavasti kosteampaa (taulukko 6.4). Orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta (VS/TS) laskee hieman ja hiili-tyyppi-suhde (C/N) laskee huomattavasti. Taulukossa ravinteiden pitoisuudet on esitetty tuorepainoa kohden. Koska mädätteen kuiva-ainepitoisuus on huomattavasti alhaisempi, myös tuorepainoa kohden ilmoitetut ravinnepitoisuudet ovat alhaisempia. Kokonaismäärällisesti typen, fosforin ja kaliumin määrät pysyvät kuitenkin samana. Liukoisen typen määrä lisääntyy 20 % ja ammoniumtypen määrä lisääntyy 100 %. Syötteiden ja mädätteiden massamäärät on esitetty aiemmin taulukossa 6.1. Lisäksi tiedot löytyvät myös yhteenve-totaulukosta liitteestä 3.

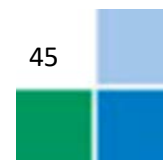
Taulukko 6.4. Broileritilan suotopetiprosessin syötteiden ja mädätteiden ominaisuudet.

	TS (%)	VS / TS	C / N	Ntot	Nliuk	NH4-N	Ptot	Pliuk	K
	g/kg tp								
Broilerinlanta = SYÖTE 1	69,8	0,89	11,0	26,2	7,93	2,86	8,01	0,65	17,0
MÄDÄTE 1	20,0	0,84	7,9	10,6	3,80	2,33	3,23	0,26	6,84
Broilerinlanta + lisäsyötteet = SYÖTE 2	67,1	0,89	12,0	23,4	7,03	2,45	7,00	0,62	16,0
MÄDÄTE 2	20,0	0,83	8,3	10,3	3,68	2,19	3,08	0,27	7,04

Broileritilalla tarkastellut vaihtoehtoiset tavat hyödyntää biokaasun energiasisältöä ovat lämmöntuotanto tai yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto (CHP). Liikennekaasun tuottamista ei pidetty kannattavana näin pienessä mittakaavassa, vaikka laitteistoja on saatavilla myös pienen mittakaavan puhdistukseen (10 m³/h raakakaasua) sekä muutaman auton tankkaukseen soveltuvaan hidastankkausasemaan (Metener Oy).

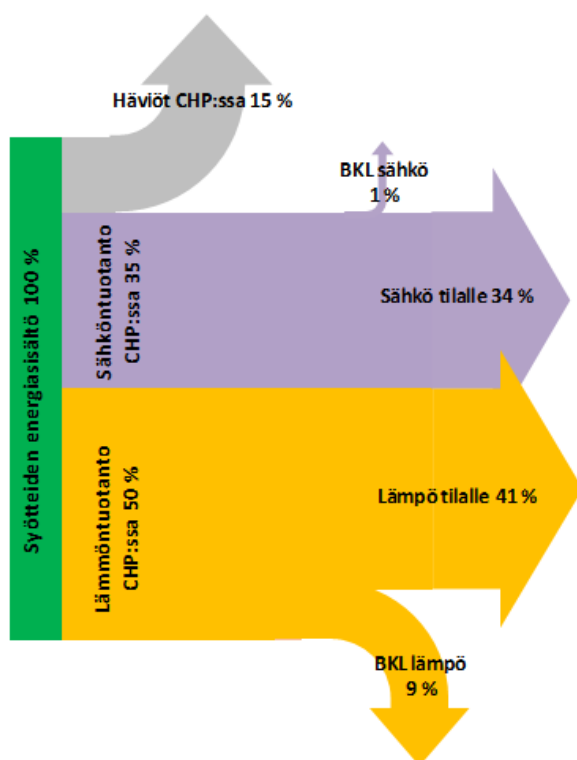
Pelkän lämmön tuotannossa lämpökattilan hyötysuhteeksi arvioitiin 90 % (www.metener.fi/biokaasulaitokset) ja biokaasulaitoksen omaksi lämmön tarpeeksi 10 % tuotetusta lämpöenergiasta (Metener Oy). Pelkästä lannasta nettolämpöä saadaan vuosittain 369 MWh ja lannan sekä lisäsyötteiden prosessoinnissa 465 MWh (taulukko 6.5.). Biokaasulla voisi näin tuottaa kolmasosan tilan tarvitsemasta lämpöenergiasta (1460 MWh/v) ja korvata tältä osin nykyisin käytettyä palaturvetta.

CHP:lla lämmön tuotannon hyötysuhteeksi arvioitiin 0,50 ja sähkön tuotannon hyötysuhteeksi 0,35 (www.metener.fi/biokaasulaitokset). Tällöin tila pystyisi korvaamaan joko 187 MWh (lanta) tai 235 MWh (lanta + lisäsyötteet) palaturpeella tuotetusta lämmöstä sekä merkittävän osan tilan verkosta ostamasta sähköstä (155 MWh lannasta tai 197 MWh lannasta ja lisäsyötteistä, kun sähkönkulutus 280 MWh/vuosi). CHP-tuotannon (lanta+lisäsyötteet) energiavirrat on esitetty kuvassa 6.1.



Taulukko 6.5. Biokaasusta saatavan energian hyödyntäminen broileritilalla. Tila kuluttaa nykytilassa 1460 MWh lämpöä ja 280 MWh sähköä.

Broileritila, suotopeti	Lanta	Lanta + lisäsyötteet
Syötteiden energiantuotto (MWh)	455	574
LÄMPÖ		
Lämmön tuotannon hyötysuhde	0,90	0,90
Tuotettu lämpö (MWh)	410	516
Laitoksen oma lämmöntarve (MWh)	41	52
Lämpö tilan käyttöön (MWh)	369	465
CHP		
Lämmön tuotannon hyötysuhde	0,50	0,50
Tuotettu lämpö (MWh)	228	287
Laitoksen oma lämmöntarve (MWh)	41	52
Lämpö tilan käyttöön (MWh)	187	235
Sähkön tuotannon hyötysuhde	0,35	0,35
Tuotettu sähkö (MWh)	159	201
Laitoksen oma sähköntarve (MWh)	4	4
Sähkö tilan käyttöön (MWh)	155	197



Kuva 6.1. Energiavirrat broileritilan biokaasulaitoksessa: lanta + lisäsyötteet, CHP-tuotanto.

Broileritilan biokaasuprosessin kannattavuus vaihteli sen mukaan, käytettiinkö syötteenä pelkkää lantaa vai myös lisäsyötteitä, ja hyödynnettiinkö biokaasu lämmöntuotannossa vai CHP-tuotannossa. Pelkän lannan käyttäminen ei aiheuta tilalle ylimääräisiä raaka-ainekustannuksia, kuten oljen ja säilörehun korjuu. Toisaalta lisäsyötteiden avulla biokaasua tuotetaan enemmän ja laitoksen kapasiteetti pystytään hyödyntämään paremmin. Samalla tavoin, vaikka biokaasun hyödyntäminen CHP-tuotannossa nostaa investointikuluja, ostetun sähkön korvaamisesta saadaan suurempi hyöty kuin pelkästä lämmöstä.

Biokaasulaitoksen muuttuvat kustannukset aiheutuvat päivittäisestä työstä, siilon täytöstä ja purusta, huolloista ja korjauksista sekä biokaasulaitoksen sähkönkulutuksesta. Biokaasulaitoksen vaatimaksi päivittäiseksi työajaksi arvioitiin laitosten valmistajan kanssa 15 minuuttia. Siilon täyttö ja purku tehdään seitsemän kertaa vuodessa siten, että päättyvän panoksen purku siilosta lantalaan tehdään vähän ennen kasvatuserän loppua ja seuraavan panoksen täyttö hallin tyhjennyksen yhteydessä. Kumpaankin arvioitiin menevän noin yksi työpäivä (2 x 8 h). Kannattavuuslaskelmaan työajaksi kirjattiin kuitenkin vain puolet tästä, koska lähtötilanteessa ilman biokaasulaitosta hallin tyhjennys lantalaan tehdään joka tapauksessa. Biokaasuntuotannon kannattavuuslaskennassa käytetyt hintatiedot on esitetty liitteessä 5.

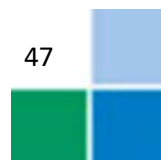
6.1.1. Biokaasuntuotto pelkällä lannalla

Pelkän lannan prosessoinnissa mädätteen varastoinnin tai levityksen kustannus ei muutu verrattuna tilan nykyiseen lannankäsittelyyn.

Biokaasulaitoksen vuosittaiset tuotot syntyvät joko lämmöntuotosta tai CHP-tuotosta, mutta lisäksi pientä rahallista hyötyä saadaan, kun tila säästää mineraalityypilannoituksessa. Tila käyttää omilla pelloilla n. 60 % lannasta, jolloin myös typen liukoistumisesta sama osuus kohdistuu omalle tilalle. Lämmöntuoton korvauskustannus laskettiin Tikkanen (2015) tietojen perusteella huomioiden kaikki lämmöntuoton kustannukset: ylläpito-, polttoaine- ja investointikustannus. Sähköntuoton korvauskustannuksena käytettiin sähkön keskimääräistä kuluttajahintaa vuonna 2017 (102,44 €/MWh).

Arvio biokaasulaitoksen investointikustannuksesta perustui Metener Oy:lta saatuun tarjoukseen. Taulukoihin 6.6. ja 6.7. arvioidut hinnat sisälsivät biokaasulaitoksen, lämpökattilan tai lämpökattilan ja CHP-yksikön, maatyöt (perustukset ja linjojen kaivu) sekä sähköliittymän. Investointitukea oletettiin saatavan 40 % investointikustannuksista. Annuiteetti laskettiin 5 %:n korolla ja 15 vuoden käyttöiällä.

Lämmöntuotossa vuosittaiset tuotot olivat suurempia kuin muuttuvat kustannukset, mutta kannattavuutta heikensi korkea investointikustannus. Vuosittainen tulos jäi n. 5 300 € tappiolle. Laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 16,5 vuotta (taulukko 6.6).



Taulukko 6.6. Biokaasun kannattavuus broileritilalla: ei lisäsyötteitä, lämmön tuotanto.

BROILERITILA				
SYÖTTEET				
lannan poisto				kustannus ei muutu
lannan varastointi				kustannus ei muutu
MÄDÄTE	krt/vuosi	h/kerta	€/h	€/vuosi
siilon täyttö ja purku	7	8	-49,20	-2 755,20
varastointi				kustannus ei muutu
levitys pellolle				kustannus ei muutu
	kg/vuosi	%	€/kg	€/vuosi
säästö typpilannoituksessa	845	60	0,90	456,35
YLLÄPITO	h/vrk	h/vuosi	€/h	€/vuosi
päivittäinen työ	0,25	91,25	-17,20	-1 569,59
huollot ja korjaukset (0,5 % investointihinnasta)				-1 177,64
ENERGIA		MWh/vuosi	€/MWh	€/vuosi
sähkönkulutus		4,2	-102,44	-430,74
lämmöntuotto		369	39,09	14 417,34
INVESTOINTI			€	€ / vuosi
biokaasulaitos lämpökattilalla*			245 500	
investointi yht.				
tuettu investointi (tuki 40 %)			147 300	
annuiteetti (5 %, 15 v)				-14 192,84
KANNATTAVUUS				€/vuosi
tuotot				14 874
muuttuvat kustannukset				-5 933
kate				8 941
kiinteät kustannukset				-14 193
tulos				-5 252
takaisinmaksuaika				16,5

* Hinta-arvio, sisältää biokaasulaitoksen, lämpökattilan, maatyöt ja sähköliittymän.

Vastaavasti kuin lämmöntuotossa, myös CHP-tuotossa vuosittaiset tuotot olivat suurempia kuin muuttuvat kustannukset, mutta investoinnin kannattavuutta heikensi korkea investointikustannus. Vuosittainen tulos jäi n. 2 800 € tappiolle. Laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 12,4 vuotta (taulukko 6.7.). Lämmöntuottoon verrattuna CHP-tuotossa lisäkustannuksia aiheutui CHP-yksikön korkeasta ylläpitokustannuksesta sekä investointikustannuksesta. Sähköntuotosta saatavat tulot ylittivät kuitenkin kustannukset, ja kokonaiskannattavuus oli parempi kuin lämmöntuotossa.

Taulukko 6.7. Biokaasun kannattavuus broileritilalla: ei lisäsyötteitä, CHP-tuotanto.

BROILERITILA				
SYÖTTEET				
lannan keruu				kustannus ei muutu
lannan varastointi				kustannus ei muutu
MÄDÄTE	krt/vuosi	h/kerta	€/h	€/vuosi
siilon täyttö ja purku	7	8	-49,20	-2 755,20
varastointi				kustannus ei muutu
levitys pellolle				kustannus ei muutu
	kg/vuosi	%	€/kg	€/vuosi
säästö typpilannoituksessa	845	60	0,90	456,35
YLLÄPITO	h/vrk	h/vuosi	€/h	€/vuosi
päivittäinen työ	0,25	91,25	-17,20	-1 569,59
huollot ja korjaukset (0,5 % investointihinnasta)				-1 177,64
		kWh/vuosi	snt/kWh	€/vuosi
CHP:n huolto		155 150	-2,5	-3878,76
ENERGIA		MWh/vuosi	€/MWh	€/vuosi
sähköntuotto		155	102,44	15 893,55
lämmöntuotto		187	39,09	7 297,67
INVESTOINTI			€	€/vuosi
biokaasulaitos lämpökattilalla*			245 500	
CHP (20 kW _{el})			49 800	
investointi yht.			295 300	
tuettu investointi (tuki 40 %)			177 200	
annuiteetti (5 %, 15 v)				-17 071,55
KANNATTAVUUS				€/vuosi
tuotot				23 648
muuttuvat kustannukset				-9 381
kate				14 266
kiinteät kustannukset				-17 072
tulos				-2 805
takaisinmaksuaika				12,4

* Hinta-arvio, sisältää biokaasulaitoksen, lämpökattilan, maatyöt ja sähköliittymän.

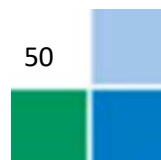
6.1.2. Biokaasuntuotto lannalla ja lisäsyötteillä

Kun biokaasun raaka-aineena käytetään lannan lisäksi olkea ja säilörehua, kustannuksia aiheutuu myös kasviraaka-aineen korjuusta ja varastoinnista. Oljelle laskettiin kustannukseksi pyöröpaalaus ja pellonreunavarastointi aumamuovilla peitettynä (Tuominen 2017). Nurmen viljelystä ei oletettu aiheutuvan kustannuksia, koska nurmen 1. sato korjataan nykytilan toimien mukaisesti hevosille heinäksi ja 2. sato biokaasun raaka-aineeksi. Myöskään niitosta ei oletettu aiheutuvan lisäkustannuksia, koska niitosta vastaavan naapuritilan viljelijän kanssa tehdään yhteistyötä. Säilörehu paalataan ja muovitetaan. Mädätettä syntyy lisäsyötteiden kanssa 468 m³ enemmän kuin pelkällä lannalla, mutta biokaasureaktorisiilot (2 x 240 m³) tarjoavat riittävästi lisävarastointitilaa. Mädätteen levityksen kustannus nousee tilavuuden kasvaessa lannan levitykseen verrattuna. Sekä lisääntyneistä lannoitusyödyistä että levityskustannuksista huomioitiin vain omalle tilalle kohdistunut osuus (60 %).

Lämmöntuotossa lisäsyötteiden käyttö ei parantanut laitoksen kannattavuutta. Lisäsyötteiden korjuusta aiheutuvat kustannukset olivat hiukan korkeampia kuin suuremmasta lämmöntuotosta saavutetut tuotot. Vuosittainen tulos jäi n. 4 900 € tappiolle. Laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 15,8 vuotta (taulukko 6.8).

CHP-vaihtoehdossa lisäsyötteiden käyttö paransi laitoksen kannattavuutta. Lisäsyötteiden korjuusta aiheutuvat kustannukset olivat suuremmasta sähköntuotosta saavutettuja tuotteita alhaisemmat. Vuosittainen tulos jäi silti n. 1 400 € tappiolle. Laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 11,3 vuotta (taulukko 6.9.). Lisäsyötteiden määrän nostaminen saattaisi edelleen parantaa kannattavuutta, koska laitokseen jäi laskennallisesti vapaata kapasiteettia (taulukko 6.9.). Tosin tällöin tuotannon viipymäaika pitäisi lyhentää, jolloin siilon täyttö ei enää ajoittuisi samaan ajankohtaan hallin tyhjennyksen kanssa.

Broileritilalle paras biokaasulaitoksen kannattavuus saatiin, kun biokaasun raaka-aineena käytettiin lannan lisäksi tilalta saatavia kasvibiomassoja ja biokaasun energiasisältö hyödynnettiin CHP-tuotannossa. Oman tilan kasvibiomassojen lisäksi reaktorisiilojen kapasiteetti mahdollistaisi suuremmankin lisäsyötteiden määrän (taulukko 6.3). Tosin tämä tarkoittaisi biokaasuprosessin viipymääjan lyhentämistä, jolloin reaktorisiilojen täyttö ei tapahtuisi enää samanaikaisesti hallin tyhjennyksen kanssa. Lisäsyötteiden määrää edelleen nostamalla CHP-tuotannosta voisi kuitenkin saada kannattavaa.



Taulukko 6.8. Biokaasun kannattavuus broileritilalla: lanta+lisäsyötteet, lämmön tuotanto.

BROILERITILA				
SYÖTTEET				
lannan keruu				kustannus ei muutu
lannan varastointi				kustannus ei muutu
	t/vuosi	t ka/vuosi	€/t ka	€/vuosi
olki, pyöröpaalaus + aumavarastointi	35,3	30,0	-45,00	-1 350,00
säilörehu, viljely (2.sato)+niitto				kustannus ei muutu
	kg/paali	kg ka/paali	€/paali	€/vuosi
säilörehu, paalien muovitus	700	210	-15,90	-1 325,00
MÄDÄTE	krt/vuosi	h/kerta	€/h	€/vuosi
siilon täyttö ja purku	7	8	-49,20	-2 755,20
varastointi				kustannus ei muutu
	m ³ /vuosi	%	€/m ³	€/vuosi
levitys pellolle	468	60	-2,49	-699,19
	kg/vuosi	%	€/kg	€/vuosi
säästö typpilannoituksessa	873	60	0,90	471,52
YLLÄPITO	h/vrk	h/vuosi	€/h	€/vuosi
päivittäinen työ	0,25	91,25	-17,20	-1 569,59
huollot ja korjaukset (0,5 % investointihinnasta)				-1 177,64
ENERGIA		MWh/vuosi	€/MWh	€/vuosi
sähkönkulutus		4,2	-102,44	-430,74
lämmöntuotto		465	39,09	18 160,87
INVESTOINTI			€	€/vuosi
biokaasulaitos lämpökattilalla*			245 500	
investointi yht.			147 300	
tuettu investointi (tuki 40 %)				
annuiteetti (5 %, 15 v)				-14 192,84
KANNATTAVUUS				€/vuosi
tuotot				18 632
muuttuvat kustannukset				-9 307
kate				9 325
kiinteät kustannukset				-14 193
tulos				-4 868
takaisinmaksuaika				15,8

* Hinta-arvio, sisältää biokaasulaitoksen, lämpökattilan, maatyöt ja sähköliittymän.

Taulukko 6.9. Biokaasun kannattavuus broileritilalla: lanta + lisäsyötteet, CHP-tuotanto.

BROILERITILA				
SYÖTTEET				
lannan keruu				kustannus ei muutu
lannan varastointi				kustannus ei muutu
	t/vuosi	t ka/vuosi	€/t ka	€/vuosi
olki, pyöröpaalaus + aumavarastointi	35,3	30,0	-45,00	-1 350,00
säilörehu, viljely (2.sato)+niitto				kustannus ei muutu
	kg/paali	kg ka/paali	€/paali	€/vuosi
säilörehu, paalien muovitus	700	210	-15,90	-1 325,00
MÄDÄTE	krt/vuosi	h/kerta	€/h	€/vuosi
siilon täyttö ja purku	7	8	-49,20	-2 755,20
varastointi				kustannus ei muutu
	m ³ /vuosi	%	€/m ³	€/vuosi
levitys pellolle	468	60	-2,49	-699,19
	kg/vuosi	%	€/kg	€/vuosi
säästö typpilannoituksessa	873	60	0,90	471,52
YLLÄPITO	h/vrk	h/vuosi	€/h	€/vuosi
päivittäinen työ	0,25	91,25	-17,20	-1 569,59
huollot ja korjaukset (0,5 % investointihinnasta)				-1 177,64
		kWh/vuosi	snt/kWh	€/vuosi
CHP:n huolto		196 530	-2,5	-4 913,20
ENERGIA		MWh/vuosi	€/MWh	€/vuosi
sähköntuotto		197	102,44	20 132,23
lämmöntuotto		235	39,09	9 192,54
INVESTOINTI			€	€/vuosi
biokaasulaitos lämpökattilalla*			245 500	
CHP (25 kWel)			55 500	
investointi yht.			301 000	
tuettu investointi (tuki 40 %)			180 600	
annuiteetti (5 %, 15 v)				-17 401,04
KANNATTAVUUS				€/vuosi
tuotot				29 796
muuttuvat kustannukset				-13 790
kate				16 006
kiinteät kustannukset				-17 401
tulos				-1 395
takaisinmaksuaika				11,3

* Hinta-arvio, sisältää biokaasulaitoksen, lämpökattilan, maatyöt ja sähköliittymän.

6.2. Kalkkunatilan suotopetiprosessi

Myös kalkkunatilalle tarkasteluun valittiin panostyyppinen suotopetiprosessi, joka ei vaadi kuivikepohjalannan välivarastointia. Reaktorisiilojen täyttö ajoitetaan tuotantohallin tyhjennykseen ja lanta ajetaan suoraan siiloon. Siilon purun yhteydessä mädäte varastoidaan katettuun lantalaan, josta se edelleen levitetään peltoon. Mädätteen varastointi ei vaadi lisää varastointitilaa. Lisäksi osa mädätteestä voidaan levittää suoraan siilosta peltoon.

Lämmöntuotanto biokaasusta korvaa osittain haketta ja sähköntuotanto verkosta ostettavaa sähköä. Nykyistä biolämpökattilaa käytetään jatkossakin lämmöntuotantoon. Kalkkunatilan kuivikepohjalanta ei sovellu sellaisenaan biokaasuntuotantoon, vaan sen joukkoon on lisättävä jonkin verran kasvimateriaalia nostamaan syötteen hiili-typpi-suhdetta (pelkän lannan C/N = 7,7). Kalkkunatilalla muodostuvan kuivikepohjalannan (590 t) lisäksi syötteenä käytettiin omilta pelloilta korjattua olkea (taulukko 6.10 ja 6.11).

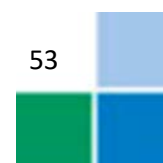
Taulukko 6.10. Kalkkunatilan suotopetiprosessin syötteet, mädätteet ja energian tuotto.

	Massa (t)	Tilavuus (m ³)	Tilavuus paino (kg/m ³)	BMP (Nm ³ CH ₄ /t tp)	CH ₄ (m ³)	Energia (MWh)
Kalkkunanlanta (82 %) + olki (8 %) = SYÖTE 3	641	1 426	450	103	65 970	660
Kalkkunanlannan ja oljen mädäte = MÄDÄTE 3	992	1 251	793	-	-	-

Taulukko 6.11. Kalkkunatilan pelloilta lisäsyötteeksi kerätty olki.

LISÄSYÖTE	Olki
Pinta-ala (ha)	22
Kuiva-ainesato (kg ka/ha)	2000
Kuiva-ainepitoisuus (%)	85
Tuorepaino (t)	51
Tilavuuspaino reaktorissa (kg/m ³)	200
Tilavuus reaktorissa (m ³)	256

Kalkkunatilan suotopetilaitos suunniteltiin yhdellä 600 m³ reaktorisiilolla (taulukko 6.12). Yhden reaktorisiilon heikkous on, että biokaasun tuotantoon tulee tauko panosten välille. Kalkkunatilalla tämä ei kuitenkaan ole ongelma, koska biokaasu korvaa tilan lämmöntuotantoa vain osin ja tilalle jää joka tapauksessa myös toinen lämmöntuotantotapa. Kalkkunatilan prosessin viipymäksi tulee tällöin 4,8 kuukautta (kasvatuseriä vuodessa 2,5) ja tarkastellulla syöteseoksella prosessoitu massa on 1 426 m³. Reaktorin maksimikapasiteetti laitostoimittajan ilmoittamalla 2 kk:n minimiviipymääjalla olisi 3 600 m³ eli laitokseen jää vielä vapaata kapasiteettia, jota voisi hyödyntää korjaamalla lisää olkea omilta pelloilta.



Reaktorisiilon täyttövaiheessa syöteseokseen ei lisätä vettä. Perkolaationesteestä kuitenkin osa imeytyy petiin (kalkkunanlanta kuivaa ja sisältää paljon vettä sitovaa kuiviketta) ja siihen on lisättävä vettä. Taulukossa 6.12 ilmoitettu lisäveden tarve on laskettu prosessin massataseen avulla.

Taulukko 6.12. Kalkkunatilan suotopetiprosessin parametrejä.

	Laitoksen kapasiteetti	Lanta + lisäsyötteen
Reaktorikoko (m ³)	600	600
Kerralla ladattava määrä (m ³)	600	570
Reaktorien lkm	1	1
Viipymä (kk)	2	4,8
Latausten määrä	6	2,5
Kapasiteetti (m ³)	3 600	1 430
Prosessin kuluttama vesi (m ³)	-	500
Laitoksen sähkön tarve (MWh/vuosi)	-	5,3

Kalkkunanlannalle tehtiin prosessikoe, jonka syötteen ja mädätteen ominaisuudet analysoitiin. Mädätteen ominaisuudet eivät kuitenkaan olleet linjassa broilerinlannan prosessikokeen tai laskennallisten esimerkkien kanssa. Ympäristövaikutusarvioinnissa ja kannattavuustarkastelussa päätettiin sen takia käyttää kalkkunatilan mädätteelle laskennallisia arvoja (taulukko 6.13). Kalkkunanlannan prosessikokeesta saatiin kuitenkin laskentaa varten arvot syötteen metaanintuottopotentiaalista, biokaasun metaanipitoisuudesta sekä mädätteen kuiva-ainepitoisuudesta. Teoreettinen mädätteen koostumus laskettiin vastaavasti kuin broileritilan teoreettiselle esimerkille.

Taulukko 6.13. Kalkkunatilan suotopetiprosessin syötteiden ja mädätteiden ominaisuudet.

	TS (%)	VS / TS	C / N	Ntot	Nliuk	NH ₄ -N	Ptot	Pliuk	K
	g/kg tp)								
Kalkkunanlanta + lisäsyötteen = SYÖTE 3	55,8	0,88	8,8	26,0	13,1	6,57	6,51	1,79	11,5
MÄDÄTE 3	21,0	0,79	5,2	16,8	10,1	8,59	4,21	1,16	7,42

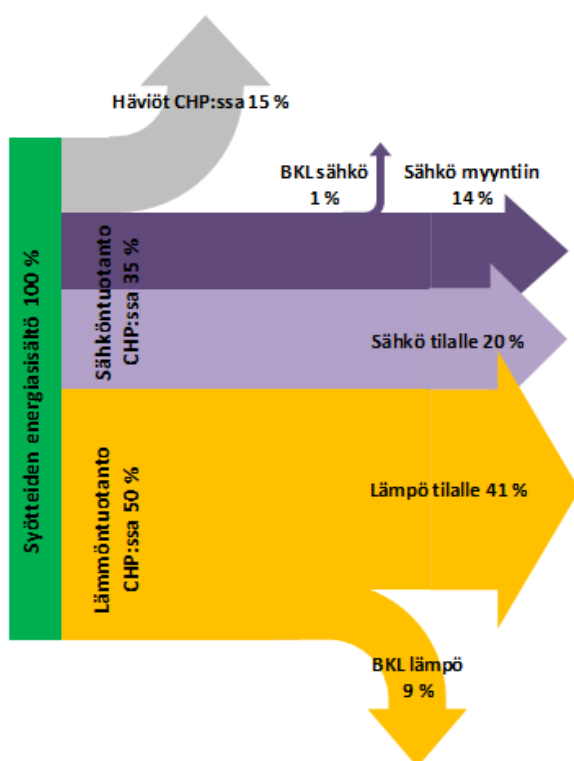
Kalkkunatilalla tarkastellut vaihtoehtoiset tavat hyödyntää biokaasun energiasisältöä ovat lämmöntuotanto tai yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto (CHP).

Biokaasukattilan hyötysuhteeksi arvioitiin 0,90 ja biokaasulaitoksen omaksi lämmön tarpeeksi 10 % tuotetusta lämpöenergiasta, jos kaikki biokaasu hyödynnetään lämmön tuotannossa. Tällöin tilan käyttöön tuotettaisiin 534 MWh lämpöä (taulukko 6.14), joka vastaa n. 40 % tilan tarvitsemasta lämpöenergiasta (1319 MWh/v) ja korvaa metsähaketta.

