



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021

Turkiseläinten lannan käsittely biokaasulaitoksessa

Elina Tampio, Johanna Laakso, Erika Winqvist ja Sari Luostarinen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021

Turkiseläinten lannan käsittely biokaasulaitoksessa

Elina Tampio, Johanna Laakso, Erika Winqvist ja Sari Luostarinen



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Viittausohje:

Tampio E., Laakso, J., Winqvist E. & Luostarinen, S. 2021. Turkiseläinten lannan käsittely bio-
kaasulaitoksessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021. Luonnonvarakeskus. Hel-
sinki. 72 s.

Elina Tampio, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-8080-4492>



ISBN 978-952-380-248-3 (Painettu)

ISBN 978-952-380-249-0 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-249-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Elina Tampio, Johanna Laakso, Erika Winqvist ja Sari Luostarinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2021

Julkaisu vuosi: 2021

Kannen kuva: Elina Tampio

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

Tiivistelmä

Elina Tampio¹⁾, Johanna Laakso²⁾, Erika Winqvist¹⁾ ja Sari Luostarinen²⁾

¹⁾Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki. etunimi.sukunimi@luke.fi

²⁾Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 4, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@luke.fi

Tässä tutkimuksessa selvitettiin turkiseläinten lannan käytettävyyttä biokaasulaitoksissa. Tutkimus toteutettiin määrittämällä minkin- ja ketunlannan metaanintuottopotentiaalit ja laske-
malla ravinne- ja energiataseet turkiseläinten lantojen yhteismädätykselle kuvitteellisessa bio-
kaasulaitoksessa.

Ketunlannan metaanintuottopotentiaali orgaanista ainetta (VS) kohti oli 174–260 m³CH₄/tVS ja minkinlannan 224–290 m³CH₄/tVS. Tuorepainoa kohti lantojen metaanintuottopotentiaali oli 30–60 m³CH₄/tFM. Tulokset osoittivat turkiseläinten lannan soveltuvan hyvin biokaasutuotantoon.

Laskennallinen keskitetty biokaasulaitos sijoitettiin Pohjanmaalle Pedersören ja Uudenkaarle-
pyyn kuntien alueelle, jossa laitoksen käyttöön on saatavilla 25 kilometrin säteellä runsaasti
sekä sian ja naudan liettelantaa että turkiseläinten lantaa. Märkämädätykseen perustuvan lai-
toksen käsittelykapasiteetti oli 100 000 tonnia vuodessa, jonka vuosittaisesta syötteestä turkis-
eläinten lannan osuus oli puolet. Olennaista laitoksen konseptissa oli alueellisen kotieläintuotannon
ja siten lantaravinteiden keskittymän purkamisen ravinteiden kierrätystä tehostamalla. Laitok-
seen oletettiin mädätteen jatkojalostus fosforipitoiseksi kuivajakeeksi ja nestemäiseksi NPK-
konsentraatiksi. Lisäksi arvioitiin fosforipitoisen kuivajakeen kuljetustarvetta huomioiden lai-
toksen toiminta-alueen korkea lantafosforin ylijäämä ja tavoite laskea alueellista fosforitasetta.

Tarkastellussa biokaasulaitoksessa pääosa syötteen orgaanisesta aineesta ja ravinteista tuli tur-
kiseläinten lannasta. Laitoksen massataseessa pääosa (90 %) lantojen fosforista päätyi mädät-
teestä separoituun kuivajakeeseen, joka vastasi vain 19 % syötteen massasta. Jos kuivajae vielä
pyrolysoitaisiin, sen osuus alkuperäisestä massasta olisi enää 3 %. Lantasyötteiden tyyppistä 75
% puolestaan päätyi separoituun nestejakeeseen ja siitä väkevöityyn NPK-konsentraattiin. Näin
ollen biokaasulaitos mahdollisti typen ja fosforin erottelun toisistaan ja siten tehokkaamman
hyödyntämisen siellä, missä kutakin ravinnetta tarvitaan.

Ravinteiden hyödyntämisen tehostamiseksi olennaista oli, että kuivajae tai siitä pyrolysoitu hii-
lijae kuljetetaan pois laitoksen sijoitusalueelta Pedersörestä. Hankkeessa tehdyn arvion mukaan
kuivajakeen fosfori tulisi kuljettaa Pirkanmaan tai Keski-Suomen pohjoisimpien kuntien alu-
eelle, jotta sille löytyy aitoa tarvetta kasvintuotannossa. Kuljetusmatka oli tällöin maksimissaan
180 km. Laitoksen lähialueilla Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan kunnissa lantafosforia on niin
paljon tarjolla, ettei lyhyempi kuljetusmatka riitä eikä tarkasteltu laitos riittäisi yksin ylijäämää
ratkaisemaan. Laitoksen myötä alueen lantafosforin ylijäämä pienenesi vasta 30 %.

Tarkastellun laitoksen energiatase oli kaikissa vaihtoehdoissa positiivinen (laitos tuotti enem-
män energiaa kuin kulutti), mutta riippuen energian hyödyntämisen ratkaisuista eri määrä bio-
kaasusta päätyi laitoksen omaan käyttöön ja myyntiin. Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotan-
nossa myytäväksi jäi laitoksen oman kulutuksen jälkeen vielä lähes 14 GWh/vuosi, kun taas
pelkän liikennepolttoaineen tuotannossa (32 GWh) laitoksen olisi ostettava tarvitsemansa
lämpö ja sähkö muualta.

Biokaasun energiasisällön hyödyntämistapa vaikutti ratkaisevasti laitoksen kannattavuuteen.
Kannattavinta oli kaiken biokaasun jalostus liikennekaasuksi ja myynti omalta

tankkausasemalta. Myös laitoksen oman lämmönkulutuksen kattaminen biokaasulla ja tämän jälkeen lopun kaasun jalostus liikennekaasuksi oli kannattavaa. Sen sijaan sähkön ja lämmön yhteistuotanto ja laitoksen oman sähkönkulutuksen kattaminen biokaasulla osoittautui kannattamattomaksi tehdyillä lähtöoletuksilla.

Asiasanat: turkiseläinten lanta, biokaasulaitokset, lanta, mädätys, ravinnekierto

Abstract

Elina Tampio¹⁾, Johanna Laakso²⁾, Erika Winqvist¹⁾ and Sari Luostarinen²⁾

¹⁾Natural Resources Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, FI-00790 Helsinki.
firstname.lastname@luke.fi

²⁾Natural Resources Institute Finland (Luke), Tietotie 4, FI-31600 Jokioinen, firstname.lastname@luke.fi

The aim of the study was to assess the feasibility of using fur animal manure as a feedstock in anaerobic digestion in a large biogas plant. The biological methane production potential (BMP) of both mink and fox manure was analyzed and the nutrient and energy balances for a theoretical full-scale biogas plant calculated.

The BMP (per volatile solid content (VS) of the feedstock) was 174–260 m³CH₄/tVS in fox manure and 224–290 m³CH₄/tVS in mink manure. When calculated per fresh matter (FM), the methane productions were 30–60 m³CH₄/tFM. The results indicated that fur animal manure is a suitable feedstock for anaerobic digestion with a good BMP in comparison to many other manure types.

The theoretical biogas plant was assumed to be located in Ostrobothnia, in the region of Pedersöre and Uusikaarlepyy municipalities. This region hosts an abundant supply of pig and cattle slurries in addition to fur animal manure within 25 km radius from the theoretical plant location. Manure processing into transportable, concentrated fertilizer products is also needed due to a high regional surplus of manure phosphorus in comparison to the phosphorus needed in crop production.

The digestion process was based on a traditional wet anaerobic digestion technology with a capacity of 100 000 tons of feedstock per year. Half of the feedstock was assumed to be fur animal manure and the rest cattle and pig slurry. An essential part of the biogas plant concept was providing a solution to regional nutrient recycling, meaning concentration of the digestate nutrients into transportable fertilizer products. The digestate was thus post-processed into a phosphorus-rich solid fraction (centrifuging) and a liquid NPK-concentrate (membrane filtration of the liquid fraction). Additionally, pyrolysis of the solid fraction was considered, and the transportation needs of all the resulting fertilizer products were assessed taking into account the high manure-phosphorus surplus and aims to decrease the regional P-balance.

In the theoretical biogas plant, the majority of the organic matter and nutrients within the feedstock mixture originated from fur animal manure. According to the mass balance, 90% of the manure phosphorus ended up in the separated solid fraction of the digestate, which accounted for 19% of the initial feedstock mass. If the solid fraction would be further pyrolyzed, its mass would reduce to 3% of the initial feedstock mass while retaining the 90% of phosphorus. Of the initial nitrogen in the feedstock mixture, 75% was in the separated liquid fraction and further, in the concentrated NPK-concentrate. The co-digestion of manures within the biogas plant and further post-processing of the digestate enabled the separation of nitrogen and phosphorus and subsequently their more efficient utilization in regions where these fertilizer products are truly needed.

To enhance regional nutrient recycling and utilization, it was essential that the processed solid fraction of the digestate, or the pyrolyzed char-like fraction, were transported further away from the vicinity of the biogas plant. It was estimated that to improve the regional P-balance, the phosphorus-rich solid fraction (or char-like fraction) should be transported to the

municipalities in the regions of Pirkanmaa or Central Finland, a distance of maximum 180 km. The biogas plant was still not able to solve the phosphorus surplus in the region, it was calculated to decrease the P-surplus by 30%.

The energy balance of the theoretical biogas plant was positive in all assessed scenarios, i.e. the plant produced more energy than it consumed. However, depending on the gas utilization, different shares of biogas were used for plant's own need and for selling outside. After the plant's own energy use, the combined heat and electricity production resulted in net surplus energy (14 GWh) that could be sold outside the plant. If all the biogas would be upgraded to vehicle fuel (32 GWh), the biogas plant would need to produce the heat otherwise and buy the electricity for its own need.

The choice of biogas utilization had a critical effect on the economic feasibility of the theoretical biogas plant. It was the most profitable to upgrade all the produced biogas into vehicle-grade biomethane and sell it through a plant's own fueling station. Also, covering the plant's own energy need with biogas and upgrading and selling the residual biogas as biomethane was economically feasible. Thus, only the combined heat and electricity production was not profitable according to the assumptions used within this study.

Key words: fur animal manure, biogas plant, manure, anaerobic digestion, nutrient recycling

Sisällys

Termit	8
1. Johdanto	10
2. Turkiseläinten lannan ravinteet ja metaanintuottopotentiaali	12
2.1. Menetelmät	12
2.1.1. Lantanäytteenotto	12
2.1.2. Metaanintuottopotentiaalin määrittäminen	13
2.1.3. Ravinneanalytiikka	13
2.2. Tulokset ja tulosten tarkastelu	13
2.2.1. Metaanintuottopotentiaali	15
3. Alueellinen lantabiokaasulaitos	18
3.1. Aineisto ja lähtötiedot	18
3.1.1. Alueen valinta	18
3.1.2. Mädätysteknologian valinta	20
3.1.3. Laskennallinen biokaasulaitos	23
3.1.4. Mädätteen sisältämän fosforin kuljetustarve	27
3.2. Alueellinen laitos ja sen syötteet	28
3.3. Biokaasulaitoksen massa- ja ravinnetase sekä tuotteet	30
3.4. Biokaasulaitoksen energiatase ja -tuotteet	34
3.4.1. Kuivajakeen pyrolyysin vaikutus ravinne- ja energiataseeseen	36
3.5. Mädätteen sisältämän fosforin poiskuljetus alueelta ja vaikutus fosforitaseisiin	40
3.5.1. Kuivajakeen kuljetus	42
3.5.2. Nestejakeen kuljetus	43
3.5.3. Lannoitevalmisteiden käyttö peltoviljelyssä	44
3.6. Taloudellinen tarkastelu	46
3.6.1. Käytetyt hinta- ja lähtötiedot esimerkkilaitokselle	46
3.6.2. Tulokset	49
4. Yhteenveto	52
Viitteet	54
Liitteet	60