CHP-tuotannon lämmön tuotannon hyötysuhteeksi arvioitiin 0,50 ja sähkön tuotannon hyötysuhteeksi 0,35. CHP-tuotannossa tila pystyi korvaamaan 270 MWh metsähakkeella tuotetusta lämmöstä, mutta oli sähkön suhteen omavarainen (130 MWh/v). Yli oman tarpeen tuotettu sähkö (96 MWh/v) myytiin verkkoon (kuva 6.2).

Taulukko 6.14. Biokaasusta saatavan energian hyödyntäminen kalkkunatilalla. Nykytilassa tila kuluttaa 1319 MWh lämpöä ja 130 MWh sähköä.

Kalkkunatila, suotopeti	Lanta + lisäsyötteet
Syötteiden energiantuotto (MWh)	660
LÄMPÖ	
Lämmön tuotannon hyötysuhde	0,90
Tuotettu lämpö (MWh)	594
Laitoksen oma lämmön tarve (MWh)	59
Lämpö tilan käyttöön (MWh)	534
CHP	
Lämmön tuotannon hyötysuhde	0,50
Tuotettu lämpö (MWh)	330
Laitoksen oma lämmön tarve (MWh)	59
Lämpö tilan käyttöön (MWh)	270
Sähkön tuotannon hyötysuhde	0,35
Tuotettu sähkö (MWh)	231
Laitoksen oma sähkön tarve (MWh)	5
Sähkö tilan käyttöön (MWh)	130
Sähkö myyntiin (MWh)	96



Kuva 6.2. Energiavirrat kalkkunatilan biokaasulaitoksessa: CHP-tuotanto.

Kalkkunatilan suotopetiprosessin kannattavuus vaihteli sen mukaan, hyödynnettiinkö biokaasu lämmöntuotannossa vai CHP:lla. Biokaasun hyödyntäminen CHP-tuotannossa nostaa investointikuluja, mutta ostetun sähkön korvaamisesta saadaan suurempi hyöty kuin lämmön tuotannon korvaamisesta. Toisaalta kalkkunatilan syötesekoksella, jossa lannan joukkoon oli lisätty hieman olkea, sähköä tuotettiin jo yli oman tarpeen. Sähköstä saatava myyntihinta (33,21 €/MWh) on vain noin kolmannes sähkön ostohinnasta (102,44 €/MWh), koska ostohintaan sisältyy sähkön siirtomaksu ja verot.

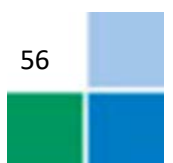
Biokaasulaitoksen muuttuvat kustannukset aiheutuvat päivittäisestä työstä, siilon täytöstä ja purusta, huolloista ja korjauksista sekä biokaasulaitoksen sähkönkulutuksesta. Biokaasulaitoksen vaatimaksi päivittäiseksi työajaksi arvioitiin laitostoimittajan kanssa 15 minuuttia. Siilon täyttö ja purku tehdään kaksi ja puoli kertaa vuodessa (viisi kertaa kahdessa vuodessa). Edellisen panoksen purku siilosta lantalaan tehdään vähän ennen kasvatuserän loppua ja seuraavan panoksen täyttö tuotantohallin tyhjennyksen yhteydessä. Kumpaankin arvioitiin menevän kaksi työpäivää (2 x 16 h). Kannattavuuslaskelmaan työajaksi kirjattiin kuitenkin vain puolet tästä, koska tilanteessa ilman biokaasulaitosta halli tyhjennetään lantalaan joka tapauksessa.

Kun biokaasun raaka-aineena käytetään lannan lisäksi kasvibiomassaa, kustannuksia aiheutuu myös kasviraaka-aineen korjuusta ja varastoinnista. Oljelle laskettiin kustannukseksi pyöröpaalaus ja pellonreunavarastointi aumamuovilla peitettynä (Tuominen 2017). Vaikka biokaasuprosessissa lannan joukkoon sekoitetaan jonkun verran olkea, mädätteen varastointi ei vaadi lisää varastotilaa, koska osa mädätteestä voidaan varastoida reaktorisiilossa ja levittää sieltä suoraan peltoon. Mädätteen levityksen kustannus nousi tilavuuden kasvaessa lannan levitykseen verrattuna. Sekä lisääntyneistä lannoitus- ja hyödyistä että levityskustannuksista huomioitiin vain omalle tilalle kohdistunut osuus (50 %).

Biokaasulaitoksen vuosittaiset tuotot syntyvät joko lämmöntuotosta tai CHP-tuotosta, mutta lisäksi pientä rahallista hyötyä saadaan, kun tila säästää mineraalityypilannoituksessa. Lämmöntuoton korvauskustannus oletettiin samansuuruiseksi kuin broileritilalla.

Arvio biokaasulaitoksen investointikustannuksesta perustui Metener Oy:lta saatuun tarjoukseen. Taulukkoon 6.15 arvioitu hinta sisälsi biokaasulaitoksen, lämpökattilan tai lämpökattilan ja CHP-yksikön, maatyöt (perustukset ja linjojen kaivu) sekä sähköliittymän. Investointitukea oletettiin saatavan 40 % investointikustannuksista. Annuiteetti laskettiin 5 %:n korolla ja 15 vuoden käyttöiällä.

Lämmöntuotossa vuosittaiset tuotot olivat suurempia kuin muuttuvat kustannukset, mutta investoinnin kannattavuutta heikensi korkea investointikustannus. Vuosittainen tulos jäi jonkin verran tappiolle. Laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 11,5 vuotta (taulukko 6.15). Koska osa lähtöarvoista oli vain arvioita, laskelmaa tulee mahdollista investointia suunnitellessa tarkentaa.



Taulukko 6.15. Biokaasun kannattavuus kalkkunatilalla: lanta + lisäsyötteet, lämmön tuotanto.

KALKKUNATILA				
SYÖTTEET				
lannan keruu				kustannus ei muutu
lannan varastointi				kustannus ei muutu
	t/vuosi	t ka/vuosi	€/t ka	€/vuosi
olki, pyöröpaalaus + aumavarastointi	51,1	43,5	-45,00	-1 955,85
MÄDÄTE	krt/vuosi	h/kerta	€/h	€/vuosi
siilon täyttö ja purku	2,5	16	-49,20	-1 968,00
varastointi				kustannus ei muutu
	m ³ / vuosi	%	€/ m ³	€/ vuosi
levitys pellolle	81	50	-2,49	-100,85
	kg / vuosi	%	€/ kg	€/ vuosi
säästö typpilannoituksessa	1 581	50	0,90	711,40
YLLÄPITO	h/vrk	h/vuosi	€/h	€/vuosi
päivittäinen työ	0,25	91,25	-17,20	-1 569,59
huollot ja korjaukset (0,5 % investointihinnasta)				-1 304,36
ENERGIA	MWh/vuosi		€/MWh	€/vuosi
sähkönkulutus		5,3	-102,44	-538,42
lämmöntuotto		534	39,09	20 890,57
INVESTOINTI			€	€/vuosi
biokaasulaitos lämpökattilalla*			270 900	
investointi yht.				
tuettu investointi (tuki 40 %)			162 500	
annuiteetti (5 %, 15 v)				-15 657,86
KANNATTAVUUS				€/vuosi
tuotot				21 602
muuttuvat kustannukset				-7 437
kate				14 165
kiinteät kustannukset				-15 658
tulos				-1 493
takaisinmaksuaika				11,5

* Hinta-arvio, sisältää biokaasulaitoksen, lämpökattilan, maatyöt ja sähköliittymän.

CHP-vaihtoehto ei parantanut laitoksen kannattavuutta. Vuosittainen tulos jäi edelleen hiukan tappiolle ja laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 11,3 vuotta (taulukko 6.16). Syynä CHP-tuotannon heikkoon kannattavuuteen oli, että kaikkea tuotettua sähköä ei kulutettu tilalla, vaan siitä jäi lähes puolet myytäväksi tilan ulkopuolelle. Tilan ulkopuolelle myydystä sähköstä arvioitiin saatavan n. 3,3 snt/kWh, kun CHP:n huoltoon kului 2,5 snt/kWh. Kun lisäksi huomioidaan CHP:n korkea investointikustannus, sähkön tuotosta myyntiin ei saa nykyisellä hintatasolla juurikaan voittoa. Valitulla lisäsyötteen määrällä laitokseen jäi vielä vapaata kapasiteettia. Oljen määrän lisääminen ei kuitenkaan toden-

näköisesti paranna kannattavuutta sen paremmin lämmöntuotannossa kuin CHP-tuotannossa. Lisäsyötteiden hankinnasta muodostuva kustannus on suunnilleen samaa suuruusluokkaa kuin lämmön käytöstä tai sähkön myynnistä saatava tulo.

Taulukko 6.16. Biokaasun kannattavuus kalkkunatilalla: lanta + lisäsyötteet, CHP-tuotanto.

KALKKUNATILA				
SYÖTTEET				
lannan keruu				kustannus ei muutu
lannan varastointi				kustannus ei muutu
	t/vuosi	t ka/vuosi	€/t ka	€/vuosi
olki, pyöröpaalaus + aumavarastointi	51,1	43,5	-45,00	-1 955,85
MÄDÄTE	krt/vuosi	h/kerta	€/h	€/vuosi
siilon täyttö ja purku	2,5	16	-49,20	-1 968,00
varastointi				kustannus ei muutu
	m ³ /vuosi	%	€/m ³	€/vuosi
levitys pellolle	81	50	-2,49	-100,85
	kg/vuosi	%	€/kg	€/vuosi
säästö typpilannoituksessa	1 581	50	0,90	711,40
YLLÄPITO	h/vrk	h/vuosi	€/h	€/vuosi
päivittäinen työ	0,25	91,25	-17,20	-1 569,59
huollot ja korjaukset (0,5 % investointihinnasta)				-1 304,36
		kWh/vuosi	snt/kWh	€/vuosi
CHP:n huolto		130 000	-2,5	-3 250,00
ENERGIA		MWh/vuosi	€/MWh	€/vuosi
sähkön tuotto omaan käyttöön		130	102,44	13 317,14
sähkön myynti		96	33,21	3 176,48
lämmön tuotto		271	39,09	10 574,24
INVESTOINTI			€	€/vuosi
biokaasulaitos lämpökattilalla*			270 900	
CHP (30 kW _{el})			60 600	
investointi yht.			331 500	
tuettu investointi (tuki 40 %)			198 900	
annuiteetti (5 %, 15 v)				-19 160,86
KANNATTAVUUS				€/vuosi
tuotot				27 779
muuttuvat kustannukset				-10 149
kate				17 631
kiinteät kustannukset				-19 161
tulos				-1 530
takaisinmaksuaika				11,3

* Hinta-arvio, sisältää biokaasulaitoksen, lämpökattilan, maatyöt ja sähköliittymän.

6.3. Munatilan suotopeti- ja tulppavirtausprosessit

Munatilalle suunniteltiin kaksi vaihtoehtoista biokaasuprosessia: panostyyppinen suotopetiprosessi ja jatkuvatoiminen tulppavirtausprosessi. Kummassakin tapauksessa munintakananlanta vaatii lisäsyötteen jokin kasvimateriaalia korkean typpipitoisuutensa ja tiiviytensä vuoksi.

Suotopetiprosessiin kasvilisäsyötteiksi käytettiin olkea (ka 85 %), heinää (ka 86 %) ja heinänä korjattua HVP-nurmea (ka 86 %) (taulukko 6.17 ja 6.18) (HVP = hoidettu viljelemätön pelto). Heinä korjattiin omilta pelloilta ja olki sekä HVP-nurmi lähiseudun pelloilta. Kaikki kasvimateriaalit kanttipaalattiin ja varastoitiin pellonreunassa aumamuovilla peitetynä (Tuominen 2017).

Tulppavirtausprosessiin nurmi on korjattava kosteampana säilörehuna, sillä muuten se ei liety lannan joukkoon riittävän hyvin. Osa säilörehusta (70 ha) korjattiin omilta pelloilta ja loput lähiseudun HVP-nurmilta. Säilörehu paalattiin ja käärittiin muoviin.

Taulukko 6.17. Suotopeti- ja tulppavirtausprosessien syötteet, mädätteet ja energian tuotto.

	Massa (t)	Tilavuus (m ³)	Tilavuuspaino (kg/m ³)	BMP (Nm ³ CH ₄ /t tp)	CH ₄ (m ³)	Energia (MWh)
Kananlanta + olki (17 %) + heinä (8 %)+HVP-nurmi (8 %), suotopedin syöte = SYÖTE 4	3 300	8 980	367	105	347 230	3 472
Suotopedin mädäte = MÄDÄTE 4	2 498	3 620	690	-	-	-
Kananlanta (45 %) + apilalanurmi (55 %), tulppavirtauksen syöte = SYÖTE 5	4 889	8 853	552	58	284 730	2 847
Tulppavirtauksen mädäte = MÄDÄTE 5	7 388	7 388	1000	-	-	-
Mädätteestä separoitu nestejäte	4 504	4 504	1000	-	-	-
Mädätteestä separoitu kuivajäte	2 884	3 729	798	-	-	-

Taulukko 6.18. Munatilan biokaasuprosessin kasvilisäyötteet.

LISÄSYÖTTEET	Suotopeti	Tulppavirtaus
OLKI		
Pinta-ala (ha)	234	
Kuiva-ainesato (kg ka/ha)	2 000	
Kuiva-ainepitoisuus (%)	85	
Tuorepaino (t)	550	
Tilavuuspaino reaktorissa (kg/m ³)	200	
Tilavuus reaktorissa (m ³)	2 750	
HEINÄ		
Pinta-ala (ha)	70	
Kuiva-ainesato (kg ka/ha)	2 500	
Kuiva-ainepitoisuus (%)	86	
Tuorepaino (t)	244	
Tilavuuspaino reaktorissa (kg/m ³)	200	
Tilavuus reaktorissa (m ³)	1 220	
HVP-NURMI (heinä)		
Pinta-ala (ha)	105	
Kuiva-ainesato (kg ka/ha)	2 500	
Kuiva-ainepitoisuus (%)	86	
Tuorepaino (t)	306	
Tilavuuspaino reaktorissa (kg/m ³)	200	
Tilavuus reaktorissa (m ³)	1 530	
SÄILÖREHU		
Pinta-ala (ha)		376
Kuiva-ainesato, yksi niitto (kg ka/ha)		2 500
Kuiva-ainepitoisuus (%)		35
Tuorepaino (t)		2 690
Tilavuuspaino reaktorissa (kg/m ³)		500
Tilavuus reaktorissa (m ³)		5 380

6.3.1. Suotopetiprosessi

Munatilan suotopetiprosessi suunniteltiin kolmelle 1 000 m³ reaktoriin (taulukko 6.19). Prosessin viipymäksi tulee tällöin 4,0 kuukautta ja panoksia on vuodessa yhdeksän. Kapasiteettia on ylimäärin, sillä laitostoimittajan ilmoittama minimiviipymä panokselle on kaksi kuukautta. Koska kananlantaa muodostuu jatkuvasti, sille tarvitaan riittävän suuri välivarasto. Määdä voidaan sen sijaan varastoida tilan katettuun lantalaan. Lisävarastointitilaa ei lisäsyötteillekään tarvita, koska reaktoriin otetaan riittävästi lisävarastointitilaa. Osa mädätteestä voidaan myös levittää peltoon suoraan reaktoriin.

Taulukko 6.19. Munatilan suotopetiprosessin parametrejä.

	Laitoksen kapasiteetti	Lanta + lisäsyötteet
Reaktorikoko (m ³)	1 000	1 000
Kerralla ladattava määrä (m ³)	1 000	1 000
Reaktorien lkm	3	3
Viipymä (kk)	2,0	4,0
Latausten määrä	18	9
Kapasiteetti (m ³)	18 000	9 000
Prosessin kuluttama vesi (m ³)	-	0
Laitoksen sähkönkulutus (MWh/vuosi)	-	26
Kaasun puhdistuksen ja paineistuksen sähkönkulutus (MWh/vuosi)	-	155

Kananlannalle tehty prosessikoe epäonnistui (ks. osio 3.2.1), minkä takia munatilalle suunniteltiin uusi teoreettinen syöteseos (SYÖTE 4), jota käytettiin laskennassa. Teoreettinen mädätteen koostumus laskettiin vastaavasti kuin broileri- ja kalkkunatilojen teoreettisille esimerkeille (taulukko 6.20). Typen liukoistumiskertoimenä käytettiin samoin kerrointa 1,2. Syöteseoksen laskennallinen ammoniumtypen määrä oli kuitenkin huomattavasti korkeampi kuin broileri- ja kalkkunatilojen prosesseissa, mistä syystä oletettiin, että mädätteen kaikki liukoinen tyyppi oli ammoniumtyppinä.

Taulukko 6.20. Munatilan suotopetiprosessin syötteiden ja mädätteen ominaisuudet.

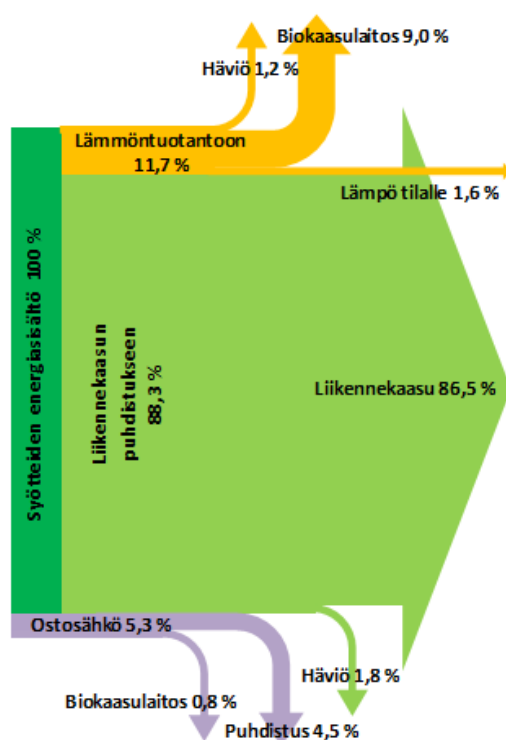
	TS (%)	VS / TS	C / N	Ntot	Nliuk	NH ₄ -N	Ptot	Pliuk	K
Kananlanta + lisäsyötteet = SYÖTE 4	48,2	0,82	14,2	13,5	4,06	2,91	3,08	0,49	10,6
MÄDÄTE 4	31,5	0,64	7,1	17,7	6,08	6,08	4,06	0,65	14,0

Munatilalla biokaasusta puhdistetaan liikennekaasua. Kaasun puhdistuksen sähkönkulutukseksi oletettiin 0,24 kWh/m³ raakakaasua ja kaasun paineistuksen sähkönkulutukseksi 0,27 kWh/m³ biometaania (taulukko 6.19). Laskennan pohjana käytetyt luvut olivat BioGTS:n tarjouksesta tulppavirtausreaktorille.

Biokaasulaitos on varustettu myös kaasukattilalla ja osasta kaasua tuotetaan lämpöä biokaasulaitoksen, tilan ja asuinrakennuksen käyttöön (taulukko 6.21, kuva 6.3). Biokaasulla korvataan kevyttä polttoöljyä lämmityksessä. Suotopetireaktoriin ei yhdistetä sähköntuottoa biokaasusta. Biokaasulaitoksen, tilan ja asuinrakennuksen tarvitsema sähkö ostetaan verkosta.

Taulukko 6.21. Biokaasusta saatavan energian hyödyntäminen munatilalla.

Munatila, suotopeti	Lanta + lisäsyötteet
Syötteiden energiantuotto (MWh)	3 472
LÄMPÖ	
Lämmön tuottoon menevä osuus	407
Lämmön tuotannon hyötysuhde	0,90
Tuotettu lämpö yht. (MWh)	367
Laitoksen oma lämmön tarve (MWh)	313
Tila + asuinrakennus (MWh)	54
LIIKENNEKAASU	
Kaasun puhdistukseen menevä osuus	3 065
Kaasun puhdistuksen hyötysuhde	0,98
Tuotettu liikennekaasu (MWh)	3 004
Tuotettu liikennekaasu (kg)	21 610
Autoja (kpl), keskilukulutus 4,6 kg/100 km, ajomatka 18 000 km/vuosi	261



Kuva 6.3. Energiavirrat munatilan suotopetilaitoksessa: liikennekaasun tuotanto.

Riittävän lisäsyötemäärän saamiseksi biokaasulaitokseen munatilan oletettiin tekevän sopimuksen lähiseudun viljelijöiden kanssa. Sopimuksen mukaan munatila saisi veloituksen käydä korjaamassa olkea viljoilta tai vihermassaa kesantopelloilta, mutta vastaavasti munatila kävisi levittämässä halutuille pelloille biokaasulaitoksen mädätettä. Biokaasulaitoksen kustannuksiin otettiin näin ollen mukaan oljen, heinän (omat pellot) ja HVP-nurmen korjuu ja varastointikustannus sekä mädätteen levityskustannus. Säästöä typpilannoituksessa ei huomioitu, koska hyöty kohdistui lähinnä naapuritilan pelloille (taulukko 6.22).

Koska lantaa poistetaan kanalasta kaksi kertaa viikossa, mutta biokaasureaktorin lataus tapahtuu vain yhdeksän kertaa vuodessa, tarvitaan lannalle välivarastointi. Välivaraston (387 m^3) koko saatiin jakamalla vuosittain syntyvä lantamäärä latausten lukumäärällä.

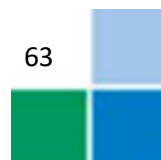
Munatilan suotopetireaktorin päivittäinen työaika oletettiin suuremmaksi (1 h) kuin broileri- ja kalkkunatilalla, koska biokaasulaitoksen yhteydessä on myös kaasun puhdistus ja tankkausasema. Myös laitoksen huoltokustannus oletettiin korkeammaksi samasta syystä (1 % investointihinnasta).

Lämmöntuoton korvauskustannukseksi valittiin pelkkä kevyen polttoöljyn hinta, koska öljylämmityksessä investointikustannuksen osuus on pieni. Kanalan lämmitystarpeen (34 MWh/vuosi) lisäksi asuinrakennuksen lämmitystarpeeksi oletettiin 20 MWh/vuosi.

Biokaasulaitos saa pääasialliset tulonsa liikennekaasun myynnistä. Kaasu riittää 261 henkilöauton vuosikulutukseen (18 000 km/vuosi; 4,6 kg CH₄/100 km). Tästä 100 auton oletettiin käyvän tilan omalla tankkausasemalla (hinta 1,17 €/kg, alv 0) ja loput liikennekaasusta myytiin jakelijan kautta (hinta 0,78 €/kg, alv 0).

Biokaasulaitosinvestointiin oletettiin saatavan tukea 30 % investointikustannuksesta. Tukiprosentti on matalampi kuin broileri- ja kalkkunatilan laitoksille, koska munatilalla energiaa myydään liikennekaasuna ulos tilalta. Jos tilalta myydään ulos muuta kuin sähköä, energian myyntiin tulee perustaa maaseutuyritys, jolle tukea voidaan myöntää enintään 30 % investointikustannuksista.

Munatilan suotopetilaitos liikennekaasun puhdistuksella osoittautui kannattavaksi (taulukko 6.22). Vuosittain tuloa saatiin 22 000 € ja laitoksen takaisinmaksuajaksi laskettiin 7,6 vuotta. Lopullista investointipäätöstä varten laskelmaa pitäisi kuitenkin vielä tarkentaa. Laitoksen rakennuskustannukseen epävarmuutta tuo mm. rakennuspaikan valinta, mikä vaikuttaa maatöiden kustannuksiin. Tässä ei myöskään huomioitu sitä, löytyykö paikkakunnalta riittävästi kaasuautoilijoita vierailemaan tilan omalla tankkausasemalla. Lähiseudulta kuitenkin jo löytyy kaksi muuta kaasuntankkausasemaa 35 km:n säteellä.



Taulukko 6.22. Biokaasun kannattavuus munatilalla: suotopetireaktori, lanta + lisäsyötteet, liikennekaasun puhdistus.

MUNATILA, SUOTOPETI				
SYÖTTEET				
lannan keruu				kustannus ei muutu
	m ³	€/m ³	€	
lannan välivarastointi	387	23	8893	otettu mukaan investointikustannuksiin
	t/vuosi	t ka/vuosi	€/t ka	€/vuosi
olki: kanttipaalaus + aumava-	550	468	-55,00	-25 712,50
		ha	€/ha	€/vuosi
heinä: niitto, karhotus ja pöy-		70	-82,00	-5 733,00
	t/vuosi	t ka/vuosi	€/t ka	€/vuosi
heinä: kanttipaalaus +	244	210	-55,00	-11 550,00
		ha	€/ha	€/vuosi
HVP-nurmi: niitto, karhotus ja		105	-82,00	-8 615,88
	t/vuosi	t ka/vuosi	€/t ka	€/vuosi
HVP-nurmi: kanttipaalaus +	306	263	-55,00	-14 465,00
MÄDÄTE	krt/vuosi	h/kerta	€/h	€/vuosi
siilon täyttö ja purku	9	32	-49,20	-14 169,60
varastointi				kustannus ei muutu
		m ³ /vuosi	€/m ³	€/vuosi
levitys pellolle		3 620	-2,49	-9 013,80
säästö typpilannoituksessa				kustannus ei muutu
YLLÄPITO	h/vrk	h/vuosi	€/h	€/vuosi
päivittäinen työ	1	365	-17,20	-6 278,34
huollot ja korjaukset				-8 282,55
ENERGIA		MWh/vuosi	€/MWh	€/vuosi
lämmöntuotto (tila + asuinra-		54	70,65	3 818,04
laitoksen sähkönkulutus		26	-102,44	-2 692,11
kaasun puhdistuksen sähkön-		200	-102,44	-15 843,55
liikennekaasun myynti		3 004		
omalta tankkausasemalta		1 151	84,13	96 822,58
jakelijan kautta (161 autoa)		1 853	56,08	103 914,44
INVESTOINTI			€	€/vuosi
biokaasulaitos lämpökattilalla*			508 900	
lannan välivarastointi			8 900	
puhdistus, paineistus ja tank-			375 300	
investointi yht.			893 100	
tuettu investointi (tuki 30 %)			625 200	
annuiteetti (5 %, 15 v)				-60 233,57
KANNATTAVUUS				€/vuosi
tuotot				204 555
muuttuvat kustannukset				-122 356
kate				82 199
kiinteät kustannukset				-60 234
tulos				21 965
takaisinmaksuaika				7,6

* Hinta-arvio, sisältää biokaasulaitoksen, lämpökattilan, maatyöt ja sähköliittymän.

6.3.2. Tulppavirtausprosessi

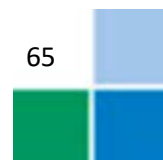
Munatilalle suunniteltiin yksi vaakasuuntainen, konttimallinen tulppavirtausreaktori 480 m³ aktiivisella tilavuudella (taulukko 6.23). Prosessiin syötetään päivittäin noin 24 m³ uutta raaka-ainetta ja siitä poistetaan mädätettä. Tulppavirtausprosessissa lannalle ei vaadita välivarastoa vaan päivittäin muodostuva lanta voidaan syöttää reaktoriin. Sen mädäte on kuitenkin kosteampaa kuin suotopetiprosessin ja vaatii jälkikäsittelyksi separoinnin kuiva- ja nestejakeiksi. Syntyvä kuivajae voidaan varastoida tilan kuivalantalassa, mutta syntyvälle nestejakeelle pitää rakentaa uusi varastosäiliö.

Laitoksen sähkönkulutus ilmoitettiin laitostoimittajan antamassa tarjouksessa. Mädäte separoitiin ruuvipuristimella. Separoinnin sähkönkulutukseksi oletettiin 0,1725 kWh/m³ (Fleming & MacAlpine 2003) ja lietteen pumppauksen sähkönkulutukseksi saman verran.

Taulukko 6.23. Munatilan tulppavirtausprosessin parametrejä.

Munatila, tulppavirtaus	Lanta + lisäsyötteet
Reaktorien lkm	1
Aktiivinen tilavuus (m ³)	480
Latausten määrä	kerran päivässä
Kerralla ladattava määrä (m ³)	24
Viipymä (vrk)	20
Kapasiteetti (m ³ /vuosi)	8 900
Prosessin kuluttama vesi (m ³)	0
Laitoksen sähkönkulutus (MWh/vuosi)	200
Separoinnin ja lietteen pumppauksen sähkönkulutus (MWh/vuosi)	3
Kaasun puhdistuksen ja paineistuksen sähkönkulutus (MWh/vuosi)	100

Munintakananlannalle tehty tulppavirtauksen prosessikoe onnistui hyvin. Siitä huolimatta myös tulppavirtausprosessille päädyttiin laskemaan teoreettinen mädätteen koostumus (taulukko 6.24), jotta prosessi ei olisi eriarvoisessa asemassa typen hyödyntämisen kannalta suotopetiprosessiin verrattuna. Lähtöarvoina laskennassa käytettiin prosessikokeen tuloksia. Liukoisen typen ja ammoniumtypen määrät mädätteessä laskettiin siten, että typen kokonaismäärä pidettiin samana ja käytettiin samoja suhteita liukoisen typen suhteelle kokonaistyppeen nähden ja ammoniumtypen suhteelle liukoiseen tyyppiin nähden. Laskennalliset arvot poikkesivat analysoiduista vain hieman.



Taulukko 6.24. Munatilan tulppavirtausprosessin syötteiden ja mädätteiden ominaisuudet.

	TS %	VS / TS	C / N	N _{tot}	N _{liuk}	NH ₄ -N	P _{tot}	P _{liuk}	K
	(g/kg tp)								
Kananlanta + lisäsyötteet = SYÖTE 5	32,5	0,84	12,9	9,78	4,20	2,03	2,87	0,73	12,0
MÄDÄTE 5	11,6	0,70	6,8	6,47	4,42	2,87	1,90	0,48	7,97

Muodostuvien kuiva- ja nestejakeiden koostumus arvioitiin (taulukko 6.25). Erottelukerroin kuvaa sitä osaa, joka siirtyy separoinnissa mädätteestä kuivajakeeseen. Erottelukerrotimet laskettiin regressiomallilla Luken omien ruuvipuristuskokeiden (Bauer S655, märkäprosessin mädäte) tulosten perusteella (Pyykkönen 2018). Ruuvipuristus valittiin, koska se soveltuu hyvin korkean kiintoainepitoisuuden lietteiden käsittelyyn. Ruuvipuristuksen ravinteiden erotuskyky ei kuitenkaan ole kovin hyvä. Saatu kuivajae sisälsi kuitenkin jonkin verran enemmän fosforia kuin nestejake, ja nestejake puolestaan sisälsi jonkin verran enemmän typpeä.

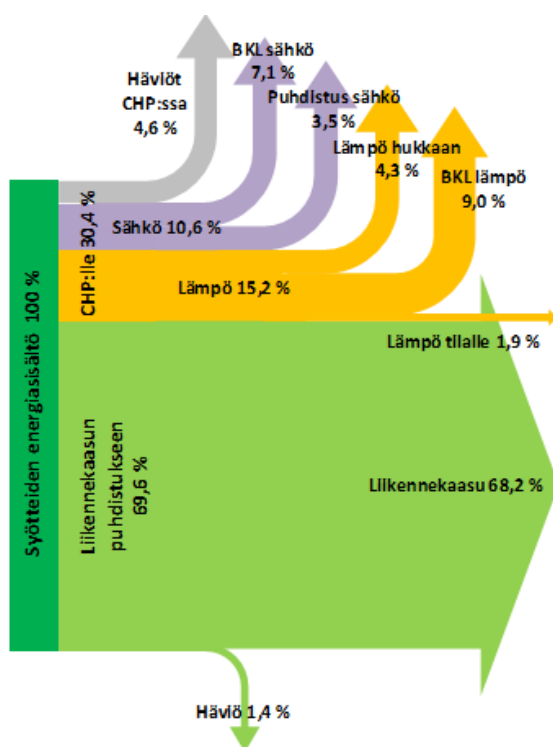
Taulukko 6.25. Tulppavirtausprosessin mädätteen separointi ruuvipuristimella. Erottelukerroin kuvaa kuivajakeeseen päätyvää osuutta.

	Mädäte	Erottelu- kerroin (%)	Kuivajae	Nestejake
Massa (t)	7 388	39,0	2 884	4 504
TS (g/kg)	116	68,9	205	59
VS (g/kg)	81	68,9	143	41
VS / TS	0,70		0,70	0,70
N _{tot} (g/kg)	6,47	37,6	6,24	6,63
N _{liuk} (g/kg)	4,42	34,0	3,85	4,79
NH ₄ -N (g/kg)	2,87	34,0	2,50	3,10
P _{tot} (g/kg)	1,90	48,0	2,33	1,62
P _{liuk} (g/kg)	0,48	39,7	0,49	0,48
K (g/kg)	7,97	39,7	8,10	7,88

Myös tulppavirtausprosessissa syntyvästä biokaasusta puhdistetaan liikennekaasua. Kaasun puhdistuksen sähkönkulutukseksi oletettiin laitosten valmistajan ilmoittama 0,24 kWh/m³ raakakaasua ja kaasun paineistuksen sähkönkulutukseksi 0,27 kWh/m³ biometaania. Biokaasulaitos on varustettu kaasukattilalla ja CHP-yksiköllä. Biokaasusta tuotetaan lisäksi lämpöä biokaasulaitoksen, tilan ja asuinrakennuksen käyttöön sekä sähköä biokaasulaitoksen käyttöön (taulukko 6.26, kuva 6.4). Biokaasulla korvataan kevyttä polttoöljyä lämmön tuotannossa.

Taulukko 6.26. Biokaasusta saatavan energian hyödyntäminen munatilalla.

Munatila, tulppavirtaus	Lanta + lisäsyötteet
Syötteiden energiantuotto (MWh)	2 847
CHP	
CHP-tuottoon menevä osuus	865
Lämmön tuotannon hyötysuhde	0,50
Tuotettu lämpö yht. (MWh)	310
Laitoksen oma lämmönkulutus (MWh)	256
Tilan + asuinrakennuksen lämmönkulutus (MWh)	54
Sähkön tuotannon hyötysuhde	0,35
Tuotettu sähkö yht. (MWh)	303
Laitoksen oma sähkönkulutus (MWh)	200
Separoinnin sähkönkulutus (MWh)	3
Kaasun puhdistuksen sähkönkulutus (MWh)	100
LIIKENNEKAASU	
Kaasun puhdistukseen menevä osuus	1 982
Kaasun puhdistuksen hyötysuhde	0,98
Tuotettu liikennekaasu (MWh)	1 943
Tuotettu liikennekaasu (kg)	13 976
Autoja (kpl, vuosikulutus)	169



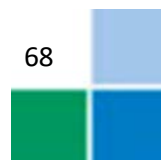
Kuva 6.4. Energiavirrat munatilan tulppavirtauslaitoksessa: liikennekaasun tuotanto.

Prosessikokeissa lisäsyötteenä käytettiin apilanurmesta tehtyä säilörehua. Mahdollisesti säilörehua voisi tehdä myös HVP-nurmesta. Joka tapauksessa kannattavuuslaskelmassa oletettiin, että munatila saisi veloituksetta käydä korjaamassa nurmea, mutta vastaavasti munatila kävisi levittämässä pelloille biokaasulaitoksen mädätettä. Biokaasulaitoksen kustannuksiin otetaan mukaan nurmen korjuu ja varastointikustannus sekä mädätteen levityskustannus (taulukko 6.27). Säästöä typpilannoituksessa ei huomioitu, koska hyöty kohdistui lähinnä naapuritilan pelloille. Mädäte separoitiin neste- ja kuivajakeiksi.

Munatilan tulppavirtausreaktorin päivittäinen työaika sisälsi myös reaktorin päivittäisen täytön ja tyhjennyksen sekä mädätteen separoinnin. Laitostoimittajan arvio päivittäisestä työajasta on 6 h/vrk. Laitoksen huoltokustannuksen lisäksi laskettiin erikseen huoltokustannus CHP-yksikölle, joka perustui sähköntuottomäärään.

Liikennekaasun puhdistuksen lisäksi biokaasusta tuotetaan lämpöä ja sähköä CHP-yksiköllä. CHP-tuotantomäärä mitoitetaan sähkönkulutuksen mukaan siten, että sähköä riittää laitokselle, separointiin ja kaasun puhdistukseen (taulukko 6.26). Samalla tuotetaan lämpöä, jota käytetään laitoksen, tilan ja asuinrakennuksen lämmöntarpeen kattamiseen ja loppu oli hukkalämpöä. Tilan ja asuinrakennuksen lämmölle laskettiin korvaushyöty (taulukko 6.27). Pääasialliset tulonsa biokaasulaitos saa liikennekaasun myynnistä. Kaasu riittää 169 henkilöauton vuosikulutukseen (4,6 kg/100 km, 18 000 km/vuosi). Tästä 100 auton oletetaan käyvän tilan omalla tankkausasemalla (hinta 1,17 €/kg) ja loput liikennekaasusta myydään jakelijan kautta (hinta 0,78 €/kg).

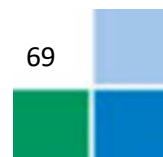
Munatilan tulppavirtauslaitos liikennekaasun puhdistuksella osoittautui raskaasti tappiolliseksi (taulukko 6.27). Kannattavuutta heikensi korkea investointihinta, suuri lisäsyötteiden tarve, mädätteen separointitarve, erillinen varastoallas nestejakeelle, suuri päivittäinen työmäärä ja korkea laitoksen oma energiankulutus. Lisäksi prosessikokeissa valitulle syöteseokselle saatiin suhteellisen matala biometaanituottopotentialiaali, jota käytettiin laitoksen tuottaman biokaasumäärän arviointiin. Prosessia edelleen optimoimalla syöteseoksella olisi ehkä mahdollista saavuttaa korkeampi biokaasun tuotto.



Taulukko 6.27. Biokaasun kannattavuus munatilalla: tulppavirtausreaktori, lanta + li-
säsyötteet, liikennekaasun puhdistus.

MUNATILA, TULPPAVIRTAUS				
SYÖTTEET				
lannan keruu				kustannus ei muutu
		ha	€/ha	€/ vuosi
nurmi: niittomurskaus		376	-39,20	-14 756,62
	kg/paali	paalien lkm	€/paali	€/ vuosi
nurmi: paalaus + käärintä	700	3 841	-15,90	-61 076,19
MÄDÄTE				
biokaasureaktorin täyttö ja tyh- jennys				sisältyy päivittäi- seen työaikaan
	m ³	€/m ³	€	
lisävarastointitarve, nestejae	4 504	24	108 093	mukana investointi- kustannuksissa
lisävarastointitarve, kuivajae	249	23	5 727	
		m ³ /vuosi	€/m ³	€/ vuosi
levitys pellolle, nestejae		4 504	-2,73	-12 295,60
levitys pellolle, kuivajae		3 729	-2,49	-9 285,21
säästö typpilannoituksessa				kustannus ei muutu
YLLÄPITO	h/vrk	h/vuosi	€/h	€/vuosi
päivittäinen työ	6	2 190	-17,20	-37 668,00
huollot ja korjaukset (1 % investointihinnasta)				-25 948,00
		kWh/vuosi	snt/kWh	€/vuosi
CHP:n huolto		303 082	-2,5	-7 577,06
ENERGIA		MWh/vuosi	€/MWh	€/vuosi
lämmöntuotto (tila + asuinrak.)		54	70,65	3 817,78
liikennekaasun myynti		1 943		
omalta tankkausas.(100 autoa)		1 151	84,13	96 822,58
jakelijan kautta (148 autoa)		792	56,08	44 403,13
INVESTOINTI			€	€/vuosi
biokaasulaitos lämpökattilalla ja CHP-yksiköllä*			2 045 900	
separaattori			35 000	
lisävarastointitarve			113 820	
puhdistus, paineistus, tankkaus			569 900	
investointi yht.			2 764 620	
tuettu investointi (tuki 30 %)			1 935 234	
annuiteetti (5 %, 15 v)				-186 444,89
KANNATTAVUUS				€/vuosi
tuotot				145 043,75
muuttuvat kustannukset				-168 606,68
kate				-23 562,93
kiinteät kustannukset				-186 444,89
tulos				-210 007,81
takaisinmaksuaika				

* Hinta-arvio, sisältää biokaasulaitoksen, lämpökattilan, CHP-yksikön (120 kW_{el}), maatyöt ja sähköliittymän.



7. Lannan polton kannattavuus pilottibroileritilalla

Tavoitteena lannan hyödyntämisessä lämmityspolttoaineena siipikarjatilalla on tuotantokustannusten pienentäminen lämmityksen ja lannan levityksen osalta. Poltto kiinnostaa myös ratkaisuna lannan levitysalan puutteeseen. Siipikarjanlannoista kysymykseen tulee lähinnä broilerinlanta sen muita lantoja korkeamman kuiva-ainepitoisuuden vuoksi. Broilerinlannan kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 60–70 %.

Lannanlevitystä rajoittavan fosforin tiivistyminen poltosta jäljelle jäävään tuhkaan mahdollistaisi fosforin kuljettamisen kauemmille pelloille pienemmin kuljetus- ja levityskustannuksin. Lannan käsittelyn kustannukset kasvavat erityisesti silloin, kun tilan peltojen fosforiluvut ovat korkeita ja lantaa joudutaan kuljettamaan kauemmas. Vaihtoehto voi olla lannan luovutus ulos tilalta, jolloin lannasta ei välttämättä saada sen ravinnearvoa vastaavaa korvausta.

Broilerinlannan polton kannattavuustarkastelulla arvioitiin, millaisen investoinnin lannan poltosta syntyvät vuosittaiset kustannussäästöt kattavat. Lämmityspolttoaine- ja lannan levityskustannusten pienenemisestä muodostuvia kustannussäästöjä tarkastellaan siten laskelmissa investoinnin tuottoina. Lannan poltosta syntyy toisaalta uusia muuttuvia kustannuksia: lannan siirto lämmitysjärjestelmään ja tuhkan siirto ja levitys sekä lainsäädännön edellyttämät mittaukset. Kustannuksiin laskettiin myös poltossa syntyvä typen hävikki ja fosforin liukoisuuden alentuminen. Jotta lannan poltto olisi taloudellisesti kannattavaa, säästöjen ja lisäkustannusten erotuksen eli vuotuisen nettotuoton tulisi vähintään kattaa mahdollisten investointien pääoma- ja ylläpitokustannukset.

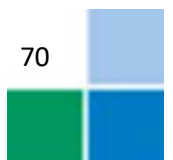
Pilottibroileritilan tuotantohallit lämmitetään kiinteän polttoaineen kattilalla, jonka lämpöteho on 500 kW. Polttoaineena käytetään haketta ja turvetta, joiden kulutuksen perusteella vuotuiseksi energiankulutukseksi oli laskettu 1460 kW. Tarkastelu tehtiin laskennan yksinkertaistamiseksi pelkän hakkeen käyttöön ja korvaamiseen perustuen.

Tarkastelu tehtiin lannan 10–50 % osuudelle lämmitysenergiasta. Polttoon käytettävän lannan osuus kaikesta pilottitilalla syntyvästä lannasta oli vastaavasti noin 10–50 %. Vuodessa muodostuvan lannan energiasisältö vastasi suurin piirtein vuotuista hallien lämmitykseen kuluvaa energiaa.

Lannan lämpöarvona käytettiin polttokokeissa käytetyn lannan analyysiarvoja, joissa lannan tehollinen lämpöarvo oli keskimäärin 4,59 kWh/kg kuiva-ainetta. Lannan kuiva-aineprosenttina käytettiin 70 % ja irtotiheytenä 405 kg/m³, jolloin tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on 1,19 MWh/m³. Hakkeen lämpöarvona käytettiin 0,79 MWh/m³.

Lannan siirron työnmenekiksi (etukuormaajalla lantalasta polttosiilon) arvioitiin 2,5 min/m³. Pilottitilalla esimerkiksi 25 % lannan osuus energiasta tarkoittaisi noin 10 m³ lannan siirtoa viikossa, johon kuluisi 25 minuuttia. Siirron kustannus laskettiin kuormaustyön urakointihinnalla (49 e/h).

Lannan levityskustannusten arvioinnissa käytettiin keskimääräisiä urakointihintoja. Levityskustannuksen lisäksi huomioitiin siirron kustannus, koska polton kautta tavoitteena on vähentää kauemmas, n. 5 km etäisyydelle siirrettävää lantaa. Kuivalannan levityksen kes-



kimääräinen urakointihinta oli 2,49 e/m³ vuonna 2016. Siirtokustannus laskettiin lietteen siirtotaksan mukaan, joka oli 0,39 e/m³/km.

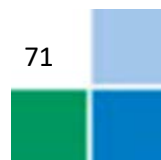
Tuhkan levityskustannuksia varten arvioitiin poltossa muodostuvan tuhkan määrä ja tuhkan fosforipitoisuus. Kokopuuhakkeen tuhkapitoisuus on noin 0,4–0,6 % kuiva-aineessa, hakkuutähteillä 1,33–6 % kuiva-aineessa (Alakangas ym. 2016). Laskelmassa käytettiin hakkeen tuhkapitoisuutena 1 % kuiva-aineesta, jonka arvioitiin vastaavan sekapuuhakkeen tuhkapitoisuutta. Lannan tuhkapitoisuutena käytettiin polttokokeiden lanta-analyysien tulosta, joka oli 13,9 % kuiva-aineessa.

Tuhkan fosforipitoisuuden laskennassa lannasta peräisin olevan fosfori laskettiin lanta-analyysin pitoisuudesta, jolloin lantatuhkan laskennalliseksi fosforipitoisuudeksi tuli 8,2 %. Puun tuhkan fosforipitoisuutena käytettiin 1,5 % (Makkonen 2008). Hake-lanta-seosten tuhkan määrä ja fosforipitoisuus laskettiin syötteiden suhteissa.

Suurin osa poltossa syntyvästä tuhkasta on peräisin lannasta, jolloin lannan osuuden kasvu ei vaikuta kovin paljon tuhkan kasveille käyttökelpoisen fosforin laskennalliseen pitoisuuteen (4,2–4,7 %). Tuhkan levitysmääränä käytettiin 700 kg/ha, jolloin fosforilannoitus on keskimäärin 30 kg/ha. Tuhkan levityskustannus laskettiin lannoitteenlevityksen keskimääräisellä urakointihinnalla (16,1 e/ha v. 2016). Lisäksi laskettiin siirtokustannukset viiden kilometrin etäisyydelle traktorityön tuntihinnalla (52,4 e/h).

Lainsäädäntö edellyttää lannan poltossa vuotuisia päästömittauksia ja jatkuvaa lämpötilanmittausta ja mittaustulosten tallennusta. Päästömittausten kustannuksiksi on arvioitu 2500–3500 euroa + matkakulut. (Arffman ym. 2018). Lämpötilan seurannan mittalaitteiston vuosittaisen kalibroinnin kustannusarvio päästömittausten yhteydessä tehtynä on 500–700 euroa (Arffman ym. 2018). Laskelmassa palvelun kokonaiskustannuksena käytettiin 3500 euroa.

Typen hävikki laskettiin lanta-analyysin liukoisen typen mukaan. Tuhkafosforille käytetään esimerkiksi ympäristökorvausjärjestelmän ehdoissa 40 % liukoisuutta, mutta hankkeen kokeiden mukaan lantatuhkan liukoisuus voi olla tätä suurempi. Laskennassa käytettiin 60 % liukoisuutta. Typpikilon hintana käytettiin 0,90 e/kg ja fosforikilon hintana 1,7 e/kg. Yhteenvedo lannan polton vuotuisista tuotoista ja lisäkustannuksista on esitetty taulukossa 7.1.



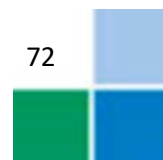
Taulukko 7.1. Yhteenveto lannan polton vuotuisista tuotoista ja lisäkustannuksista

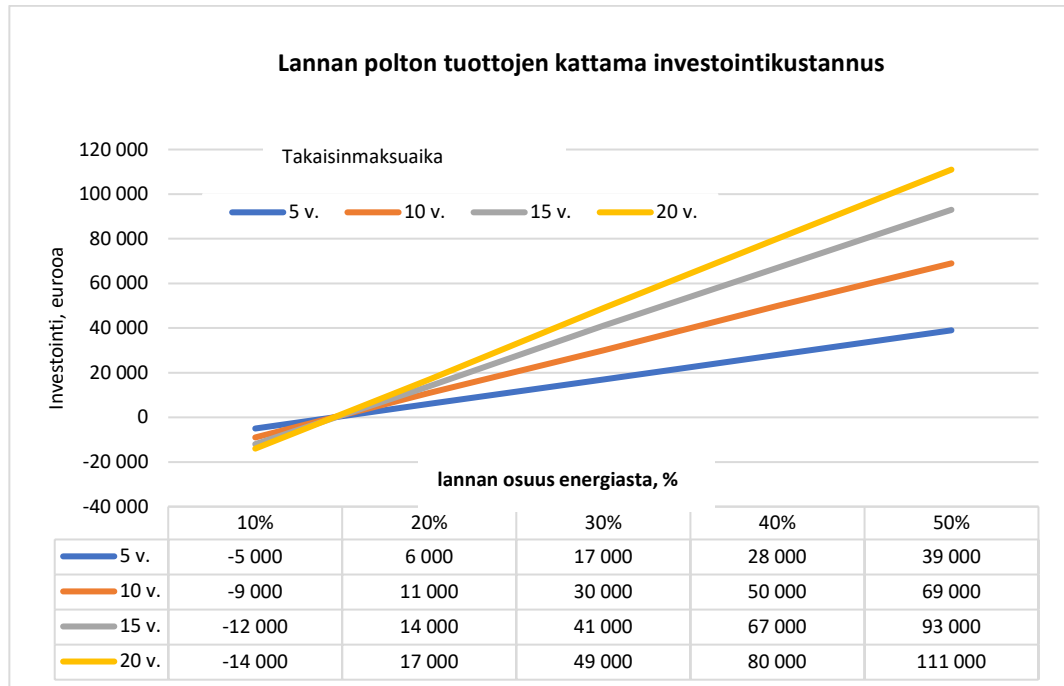
Lannan osuus energiasta	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
energia hakkeesta, MWh	1 460	1 314	1 168	1 022	876	730
haketta, m3	2 170	1 953	1 736	1 519	1 302	1 085
lantaa, m3	0	144	288	432	576	720
TUOTOT (kustannussäästö)						
hakekustannus	0	3 050	6 100	9 150	12 200	15 250
lannan levityskustannus	0	640	1 279	1 919	2 558	3 198
Yhteensä	0	3 689	7 379	11 068	14 758	18 447
KUSTANNUKSET						
lannan siirto polttosiiloon	0	-299	-597	-896	-1 194	-1 493
tuhkan levityskustannus	0	-292	-430	-569	-707	-845
typen hävikki	0	-416	-833	-1 249	-1 665	-2 082
fosforin hävikki	0	-318	-635	-953	-1 271	-1 589
mittauskustannukset	0	-3 500	-3 500	-3 500	-3 500	-3 500
Yhteensä	0	-4 825	-5 996	-7 166	-8 337	-9 508
vuotuinen nettotuotto	0	-1 136	1 383	3 902	6 421	8 940

Syntyvillä vuotuisilla nettotuotoilla katettava enimmäisinvestointi laskettiin annuiteetti-menetelmällä viiden prosentin korkokannalla ja 5–20 vuoden poistoajoille. Annuiteettilaskentaa käytettiin käänteisesti, koska tarkasteltiin lannan osuuden vaikutusta. Samalla voidaan arvioida investoinnin takaisinmaksuaikaa. Tulokset on esitetty kuvassa 7.1.

Lannan poltto ei tilojen nykyisissä kattiloissa tehtyjen polttotestien perusteella ole mahdollista ilman investointeja savukaasujen puhdistustekniikkaan. Suomalaisten siipikarjatilojen lämpökattilat ovat lämpöteholtaan yleensä 500–1000 kW kokoluokassa, johon tarvittava tekniikka tulee kustannuksiltaan suhteellisen kalliiksi. Lainsäädännön edellyttämän hiukkaspäästöraja-arvon saavuttamiseksi todennäköisin tekniikka on kuitusuodatus, joilla erotusaste on korkea pienillekin hiukkasille (Ohlström ym.2005).

Laitetoimittajan arvio letkusuodatinlaitteiston (sis. savukaasupuhallin) kustannukseksi 500 kW kattilaan on 50–60 000 euroa (Dust Control Systems). Suurin yksittäinen ylläpitokustannus aiheutuu varsinaisista suodattimista. Toimittajan arvio letkusuodatuslaitteiston suodatinten vaihtoväliksi on viisi vuotta ja suodatinsetin hinnaksi 5000–6000 euroa. Muutakin huoltokuluja luonnollisesti tulee. Arvioidut ylläpitokulut tulee lisätä investointikustannukseen laitteen arvioidun elinkaaren ajalle.





Kuva 7.1. Investointikustannus, joka olisi katettavissa lannan poltosta muodostuvilla tuotoilla. Investoinnin elinkaaren aikaiset ylläpitokustannukset on arvioitava investoinnin hintaan.

Lannan käyttö hakkeen ohessa edellyttää käytännössä rinnakkaista syöttöjärjestelmää, jotta lanta saadaan tasaisesti syötettyä polttoon. Laitetoimittajan antama karkea kustannusarvio on 25–30 000 euroa (Arterm 2018) syöttöjärjestelmälle, joka käsittää välisäiliön purkainpohjan, kuljettimet ja automatiikan. Purkainpohjan päälle rakennettavasta säiliöstä syntyy myös kustannuksia.

Kun vielä huomioidaan rakennus- ja asennuskustannukset, lannan poltto tilalla edellyttää vähintään 100 000 euron investointeja. Teknistä ja taloudellista käyttöikää ajatellen realistinen poisto aika kyseisille laiteinvestoinneille olisi todennäköisimmin 10 vuotta. Lannan 50 prosentin osuus poltossa kattaisi laskelman perusteella vajaan 70 000 euron investoinnin 10 vuoden poistojalla.

8. Siipikarjanlannan käsittelyn ja prosessoinnin ympäristövaikutukset pilottitiloilla

Elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnilla saadaan laaja kuva ympäristövaikutusten muutoksista, jotka aiheutuvat, kun tarkasteltavassa järjestelmässä siirrytään käyttämään erilaista tekniikkaa tai muutetaan toimintamallia. Tässä hankkeessa elinkaariarviointia sovellettiin pilottitilojen ympäristövaikutusten arviointiin, jotta voidaan verrata, minkälaisia ympäristövaikutuksia aiheutuu, jos toimintaa tiloilla tehostetaan tai siirrytään lannan energiahyödyntämiseen.

8.1. Yleinen menetelmäkuvaus

Ympäristövaikutuksia tarkasteltiin elinkaariarviointiin (Life cycle assessment, LCA) perustuvalla standardoidulla menetelmällä (ISO 14040). Menetelmässä rajataan ensin tarkasteltava systeemi eli määritellään tarkasteltavat vaiheet ja prosessit sekä mitä ympäristövaikutuksia tarkasteluun sisällytetään. Sen jälkeen kootaan tarkastelussa tarvittavat tiedot kuten prosessiin tulevat syötteet ja ulos lähtevät virrat ja niihin liittyvät päästötiedot. Vaikutusarvioinnissa päästöt muutetaan yhteismitallisiksi, jolloin voidaan arvioida, kuinka merkittäviä eri ympäristövaikutukset ovat toisiinsa nähden. Tarkempi kuvaus menetelmästä on esitetty liitteessä 6.

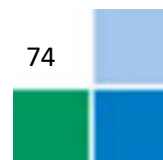
Tässä työssä ympäristövaikutusten arviointi toteutettiin käyttäen seurannaisvaikutuslista elinkaariarviointimenetelmää. Siinä nykytilannetta verrattiin vaihtoehtoiseen tapaan käsitellä lantaa. Tarkastelussa otettiin huomioon suorat vaikutukset päästöihin ja energiankulutukseen varsinaisessa lantajärjestelmässä, mutta myös seurannaisvaikutukset muihin tuotantojärjestelmiin, kuten kuivikkeiden, energian- ja lannoitteiden tuotantoon sekä niistä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin kunkin pilottitilatarkastelun rajauksen sallimissa määrin.

Elinkaariarviointimallinnus toteutettiin SimaPro-ohjelmistolla, johon on kytketty laaja Ecoinvent-tietokanta. Lähtötiedon kokoamisessa hyödynnettiin tiloilta kerättyä tietoa, kirjallisuutta sekä asiantuntija-arvioita.

8.2. Vaikutusarviointimenetelmä

Inventaarioaineiston perusteella laskettiin ympäristövaikutusindikaattoritulokset seuraaville vaikutusluokille: ilmastonmuutos, happamoituminen ja hiukkasten muodostuminen. Järjestelmään sisällytettiin vaikutukset, jotka tapahtuvat 100 vuoden ajanjakson sisällä.