Termit

Biohiili, hiilijae

Hiilijae on pyrolyysin kiinteä hiilipitoinen lopputuote, jota kutsutaan tietyin kriteerein myös biohiileksi (hiilipitoisuus yli 50 %, lantojen pyrolyysissä muodostuva hiilijae ei yleensä saavuta tätä). Hiilijae on kuivaa ja sen massa merkittävästi raaka-ainettaan pienempi, mikä laskee sen jatkokäsittely- ja kuljetuskustannuksia. Kuumentaminen korkeaan lämpötilaan myös hygienisoi tehokkaasti, poistaa hajuhaittoja sekä hajottaa orgaanisia haitta-aineita. Raaka-aineen sisältämät haihtumattomat alkuaineet (mm. fosfori ja kalium) päätyvät pääosin hiilijakeeseen, jolloin niiden pitoisuudet kohoavat. Typen osuus hiilijakeessa riippuu käsittelylämpötilasta.

CHP (biokaasu)

Combined heat and power eli yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto. Yhdistetyssä tuotannossa hyötysuhde on erillistuotantoa korkeampi. Biokaasukäytössä CHP koostuu moottorista tai kaasuturbiinista, jolle kaasu voidaan syöttää sellaisenaan ilman hiilidioksidin erotusta, sekä generaattorista.

Kalvosuodatus (mm. ultrasuodatus, käänteisosmoosi)

Kalvosuodatuksen tekniikat perustuvat huokoisen, puoliläpäisevän kalvon käyttöön erotuksessa, joka tapahtuu perustuen paine-, lämpötila-, pitoisuus- tai sähköpotentiaalieroihin. Suodatettava neste jakautuu kahteen osaan: kalvolle pidätyvään retentaattiin/konsentraattiin ja sen läpäisevään permeaattiin eli puhdistettuun jakeeseen. Kalvotekniikat vaativat mädätteen prosessoinnissa esikäsittelyn, esimerkiksi tehokkaan separoinnin. Kalvotekniikat voidaan jakaa karkeasti neljään vaihtoehtoon, jotka ovat ultrasuodatus, mikrosuodatus, nanosuodatus sekä käänteisosmoosi. Ultra- ja mikrosuodatuksessa huokoisen kalvon erotusalue on noin 0,01–0,1 µm. Nanosuodatuksessa ja käänteisosmoosissa käsittelyssä erotetaan vielä pienempiä liukoisia yhdisteitä (esim. NH₄-N) kiinteän kalvon läpi. Eri kalvotekniikoita voidaan operoida sarjassa edeten kohti tarkempaa erotustehokkuutta. Kalvosuodatuksen tehokkuus voi nousta lämpötilan noustessa, minkä vuoksi suodatettavan nesteen pH tulee laskea typen haihtumisen estämiseksi.

Kuivajae, nestejae

Kuivajae ja nestejae ovat mekaanisen separoinnin lopputuotteet. Käytetyn separointitekniikan erotustehosta riippuen kuivajae sisältää yleensä suurimman osan separoitavan raaka-aineen kuiva-aineesta ja siihen sitoutuneesta fosforista. Nestejae sisältää suurimman osan separoidun materiaalin massasta ja vesiliukoisesta tyypestä sekä kaliumista.

Liikennepolttoaine (biokaasu)

Kun biokaasu jalostetaan liikennepolttoaineeksi, sen sisältämä hiilidioksidi ja muut epäpuhtaudet poistetaan ja jäljelle jäävä biometaanin paineistetaan. Puhdistettu biokaasu voidaan yleensä rinnastaa maakaasuun. Puhdistustekniikoista yleisin on vesipesu, jossa biokaasun sisältämä hiilidioksidi ja rikkivety heppoliukoisina komponentteina sitoutuvat veteen. Pesun jälkeen kaasu kuivataan ja paineistetaan n. 200–300 barin paineeseen (compressed biogas, CBG). Biometaanin voi myös nesteyttää liikennekäyttöön raskaassa liikenteessä (liquefied biogas, LBG).

Metaanintuottopotentiaali

Metaanintuottopotentiaali (biochemical methane potential, BMP) kuvaa sitä metaanituotannon maksimisuorituskykyä, mikä raaka-aineella voidaan saavuttaa optimiolosuhteissa. Potentiaali määritetään kokeellisesti laboratoriomittakaavan panosreaktorissa. Jatkuvatoimisessa biokaasureaktorissa toteutuva metaanisaanto on yleensä hieman potentiaalia matalampi.

Mädätys (märkämädätys, kuivämädätys)

Mädätys eli biokaasuprosessi perustuu biohajoavien (orgaanisten) raaka-aineiden mikrobiologiseen hajotukseen hapettomissa olosuhteissa. Lopputuotteina ovat biokaasu (metaanin CH₄ ja hiilidioksidin CO₂ seos) sekä mädäte. Käsittelyn tehokkuus on riippuvainen käytetyistä raaka-aineista, prosessiolosuhteista sekä valitusta tekniikasta. Mädätys voidaan jakaa kahteen perustekniikkaan, märkä- ja kuivämädätykseen. Märkämädätyksessä syötteen kuiva-ainepitoisuus on yleisesti alle 15 % ja kuivämädätyksessä yleensä välillä 20–60 %. Märkämädätys toteutetaan useimmiten sylinterimäisissä jatkuvasekoitteisissa reaktoreissa, joissa syötettä lisätään ja poistetaan säännöllisesti. Kuivämädätys voidaan toteuttaa joko panostoimisesti esimerkiksi peitettyssä aumassa, jossa muodostuvaa perkolaationestettä kierrätetään kuivan patjan läpi, tai sylinterimäisissä jatkuvatoimisissa tulppavirtausreaktoreissa. Biokaasuprosessi voidaan myös toteuttaa joko meso- (35–40 °C) tai termofiilisisä (50–55 °C) olosuhteissa. Mesofiilinen prosessi on termofiilistä stabiilimpi, mutta termofiilinen prosessi mahdollisesti tehokkaampi ja mahdollistaa myös materiaalin hygienisoinnin.