Ilmastonmuutokseen vaikuttavia päästöjä ovat hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja dityppioksidi (N₂O). Metaanin ja dityppioksidin vaikutus on moninkertainen hiilidioksidiin nähden. Bioperäisten CO₂-päästöjen ei ajatella aiheuttavan ilmastonmuutosvaikutusta, koska hiilidioksidi sitoutuu biomassaansa sen kasvaessa. Tästä syystä esimerkiksi lannankäsittelyn hiilidioksidipäästöjä ei huomioida ilmastovaikutuksia arvioitaessa. Huomioitavaa kuitenkin on, että metsähakkeen poltossa vapautuva hiilidioksidi nostaa ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, koska poltossa hiilidioksidi vapautuu nopeammin, kuin mitä vastaavan puumäärän kasvaminen ja hiilidioksidin sitominen ilmakehästä tapahtuu. Hakkeen polton ilmastovai-



kutus riippuu myös siitä, minkälaista puuta hakkeeseen on käytetty. Pystypuun harvennuksen vaikutus metsän hiilivarastoon on merkittävästi suurempi kuin hakkuutähteiden korjuun vaikutus. Elinkaarilaskennassa huomioitiin eri vaihtoehtoja puun polton hiilidioksidipäästöille. Turpeesta vapautuva päästö huomioidaan fossiilisena.

Happamoittavia päästöjä ovat mm. ammoniakki, ja typen ja rikin oksidit. Päästöjä vapautuu lannan käsittelyn eri vaiheista. Happamoittavat päästöt alentavat maan pH:ta ja heikentävät anionisten ravinteiden saatavuutta kasveille sekä lisäävät myrkyllisten alumiini- ja raskasmetallikationien liukoisuutta.

Hiukkaspäästöt ovat ihmisen terveyteen vaikuttava tekijä. Hiukkaspitoisuutta ilmakehässä lisäävät suorat hiukkaspäästöt ja epäsuorat hiukkaspäästöt. Suoria hiukkaspäästöjä syntyy esimerkiksi polton yhteydessä ja epäsuoria hiukkaspäästöjä, kuten ammoniakkia muodostuu lannan käsittelystä.

Päästöjen karakterisoinnissa käytettiin ReCiPe-keskipistemallinnusta (ReCiPe Midpoint H 2016), joka täydennettiin ilmastonmuutosvaikutusten osalta IPCC:n kertoimilla metaanille ja dityppioksidille (IPCC 2014).

Lisäksi rehevöittäviä vaikutuksia arvioitiin kvalitatiivisesti. Koska monet tekijät vaikuttavat ravinteiden huuhtoutumiseen peltokäytöstä (maaperä, P-luku, kaltevuus, sää, sijainti, levitysajankohta ja -tapa), on huuhtoutumisvaikutusten arviointi hankalaa.

8.3. Lannankäsittelyketjujen päästöjen laskentaperusteet

8.3.1. Lannasta peräisin olevat kaasumaiset päästöt

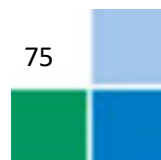
Lannasta eläinsuojassa, varastoinnin aikana sekä levityksessä vapautuvat ammoniakkipäästöt (NH_3) laskettiin käyttämällä kansainvälisiä päästölaskentaohjeita (EMEP/EEA 2016) ja kansallista laskentamallia (Grönroos ym. 2017).

Typpikaasun (N_2) sekä typpioksidin (NO) päästöjen laskenta perustui myös EMEP/EEA:n (2016) laskentaohjeisiin. Dityppioksidipäästöt (N_2O) ja metaanipäästöt laskettiin IPCC:n ohjeiden mukaisesti (IPCC 2006).

Laskentaohjeiden päästökertoimet NO , N_2 ja N_2O -päästöille sisältävät sekä eläinsuojassa että varastoinnissa syntyvät päästöt. Broileri- ja kalkkunatiloilla päästöt jaettiin eläinsuojalle ja varastoinnille lannan viipymääjan suhteessa, jotta lannan varastoinnissa tapahtuneiden muutosten vaikutukset näihin päästöihin voitiin arvioida. Munatilalla NO ja N_2 ja N_2O -päästöjen oletettiin muodostuvan kokonaan varastointivaiheessa, koska lantaa poistetaan eläinsuojasta tiheämmin kuin kalkkuna- ja broileritilalla.

Munatilalla lanta poistetaan eläinsuojasta lantahihnalla kaksi kertaa viikossa. Eläinsuojan ammoniakkipäästöjen oletettiin olevan tehokkaan lannanpoiston vuoksi noin puolet päästölaskentaohjeiden mukaisesta oletusarvosta.

Myös metaanipäästöjen laskentaohjeessa päästökerroin sisältää sekä eläinsuojan että varastoinnin päästöt. Lantaketjun metaanipäästöistä eläinsuojassa oletettiin syntyvän kuivikepohjalannoilla noin puolet (broileri- ja kalkkunatila) ja munatilalla 10 % tiheimmän lannanpoiston vuoksi.



Mädätteen varastoinnille sovellettiin edellä esitettyjä lannan varastoinnin päästölaskentaohjeita, sillä tarkempaa tietoa mädätteen varastoinnin aikaisista päästöistä ei tois-
taiseksi ole käytettävissä. Huomioitavaa kuitenkin on, että mädäte on sekä tulppavirtaus-
että suotopetiprosessin jälkeen märempää kuin syötteenä käytetty lanta, mikä saattaa
lisätä varastoinnista aiheutuvien metaanipäästöjen riskiä, etenkin jos viipymäaika proses-
sissa on jäänyt liian lyhyeksi. Riittävän pitkä viipymäaika prosessissa vähentää mädätteen
jälkikaasuuntumista varastossa.

Tulppavirtausprosessin jälkeen mädäte separoidaan kuivaan ja nestejakeeseen. Jälkikaasua saattaa syntyä etenkin nestejakeesta. Mädätteen metaanipäästöihin vaikuttaa viipy-
mäajan lisäksi myös varastointitapa- ja -lämpötila. Alhainen lämpötila alentaa varastoin-
nin metaanipäästöjä.

Liitteessä 5 on esitetty pilottitilojen nykytilan, tehostetun nykytilan ja biokaasuvaihtoeh-
don lannan varastointitavat ja -osuudet, sekä yksityiskohtaiset tiedot levityksestä.

8.3.2. Kuljetukset ja konetyö

Lannan ja mädätteen kuljetusten ja tilalla tapahtuvan konetyön (mm. lannan kuljetus
varastointiin, lannan levitysajo, lisäsyötteiden paalaus) päästöt perustuvat VTT:n LIPASTO-
tietokantaan (www.lipasto.vtt.fi), Ecoinvent-tietokantaan (Ecoinvent v3) sekä Baltic-
manure-hankkeessa tuotettuihin tietoihin (Tybirk ym. 2013). Nämä kuljetukset on esitetty
tuloksissa kuljetukset-prosessissa. Muut kuin lannankäsittelyyn liittyvät kuljetukset on
sisällytetty niihin suoraan liittyvään tuotantoprosessiin (esimerkiksi turpeen kuljetus tilalle
sisältyy turpeen tuotantoprosessin päästöihin).

8.3.3. Energian tuotto

Tiloilla tuotetaan nykytilassa lämpöenergiaa polttamalla kattilassa palaturvetta, haketta
tai polttoöljyä. Laskennassa käytetyt polttoaineiden polton päästökertoimet on esitetty
taulukossa 8.1 (Karvosenoja 2018, Soimakallio 2018). Polttoaineiden (turve, hake ja kevyt
polttoöljy) hankintaketjujen lähtötietoina on käytetty Ecoinvent-tietokantaa (Ecoinvent
v3).

Taulukko 8.1. Polttoaineiden polton päästökertoimet

Päästö	Hake	Turve	Polttoöljy	Biokaasu	mg/MJ
CO ₂ , fossiilinen	55*	103	74,5	0,1/12,5*	g/MJ
NO _x	100	100	70	70	mg/MJ
SO ₂		200	40		mg/MJ
Kokonaishiukkaset (TSP**)	100	100	2,86	0,2	mg/MJ
Hiukkaset <2,5µm	90	80	1,99	0,2	mg/MJ

* Ks teksti

** TSP = Total Suspended Particles

Koska hakkeen alkuperästä ja ominaisuuksista ei ollut tarkkaa tietoa saatavilla, hakkeen polton hiilidioksidipäästöille käytettiin laskennassa suomalaisen keskimääräisen hakkeen arviota 55 g CO₂/MJ (Soimakallio 2018). Lisäksi herkkyystarkastelussa arvioitiin hakkeen alkuperän (hakkuutähde, harvennuspuu) vaikutuksia päästökertoimeen ja edelleen koko laskentaan.

IPCC:n (2006) laskentaohjeen mukaan biokaasun poltosta aiheutuu metaanipäästö, joka vastaa 0,1 g CO₂ekv/MJ. REDII-laskentaohjeessa (European Commission 2016) päästökero on tätä huomattavasti korkeampi, 12,5 g CO₂ekv/MJ. REDII-laskentaohjeen mukaan biokaasun poltossa (sähkön ja lämmön tuotannossa) osa biokaasusta voi jäädä palamatta ja siten aiheuttaa metaanipäästöjä. On kuitenkin epäselvää, soveltuuko olettaus myös biokaasulle, kun siitä tuotetaan pelkästään lämpöä. Laskennassa käytettiin oletusarvona IPCC:n kerrointa ja herkkyystarkastelussa myös REDII-laskentaohjeen kerrointa.

Munatilalle suunnitelluissa biokaasuratkaisussa biokaasusta jalostetaan liikennepolttoainetta. Käyttö liikennepolttoaineena sisällytettiin tarkasteluun, mutta biokaasun mahdollisen kuljetuksen ja säilytyksen aikaiset päästöt ja metaanivuodot rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Tulppavirtausprosessissa laitoksen sekä biokaasun puhdistuksen ja paineistuksen tarvitsema sähkö ja lämpö tuotetaan biokaasusta yhdistetyllä sähkön ja lämmön tuotannolla ja loput biokaasusta käytetään liikennepolttoaineen tuotantoon.

8.3.4. Kuivikkeen käyttö

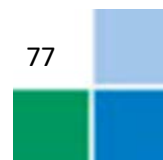
Kalkkunatilan elinkaariarviointiin sisällytettiin kuivikkeen käyttö. Nykytilassa tilalla käytetään turvetta ja pientä määrää kutterinlastua. Tehostettuun nykytilaan laskettiin vaihtoehto, jossa kaikki käytettävä kuivike on kutterinlastua.

Kuivikkeena käytettävän turpeen elinkaaristen ympäristövaikutusten tarkasteluun sisällytettiin vain turpeen hajoamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt (Manninen ym. 2016). Turpeen tuotannon maankäytön vaikutuksia ei sisällytetty laskentaan. Kutterinlastun vaikutuksia peltokäytössä ei myöskään arvioitu. Turpeen ja kutterinlastun hankintaketjun (konetyö) päästötietoina käytettiin Ecoinvent-tietokantaa (Ecoinvent v3).

8.3.5. Biokaasuprosessi

Kuivamädätysprosessien ympäristövaikutuksista on hyvin vähän tietoa saatavilla. Laskennassa käytetyt biokaasun tuotantovaiheiden ympäristövaikutukset perustuivat suurelta osin kirjallisuuden perusteella johdettuihin asiantuntija-arvioihin. Herkkyystarkastelussa on esitetty arvio päästöjen epävarmuudesta.

Biokaasuprosessin aikana syntyy metaanivuotoja ja -päästöjä tuotannon eri vaiheissa. Varsinaisen kuivamädätysprosessin aikaiset vuodot arvioitiin olevan samaa luokkaa kuin märkämädätyksessä. Vuotoja tapahtuu mm. venttiileistä sekä reaktorisiilon hupun läpi. Kirjallisuudessa varsinaisen mädätysprosessin metaanivuodot on esitetty olevan n. 0,6–4 % (Groth ym. 2015, Liebetrau ym. 2013, Poeschl ym. 2012, Reinelt ym. 2017, Jacobs ym. 2017). Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään prosessissa aiheutuville metaanivuodoille 2 %:ia metaanintuotosta. Tämän arvion oletetaan sisältävän myös mahdollisten huoltotoimenpiteiden aikana tapahtuvat metaanivuodot.



Pilottitiloille sovellettavia biokaasuprosesseja on kahden tyyppisiä. Suotopetivaihtoehdossa lanta on aumausta muistuttavassa laakasiilossa, eikä siilossa olevaa lantaa sekoiteta prosessin aikana. Tulppavirtausvaihtoehdossa massa kulkee ruuvun avittamana eteenpäin. Kummassakin tapauksessa massan sekaan jää ilmataskuja. Ilmataskuihin muodostuu metaania, joka ei pääse prosessissa vapautumaan, eikä sitä saada talteen. Siilon purkuvaiheessa massa sekoittuu ja ilmataskuihin jäänyt metaani pääsee vapautumaan ilmakehään. Tulppavirtausprosessissa massa ei sekoitu täydellisesti ja massan hajoaminen prosessissa voi olla epätasaista. Kummassakaan prosessissa ei ole erikseen jälkikaasutusvaihetta, missä prosessin jälkeistä kaasua otettaisiin talteen, vaan biomassan riittävä hajoaminen ja kaasuntuotto on pyritty varmistamaan pitkällä viipymäajalla prosessissa.

Kirjallisuudesta löytyy viitteitä kuivaproessin metaanivävikistä, joka voisi olla jopa 11,2–13,7 % tuotetusta metaanista (Balde ym. 2016, Liebetrau ym. 2013, Liebetrau ym. 2011). Tutkimukset ja niissä esitetyt prosessit eivät kuitenkaan ole suoraan Suomen olosuhteisiin ja käytettyihin prosesseihin verrattavissa.

Täsmällisemmän tiedon puuttuessa päästölaskennassa päädyttiin käyttämään purkuvaiheen yhteydessä keskimäärin 5 % päästöä metaanin tuotosta. Herkkyystarkastelussa tarkasteltiin purkuvaiheen päästöä vaihteluvälillä 2–12 %. Nämä päästöt on esitetty tuloksissa prosessipäästöjen yhteydessä.

8.3.6. Biokaasuprosessin lisäsyötteiden tuotanto

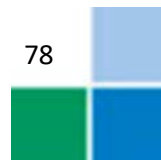
Kaikille pilottitiloille suunnitelluissa biokaasuprosesseissa käytetään lisäsyötteenä olkea. Olki syntyy sivutuotteena, ja nykytilassa olkea ei korjata lainkaan kalkkuna- ja broileritilalla. Laskennassa huomioidaan siten oljen paalaus ja kuljetus. Broileritilalla käytetään lisäsyötteenä myös säilörehunurmen toista satoa, joka nykytilassa korjataan kuivaheinänä hevosille. Tämä sato lannoitetaan mädätteellä, joten mädäte korvaa tällöin osan mineraalilannoitteen käytöstä. Heinän niitto ja paalaus eivät muutu nykytilaan verrattuna.

Munatilan suotopetivaihtoehdossa oljen lisäksi lisäsyötteinä käytetään luonnonhoitopeltonurmia ja heinää. Peltoja ei lannoiteta mineraalilannoitteella, sillä peltoja viljellään luonnonmukaisesti. Nykytilassa munatilalla peltobiomassoista korjataan pois noin 30 %. Vaihtoehtotarkastelussa on siten huomioitu peltobiomassojen niiton, paalauksen ja kuljetuksen lisääntyminen. Munatilan tulppavirtausprosessissa lisäsyötteenä käytetään enemmän nurmea, kuin tila itse voi tuottaa. Laskennassa oletettiin, että muu nurmimassa on saatavissa lähialueelta. Myös lähialueen nurmista oletettiin nykytilassa korjattavan 30 %, joten laskennassa huomioitiin niiton, paalauksen ja kuljetuksen lisääntyminen.

Lisäsyötteiden ominaisuuksien oletettiin säilyvän samana varastoinnin ajan.

8.3.7. Maaperän päästöt

Syötteiden korjuu, nurmen viljely sekä mädätteen ja lannan levitys vaikuttavat maaperän hiilivarastoon ja maaperästä muodostuviin päästöihin. Näitä orgaanisen aineksen vaikutuksia maaperän hiilitaseisiin ei sisällytetty laskentaan, koska soveltavaa tutkimustietoa riittävällä tarkkuudella aiheesta ei ollut tätä kirjoitettaessa saatavilla. Pilottitilojen peltojen maaperäpäästöt rajattiin siten kokonaisuudessaan tarkastelun ulkopuolelle.



8.3.8. Hyvitettävät prosessit

Lannan peltokäyttö korvaa pelloille lisättävää mineraalilannoitetta tietyin reunaehdoin. Lannan liukoisen typen laskettiin korvaavan täysimääräisenä mineraalityypilannoitteen valmistusta. Lannan typpipitoisuudessa otettiin huomioon käsittelyssä syntyvät typpihävikit, jotka alentavat lannan liukoisen typen määrää. Pilottitiloilla lanta korvaa pääasiassa sijoituslevitettyä mineraalityyppiä, poikkeuksena nurmelle levitys.

Fosforia saattaa olla pellossa kasvin tarpeeseen nähden ylimäärin. Korkean P-luvun pelloilla lanta ei vähennä mineraalifosforilannoitteen tarvetta, koska fosforilannoitustarvetta ei ole. Kalkkunatilan lähtötietojen perusteella 80 % lantaperäisestä fosforista arvioitiin korvaavan mineraalifosforilannoitteen valmistusta ja käyttöä. Broileritilalla vastaava osuus oli 50 %. Ympäristökorvauksen mukaan siipikarjanlannan fosfori on kokonaan kasveille käyttökelpoista. Luomupelloilla lanta ei korvaa mineraalilannoitteiden käyttöä (munatila).

Broileritilalle suunnitellussa biokaasuprosessivaihtoehdossa biokaasu korvaa lämmöntuotannossa palaturvetta. Kalkkunatilalla biokaasu korvaa haketta. Munatilalla tuotettu biokaasu korvaa tilalla lämmön tuotannossa käytettävää polttoöljyä. Lisäksi munatilalla tuotettu biokaasu korvaa liikennepolttoaineen tuotantoa ja käyttöä.

Laskelmissa oli oletuksena, että tuotettu liikennebiokaasu korvaa täysimääräisesti fossiilisia polttoaineita.

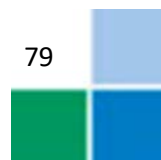
8.4. Laskennan epävarmuustekijät ja herkkyystarkastelu

Elinkaariarvioinnin tulokset pätevät pilottitilojen tapauksissa laskennassa käytetyillä oletuksilla, eikä tuloksia voida siten yleistää.

Laskennassa käytetyt lannan ominaisuustiedot vaikuttavat koko lantaketjun ympäristövaikutustuloksiin. Ominaisuustiedot perustuvat tiloilta otettuihin lantanäytteisiin ja niiden analyysituloksiin. Lanta-analyysien tuloksiin vaikuttavat mm. näytteenottotapa, näytteenoton ajankohta ja lantanäytteen säilytys ja analyysitulokset saattavat vaihdella. Biokaasuprosessin syötteen ja mädätteen ominaisuuksina on käytetty laskennallisia arvoja, sillä soveltuvaa analysoitua tietoa ei ollut saatavilla.

Tilojen lämmöntarve vaihtelee vuosittain, samoin kuin käytetyt polttoaineet ja niiden alkuperä. Tämä vaikuttaa vaihtoehtojen välisiin suhteisiin, etenkin elinkaaristen ilmasto-vaikutusten osalta. Mikäli lämmöntarve on nyt laskelmissa käytettyä vähäisempi, biokaasu korvaa suuremman osan nykyisin käytetyistä polttoaineista. Myös biokaasuprosessin ja mädätteen varastoinnin päästöjen määrittämiseen liittyy epävarmuuksia.

Epävarmuuksien merkittävyyttä on tarkasteltu herkkyystarkastelun avulla. Sen laskenta-oletukset on esitetty taulukossa 8.2.



Taulukko 8.2. Ympäristövaikutusten peruslaskennassa ja herkkyystarkastelussa käytetyt laskentaoletukset.

	Peruslaskennassa käytetty arvio	Herkkyystarkastelu
Prosessin aikaiset vuodot, % tuotetusta metaanista	2 %	1–3 %
Siilon purkuvaiheen metaanipäästö, % tuotetusta metaanista (suotopeti)	5 %	2–12 %
Tulppavirtauksen metaanipäästö, % tuotetusta metaanista	5 %	2–12 %
Biokaasun polton CO ₂ ekv-päästö (CH ₄ + N ₂ O)	0,1 g/ MJ	0,1–12,5 g/MJ *
Puun poltto	55 g CO ₂ ekv/MJ	20–80 g CO ₂ ekv/MJ

*IPCC:n laskentaohje ja REDII-laskentaohje

8.5. Pilottitilojen nykytilan ja vaihtoehtoisten toimien vertailu

Pilottitilojen nykyiset ja tarkasteluihin valittujen vaihtoehtojen lannankäsittelyketjut on kuvattu tarkemmin luvussa 5.

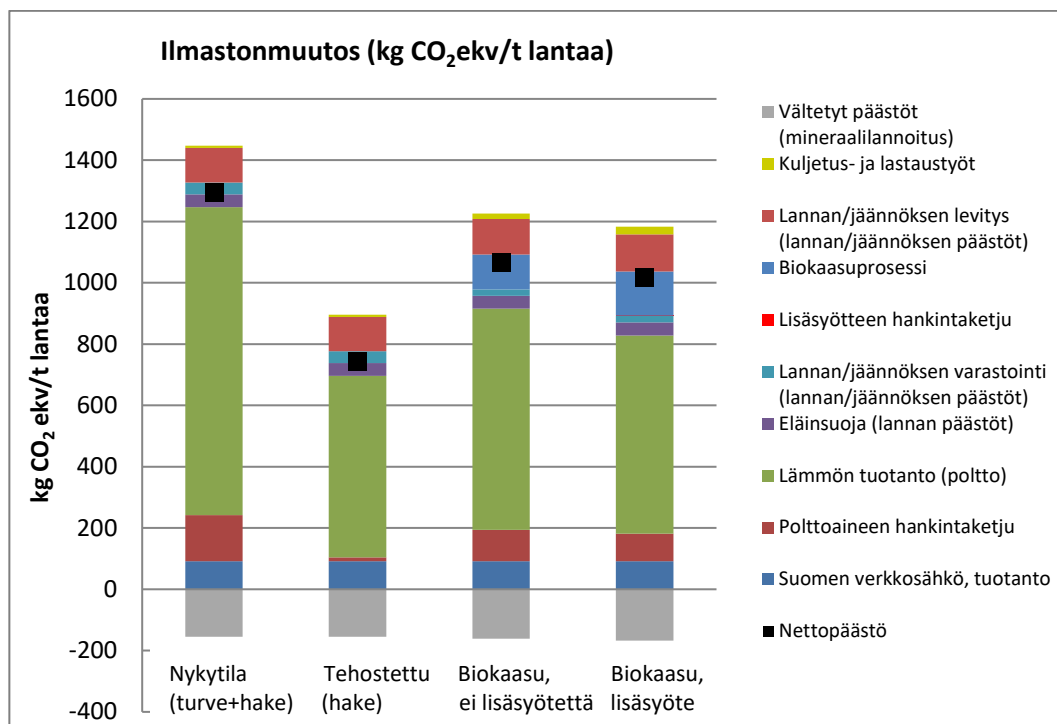
8.5.1. Broileritilan vaihtoehtojen elinkaariset ympäristövaikutukset

Broilerihallien lämmitys aiheuttaa elinkaaren aikaisista ilmastovaikutuksista merkittävimmän osuuden niin nykytilassa kuin vaihtoehtoisissa järjestelmissä (kuva 8.3 ja 8.4). Vaihdamalla nykytilassa lämmitykseen käytetty turve uusiutuvaan polttoaineeseen ilmastovaikutus alenee.

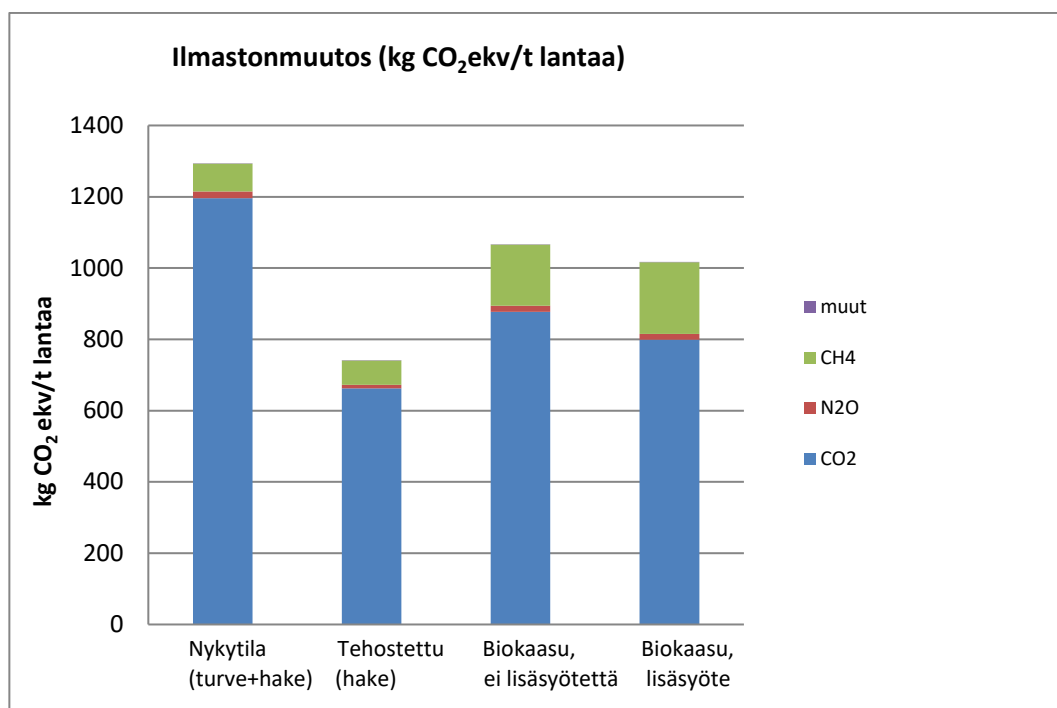
Lämmöntuotannon ilmastovaikutusten arviointiin kohdistuu laskennallisesti kuitenkin suuria epävarmuuksia (kuva 8.5). Kuten kohdassa 8.2 on esitetty, hakkeen poltolle asetettava päästökerroin riippuu hakkeen alkuperästä. Siirtymällä turpeesta hakkeeseen (tehostettu vaihtoehto) voidaan saavuttaa ilmastohyötyjä, mikäli hake on tuotettu hakkuutähteistä. Mikäli hake tuotetaan teollisuudelle kelpaamattomasta runkopuusta ilmastovaikutus ei juurikaan alene nykytilaan nähden (kuva 8.5).

Verrattaessa nykytilaa vaihtoehtoon, jossa tilalla tuotetaan biokaasua, ilmastovaikutus saattaa alentua. Biokaasun tuotannosta aiheutuvat metaanivuodot ja päästöt voivat kuitenkin olla merkittäviä, minkä vuoksi ilmastohyödyt voivat jäädä vähäisiksi.

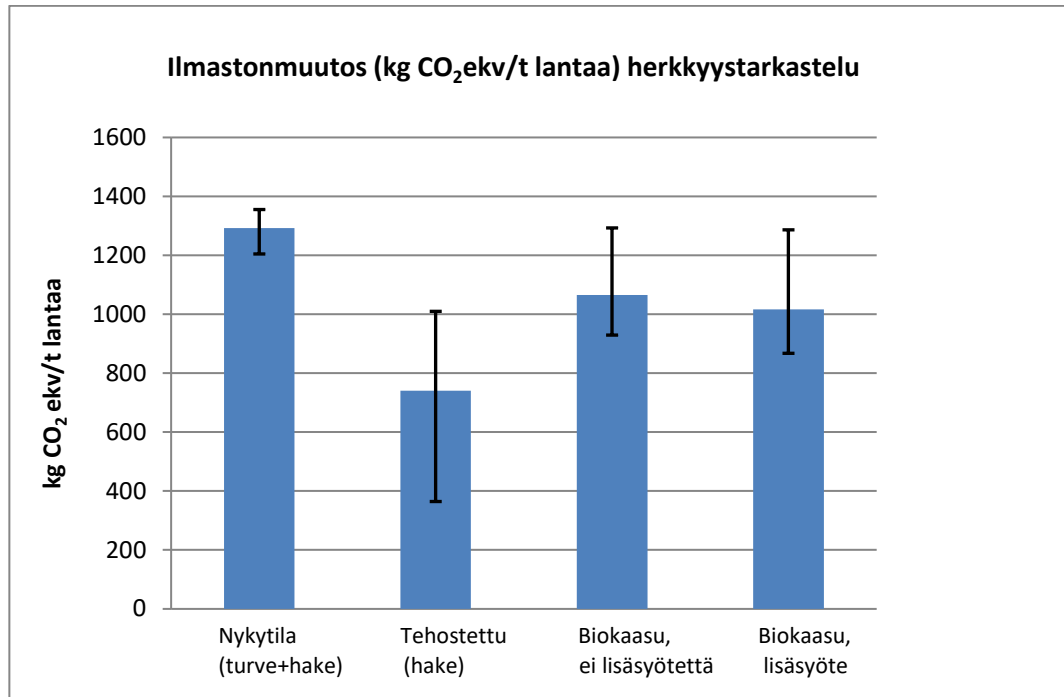
Hieman suurempi ilmastohyöty saavutetaan käyttämällä lannan lisäksi peltobiomassaa lisäsyötteenä. Kun biokaasun tuotantoon käytetään pieniä määriä tilalla jo syntyviä ylimäärisiä peltobiomassoja, biokaasun tuotantomäärä on suurempi ja vähentää siten turpeen käyttöä lämmityspolttoaineena suuremmalla osuudella.



Kuva 8.3. Broileritilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset prosesseittain eriteltynä (kg CO₂ekv/t lantaa).



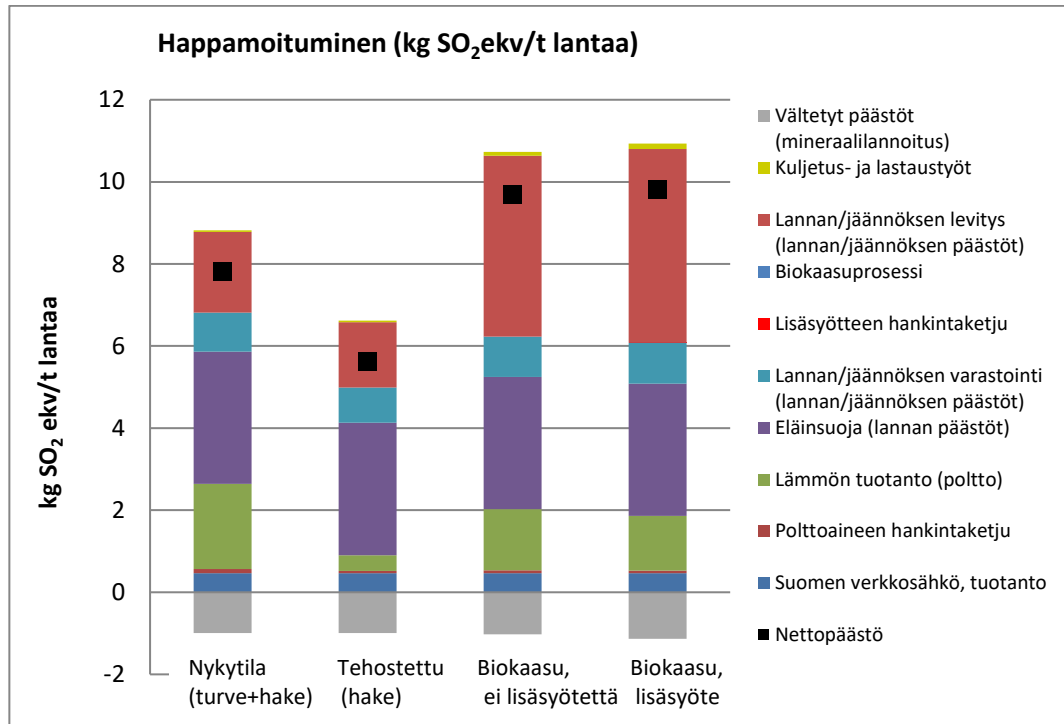
Kuva 8.4. Broileritilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset kuormitustekijöittäin eriteltynä (kg CO₂ekv/t lantaa).



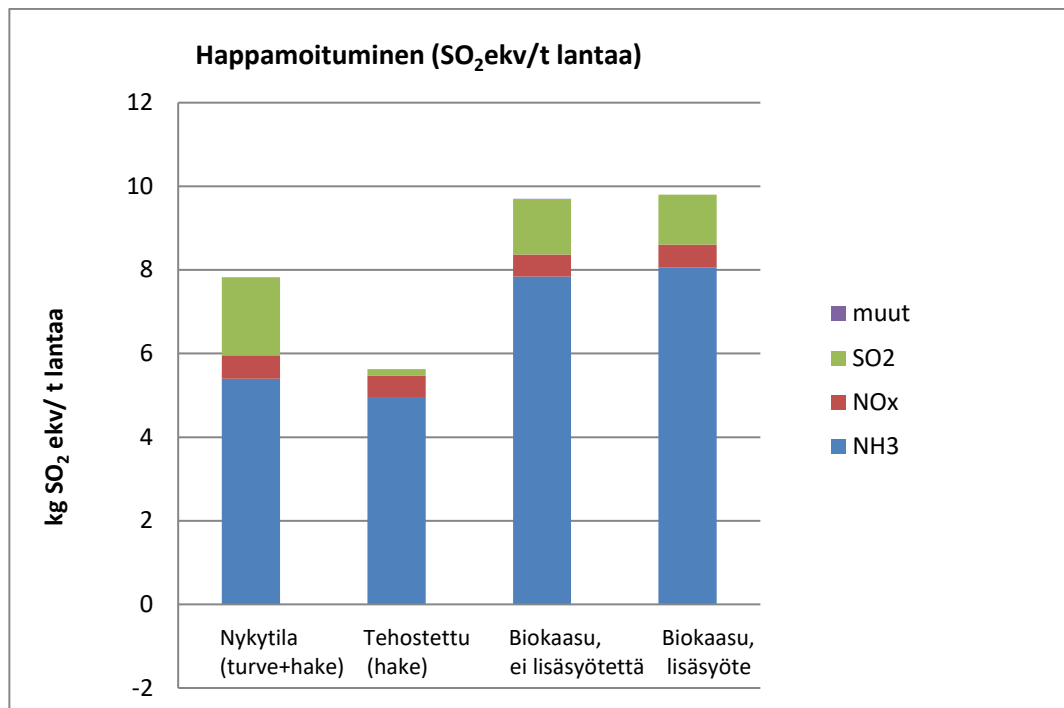
Kuva 8.5. Broileritilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaristen ilmastovaikutusten herkkyystarkastelu. Pylväät kuvaavat ilmastovaikutusta perusoletuksilla ja virhepalkit osoittavat tulosten herkkyyden vaihtelun, kun oletuksia muutetaan.

Riski happamoitusvaikutusten kasvuun on suurempi biokaasuvaihtoehtoissa (kuva 8.6). Tämä johtuu pääasiassa prosessissa liukoistuneen typen suuremmasta osuudesta lantaan verrattuna, minkä vuoksi ammoniakkipäästöt kasvavat, mikäli mädätteen varastointi- ja levitystavat säilyvät samanlaisina kuin nykytilassa (kuva 8.7). Varastoinnin ja levityksen aikaiset ammoniakkipäästöt kasvavat myös siksi, koska lisäsyötteiden mukana varastoitavan ja levitettävän typen määrä on pelkkään lantaan verrattuna suurempi. Varastointitapoihin ja levityskäytäntöihin tulee siten kiinnittää erityistä huomiota. Kattamalla varastot sekä multaamalla mädäte tai lanta pian levityksen jälkeen ammoniakkipäästöt pienenevät.

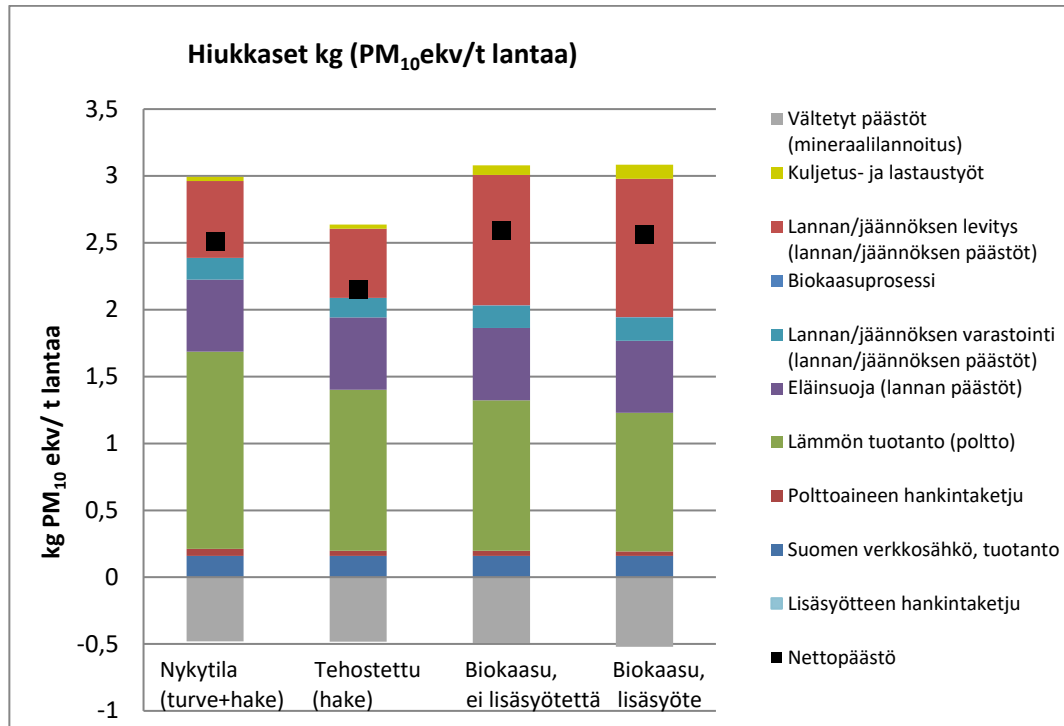
Turpeen vaihtaminen hakkeeseen pienentää happamoitus- ja hiukkasvaikutuksia, koska hakkeen poltossa syntyy turpeeseen verrattuna vähemmän rikkidioksidia (SO₂). Hiukkasvaikutukset ovat biokaasuvaihtoehdossa nykytilan tasolla tai aavistuksen suuremmat (kuva 8.8). Tämä johtuu pääasiassa mädätteen levityksestä aiheutuvista ammoniakkipäästöistä, jotka ovat suuremmat nykytilaan verrattuna (kuva 8.9). Nykytilaa suuremmat levityksen päästöt johtuvat prosessissa liukoistuneesta tyydestä ja siitä haihtuvista ammoniakkipäästöistä. Mädätteen massa on suurempi kuin lannan, joten myös kuljetusten ja lastaustöiden päästöt lisääntyvät nykytilaan verrattuna. Lämmöntuotannon hiukaspäästöt alenevat biokaasuvaihtoehtoissa johtuen vähäisemmästä turpeen ja hakkeen poltosta, mutta levityksen aikaiset päästöt tasaavat vaihtoehtojen eroja, joten nykytilan ja biokaasuvaihtoehtojen välille ei muodostu merkittävää eroa.



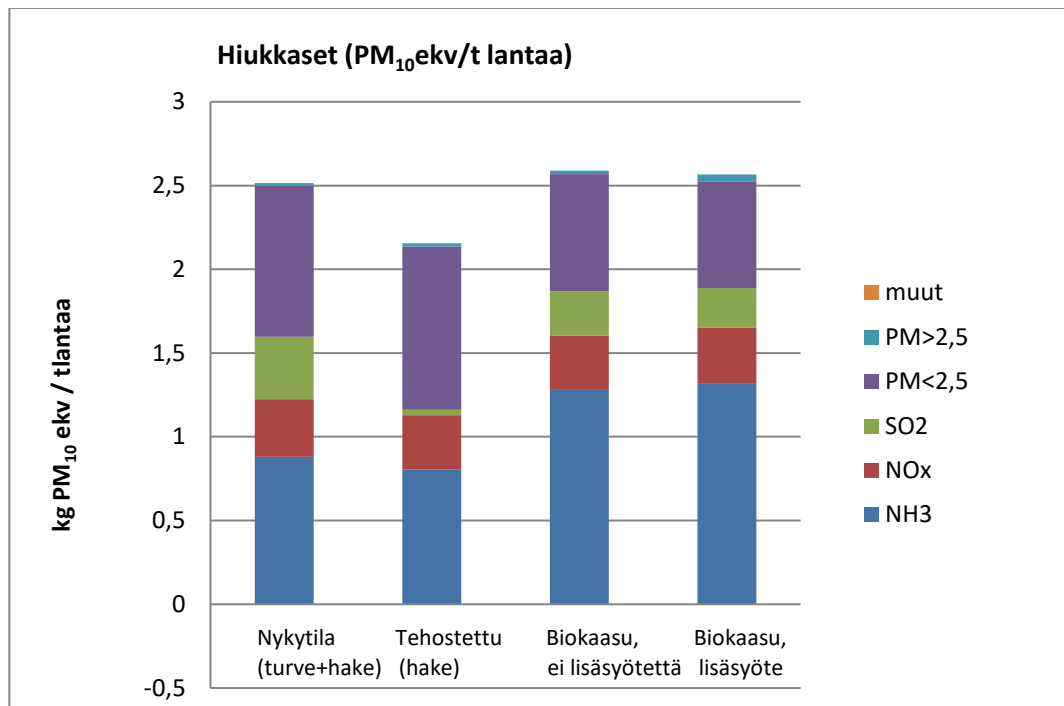
Kuva 8.6. Broileritilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset happamoitusvaikutukset prosesseittain eriteltynä (kg SO₂ekv/t lantaa).



Kuva 8.7. Broileritilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset happamoitusvaikutukset kuormitustekijöittäin eriteltynä (kg SO₂ekv/t lantaa).



Kuva 8.8. Broileritilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset hiukkasvaikutukset prosesseittain eriteltynä (kg PM₁₀ekv/t lantaa).



Kuva 8.9. Broileritilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset hiukkasvaikutukset kuormitustekijöittäin eriteltynä (kg PM₁₀ekv/t lantaa).

8.5.2. Kalkkunatilan vaihtoehtojen elinkaariset ympäristövaikutukset

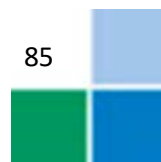
Lannankäsittelyvaihtoehtoista tehostettu vaihtoehto on elinkaaristen ilmastovaikutusten kannalta paras (kuvat 8.10, 8.11 ja 8.12). Kalkkunatilalla suurimmat ilmastovaikutukset aiheutuvat hakkeen poltosta, kuiviketurpeen käytöstä sekä lannan peltokäytöstä. Tehostetussa vaihtoehdossa turvekuivikkeen korvaaminen kutterinlastulla alentaa kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi.

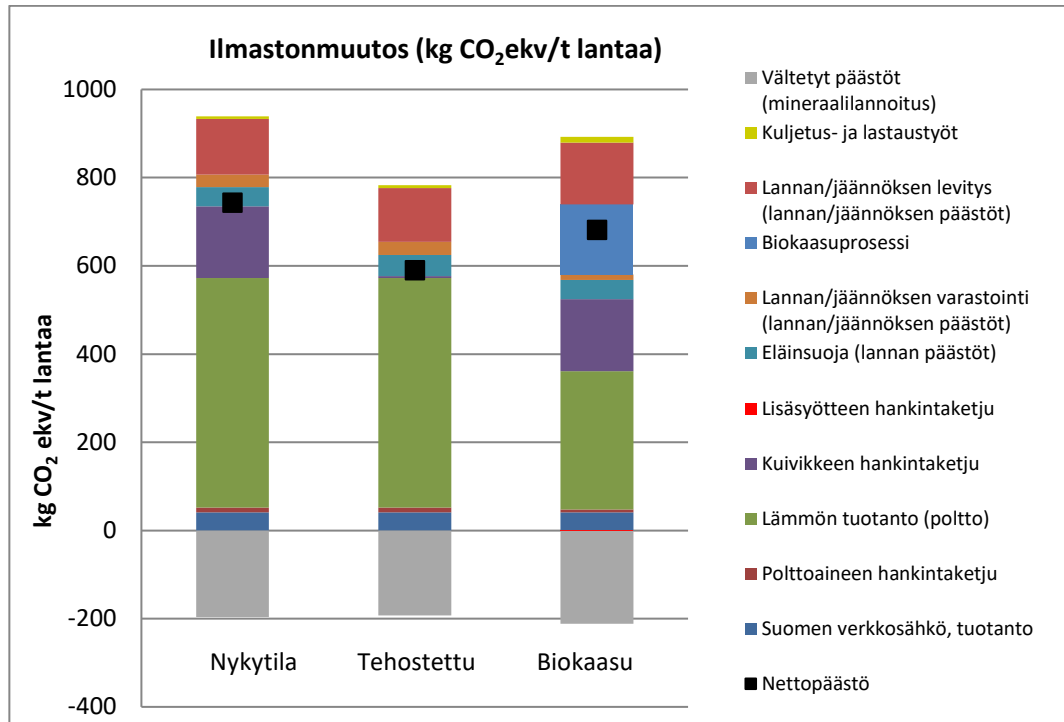
Kaiken kaikkiaan ilmastovaikutusten kannalta on merkittävää, mitä energiaa kalkkunatila käyttää lämmitykseen. Hakkeen alkuperä ja sen perusteella asetettava päästökerroin hakkeen poltolle ratkaisee, miten vaihtoehdot asettautuvat toisiinsa nähden (kuva 8.12). Biokaasuvaihtoehdossa prosessin aikana syntyvät metaanivuodot ja -päästöt nostavat vaihtoehdon ilmastovaikutuksia ja siten ero nykytilaan nähden jää pieneksi.

Happamoittavat päästöt sekä hiukkasvaikutukset ovat suurimmat biokaasuvaihtoehdossa (kuva 8.13 ja 8.14). Tämä johtuu mädätteen korkeammasta liukoisen typen osuudesta, jolloin levityksen aikaiset ammoniakkipäästöt saattavat kasvaa, mikäli mädätteen levityskäytännöt säilyvät samana kuin lannalla. Kalkkunatilalla mädätteen määrä on myös jonkin verran suurempi lantaan nähden. Lisäsyötteiden määrä on kuitenkin vähäinen, joten massa ei kasva samassa suhteessa kuin muilla tiloilla.

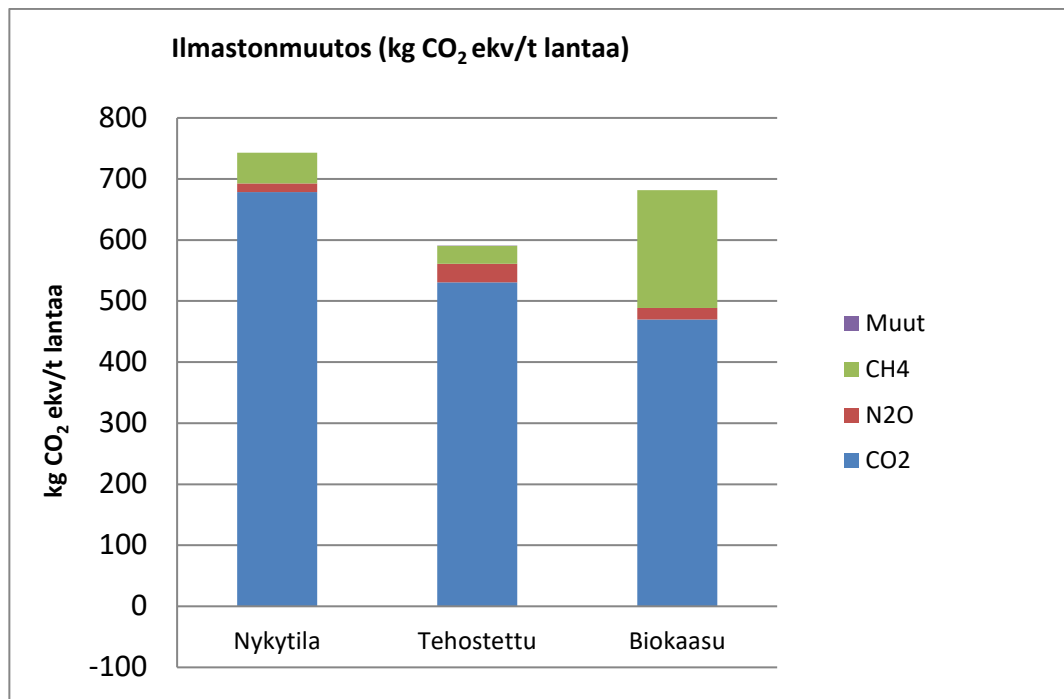
Tehostetussa nykytilassa kuivikkeen vaihto kutterinlastuun lisää eläinsuojassa tapahtuvaa typen haihduntaa ammoniakkinä. Levityksen aikaisia ammoniakkipäästöjä voidaan vähentää multaamalla lanta nopeammin (tehostettu vaihtoehto). Happamoittavat sekä hiukkaspäästöt syntyvät lähes yksinomaan ammoniakkipäästöistä (kuva 8.15 ja 8.16).

Hiukkaspäästöt ovat suurimmat biokaasuvaihtoehdossa, mikä johtuu levityksestä aiheutuvista lisääntyneistä ammoniakkipäästöistä. Ammoniakkipäästöt lisääntyvät, koska mädätteessä on enemmän liukoista typpeä ja multausaika mädätteelle on vastaava kuin nykytilassa, eli 4–12 tunnin sisällä levityksestä. Lannan nopeampi multaus levityksen jälkeen vähentäisi ammoniakkipäästöjä noin 25 % (tehostettu vaihtoehto). Myös polttoaineena käytettävän hakkeen vaihtaminen biokaasuun alentaa hiukkasvaikutuksia.

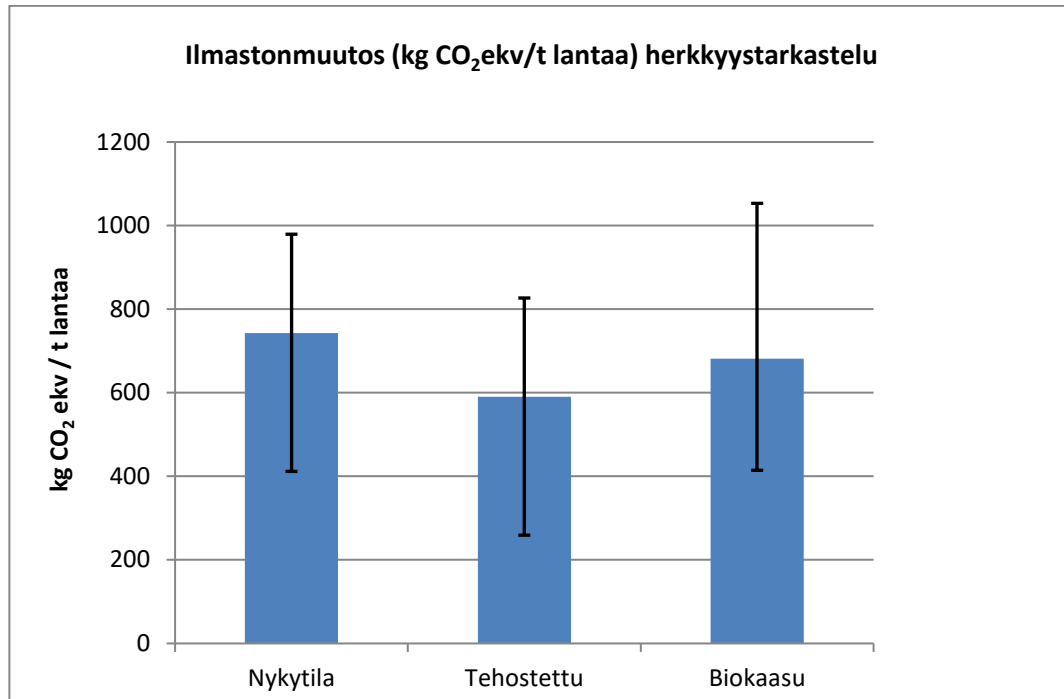




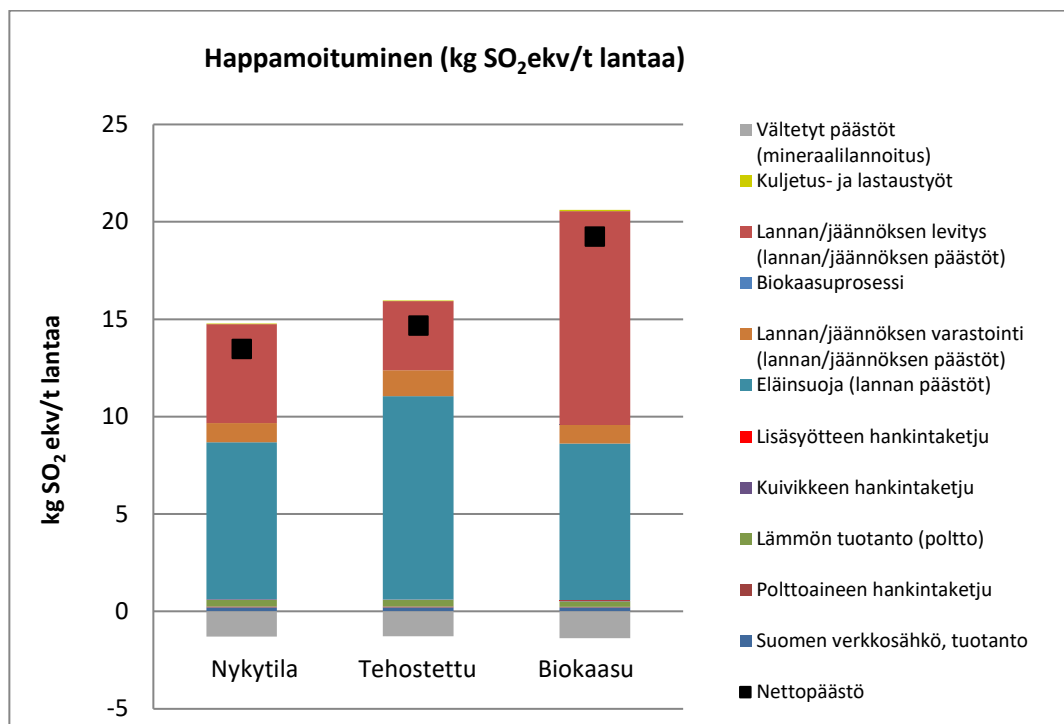
Kuva 8.10. Kalkkunatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset prosesseittain eriteltynä (kg CO₂ekv/t lantaa).



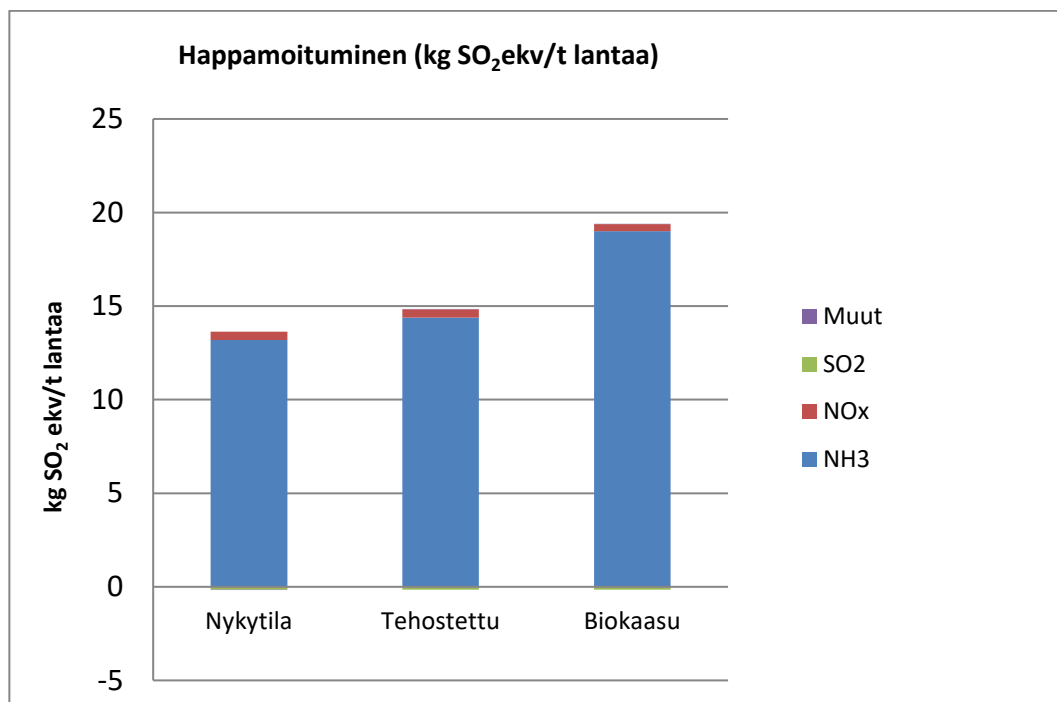
Kuva 8.11. Kalkkunatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset kuormitustekijöittäin eriteltynä (kg CO₂ekv/t lantaa).