Pyrolyysi

Pyrolyysi perustuu orgaanisen aineen kuumentamiseen (hiiltämiseen) vähähappisissa tai hapettomissa olosuhteissa. Prosessi voidaan jakaa käsittelylämpötilan ja -nopeuden perusteella hidasperilyysiin (>300 °C) ja nopeaan pyrolyysiin (n. 450–600 °C). Lopputuotteina ovat kiinteä hiilijae, nestejake sekä kaasujake. Tuotteiden ominaisuudet riippuvat prosessiolosuhteista ja raaka-aineesta. Hidaspyrolyysissä hiilijakeen saanto on nopeaa pyrolyysiä suurempi. Fosfori päättyy hiilijakeeseen, kun taas typpi pääosin haihtuu. Pyrolyysi vaatii mädätteen jalostuksessa esikäsittelynä kuivauksen, jolla sen kuiva-ainepitoisuus nostetaan yli 70 %.

Ravinnekonstraatti

Esimerkiksi kalvosuodatuksessa muodostuva tuote, jossa prosessoitavan raaka-aineen ravinteet (N ja P) väkevöidään eli erotetaan vesijakeesta. Pääravinteiden lisäksi konsentraatti sisältää myös kaliumia ja hivenaineita.

Separointi (linkoseparointi)

Mekaanisessa separoinnissa tavoitellaan vedenerotusta esimerkiksi lietelannasta tai lietemäisestä biokaasulaitoksen mädätteestä. Lopputuotteina on tällöin kuiva- ja nestejake. Separoitavan massan sisältämien ravinteiden suhteet lopputuotteissa muuttuvat, mutta niiden käyttökelpoisuus kasveille ei muutu. Separointia tehostetaan varsinkin teollisuudessa (esim. jätevesien käsittely) usein apuaineilla (esim. polymeerit), jotka lisäävät kiintoaineen ja ravinteiden erottumista. Yleisimmät separointitekniikat ovat ruuvipuristin, suotonauha sekä linkous (sentrifugointi). Suurilla separoitavilla määrillä tekniikkana on usein linko, jossa erotus perustuu pyörivän rummun aiheuttamaan keskipakoisvoimaan.

1. Johdanto

Suomen turkistuotanto on keskittynyt voimakkaasti erityisesti Pohjanmaan, Etelä-Pohjanmaan ja Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskusten alueille. Lisäksi alueella on runsaasti muuta intensiivistä kotieläintuotantoa (naudat, siat, siipikarja). Voimakas kotieläintalous tuottaa alueelle enemmän lantafosforia kuin sen kasvintuotannossa tarvitaan (Luostarinen ym. 2019a,b) ja turkistuotannolla on ylijäämässä merkittävä rooli. Vaikka turkiseläinten lantaa muodostuu Suomessa vuosittain vain noin 216 000 tonnia (lanta eläinsuojan jälkeen; noin prosentti kaikesta lannasta), se sisältää runsaasti fosforia ja kattaa kaikesta Suomessa muodostuvasta lantafosforista jopa 15 % (Luostarinen ym. 2019b).

Ratkaisuja lantaravinteiden kierrätyksen tehostamiseksi, lantafosforin siirtämiseksi ylijäämäalueilta sitä tarvitseville alueille ja lannan ympäristövaikutusten vähentämiseksi tarvitaan. Etenkin lantafosforin kuljetettavuuden edistämiseksi lannasta tulisi prosessoida väkevöityjä lannoitevalmisteita. Typen ja fosforin erottamiseksi erillisiin valmisteisiin tehostaisi myös lantatypen hyödyntämistä. Samalla voitaisiin vähentää mineraalilannoitteiden tarvetta. Toistaiseksi Suomen lannoista kuitenkin vain vähäinen osuus päättyy prosessointiin (Luostarinen ym. 2019a).

Kirjoitushetkellä turkistiloilla muodostuvaa lantaa varastoidaan osin varjotalojen alla ja osin lantavarastoissa. Noin 40 % turkiseläinten lannasta kompostoidaan keskitetysti joko laitoksissa tai aumoissa ja toimitetaan sen jälkeen lannoitekäyttöön. Lannasta 60 % hyödynnetään sellaisenaan pelloilla. Lantaa ja kompostia ei aktiivisesti ohjata fosforitaseeltaan alijäämäisille alueille, vaan niiden kuljetusmatka pellolle on keskimäärin 15–60 km. Lisäksi sekä kompostointi että pitkä varastointi lisäävät lannan typpitappioita ja laskevat näin sen lannoitearvoa (Luostarinen ym. 2017b; Lehtoranta ym. 2020).

Turkiseläinten lannan hyödyntämistä voisi tehostaa ohjaamalla sitä biokaasulaitoksiin. Keskitetyissä biokaasulaitoksissa on mahdollista prosessoida erilaisia lantoja ja muita alueella saatavilla olevia, biokaasutuotantoon soveltuvia biomassoja, tuottaa uusiutuvaa energiaa ja jalostaa mädätteen ravinteet muotoon, jossa ne ovat kuljetettavissa alueille, joilla niille on tarvetta (Luostarinen ym. 2019a,b).