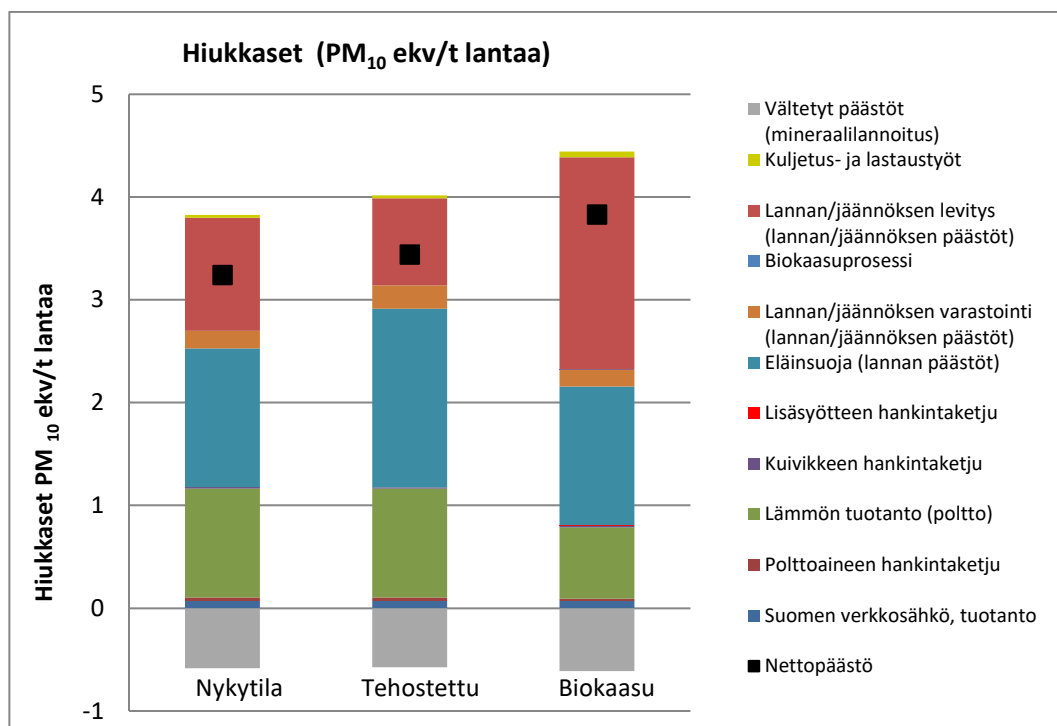
Kuva 8.12. Kalkkunatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaristen ilmastovaikutusten herkkyystarkastelu. Pylväät kuvaavat nettopäästöä ja virhepalkki osoittaa tulosten herkkyyden.



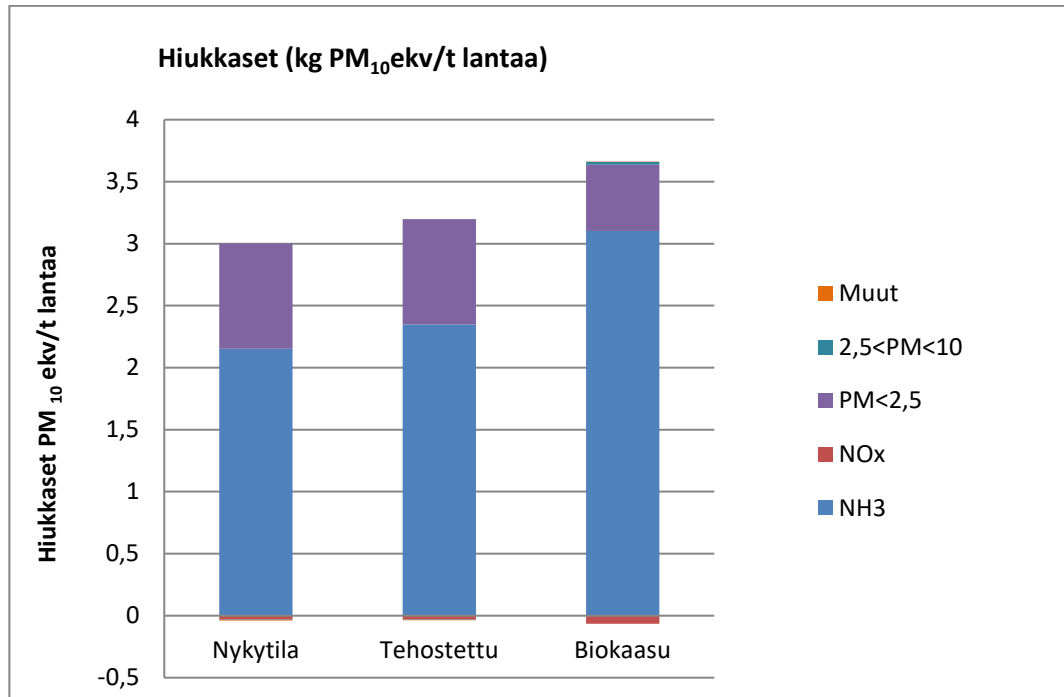
Kuva 8.13. Kalkkunatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset happamoitusvaikutukset prosesseittain eriteltynä (kg SO₂ekv/t lantaa).



Kuva 8.14. Kalkkunatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset happamoitusvaikutukset kuormitustekijöittäin eriteltynä (kg SO₂ekv/t lantaa).



Kuva 8.15. Kalkkunatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset hiukkasvaikutukset prosesseittain eriteltynä (kg PM₁₀ekv/t lantaa)..



Kuva 8.16. Kalkkunatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset hiukkasvaikutukset kuormitustekijöittäin eriteltynä (kg PM₁₀ekv/t lantaa).

8.5.3. Munatilan vaihtoehtojen elinkaariset ympäristövaikutukset

Biokaasuvaihtoehtoista suotopetivaihtoehdon elinkaariset ilmastovaikutukset ovat käsittelyketjuvaihtoehtoista alhaisimmat, mikäli oletetaan, että biokaasu vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä täysimääräisesti energiasisällöltään (kuvat 8.17, 8.18, 8.19). Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että biokaasun tuotanto ja jalostus liikennepolttoaineeksi ei välttämättä vähennä samassa suhteessa fossiilisten liikennepolttoaineiden käyttöä. Asetettavaan korvaushyötyyn vaikuttaa, miten kulutusta ja päästöjä säännellään. Tuloksissa esitetyn 100% korvaushyödyn toteutumisesta ei siten ole takeita. Mikäli korvaushyöty on alhainen, tilakohtainen ilmastovaikutus on suurempi kuin nyt on esitetty (nettopäästö). Biokaasuprosessiin liittyvät epävarmuudet etenkin siilon purusta aiheutuvien päästöjen suuruudesta (kuva 8.20., sisältyy kohtaan biokaasuprosessi) hankaloittavat arviointia.

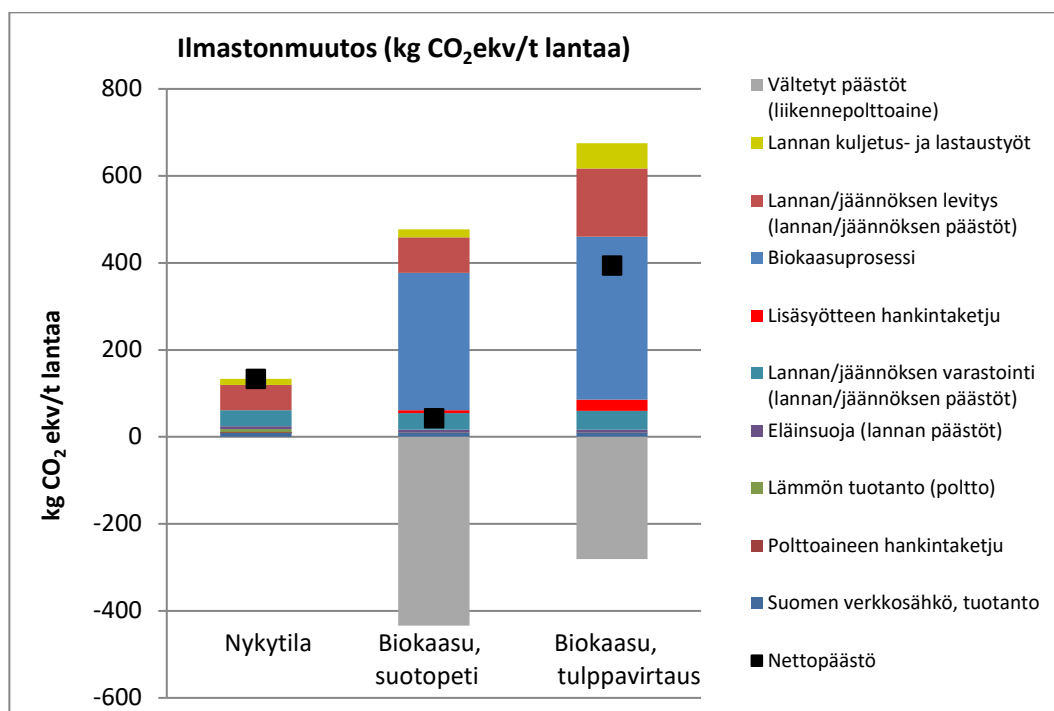
Tulppavirtausprosessin kasvihuonekaasupäästöt ovat suuremmat kuin nykytilassa ja suotopetivaihtoehdossa. Tulppavirtausprosessi kuluttaa huomattavasti enemmän lämpöä ja sähköä kuin suotopetiprosessi. Merkittävä osa tuotetusta biokaasusta ohjautuu siten CHP-laitoksen kautta prosessin omiin toimintoihin, jolloin liikennepolttoaineeksi biokaasua päätyy vähemmän kuin suotopetiprosessissa. Suotopetiprosessin tuottama biokaasu korvaa siten enemmän fossiilisten polttoaineiden valmistusta ja käyttöä, ja päästövähennä on siten suurempi.

Biokaasuprosesseissa mädätteen massa on suurempi kuin lannalla, sillä prosessissa hyödynnetään peltobiomassoja lisäsyötteinä sekä lisäksi syötettä laimennetaan vedellä. Esi-merkkitalan suotopetiprosessi käyttää vähemmän lisäsyötteitä, joten myös mädätettä muodostuu vähemmän kuin tulppavirtausprosessissa. Mädätteen määrä vaikuttaa levi-tyksen ja kuljetusten päästöihin.

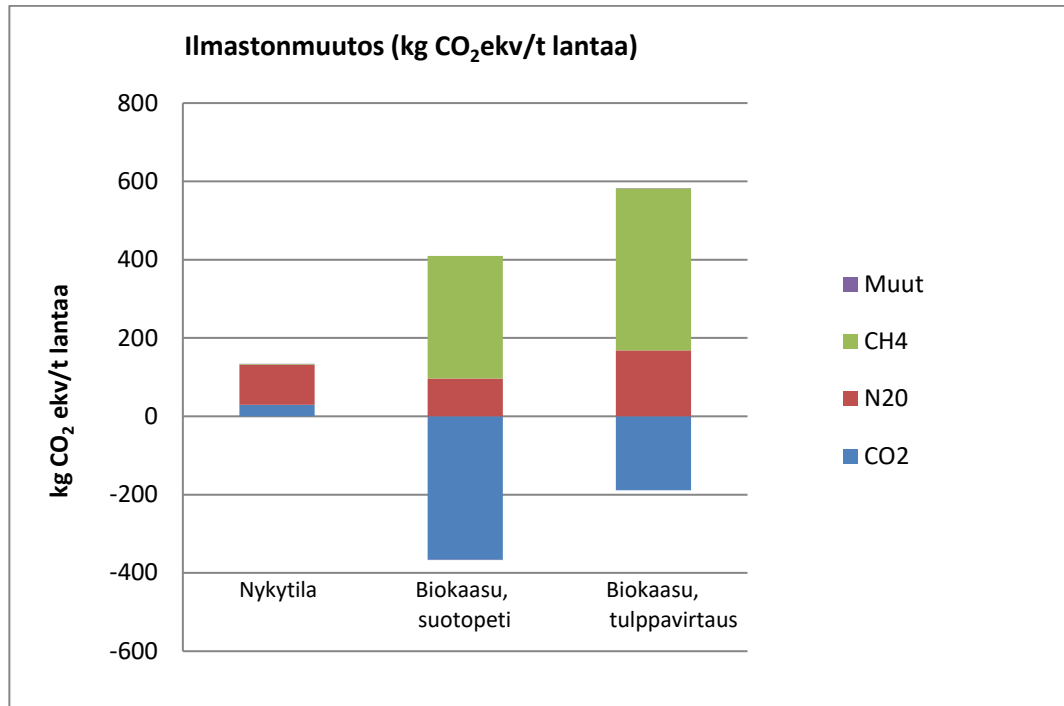
Lisäsyötteet nostavat muodostuvan mädätteen kokonaistyyppimäärää ja aiheuttavat siten suuremmat dityppioksidipäästöt peltokäytössä (kuvassa lannan/mädätteen levityksen päästöt) kuin pelkällä lannalla. Myös liukoisen typen osuus on suurempi mädätteessä kuin lannalla ja johtaa siten suurempiin ammoniakkipäästöihin.

Tulppavirtausprosessissa syntyy mädäte, joka separoidaan sekä neste- että kuivajakeeseen. Mädätteen separointi alentaa jonkin verran mädätteen varastoinninaikaisia ammoniakkipäästöjä, sillä typpipitoinen nestejake varastoidaan kannellisessa säiliössä, mistä ammoniakkia ei pääse haihtumaan. Lisäksi typpipitoinen nestejake voidaan levittää sijoittamalla, mikä vähentää ammoniakkipäästöjä. Siten happamoittavat päästöt ovat alhaisemmat tulppavirtausprosessissa kuin suotopetiprosessissa (kuvat 8.21 ja 8.22). Suotopetiprosessi käyttää prosessissaan ostosähköä, minkä vaikutukset näkyvät happamoittavissa päästöissä pienellä osuudella.

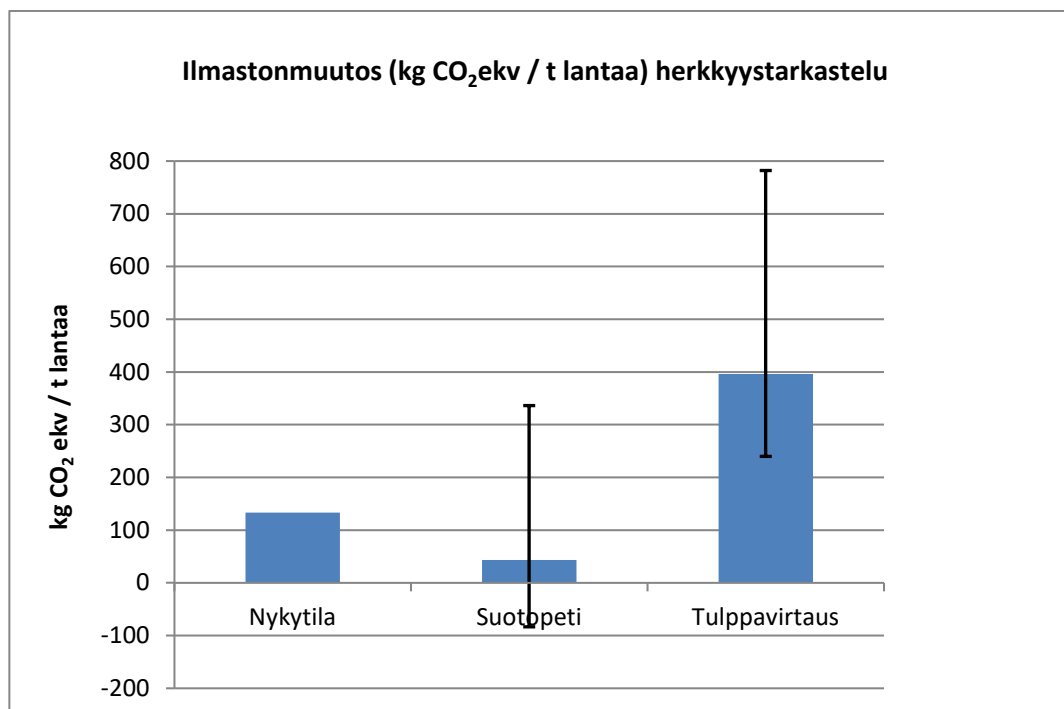
Hiukkaspäästöjen kasvu biokaasuvaihtoehdoissa johtuu pääosin ammoniakki ja typpioksidipäästöjen kasvusta (kuvat 8.23. ja 8.24). Typpioksidien kasvu tulppavirtausprosessissa on suurempi kuin suotopetiprosessissa. Tämä aiheutuu massaltaan suuremman mädätteen kuljettamisesta sekä kuljetusetäisyyden kasvusta.



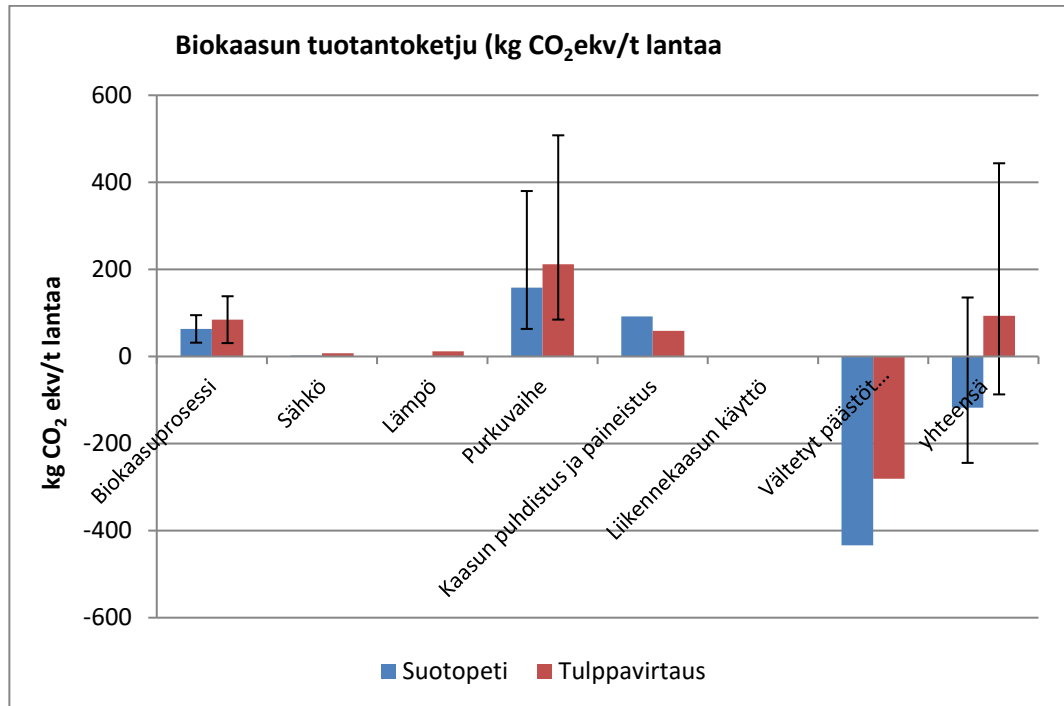
Kuva 8.17. Munatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset prosesseittain eriteltynä (kg CO₂ekv/t lantaa).



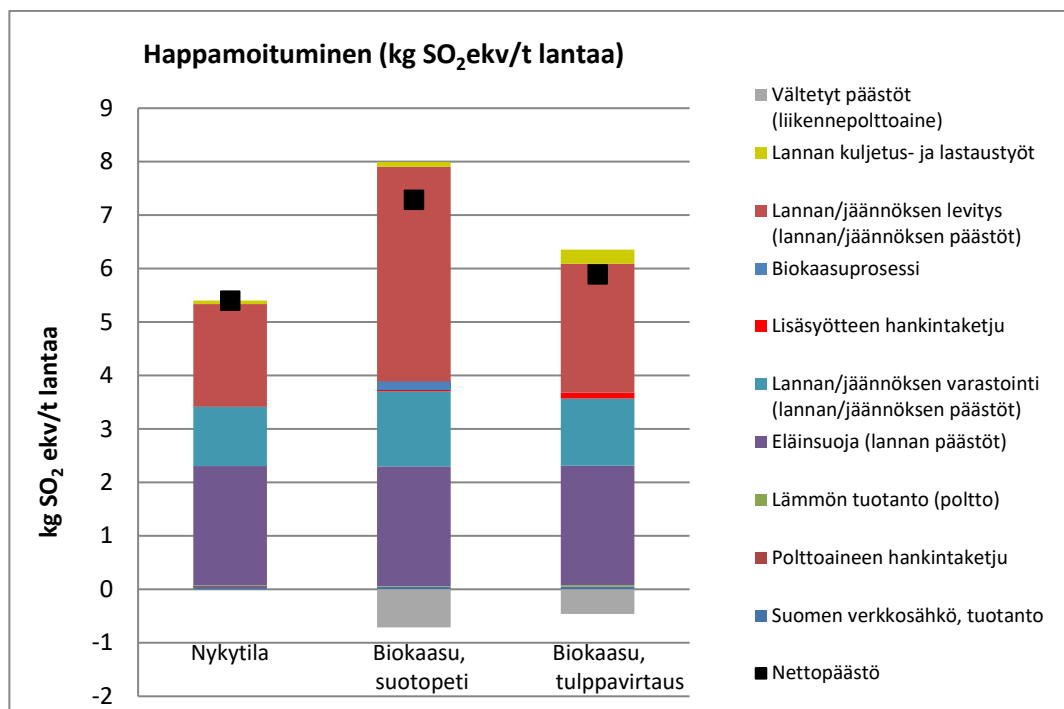
Kuva 8.18. Munatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset kuormitustekijöittäin eriteltynä (kg CO₂ekv/t lantaa).



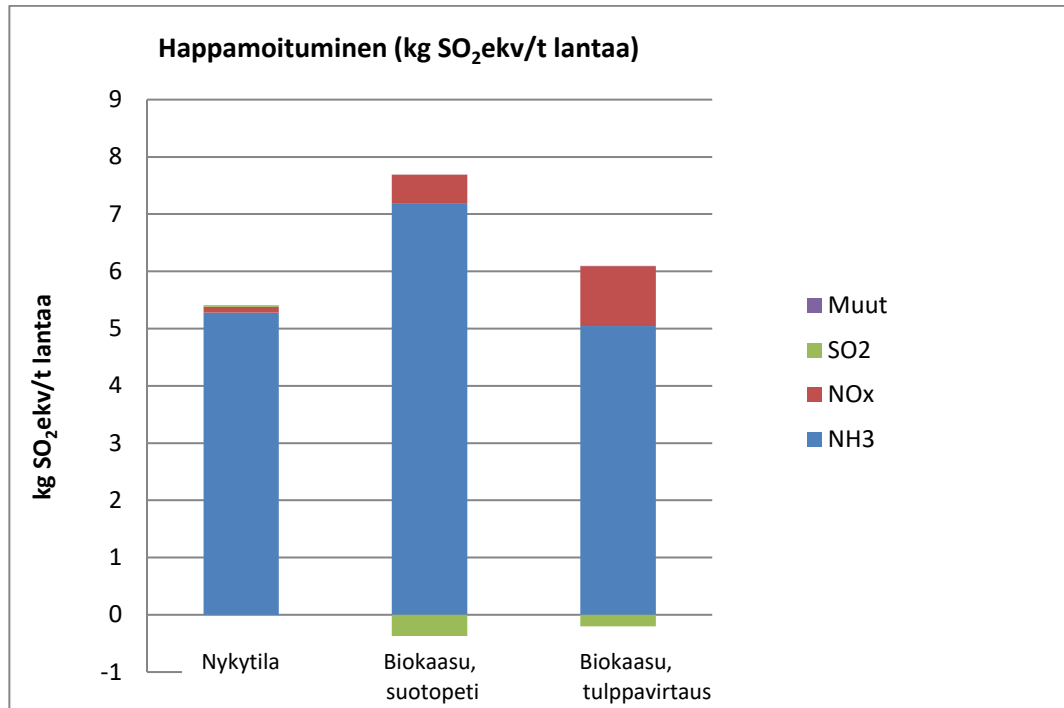
Kuva 8.19. Munatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaristen ilmastovaikutusten herkkyystarkastelu. Pylväät kuvaavat nettopäästöä ja virhepalkki osoittaa tulosten herkkyyden.



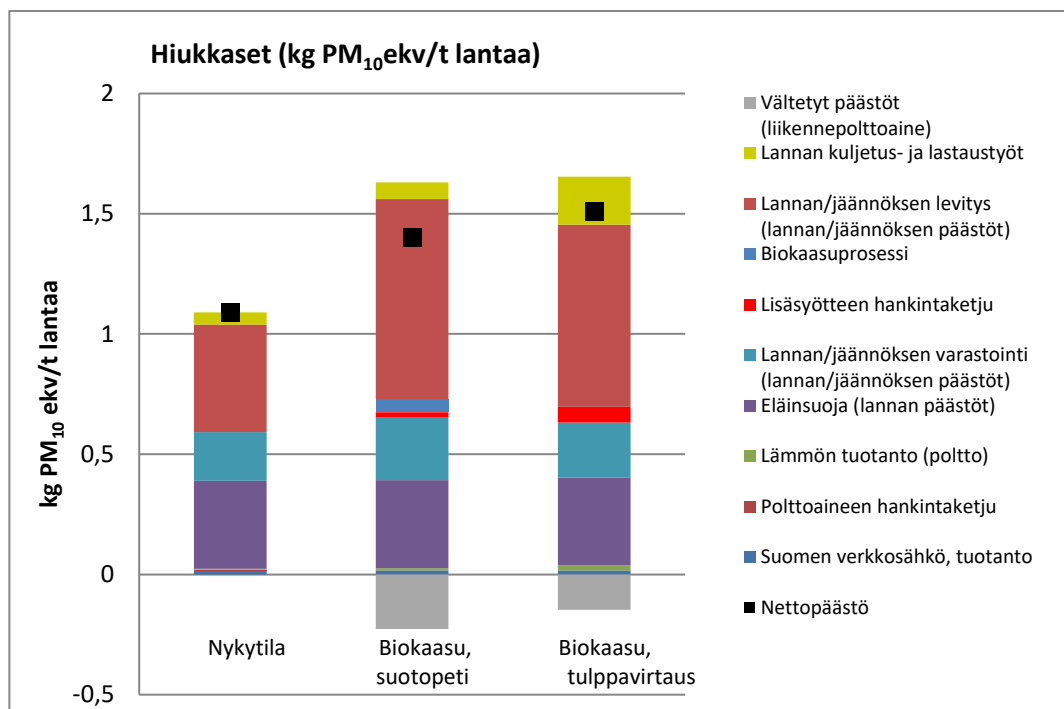
Kuva 8.20. Munatilan biokaasun tuotantoketjun eri vaiheiden päästöt eriteltyinä suotopeti- sekä tulppavirtausprosessissa. Ei sisällä mädätteen varastointia ja jatkohyödyntämistä.



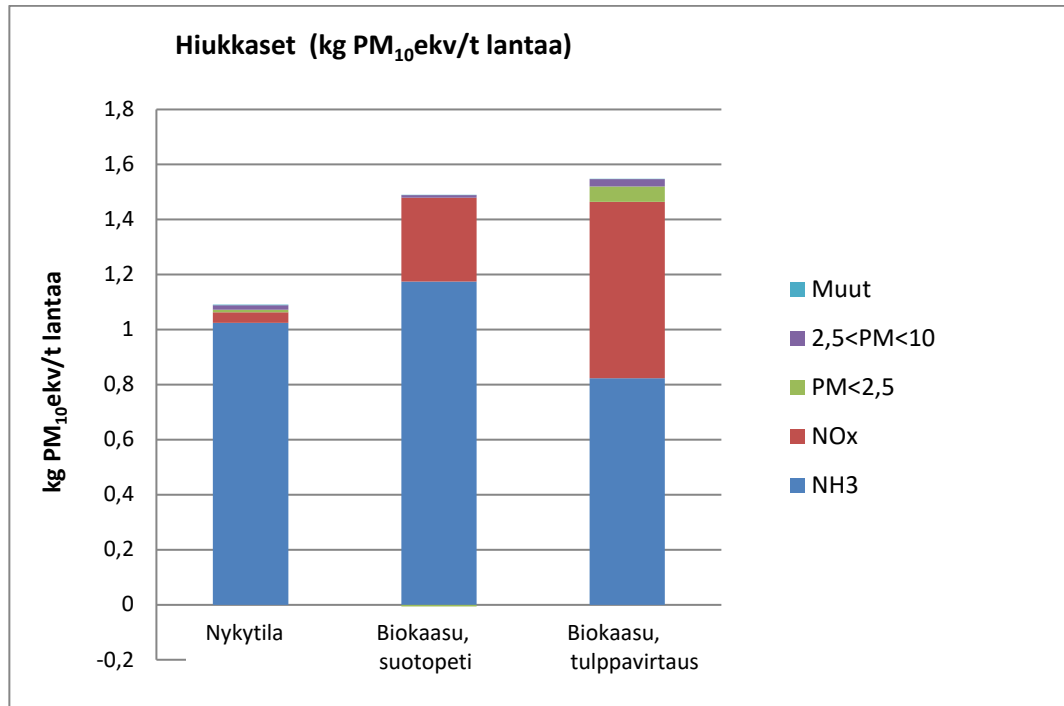
Kuva 8.21. Vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset happamoitusvaikutukset prosesseittain eriteltynä (kg SO₂ ekv/t lantaa).



Kuva 8.22. Vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset happamoitusvaikutukset kuormitustekijöittäin eriteltynä (kg SO₂ekv/t lantaa).



Kuva 8.23. Munatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset hiukkasvaikutukset prosesseittain eriteltynä (kg PM₁₀ekv/t lantaa).



Kuva 8.24. Munatilan vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien elinkaaren aikaiset hiukkasvaikutukset kuormitustekijöittäin eriteltynä (kg PM₁₀ekv/t lantaa).

8.5.4. Rehevöityminen

Vesistöihin päätyvät rehevöittävät päästöt riippuvat suurelta osin lannan/mädätteen levityskäytännöistä (levitysmäärä, -ajankohta ja -menetelmä), lannan/mädätteen ominaisuuksista sekä pellon olosuhteista. Lanta ja mädäte tulisi levittää ajankohtana, jolloin niiden sisältämät ravinteet ovat kasvien hyödynnettävissä.

Fosfori kulkeutuu sekä liukoisena että maahiukkasten mukana suurelta osin pintavalunnassa. Osa lantatyppeistä on liukoisena ammoniumtyyppinä heti kasvien käytettävissä. Osa on sitoutuneena orgaanisen aineeseen. Nitraatti huuhtoutuu ja kulkeutuu veden mukana helpommin kuin ammonium. Ammoniumtyppi nitrifioituu hyvissä olosuhteissa maassa nopeasti nitraatiksi.

Optimaalisesti lanta/mädäte levitetään kylvöä ennen, jolloin kasvi pystyy hyödyntämään liukoiset lantaravinteet heti ja vapautuvat ravinteet niiden vapautuessa maaperän mikrobitoiminnan myötä. Lannan multaaminen voi vähentää huuhtoutumisriskiä, sillä silloin lanta ei ole alttiina sääolosuhteille. Jos kaasumaiset typpipäästöt minimoidaan levitysteknisin toimenpitein, kasvi saa enemmän typpeä kasvuunsa, jolloin se ottaa maasta tehokkaammin myös fosforia. Pitkällä aikavälillä se alentaa maan helppoliukoisen fosforin pitoisuutta ja siten myös fosforin huuhtoutumisriskiä. Syyslevitys lisää lantafosforin huuhtoutumisriskiä talviaikaisen pintavalunnan takia, etenkin jos peltoa ei kylvetä syksyllä.

Lantatypen mineralisoituminen biokaasuprosessissa nostaa huuhtoutumiselle välittömästi alttiin typen määrää, mutta samalla orgaanisen typen määrä vähenee ja kasvukauden ulkopuolella mineralisoituvan typen määrä vähenee. Vastaavasti typen huuhtoutumisriski voi myös kasvaa, etenkin jos levitys suoritetaan aikana, jolloin kasvit eivät liukoisia ravin-

teita pysty hyödyntämään. Tästä syystä erityisesti mädätteen syyslevitystä on syytä välttää, varsinkin jos levityksen jälkeen ei kylvetä syyskylvöistä kasvia.

Pilottitiloilla lanta levitetään nykytilassa pääsääntöisesti keväällä. Tehostetussa nykytilassa lanta mullataan nopeammin, jolloin myös ammoniakkin haihtuminen vähenee ja lanta ei ole alttiina erilaisille sääolosuhteille. Mikäli mädätteen levitystoimet säilyvät vastaavana kuin nykytilassa, riski typen kaasumaisiin päästöihin on suurempi kuin lannalla ja lisäksi mädäte voi altistua erilaisille sääolosuhteille herkemmin. Mädäte tulisi aina mullata välittömästi levityksen jälkeen, jotta biokaasuprosessissa saavutettuja hyötyjä typen liukoisumisessa ei menetettäisi.

Kalkkunatilalla nykytilassa kolmasosa lannasta levitetään syksyllä sängelle, missä lannan ravinteet ovat alttiina huuhtoutumiselle. Keväällä levitettävä lanta mullataan 4-12 tunnin sisällä levityksestä. Tehostetussa nykytilassa kaikki lanta levitetään keväällä ja mullataan heti levityksen jälkeen, jolloin huuhtoumariski alenee. Tämä edellyttää lannan varastointia talven yli keväälle. Mädätteen levityksen oletettiin tapahtuvan vastaavasti kuin nykytilassa. Erityisesti syyslevitys lisää huuhtoutumisriskiä nykytilaan verrattuna, sillä huuhtoutumalle välittömästi alttiin typen määrä on mädätteessä suurempi kuin lannalla.

Munatilalla lantaa levitetään sekä keväällä, kesällä että syksyllä. Syksyllä levitettävästä lannasta puolet levitetään kylvön alle ja puolet sängelle. Levitettäessä mädätettä huuhtoutumisriski kasvaa, mikäli syyslevityksestä ei luovuta. Mikäli levitetään nestemäistä typipitoista jaetta, voidaan levitys kohdentaa kasvukaudelle tai keväälle ja suorittaa sijoituslevityksenä, mikä vähentää pintavaluntaa ja oikeinajoitettuna typpilannoite on kasvien käytettävissä.

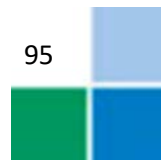
8.6. Lannan polton ympäristövaikutukset

Lannan polton ympäristövaikutuksia arvioitiin ainoastaan broileritilalle. Broilerinlantaa voidaan polttaa seoksena esim. hakkeen kanssa, ja vain osa tilalla syntyvästä lannasta päätyy polttoon. Broilerinlanta on suhteellisen kuivaa ja se voidaan polttaa ilman esikuivausta. Energiasaantoon sekä pienhiukkaspäästöihin vaikuttaa kuitenkin mm. poltetun lannan kuiva-ainepitoisuus. Jos lantaa ei tilakohtaisessa polttolaitoksessa kuivata, pienhiukkaspäästöt ovat siten suuremmat ja energiasaanto jää heikommaksi kuin kuivatulla lannalla. Mikäli lanta kuivataan ennen polttoa, energiankulutus lisääntyy.

Poltossa muodostuvien savukaasujen päästöihin vaikuttavat erityisesti polton ilmansyöttö, polttolämpötila sekä savukaasujen puhdistustekniikka. Polttokokeissa savukaasujen päästöt olivat merkittävästi korkeammalla tasolla kuin lannan poltolle asetetut lainsäädännölliset raja-arvot.

Broileritilalla käytetään kuivikkeena turvetta. Osa turpeen hiilestä hajoaa eläinsuojassa, mutta merkittävä osa siitä jää polttoon päätyvään kuivikelantaan. Kun lannan kuivikkeena käytetty turpeen ja kutterinlastun seos poltetaan, aiheutuu kuivikelannan poltossa siten myös ilmastoa lämmittäviä kasvihuonekaasupäästöjä.

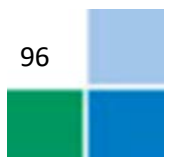
Poltossa lannasta muodostuu tuhkaa. Tuhka voidaan sekoittaa varastoidun lannan sekaan ja levittää pellolle. Vaihtoehtoisesti tuhka voidaan kuljettaa alueelle, missä fosforilannoitteelle on tarvetta. Fosfori ja kalium säilyvät tuhkassa, mutta fosfori on heikkoliukoisemmassa muodossa kuin lannassa. Tuhkasta ei huuhtoudu fosforia yhtä herkästi ympäris-



töön kuin lannasta. Polttoprosessissa menetetään typpi, joten tuhkan varastoinnista ja levityksestä ei synny typpipäästöjä, eikä ilmastoa lämmittäviä dityppioksidi- eikä metaanipäästöjä. Koska lannan typpi on haihtunut poltossa, tulee levitettävän tuhkan lisäksi lannoitusta täydentää mineraalityypilannoitteella. Mineraalityypilannoitteen valmistus on energiantensiivistä ja myös sen käytöstä aiheutuu päästöjä. Fosforin liukoisuuden heikkeneminen saattaa lisätä myös mineraalifosforilannoitteen tarvetta.

Lannan poltossa menetetään lannan typen lisäksi orgaaninen aines. Orgaaninen aines parantaa maan kasvukuntoa ja ravinteiden saatavuutta maaperästä. Eloperäinen orgaaninen aines voi toimia maaperässä myös hiilen varastona ja siten tuottaa positiivisia ilmastovaikutuksia.

Lannan polton elinkaarisia ympäristövaikutuksia arvioitaessa tulee myös huomioida, mitä polttoainetta lannan poltosta saatava energia tilalla korvaisi. Mikäli lannan poltolla tuotettu energia korvaa fossiilisilla polttoaineilla tuotettua energiaa, voi lannan poltolla olla positiivisia ilmastovaikutuksia. Kokonaisvaikutusta arvioitaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon kaikki elinkaaren vaiheet.



9. Yhteenveto ja johtopäätökset

9.1. Biokaasuntuotanto siipikarjanlannasta

Siipikarjanlannat soveltuvat pilotointien perusteella sellaisenaan tai lisäsyötteiden kanssa suotopetiprosessissa mädätettäväksi. Orgaanista ainetta kohti lasketut metaanintuottopotentialit olivat lannoille tavanomaisia, mutta tuorepainoa kohti laskettuna korkeita, mikä johtuu lantojen keskimäärin korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta.

Pilot-kokeissa broilerinlannan ja kalkkunanlannan suotopetiprosessit toimivat tasaisesti ja metaanintuotto oli odotetulla tasolla. Kuivat lannat imevät varsin runsaasti perkolaationestettä, ja prosessista syntyvä mädäte on selvästi märempää kuin syötteenä käytetty lanta. Mädäte on kuitenkin varastoitavissa ja levitettävissä kuivalannan tavoin.

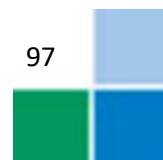
Lisäsyötteen tarve voi vaihdella riippuen käytetystä kuivikkeesta. Kalkkunanlannan mädätyksessä hiilipitoinen lisäsyöte on todennäköisesti eduksi prosessin toimivuudelle. Munintakananlannassa ei ollut kuiviketta ja typpipitoisuus oli korkea, ja lisäsyötteenä tarvitaan hiilipitoista materiaalia, esimerkiksi olkea. Pilot-kokeessa kananlannan ja apilanurmen yhdistelmässä tyypeä oli liikaa ja samaan aikaan syötemassa tiivistä, mitkä tekijät johtivat heikkoon metaanintuotantoon.

Broileri- ja kalkkunatiloille kannattavuustarkastelu tehtiin vain suotopetiprosessille, koska tulppavirtausprosessia ei ollut tarjolla näin pieneen mittakaavaan. Vastaavasti biokaasun hyödyntäminen rajattiin lämmön tai yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotantoon, koska mittakaava jäi liian pieneksi kannattavaa liikennekaasun puhdistusta ajatellen. Biokaasuntuotantoa oli haasteellista saada kannattavaksi tässä mittakaavassa myöskään suotopetiprosessille. Broileritilalla lisäsyötteiden määrän nostaminen voisi edelleen parantaa kannattavuutta, koska laitokseen jäi laskennallisesti vapaata kapasiteettia. Nyt tehdyssä tarkastelussa lisäsyötteiden määrä rajoitettiin omalta tilalta saatavilla oleviin kasvibiomasoihin. Suurempi biokaasuntuotanto pystyttäisiin edelleen hyödyntämään tilalla sähkönä ja lämpönä.

Kalkkunatilalle suotopetiprosessi osoittautui lähes kannattavaksi. Jo pelkästään nyt tehtyjen oletusten tarkentaminen saattaisi riittää kannattavuuden rajan ylitykseen. Mittakaavan nostosta kalkkunatilalle ei tosin ole vastaavaa hyötyä kuin broileritilalle, koska tilan sähkönkulutus on vain puolet broileritilan sähkönkulutuksesta. Lisäsähkön tuottaminen ainoastaan lisäisi tilalta ulos myytävän sähkön määrää, josta ei saada riittävästi voittoa kattamaan lisäsyötteiden hankinnasta aiheutuvia kustannuksia.

Ainoa selkeästi kannattava biokaasuntuotannon malli oli munatilalle suunniteltu suotopetiprosessi, jossa biokaasu hyödynnetään liikennekaasun tuotantoon. Tässä oli kuitenkin käytetty laboratoriomääriksiin ja kirjallisuusarvoihin perustuvaa laskentaa, koska varsinainen suotopetiprosessin prosessikoe munintakananlannalle epäonnistui. Seuraava askel biokaasutuotannon jatkoselvityksissä olisikin prosessikokeen uusinta valitulla syötesekella.

Tulppavirtaukseen perustuva prosessikoe munintakananlannalla onnistui, mutta kannattavuuslaskennassa tekniikka osoittautui sopimattomaksi käytettyyn mittakaavaan näh-



den. Laitoksen huomattavan korkean investointihinnan, suuren päivittäisen työmäärän ja korkean oman energiankulutuksen takia, tekniikka vaatisi suuremmat käsiteltävät mää-
sämäärät, jotta tuotetun biokaasun yksikkökustannus saataisiin kannattavalle tasolle.

Liikennekaasun myynti tilalta ulos vaatii yrityksen perustamista investointituen saamiseksi. Maatilan investointituki sallii ainoastaan sähkön myynnin ja silloinkin pääosa energiasta pitää hyödyntää tilalla. Maaseutuyrityksen saama investointituki on myös hiukan pienempi (max 30 %), kuin maatilalle myönnettävä (max 40 %). Maaseutuyrityksen on kuitenkin mahdollista saada tukea myös investoinnin toteuttavuustutkimukseen (<http://www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/Sivut/default.aspx>). Munatilan kohdalla toteuttavuustutkimukseen kannattaisi sisällyttää ainakin lisäselvitystä kaasuautojen määrästä paikkakunnalla sekä sopimuksesta myydä kaasua jakelijan kautta. Yleisempää neuvontaa biokaasulaitoksen rakentamiseen saa myös paikalliselta ELY-keskukselta.

9.2. Siipikarjan lannan terminen käsittely

Polttokokeissa käytetyillä polttoaineiden seossuhteilla on mahdollista saavuttaa lämmityksessä tarvittava kattilateho hyvällä hyötysuhteella lannan 50 %:n osuuteen asti.

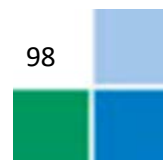
Lannan poltolle lainsäädännössä asetettujen vaatimusten täyttäminen on kuitenkin haastavaa. Palamisen viipymäaika korkeassa lämpötilassa on ratkaistavissa ja polttimeen säädöillä sekä pienillä teknisillä muutoksilla, esim. säteilypinnoilla ja oikeilla ilmamäärillä oikeissa kohdissa, tilannetta voidaan vielä parantaa.

Päästöissä raja-arvojen suurimmat haasteet ovat savukaasun typpioksidit, hiukkaset ja tuhkan orgaanisen hiilen määrä. Savukaasun NO_x-pitoisuus pysyy korkeana, koska palamislämpötila on saatava mahdollisimman ylös. Typpioksidien laskeminen vaatii teknisiä muutoksia polttimeen rakenteeseen ja palamisilman vaiheistukseen.

Asetuksen hiukkaspitoisuuden raja-arvo 10 mg/Nm³ on erittäin tiukka jopa parhaille alle 1 MW kokoluokan kiinteän polttoaineen kattiloille, joissa palaminen on säädetty optimiase-
tuksiin. Raja-arvoa ei ole saavutettu edes parhailla hakkeilla kattiloiden EN303-5:2012 tyyppitesteissä. Ainoa tämän hetken keino on käyttää hiukkaserottimia, joista toimivin on pussisuodatus. Broilerin kuivikelannan määrä vaikuttaa suoraan hiukkaspitoisuuteen, ja suuremmilla lannan osuuksilla hiukkasten erotus tulee lisäämään käyttökustannuksia.

Tulipesän pohjalle päätyvä tuhka täyttää asetuksen vaatimukset orgaanisen hiilen määrästä pohjatuhkassa. Sitä vastoin savukaasun mukana kulkevassa tuhkassa, joka jää kattilan jäähdytyspintoihin ja kulkeutuu savukaasun mukana ulos piipusta, orgaanisen hiilen määrä ylittyy noin nelikertaisesti. Sivutuoteasetuksen vaatimusten täyttämiseksi jäähdytyspinnoista ja piipusta kerätty tuhka olisi käsiteltävä erillisenä eränä ja kattilajärjestelmä on varustettava savukaasun hiukkasten ja tuhkaerotuksen tehokkailla puhdistuslaitteilla.

Tiloilla tehdyissä polttokokeissa hiukkaspäästöt olivat odotetusti laboratoriomittauksia korkeampia. Käytännön olosuhteissa lisähaastetta tuo se, että tuotantohalleissa energiantarve vaihtelee ja kattiloita käytetään paljon osateholla. Vaikka päästöt saataisiin säädöillä kohdalleen täydellä teholla, tilanne muuttuu osateholla. Kattilan jatkuva säätäminen aiheuttaisi kohtuuttomasti lisätyötä tiloille sekä vaatii syvällisempää perehtymistä poltto-
tekniikkaan.



Haastetta aiheuttaa myös lannan vaihteleva kuiva-ainepitoisuus. Testijärjestelyissä lannasta ja hakkeesta oli vaikeaa saada tasalaatuista seosta, ja vaihtelut näkyvät heti poltto-prosessissa päästöjen muutoksina.

Asetus ei ota kantaa savukaasuhiukkasten partikkelikokoon ja sen mukana olevien aineiden vaarallisuuteen, vaan ainoastaan yhden savukaasukuutiometrin sisältämän hiukkasten kokonaismassaan. Matalassa lämpötilassa ja epätäydellisessä palamisessa syntyy massaltaan isoja ja helposti erotettavia hiukkasia. Jätteenpolton tavoitteena on puolestaan saada palamislämpötila korkeaksi ja palamisprosessi täydelliseksi. Tällöin täydellemmän palamisen seurauksena syntyy alle 2,5 µm pienhiukkasia, jotka massaltaan ovat vähäisiä, mutta erittäin hankalia erottaa savukaasusta. Juuri nämä pienimmät hiukkaset on todettu terveydelle vaaralliseksi, niiden solukalvon läpäisykyvyn ja yhdistelmien sisältämien epäpuhtauksien takia.

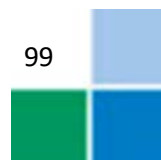
Lannan tilakohtaisessa poltossa lainsäädännön vaatimusten täyttäminen on tehtyjen kokeiden perusteella haastavaa. Poltto edellyttäisi käytännössä merkittäviä investointeja savukaasujen puhdistukseen eivätkä vuotuiset säästöt välttämättä kattaisi investointeja pidemmälläkään aikajänteellä. Näkökulma kannattavuuteen voi olla toinen, jos käytettävissä olevan peltoalan puute estää esimerkiksi tuotannon laajentamisen.

Broilerin kuivikelannan termisen kaasutuksen kokeissa haasteena oli käytetyn tekniikan keskeneräisyys ja broilerin kuivikelannan hienoaineksen sopimattomuus kaasutukseen. Tekniikka saadaan sovitettua polttoaineen pienemmälle palakoolle muuttamalla reaktorin rakennetta ja ilmansyöttökohtia, jotta polttoaine pysyy kaasuttimessa ilmapana. Myös polttoainetta voidaan muokata paremmin reaktorille sopivaksi, jota yritettiin briketöimällä kuivikelantaa. Koeajot jäivät ongelmien vuoksi lyhytaikaisiksi, mutta toimiessaan termisen kaasutuksen tulokset olivat lupaavia.

Kaasuttimen sisälämpötilat eivät täyttäneet päästöasetuksen vaatimuksia ja kaasuttimen jälkeinen jäännöshiili sisälsi paljon palamattomia orgaanisia yhdisteitä. Myös kondenssivettä muodostui tuotetun kaasun kuivauksessa, vaikka polttoaineen lähtökosteus oli alhainen.

Kaasuttimen tuottama kaasu poltettiin tässä tapauksessa kaasupolttimessa, jossa liekin lämpötila nousi korkeaksi. Tämän vuoksi myös NO_x-pitoisuudet nousevat korkeaksi. Tuotetulle kaasulle on myös muita jatkokäytön vaihtoehtoja, joilla NO_x-päästöjä ei välttämättä muodostu. Kaasutus tuottaa jäännöshiiltä. Jäännöshiili on erinomaista polttoainetta arinapolttoon tai biohiileksi.

Termisen kaasutuksen lupaavin tulos on alhainen hiukkaspitoisuus sekä olemattomat häkäpitoisuudet. Alhainen hiukkaspitoisuus johtuu osaksi tuotetun kaasun suodatuksesta, mutta myös siitä, että polttoaine jää hiileksi, eikä kaasuuntuessaan pysty muodostamaan pieniä hiukkasia, kuten polttoaine tekee palaessaan loppuun perinteisessä palamisessa. Joka tapauksessa termisestä kaasutuksesta broilerin kuivikelannan hyödyntämisessä jäi positiivinen vaikutelma, huolimatta käytön vaikeuksista.



9.3. Tarkasteltujen prosessointien ja tehostavien toimenpiteiden elinkaari- set ympäristövaikutukset

Siipikarjanlannan käsittelyketjujen elinkaariset ympäristövaikutustarkastelut osoittavat, että jo pelkästään tilakohtaisilla tehostavilla toimenpiteillä voidaan saavuttaa huomattavia ympäristöhyötyjä. Biokaasun tuotanto kuivamädätyksellä tilakohtaisissa laitoksissa on vielä kehittyvää tekniikkaa ja ympäristöhyötyjen tarkempi osoittaminen vaatii lisätutkimusta.

Broileri- ja kalkkunahallien korkea lämmön tarve on keskeinen elinkaaristen ilmastovaikutusten kannalta. Korvaamalla fossiiliset polttoaineet, kuten turve ja polttoöljy uusiutuvilla polttoaineilla, ilmastovaikutukset alentuvat. Lämmön tuottaminen biokaasulla ei kuitenkaan todennäköisesti saavuta yhtä suuria hyötyjä kuin siirtyminen esim. hakkuutähteistä tuotettuun hakkeeseen. Tämä johtuu pääasiassa kuivamädätyksessä aiheutuvista metaanivuodoista prosessin aikana ja päästöistä prosessin jälkeen. Lisäksi tilakohtaisilla biokaasulaitoksilla biokaasun tuotto lannalla jää suhteellisen vähäiseksi eikä siten vähennä riittävästi fossiilisten polttoaineiden tarvetta. Alueella syntyvien muiden lisäsyötteiden hyödyntäminen laitoksessa nostaisi biokaasun tuotantoa ja siten vähentäisi fossiilisten polttoaineiden tarvetta.

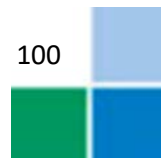
Biokaasuprosessin huolellinen suunnittelu ja toteutus sekä metaanivutojen ja -päästöjen hyvä hallinta ovat edellytys kestäväälle biokaasun tuotannolle.

Tietopohjaa kuivamädätyksen ympäristövaikutusten arvioinnille on erittäin vähän olemassa. Mittaustietoa mm. kaasuvuodoista prosessin aikana ja purkuvaiheen päästöistä sekä mädätteen varastoinnin, että peltokäytön päästöistä Suomen olosuhteista ei ole lainkaan saatavilla. Tiedon puute vaikuttaa merkittävästi ympäristövaikutusten arvioinnin luotettavuuteen. Tässä tutkimuksessa laskennan taustatietoina käytettiin mahdollisuuksien mukaan ulkomaisia tutkimuksia, asiantuntija-arvioita sekä niiden yhdistelmiä. Tulosten epävarmuutta pyrittiin osoittamaan herkkyystarkastelulla. Myös biokaasun tuotantomäärät perustuvat pääosin laskennallisiin oletuksiin eikä todellisiin tilamittakaavan laitoksiin. Tulee kuitenkin huomioida, että mikäli biokaasun tuotanto olisi alhaisempi tai tilan energiantarve muuttuu, samalla myös vaikutukset ympäristöön muuttuvat.

Jotta riittävän tarkkoja ympäristövaikutusarvioita voidaan biokaasun tuotannosta etenkin kuivamädätysprosessissa tehdä, tarvitaan mm. päästömittaustietoa riittävän pitkiltä tarkastelujaksoilta sekä erilaisina vuodenaikoina koko tuotantoketjusta.

Munatilalla biokaasuskenaarioissa biokaasu jalostetaan liikennepolttoaineeksi. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että biokaasun tuotanto ja jalostus liikennepolttoaineeksi eivät välttämättä vähennä samassa suhteessa fossiilisten liikennepolttoaineiden käyttöä. Asettavaan korvaushyötyyn vaikuttaa miten kulutusta ja päästöjä säännellään. Tuloksissa esitetyn 100% korvaushyödyn toteutumisesta ei siten ole takeita. Mikäli korvaushyöty on alhainen, tilakohtainen ilmastovaikutus on suurempi kuin nyt on esitetty (nettopäästö).

Uusimmat tutkimukset osoittavat, että hakkeen polton ilmastovaikutus riippuu käytetyn hakkeen alkuperästä. Risuista ja hakkuutähteistä tuotettua haketta poltettaessa ilmastovaikutus on vähäisempi, kuin varsinaisen runkopuun polttamisella (Soimakallio 2018, Heliin ym. 2015 ja Pingou ym. 2011). Mikäli tilalla käytetään polttoaineena hakkuutähdettä ja risuja, asettautuu biokaasun tuotanto ja käyttö lämmönlähteenä nykytilaan nähden mah-



dollisesti negatiivisena, eli lisää päästöjä. Tämä johtuu pääasiassa biokaasuprosessista ja sen jälkeen aiheutuvista metaanivuodoista ja -päästöistä. Huomioitavaa kuitenkin on, että biokaasuprosessin metaanivuotojen ja -päästöjen arviointiin liittyy suuri epävarmuus, sillä soveltuvaa mittaustietoa asiasta ei ole saatavilla.

Elinkaarisia ympäristövaikutuksia arvioitaessa tarkasteluun ei sisällytetty pelloilta tapahtuvia päästöjä lannan levitystä lukuun ottamatta eikä maankäytön muutoksia, vaan ne rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Esimerkiksi peltobiomassojen korjuun lisääntyminen saattaa vaikuttaa maan hiilitaseisiin pitkällä aikavälillä. Voidaan kuitenkin olettaa, että mm. oljen poistolla ei ole merkittävää vaikutusta maaperän hiilivaraston kertymiseen (Singh ym. 2015). Nurmen lisääminen viljelykiertoon voi lisätä maaperän hiilivarastoja sekä parantaa maan rakennetta että ravinteiden saatavuutta.

Mädätteen hiili on koostumukseltaan erilaista kuin lannalla. Biokaasuprosessissa lannan helposti haihtuva hiili on otettu talteen energiana ja lannassa se on vielä tallessa. Nopeasti hajoavalla hiilellä saattaa olla positiivinen vaikutus maaperän hiilivaraston kasvuun ja humuksen muodostumiseen (Chenu ym. 2019, Liang ym. 2017). Koska mädätteen ja lannan vaikutuksista maaperän hiilen muutoksiin Suomen olosuhteissa ei ole tutkimustietoa toistaiseksi saatavilla, ei vaikutusten arviointia sisällytetty tähän tutkimukseen.

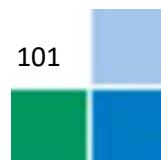
Lannan käsittelyn kannalta olennaista on minimoida typen haihdunta lantaketjun eri vaiheissa, joka vaikuttaa heikentävästi mm. lannan fosforin ja typen suhteeseen mutta samalla myös aiheuttaa happamoittavia, rehevöittäviä ja hajuvaikutuksia. Typen haihdunnan minimoiminen lannasta vähentää myös energiaintensiivisesti tuotetun mineraalityypilannoituksen tarvetta pellolla. Kasvien riittävä typensaanti voi myös parantaa kasvien kykyä sitoa fosforia, joten pitkällä aikavälillä fosforin huuhtoutuminen voi vähentyä.

Kiinnittämällä huomiota lannan varastointikäytäntöihin typen haihduntaa voidaan vähentää. Haihtumispinta-alan minimoiminen esimerkiksi lantaa tiivistämällä, lantalan katteella ja kolmiseinäisellä varastointiratkaisulla vähentää typen haihduntaa. Varastoinnin aikana tapahtuu myös typen muuntumista. Etenkin kuivalannoilla liukoinen tyyppi voi immobilisoida, eli osa liukoisesta tyypestä voi muuntua orgaaniseen muotoon. Typen immobilisointuminen vaikuttaa typen haihduntaan vähentävästi.