Biokaasutuotannon kannalta turkiseläinten lanta on sekä mahdollisuus että haaste. Mahdollisuuden siitä tekee sen energiasisältö ja korkea ravinnepitoisuus (Luostarinen ym. 2017b), jotka mahdollistaisivat sekä hyvän biokaasusaannon että ravinteikkaan mädätteen jatkojalostettavaksi. Lisäksi turkistuotanto on alueellisesti hyvin keskittynyttä eikä turkistiloilla lannalle juuri ole omaa energia- tai lannoitekäyttöä. Sen kerääminen ja kuljettaminen prosessointiin olisi näin ollen perusteltua ja sitä jo lannan keskitetyn kompostoinnin vuoksi tehdäänkin. Toisaalta lannan nykyinen käsittely tiloilla (harva poistotiheys sekä mm. hiekka, kivet muut epäpuhtaudet) ei välttämättä erityisen hyvin tue sen hyödyntämistä biokaasutuotannossa. Kirjoitushetkellä turkiseläinten lantaa päättyy Suomessa biokaasutuotantoon toistaiseksi vähän (ks. tietolaatikko osion lopussa).

Tässä raportissa arvioidaan turkiseläinten lannan käytettävyyttä biokaasulaitoksissa ja esitetään tulokset kuvitteelliselle alueelliselle lantabiokaasulaitokselle sisältäen mädätteen prosessoinnin väkevöidyiksi lannoitevalmisteiksi. Tutkimus toteutettiin määrittämällä minkin- ja ketunlannan metaanintuottopotentiaalit ja laskemalla massa-, ravinne- ja energiataseet esimerkkilaitokselle, joka mädätti turkiseläinten lantoja naudan ja sian lietelannan kanssa. Muodostuvien lannoitevalmisteiden laatu ja kuljetustarve arvioitiin. Lisäksi selvitettiin esimerkkilaitoksen kannattavuutta. Toimien ympäristövaikutusten arviointi on raportoitu erikseen Lehtoranta ym. (2020) julkaisussa.

Tämä raportti on osa Tehoa turkislannan hyödyntämiseen (TURKISTEHO) -hanketta (2016–2019), jonka päärahoittajana toimi Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma. Hanketta koordinoi Suomen Turkiseläinten Kasvattajain Liitto (SKTL) partnereinaan Luonnonvarakeskus (Luke) ja Suomen ympäristökeskus (SYKE).

Kokemuksia turkiseläinten lannan prosessoinnista biokaasulaitoksessa: Jepuan Biokaasu Oy

Jepuan Biokaasu Oy:n biokaasulaitos Uudessakaarlepyyssä on vuodesta 2013 yhteismädättänyt pääasiassa sian lietelantaa yhdessä naudan lietelannan, kasvibiomassojen sekä erilaisten elintarviketeollisuuden sivuvirtojen, kuten teurastamolietteiden ja perunateollisuuden biomassojen kanssa. Vuonna 2020 laitos vastaanotti yhteensä 130 000 tonnia erilaisia syötemassoja.

Laitoksella on ollut käytössä perinteinen märkämädätystekniikka, jonka lisäsyötteenä on kokeiltu pientä määrää turkiseläinten lantaa. Lanta ei olemassa olevalle tekniikalle kuitenkaan soveltunut, vaikka sitä on alueella runsaasti tarjolla. Suurimpana ongelmana olivat lannan sisältämät epäpuhtaudet, kuten häkinpalaset, kivet, hiekka sekä turkiseläinten virikeleluina toimivat puunpalaset, jotka aiheuttivat ongelmia laitoksen syötteiden sekoituslaitteessa tukkien ja vahingoittaen murskaus- ja sekoituslaitteistoja.

Jepuan Biokaasu Oy on sittemmin laajentanut biokaasulaitostaan kuivämädätysreaktoreilla, joiden uskotaan soveltuvan paremmin myös turkiseläinten lannan mädättämiseen. Kuivämädätyksen käsittelykapasiteetti on noin 25 000 tonnia ja syötteenä on suunniteltu käytettävän 55 % turkiseläinten lantaa, 15 % nurmibiomassoja, 5 % sian lietelantaa, 20 % kuivikepurua ja 5 % hautomojätettä. Laitoksen käyttöönotto on tätä kirjoitettaessa käynnissä.

Toistaiseksi biokaasulaitoksella mädätettä ei jatkojalosteta kuljetettavuuden ja ravinteiden hyödyntämisen tehostamiseksi. Yrityksellä on kuitenkin kiinnostusta jatkaa prosessoinnin kehittämistä ja erilaisia hankkeita ravinnekierätyksen tehostamiseksi toteutetaan aktiivisesti.

2. Turkiseläinten lannan ravinteet ja metaanintuottopotentiaali

Ketun- ja minkinlantanäytteitä kerättiin viideltä turkistilalta eri puolilta Suomea, ja niiden ravinesisällöt ja metaanintuottopotentiaali määritettiin laboratoriossa. Aiempaa julkaistua tietoa turkiseläinten lannan biokaasupotentiaaleista ei Suomesta ole tiettävästi saatavilla.

2.1. Menetelmät

2.1.1. Lantanäytteenotto

Yhteensä kymmenen minkin- ja ketunlantanäytettä kerättiin viideltä turkistilalta eri puolilta Suomea syksyn 2016 sekä kevään ja syksyn 2017 aikana. Lantanäytteitä otettiin eri vaiheista tilojen lannankäsittelyä siten, että näytteitä saatiin sekä varjotalojen alta että lantaloissa varastoiduista lannoista (Taulukko 1). Osa näytteistä oli suhteellisen lyhyeltä lannan kertymisen ajalta varjotalojen alta (1–2 kk edellisestä poistosta), osassa edellisestä lannanpoistosta oli tätä pitempi aika (2–3 kk, 6 kk, 12 kk) ja yhtä oli varastoitu lantalassa noin 3 kk ajan varjotalon alta poistamisen jälkeen. Eri lannankäsittelyvaiheiden kartoituksella pyrittiin selvittämään, pystytäänkö tuloksissa havaitsemaan vaihtelua lannan metaanintuottopotentiaalissa sen iän ja varastoinnin mukaan. Jokainen lantanäyte koostui eläinten erittämistä sonnasta ja virtsasta sekä tarhalla käytetystä kuivikkeesta. Näytteet Minkki tuore, Minkki 2–3 kk A, Kettu tuore A ja Kettu tuore B säilytettiin pakasteena, muut näytteet analysoitiin tuoreina.

Taulukko 1. Lantanäytteet, varastointiaika ja näytteenottoaika tilalla.

Näyte	Varastointiaika	Kuvaus
Minkinlannat		
Minkki tuore	1–2 kk	Lantanäyte varjotalon alta. Lannan edellisestä poistosta 1–2 kk
Minkki 2–3 kk A	2–3 kk	Lantanäyte varjotalon alta tila a, edellisestä poistosta 2–3 kk
Minkki 2–3 kk B	2–3 kk	Lantanäyte varjotalon alta tila b, edellisestä poistosta 2–3 kk
Minkki 6 kk	6 kk	Lantanäyte varjotalon alta, edellisestä poistosta 6 kk
Minkki varasto	12 kk	Lantanäyte varjotalon alta, edellisestä poistosta 12 kk
Ketunlannat		
Kettu tuore A	1–2 kk	Lanta varjotalon alta tila a, edellisestä poistosta 1–2 kk
Kettu tuore B	1–2 kk	Lanta varjotalon alta tila b, edellisestä poistosta 1–2 kk
Kettu 6 kk A	6 kk	Lanta varjotalon alta tila a, edellisestä poistosta 6 kk
Kettu 6 kk B	6 kk	Lanta varjotalon alta tila b, edellisestä poistosta 6 kk
Kettu varasto	9+3 kk	Lanta varastointilataalta 3 kk varastoinnin jälkeen; lantaa kerätty 9 kk varjotalon alle ennen siirtoa lantalaan

2.1.2. Metaanintuottopotentialin määrittäminen

Biokemiallinen metaanintuottopotentiali (biochemical methane potential, BMP) määritettiin viidelle minkin- ja viidelle ketunlantanäytteelle. Näytteistä määritettiin kuiva-ainepitoisuus (TS) ja orgaaninen kuiva-ainepitoisuus (VS) ennen ja jälkeen BMP-kokeen standardin SFS 3008 mukaisesti. Parametrien muutos kertoo BMP-kokeessa hajoavan orgaanisen aineksen määrästä.

BMP-koe toteutettiin automatisoidulla laitteistolla (Bioprocess Control Ab, Ruotsi), 0,5 litran panospulloissa mesofiilissä olosuhteissa (+37 °C) kolmena rinnakkaisnäytteenä. Ympäristönä käytettiin Luonnonvarakeskuksen Kuopion toimipisteen (ent. Maaninka) biokaasureaktorin siivilöityä mädätettä (195 g/pullo). Lannan ja ympin VS/VS-suhde oli 0,5. Panospulloihin lisättiin pH-puskuriksi NaHCO₃ annostuksella 3 g/l, ja liuostilavuus säädettiin 0,3 litraan tislattulla vedellä. Tarvittaessa liuoksen pH säädettiin noin 8:aan 3 M NaOH:lla. Kontrollina aloitettiin panospullot, joissa oli pelkkää ymppeä 195 g (ja vettä 105 g/pullo). Ennen kokeen aloittamista panospullojen kaasutilavuus huuhdeltiin typpikaasulla anaerobisten olosuhteiden saavuttamiseksi. Kokeen aikana panospulloja sekoitettiin automatisoidusti mekaanisella sekoittimella (84 rpm) tunnin välein minuutin ajan. Muodostuneesta biokaasusta absorboitiin hiilidioksidi NaOH:iin, jonka jälkeen metaanin tilavuus mitattiin automaattisesti vedensyrjäytykseen perustuvalla menetelmällä. BMP-kokeen kesto oli 33 vrk, jolloin kumulatiivinen metaanintuotto oli tasaantunut. Ympin metaanintuotto (kontrollit) vähennettiin näytteiden metaanintuotosta. Kokeen lopussa näytteistä määritettiin pH (VWR pH110 pH-analyzer) sekä TS ja VS.

2.1.3. Ravinneanalytiikka

Lantanäytteistä analysoitiin ennen koetta kokonaistypen pitoisuus (Kjeldahl-menetelmä), liukoisen ammoniumtypen pitoisuus (vesiuutto 1:15 -uuttosuhteella, indofenolinimenetelmä, typpipitoisuuden mittaaminen UV-VIS-spektrofotometrillä), kokonaisfosforin pitoisuus (HNO₃-H₂O₂-uuttoliuoksessa mikroaaltouunihajotuksella) ja fosfaattifosforin pitoisuus (osana Hedleyn fraktiointimenetelmää vesiuutolla 1:60).