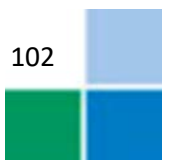
Lannan levityskäytännöillä voidaan myös vaikuttaa typen haihduntaan sekä rehevöitymiseen. Levittämällä lanta kasvien ravinnetarpeen kannalta otollisena aikana vähentää huuhtoutuvien ravinteiden määrää. Lanta tulee mullata nopeasti levityksen jälkeen, jotta typpitappiot voidaan minimoida.

Koska laskennassa päästöt suhteutettiin lantatonnia kohden, on myös huomioitava, että lannan tilavuuspaino saattaa vaihdella merkittävästi, sillä kasvatushallin olosuhteet voivat vaihdella. Lisäksi lannan ravinnepitoisuus vaikuttaa lantaketjun päästöihin. Mädätteessä on liukoista tyyppiä enemmän suhteessa prosessoimattomaan lantaan. Tämä voi lisätä ammoniakkipäästöjä varastoinnissa sekä levityksessä.

Lannan polton ympäristövaikutukset eivät rajoitu vain poltosta aiheutuviin hiukkaspäästöihin, vaan asiaa tulee lähestyä koko lannankäsittelyketjun elinkaaren näkökulmasta. Mikäli lannan poltolla korvataan fossiilisilla polttoaineilla tuotettua energiaa, muodostuu positiivisia ilmastovaikutuksia. Kokonaisvaikutusta arvioitaessa tulee ottaa huomioon kaikki elinkaaren vaiheet, kuten myös poltossa menetettävän orgaanisen aineksen vaiku-

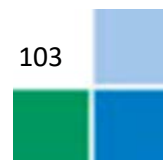


tus maaperän hiilitaseeseen. Lannan poltossa menetetään lannan typen lisäksi orgaaninen aines. Orgaaninen aines parantaa maan kasvukuntoa ja ravinteiden saatavuutta maaperästä. Eloperäinen orgaaninen aines voi toimia maaperässä myös hiilen varastona ja siten tuottaa positiivisia ilmastovaikutuksia.

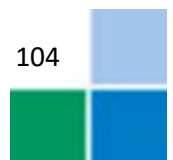


Lähteet

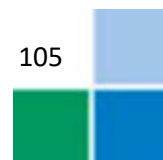
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT TECHNOLOGY 258. 229 s. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>
- Arffman, M., Lehtinen, J. & Arffman, S. 2018. Hevosenlannanpolton lainsäädännön muutoksen vaikutusarviointi. Envitecpolis Oy. 66 s. <https://envitecpolis.fi/wp2017/wp-content/uploads/2018/04/2018-04-04-RAPORTTI-Polton-vaikutusarviointi.pdf>
- Baldé, A.C. Vander Zaag, S. Burt, L. Evans, C. Wagner-Riddle, R.L. Desjardins, J.D. MacDonald. 2016. Measured versus modeled methane emissions from separated liquid dairy manure show large model underestimates Agric. Ecosyst. Environ., 230 (2016), pp. 261-270
- BHKW-Kenndaten 2014/2015. Module, Anbieter, Kosten. ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.
- Blake, J.P. & Hess, J.B. 2014. Poultry litter ash as a replacement for dicalcium phosphate in broiler diets. The Journal of Applied Poultry Research 23: 101–107.
- BioGTS 2018. Tarjous tulppavirtausreaktorille.
- Biokaasulaskuri (www.biokaasulaskuri.fi).
- Chenu C., Angers D.A., Barre P., Derrien D., Arrouays D. & Balesdent J. (2019) Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. Soil & Tillage Research 188 (2019) 41-52. EMEP/EEA 2016. EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016. 3.B Manure management.
- Codling, E.E., Chaney, R.L. & Sherwell, J. 2002. Poultry litter ash as a potential phosphorus source for agricultural crops. Journal of Environmental Quality 31: 954–961.
- Ecoinvent v3. Tietokanta. www.ecoinvent.org
- Edström, M., Schüßler, I. & Luostarinen, S. 2011. Baltic Manure WP6 Energy potentials. Combustion of Manure: Manure as Fuel in a Heating Plant. Knowledge report, Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. 12. s.
- European Commission. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources COM (2016) 767.
- Fleming, R., MacAlpine, M. 2003. Evaluation of Mechanical Liquid/Solid Manure Separators. Project Report, Ontario Pork 02/39, Ridgeway College - University of Guelph, July 2003.
- Groth, A., Maurer, C., Reiser, M. & Kranert, M. 2015. Determination of methane emission rates on a biogas plant using data from laser absorption spectrometry. Bioresource Technology 178: 359–361
- Grönroos, J., Munther, J. & Luostarinen, S. 2017. Calculation of gaseous emissions from Finnish agri-culture – description of the revised model. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.



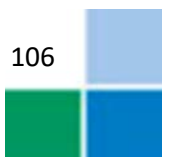
- Helin, T., Salminen, H., Hynynen, J. & Soimakallio, S. 2015. Global warming potentials of stemwood used for energy and materials in Southern Finland: differentiation of impacts based on type of harvest and product lifetime. *GCB Bioenergy*.
- IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- ISO 14040. 2006. Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework. <https://sites.google.com/site/lciarecipe/home>
- Jacobs, A., Auburger, S., Bahrs, E., Brauer-Siebrecht, W., Christen, O., Götze, P., Koch, J., Rücknagel, H. & Märkländer, B. 2017. Greenhouse gas emission of biogas production out of silage maize and sugar beet – An assessment along the entire production chain. *Applied Energy* 190:114-121.
- Kanerva, T. Dust Control Systems Oy. 2019. Suullinen tiedonanto
- Karvosenoja 2018, SYKE:n FRES-mallin tietokanta.
- Komission asetus (EU) N:o 592/2014 asetuksen (EU) N:o 142/2011 muuttamisesta eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden polttolaitoksissa polttoaineena käytön osalta.
- Liang C., Schimel J.P. & Jastrow J.D. (2017) The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. *Nature microbiology*. 2, 17105 (2017).
- Liebetrau, J., Weiland, P. & Clemens, J. 2011. Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffflüssen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der deutschen Landwirtschaft. German Biomass Research Centre (FKZ: 22023606) <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22023606.pdf>
- Liebetrau, J., Reinelt, T., Clemens, J., Hafermann, C., Friehe J. and Weiland, P. 2013. Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. *Water science and technology* 67 (6) 1370-1379.
- Luke 2018. Rakennetutkimus 2016: Kotieläinten elinolot ja lannan varastointi. https://stat.luke.fi/kotieläinten-elinolot-ja-lannan-varastointi-2016_fi-0
- Maa- ja metsätalousministeriö 2014. Maatalouden ilmasto-ohjelma - Askeleita kohti ilmastoystävällistä ruokaa. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 8/2014. Helsinki. 35 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-871-8>
- Maa- ja metsätalousministeriö 2016. Asetus maatalouden investointien hyväksyttävistä yksikkökustannuksista (1559/2016).
- Maa- ja metsätalousministeriö 2018. Toimintaohjelma maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentämiseksi Suomessa. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 1/2018. Helsinki. 34 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-970-8>
- Makkonen, J. & Vuorio, K. 2009. Hevosen- ja karjanlannan pienpolton ongelmat. Kirjallisuustutkimus. Maa- ja metsäministeriön toimeksianto. Työtehoseura, Nurmijärvi. 28 s.
- Manninen, K., Grönroos, J., Luostarinen, S. & Saastamoinen, M. 2016. Hevosenlannan energiakäytön ympäristövaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 30/2016 https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/535278/luke-luobio_30_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y



- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahio, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A., zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 46 s.
- Metener Oy 2018. Tarjous suotopetireaktorille.
- Motiva 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla.
https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf.
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. 2008. Jätteen kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset - Inventaarioraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008.
- Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K. & Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT:n tiedotteita 2357.
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf>
- Ohlström, M., Tsupari, E., Lehtilä, A. & Raunemaa, T. 2005. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen vaikutukset. Espoo 2005. VTT Tiedotteita 2300. 91 s.
- Palva, R. 2017. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat. Työtehoseuran tutkimustiedotteita 4/2017. 12 s.
- Pingoud, K., Ekholm, T. & Savolainen, I. 2012. Global warming potential factors and warming payback time as climate indicators of forest biomass use. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Volume 17, Issue 4, pp 369–386
- Poeschl M, Ward S, Owende P. Environmental impacts of biogas deployment - Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air. J Clean Prod. 2012;24:168–183
- Pyykkönen, V. 2018. Regressiomallilla lasketut erottelukertoimet Bauer S655 -ruuvipuristimelle, kun syötteenä käytettiin märkäprosessin mädätejäänöstä. Julkaisemattomat tulokset.
- ReCiPe. ReCiPe methodology for Life Cycle Impact Assessment (LCIA).
- Reinelt, T., Delre, A., Westerkamp, T., Holmgren, M. & Liebetrau, J. 2017. Comparative use of different emission measurements to determine emissions from a biogas plant. Waste Management 68: 173-185.
- Singh, P., Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Palojärvi, A., Sheehy, J., Esala, M., Mitra, S., Alakukku, L. & Regina, K. 2015. Tillage and crop residue management methods had minor effects on the stock and stabilization of topsoil carbon in a 30-year field experiment. Science of the Total Environment 518-519: 337-344.
- Soimakallio, S. 2018. Ryhmäpäällikkö, Suomen ympäristökeskus SYKE. Henkilökohtainen tiedonanto 1.11.2018.
- Särkijärvi, J., Jääskeläinen, S. & Lohko-Soner, K. (toim.) 2018. Hiiletön liikenne 2045 – polkuja päästöttömään tulevaisuuteen. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän väliraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 9/2018. 82 s.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-555-2>



- Tikkanen, M. 2015. Biolämpökeskus maatilakäytössä. Insinöörityö, Metropolia Ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505198726>.
- Tilastokeskus: Energian hinnat. <http://www.stat.fi/til/ehi/index.html>
- Tuomi, S. 2013. Selvitys rakennusten biokattilalämmittäjien energiatehokkuusneuvonnan toteuttamiseksi ja neuvonnan vaikutusten arvioimiseksi. Motiva. https://www.motiva.fi/files/9249/Selvitys_rakennusten_biokattilalammittajien_energiatehokkuusneuvonnan_toteuttamiseksi_ja_neuvonnan_vaiikutusten_arvioimiseksi.pdf
- Tuominen, K. 2017. Korsibiomassojen toimitusketju pellolta voimalaitokselle, Case: Ladec Oy. Opinnäytetyö, LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017101616077>.
- Tybirk, K., Luostarinen, S., Hamelin, L., Rodhe, L. Haneklaus, S., Poulsen, H.D. and Jensen, A.L.S. 2013. Sustainable manure management in the Baltic Sea Region. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/481921/sustmanure.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-190-6>.
- Ympäristöministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, Elintarviketurvallisuusvirasto Evira Ohje 14.11.2018 Tuotantoeläinten lannan käyttö polttoaineena polttoaineteholtaan enintään 50 MW:n kattiloissa. 10 s. <https://www.ym.fi/download/noname/%7B862C647D-15D1-4A30-B788-21CB06E3062D%7D/142252>



Liitteet

Liite 1. Lannan polton laboratoriokokeissa testattujen polttoaineiden analysoinnissa käytetyt menetelmät.

Analyysi	Menetelmä
Kokonaiskosteus	SFS-EN ISO 18134-2
Kosteusmäärittäminen (yksinkertainen)	SFS-EN 14772-3
Kalorimetrinen lämpöarvo	SFS-EN 14918
Irtotiheys	SFS-EN 15103
Hienoaines	SFS-EN 15149-2
Palakokojakauman määrittäminen	SFS-EN 15149-1
Tuhkapitoisuus 550	SFS-EN ISO 18122
Yksittäiset alkuaineet (AAS)	SFS-EN15290 / 15297
Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Si, Zn	EN 14538:2006
ICP-OES alkuaineet: Ca, Mg, Na, K, P, S, Fe, Al, Si, Ti, Mn, Ba, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, V, Sn	SFS-EN ISO 11885
CHN	EN ISO 16948, EN 15104, EN 15407, ISO 29541
S	ASTM D 4239 (mod), SFS-EN ISO 16994
Tuhkansulaminen (yksinkertainen kuppitesti)	

Liite 2. Biokaasun prosessikokeiden syötteiden ja mädätteiden ominaisuuksia

Biokaasun prosessikokeiden syötteiden tilavuuspainot ja kivennäispitoisuuksia.

Syöte	Apila-nurmi	Heinä-nurmi	Broilerin-lanta	Kalkkunan-lanta	Munintaka-nanlanta
Tilavuuspaino	-	-	0,29	0,32	1,0
Ca kg/t tuore	2,3	3,8	10,7	9,1	23,8
Mg kg/t tuore	0,9	1,3	4,8	3,2	2,1
S kg/t tuore	1,0	0,9	3,9	2,6	1,4
Fe g/t tuore	45,4	172,1	403,0	493,8	88,9
Mn g/t tuore	19,3	37,2	407,1	219,0	185,5
Cu g/t tuore	3,3	3,7	51,7	30,4	15,2
Zn g/t tuore	9,5	15,4	361,5	151,0	135,9

Biokaasun prosessikokeiden mädätteiden tilavuuspainot ja kivennäispitoisuuksia.

Mädäte	Panos, broile-rinlanta	Panos, kalkku-nanlanta	Panos, muninta-kananlanta	Tulppa, broilerin-lanta	Tulppa, kalkku-nanlanta	Tulppa, muninta-kananlanta
Tilavuuspai-no	1,0	0,5	0,4	1,0	1,0	1,0
Ca kg/t tuore	4,4	4,8	20,6	2,4	3,0	3,5
Mg kg/t tuo-re	2,0	1,8	2,7	1,0	0,8	0,7
S kg/t tuore	0,9	0,8	1,6	1,0	1,0	0,7
Fe g/t tuore	205	341	310	1130	1053	710
Mn g/t tuore	161	115	190	79	75	61
Cu g/t tuore	19,7	14,9	23,0	17,2	16,8	15,9
Zn g/t tuore	129	82	135	65	66	59
pH	8,7	8,8	8,6	8,8	8,8	8,9
johtokyky, mikroS/cm	4400	2085	4010	3400	5520	4020

Tuhkanäytteiden metallien pitoisuudet, lantana broilerinlanta.

Tuhka	50% lanta 50% koivuhake	100% kaura	25% lanta 75 % sekahake	50% lanta 50 % sekahake
Al kg/t	5,26	0,53	1,24	0,84
Fe kg/t	8,84	6,62	8,27	10,4
As g/t	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd g/t	0,15	<0,1	<0,1	<0,1
Co g/t	9,00	0,93	1,50	1,20
Cr g/t	16,0	7,70	14,0	8,40
Ni g/t	29,0	13,0	19,0	14,0
Pb g/t	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0

Liite 3. Suotopeti- ja tulppavirtausprosessien syötteiden ja mädätteiden ominaisuudet.

	TS (%)	Tilavuuspaino (kg/m ³)	VS / TS	C / N	N _{tot} (g/kg tp)	N _{liuk} (g/kg tp)	NH ₄ -N (g/kg tp)	P _{tot} (g/kg tp)	P _{liuk} (g/kg tp)	K (g/kg tp)
Broilerin kuivikepohjalanta = SYÖTE 1, pilot-koe	69,8	405	0,89	11,0	26,2	7,93	2,86	8,01	0,65	17,0
Kalkkunan kuivikepohjalanta	53,3	504	0,87	7,7	27,8	14,2	7,14	7,00	1,91	11,4
Kanan kuivikelanta	29,5	632	0,70	6,0	15,7	4,96	4,15	3,91	0,39	6,65
Nurmi	30,0	500*	0,91	17,9	7,44	2,38	0,30	0,84	0,42	8,40
Apilanurmi	35,0	500*	0,93	31,1	4,92	3,58	0,30	2,02	1,01	16,5
Heinä	86,0	200*	0,90	23,4	16,3	5,23	0,86	2,58	1,29	24,1
HVP-nurmi	86,0	200*	0,90	35,6	10,8	3,44	0,86	1,38	0,69	24,1
Olki	85,0	200*	0,91	77,8	5,10	0,30	0,00	0,90	0,45	12,8
Broilerin kuivikepohjalanta + olki + nurmi = SYÖTE 2, laskennallinen	67,1	390	0,89	12,0	23,4	7,03	2,45	7,00	0,62	16,0
Kalkkunan kuivike-pohjalanta + olki = SYÖTE 3, pilot-koe	55,8	450	0,88	8,8	26,0	13,1	6,57	6,51	1,79	11,5
Kanan kuivikelanta + olki + heinä + HVP- nurmi = SYÖTE 4, laskennallinen	48,2	367	0,82	14,2	13,5	4,06	2,91	3,08	0,49	10,58
Kanan kuivikelanta + apilanurmi = SYÖTE 5, pilot-koe	32,5	552	0,84	12,9	9,78	4,20	2,03	2,87	0,73	12,0
MÄDÄTE 1	20,0	803	0,84	7,9	10,6	3,80	2,33	3,23	0,26	6,84
MÄDÄTE 2	20,0	803	0,83	8,3	10,3	3,68	2,19	3,08	0,27	7,04
MÄDÄTE 3	21,0	793	0,79	5,2	16,8	10,1	8,59	4,21	1,16	7,42
MÄDÄTE 4	31,5	690	0,64	7,1	17,7	6,08	6,08	4,06	0,65	14,0
MÄDÄTE 5	11,6	1 000	0,70	6,8	6,47	4,42	2,87	1,90	0,48	7,97
MÄDÄTE 5, separoitu nestejæ	5,9	1 000	0,70		6,63	4,79	3,10	1,62	0,48	7,88
MÄDÄTE 5, separoitu kiintojæ	20,5	798	0,70		6,24	3,85	2,50	2,33	0,49	8,10

* Arvio tilavuuspainosta isossa siilossa

Liite 4 a. Lannan ja mädätteen varastointi- ja levitystavat pilottitiloilla: broileritila ja kalkkunatila.

Broilerinlannan varastointi ja levitys

	Varastointitapa	Osuus	Levitysajankohta	Osuus	Maan muokkaus	Osuus
Nykytila	Kattamaton	100 %	Kevät, mullos	100 %	< 4 h	33 %
					4-12 h	33 %
					12-24 h	33 %
Tehostettu	Katettu varasto	100 %	Kevät, mullos	100 %	< 4 h	100 %
Biokaasu, ei lisäsyötettä	Kattamaton	71 %	Kevät, mullos (kahdesta siilosta suoraan peltoon)	100 %	< 4 h	33 %
					4-12 h	33 %
	Ei varastointia	29 %			12-24 h	33 %
Biokaasu, lisäsyöte	Kattamaton	71 %	Kevät, mullos (kahdesta siilosta suoraan peltoon)	~90 %	< 4 h	33 %
					4-12 h	33 %
	Ei varastointia	29 %			12-24 h	33 %
			Kesä, kasvustoon (varastoitua)	~10 %		

Kalkkunanlannan varastointi ja levitys

	Varastointitapa	Osuus	Levitysajankohta	Osuus	Maan muokkaus	Osuus
Nykytila	Katettu varasto	33 %	Kevät, mullos	66 %	4-12 h	100 %
	Lyhytaikainen auma	66 %	Syksy, sänki	33 %	4-12 h	100 %
Tehostettu	Katettu varasto	66 %	Kevät, mullos	100 %	< 4 h	100%
	Lyhytaikainen auma	33 %				
Biokaasu	Katettu varasto	33 %	Kevät, mullos (puolet siilosta suoraan, puolet aumasta)	66 %	4-12 h	100 %
	Lyhytaikainen auma	33 %	Syksy, sänki (katetusta varastosta)	33 %	4-12 h	100 %
	Ei varastointia	33 %				

Liite 4 b. Lannan ja mädätteen varastointi- ja levitystavat pilottitiloilla: munatila.

Munintakananlannan varastointi ja levitys

	Varastointitapa	Osuus	Levitysajankohta	Osuus	Maan muokkaus	Osuus
Nykytila	Katettu	100 %	Kevät, mullos	50 %	< 4 h	100 %
	Lyhytaikainen auma (varastoinnin jälkeen)	50 %	Kevät, kasvusto	10 %		
			Kesä, nurmi	10 %		
			Syksy, viljan alle	15 %	< 4 h	100 %
			Syksy, sänki	15 %		
Tehostettu	Katettu	100 %	Kevät, mullos	85 %	< 4 h	100 %
	Lyhytaikainen auma (varastoinnin jälkeen)	50 %	Syksy, vilja alle	15 %	< 4 h	100 %
Biokaasu, suotopeti	Katettu	83,3 %	Kevät, mullos (1 erä suoraan siilosta)	50 %	< 4 h	100 %
	Lyhytaikainen auma (varastoinnin jälkeen)	50 %	Kevät, kasvusto	10 %		
	Ei varastointia	16,6 %	Kesä, nurmi	10 %		
			Syksy, viljan alle (1 erä suoraan siilosta)	15 %	< 4 h	100 %
			Syksy, sänki	15 %		
Biokaasu, tulppavirtaus kuivajae	Katettu	100 %	Kevät, mullos	60 %	< 4 h	100 %
	Lyhytaikainen auma (varastoinnin jälkeen)	50 %	Syksy, viljan alle (1 erä suoraan siilosta)	20 %	< 4 h	100 %
			Syksy, sänki	20 %		
Biokaasu, tulppavirtaus nestejae	Tiivis	100 %	Kevät, kasvusto	50 %		
			Kesä, nurmi	50 %		

Liite 5. Biokaasuntuotannon kannattavuuslaskennassa käytettyjä hintatietoja.

	Yksikkö	Hinta (alv 0)	Viite
Sähkön kuluttajahinta 2017	€/ MWh	102,44	Tilastokeskus / Energia / Energian hinnat
Pohjoismaisen sähköpörssin spot-hinta Suomessa 2017	€/ MWh	33,21	Tilastokeskus / Energia / Energian hinnat
Metsähake/-murske käyttöpaikalla 2016	€/ MWh	20,89	Tilastokeskus / Energia / Energian hinnat
Kevyt polttoöljy 2017	€/ MWh	70,65	Tilastokeskus / Energia / Energian hinnat
Lämmön tuotanto hakkeella (Bioheat 500 kW lämpökattila)	€/ MWh	39,09	laskettu Tikkanen (2015) tietojen perusteella
Liikennekaasun hinta omalta tankkausasemalta	€/ kg	1,17	Hinta Gasumin asemilla lokakuussa 2018
Liikennekaasun hinta jakelijan kautta myytynä	€/ kg	0,78	⅔ oman tankkausaseman hinnasta (arvio)
Mineraalityypilannoite	€/ kg	0,90	Hinta Berner/Yara, Maaseudun Tulevaisuus 5.11.2018
Oman työn hinta + palkan sivukulut	€/ h	17,20	Palva 2017
Kuormaustyö	€/ h	49,20	Palva 2017
Oljen pyöröpaalaus + aumavarastointi	€/ t ka	45,00	Tuominen 2017
Oljen/heinän kanttipaalaus + aumavarastointi	€/ t ka	55,00	Tuominen 2017
Heinän niitto	€/ ha	38,00	Palva 2017
Karhotus ja karhojen yhdistäminen	€/ ha	23,30	Palva 2017
Heinän pöyhintä	€/ ha	20,60	Palva 2017
Säilörehun niittomurskaus	€/ ha	39,20	Palva 2017
Säilörehun paalaus + käärintä	€/ paali	15,90	Palva 2017
Kuivalannan levitys (kaikki)	€/ m ³	2,49	Palva 2017
Lietelannan levitys (sijoitus)	€/ m ³	2,73	Palva 2017
Kuivalantala, avoin	€/ m ³	23,00	Maa- ja metsätalousministeriö 2016
Lietelantala, avoin	€/ m ³	24,00	Maa- ja metsätalousministeriö 2016
CHP (20 kW _{el})	€	49 800	BHKW-Kenndaten 2014/2015
CHP (25 kW _{el})	€	55 500	BHKW-Kenndaten 2014/2015
CHP (30 kW _{el})	€	60 600	BHKW-Kenndaten 2014/2015
CHP:n huoltokustannus	snt / kWh	-2,5	Hahn 2011

Liite 6. Ympäristövaikutusten yleinen menetelmäkuvaus

Tarkasteluissa käytetty elinkaariarviointiin (Life cycle assessment, LCA) perustuva standardoitu menetelmä (ISO 14040) koostuu neljästä vaiheesta seuraavasti:

1. Tavoitteen ja soveltamisalan määrittelyssä rajataan tarkasteltava systeemi käsittämään tietyt elinkaaren vaiheet ja prosessit (systeemirajaus). Systeemirajauksen määrittely riippuu paljon siitä, mikä on arvioinnin tarkoitus ja mistä näkökulmasta arviointi tehdään. Lisäksi on määriteltävä ajanjakso, jonka ajalta vaikutuksia tarkastellaan. Tässä vaiheessa päätetään, mitkä ympäristövaikutusluokat (esimerkiksi ilmastomuutos ja happamoituminen) tarkasteluun sisällytetään. Ympäristövaikutusluokista valitaan yleensä sellaiset, joihin vaikuttavista päästökomponenteista on saatavilla luotettavaa inventaariotietoa, ja joihin tarkastelussa mukana olevien päästökomponenttien tiedetään vaikuttavan. Lisäksi valitaan toiminnallinen yksikkö, joka on yksi elinkaariarvioinnin peruselementeistä. Arvioinnin tulokset, kuten päästöt ja ympäristövaikutukset, kohdennetaan toiminnallista yksikköä kohti. Tyypillisesti toiminnallinen yksikkö on tietty massamäärä tuotettua tai prosessoitua tuotetta, riippuen siitä, mikä on arvioinnin tavoitteiden ja tulosten kannalta mielekkäin yksikkö. Jos erilaisia tuotteita tai tuotantomenetelmiä verrataan toisiinsa, tulee toiminnallisten yksiköiden olla kussakin tarkasteltavassa järjestelmässä samat (esimerkiksi tonni lantaa). Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe on elinkaariarvioinnille olennainen, sillä tässä vaiheessa luodaan pohja koko arvioinnille ja muun muassa systeemirajaus voi vaikuttaa lopputulokseen merkittävästi.

2. Inventaariotiedon keräämisvaiheessa kootaan tarvittavat tiedot tarkastelun kohteena olevasta systeemistä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että listataan kaikki järjestelmään tulevat syötteet (esimerkiksi energiankulutusmäärät ja käytettävät polttoaineet) ja järjestelmästä ulos tulevat virrat (esimerkiksi päästötiedot, jätteet ja tuotteet). Näitä inventaariotietoja tulee usein tarkastella vielä yksityiskohtaisemmin ja kokoamaan inventaariotietoja esimerkiksi tarkasteltavaan järjestelmään syötteenä olevan polttoaineen valmistuksen päästöistä. Tiedon oikeellisuuden varmistamiseksi tulee käyttää mahdollisimman luotettavia tietolähteitä. Tarkat mittaukset tuotantoprosessista ovat yleensä luotettavia, mutta käytännössä tietoa etsitään useista eri tietolähteistä, kuten raporteista, kirjallisuudesta ja tekemällä asiantuntija-arvioita.

3. Vaikutusarvioinnissa päästöinventaariotiedot muutetaan ympäristövaikutuksiksi. Sitä varten eri päästöt karakterisoidaan, eli muutetaan yhteismitallisiksi kunkin ympäristövaikutusluokan sisällä. Esimerkiksi ilmastomuutosta tarkasteltaessa kaikki kasvihuonekaasupäästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi. Lisäksi yhteismitallistetut ympäristövaikutusluokkatulokset voidaan normalisoida esimerkiksi suhteuttamalla tuotteen ilmastomuutosvaikutukset koko Euroopan ilmastomuutosvaikutukseen. Tällöin voidaan arvioida, kuinka merkittäviä eri ympäristövaikutukset ovat toisiinsa nähden. Normalisoidut ympäristövaikutusluokkien tulokset voidaan lisäksi painottaa, minkä jälkeen erilaisia vaikutuksia voidaan laskea yhteen. Normalisointi ja painotus ovat kuitenkin vapaaehtoisia vaiheita. Vaikutusarviointi voidaan tehdä joko tarkastelemalla arvioinnin kohteena olevaa järjestelmää prosessikohtaisesti, jolloin voidaan nähdä, mistä elinkaarivaiheesta syntyy eniten ympäristövaikutuksia. Vaihtoehtoisesti järjestelmän prosessikohtaiset inventaariotiedot lasketaan yhteen ja tarkastellaan järjestelmän kokonaisympäristövaikutuksia.

4. Tulosten tulkinnassa arvioidaan tuloksiin vaikuttavia tekijöitä sekä tulosten herkkyyttä, täydellisyyttä ja johdonmukaisuutta. Tuloksille voidaan tehdä esimerkiksi herkkyystarkastelua asettamalla haluttuile inventaariotiedoille vaihteluvälejä. Näillä toimenpiteillä voidaan vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Johtopäätökset tehdään tulosten pohjalta.