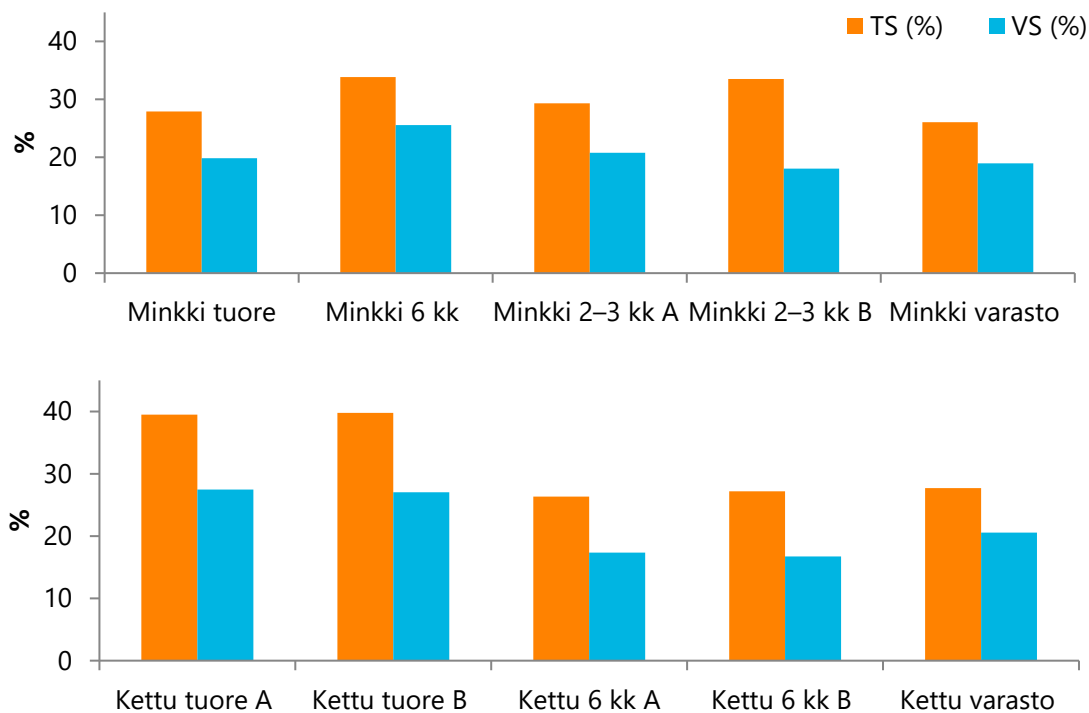
Metaanintuottopotentialikokeen jälkeen mädätteistä analysoitiin ammoniumtyyppi (uutto 2 M KCl ja salisylaattimenetelmä, Aquakem-sovellus).

2.2. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Eri tiloilta otettujen minkin- ja ketunlantojen keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus oli noin 31 % ja orgaanisen aineen pitoisuus noin 21 % (Kuva 1). Minkinlannoissa lannan iän (aika edellisestä poistosta varjotalon alta) ei havaittu muutaman näytteen otoksessa vaikuttavan kuiva-ainepitoisuuteen, mutta ketunlannoilla pitempi kertymisaika varjotalon alle näyttäisi laskevan kuiva-ainepitoisuutta. Tulos on odotusten mukainen, sillä lanta kuivuu ja toisaalta siitä voi hajota kuiva-ainetta varjotalon alla (Luostarinen ym. 2017b). Tarkempaan varastointiajan vaikutuksen tutkimiseen lantanäytteitä tulisi kuitenkin kerätä systemaattisesti samalta tilalta ja samasta lantakasasta varastoinnin eri vaiheissa ja myös kuivikkeen käyttöön tulisi kiinnittää tarkemmin huomiota. TS- ja VS-pitoisuuden muutos vaikuttaa myös lannan tuorepainotonta kohti tuotamaan metaanin määrään biokaasureaktorissa (mitä kuivempi näyte, sen korkeampi metaanintuotto tuorepainoa kohti).

Ketunlannan ravinnepitoisuudet olivat keskimäärin korkeampia kuin minkinlannan (Taulukko 2). Ketunlannan kokonaistypen, ammoniumtypen ja kokonaisfosforin keskiarvopitoisuudet olivat tuorepainossa 21,3 g/kg, 6,0 g/kg ja 18,4 g/kg, kun taas minkinlannan vastaavasti 18,1 g/kg, 5,7 g/kg ja 12,7 g/kg. Ravinnepitoisuuksien vaihteluväli oli melko suurta johtuen mahdollisesti

eläinten erilaisesta ruokinnasta ja etenkin vaihtelevista olosuhteista ja lannan iästä tarhoilla. Lisäksi käytetyn kuivikkeen määrä ja laatu vaikuttavat kaasuntuottoon. Lannan varastointiajan vaikutuksesta esimerkiksi ammoniumtyypin pitoisuuteen ei näin pienellä otannalla voida vetää johtopäätöksiä (suuri hajonta). Lannan ravinteiden määrä, ml. suuri vaihteluväli, vastasivat hyvin aikaisemmissa tutkimuksissa analysoituja minkin- ja ketunlannan ravinnepitoisuuksia (Luostarinen ym. 2017b). Ravinteiden pitoisuudet ovat korkeita verrattuna muiden tuotantoeläinten lannan ravinnepitoisuuksiin.



Kuva 1. Minkin- (yläkuva) ja ketunlantojen (alakuva) kuiva-aineen (TS) ja orgaanisen aineen (VS) pitoisuudet.

Biokaasuprosessissa syötteen korkea typpi-, etenkin ammoniumtyyppipitoisuus voi aiheuttaa prosessihäiriöitä ja laskea metaanintuottoa, koska pH:sta ja lämpötilasta riippuvaisen, dissosioitumattoman ammoniakkityypin suuri osuus inhiboi haittaa mikrobien toimintaa. Tyyppistä aiheutuvaa inhibitiota voidaan biokaasureaktoreissa estää esimerkiksi nostamalla reaktorin syötteen hiili-typpisuhdetta (C/N) laimentamalla väkevää turkiseläinten lantaa muilla laimeammilla lantatyypeillä, esimerkiksi sian tai naudan lietelannoilla. Biokaasureaktorin mikrobipopulaatiota voidaan myös vähitellen totuttaa korkeisiin tyyppipitoisuuksiin. Totutettu mikrobiympäristö sietää paremmin korkeampia, kirjallisuuden mukaan noin 6 g/l, ammoniumtyyppipitoisuuksia (Rajagopal ym. 2013, Tampio ym. 2016a).

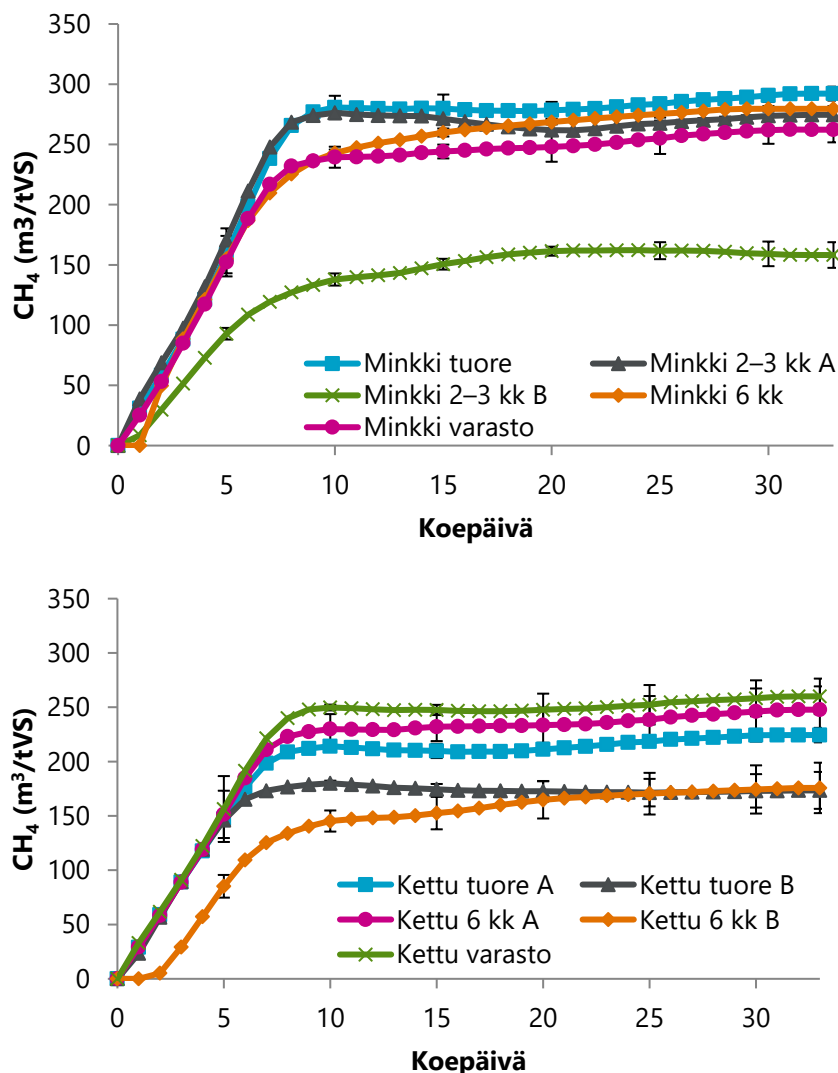
Taulukko 2. Turkiseläinten lantojen kokonaistyyppi (Ntot), ammoniumtyppi (NH₄-N), kokonaisfosfori (Ptot) ja fosfaattifosfori (PO₄-P) tuorepainoa (fresh matter, FM) kohden.

Näytenimi	Ntot (g/kgFM)	NH ₄ -N (g/kgFM)	Ptot (g/kgFM)	PO ₄ -P (g/kgFM)
Minkki tuore	17,0	4,9	13,4	-
Minkki 2–3 kk A	17,6	3,9	13,5	-
Minkki 2–3 kk B	12,6	3,5	-	-
Minkki 6 kk	26,6	10,7 ¹	11,2	1,9
Minkki varasto	16,6	5,5	-	-
Keskiarvo minkki	18,1	5,7	12,7	-
Kettu tuore A	27,2	6,4	20,1	-
Kettu tuore B	24,7	6,5	19,1	-
Kettu 6 kk A	17,2	5,0	-	-
Kettu 6 kk B	19,9	7,2 ¹	16,0	1,4
Kettu varasto	17,7	5,1	-	-
Keskiarvo kettu	21,3	6,0	18,4	-

2.2.1. Metaanintuottopotentiaali

Turkiseläinten lantojen metaanintuottopotentiaali oli keskimäärin noin 230 m³ CH₄/tVS ja määritettyjen näytteiden potentiaalien vaihteluväli oli 158–292 m³ CH₄/tVS (Kuva 2, Taulukko 3). Käytetystä ympistä muodostunut metaanin määrä (57,4 ± 0,4 m³ CH₄/tVS) on vähennetty lannan metaanintuottopotentiaalin tuloksista.

Minkinlantojen kumulatiivinen metaanintuotto käyttäytyi kaikilla lantanäytteillä melko samankaltaisesti, lukuun ottamatta näytettä Minkki 2–3 kk B (Kuva 2). Muilla minkinlantanäytteillä metaanintuotto alkoi tasoittua 9–10 koepäivän jälkeen kokeen aloituksesta, mutta ko. näytteen metaanintuotto tasoittui vasta koepäivän 20 kohdalla. Myös metaanintuottopotentiaali oli tässä näytteessä muita minkin lantanäytteitä alhaisempi (158 m³ CH₄/tVS). Korkein metaanintuottopotentiaali oli tuoreimmalla minkinlannalla (1–2 kk edellisestä lannan poistosta), mutta myös pitempään varjotalon alla olleet lannat ylsivät lähes yhtä korkeaan metaanintuottoon. Minkinlantojen metaanintuottopotentiaali (keskimäärin 253 m³ CH₄/tVS) oli hieman ketunlantoja korkeampi (keskimäärin 216 m³ CH₄/tVS). Ketunlannoista suurin metaanintuottopotentiaali oli lantalasta otetulla lannalla (9 kk varjotalon alla + 3 kk lantalassa), joten tässä kokeessa ei havaittu lannan iälle vaikutusta VS-kohtaiseen metaanintuottopotentiaaliin. Kaikkien lantanäytteiden VS:n vähenemä BMP-kokeen aikana seurasi metaanintuotantoa. Suurin vähenemä VS:ssa havaittiin tuoreimmalla minkinlannalla, jonka metaanintuottopotentiaali oli näytteistä korkein.



Kuva 2. Kumulatiivinen metaanintuotto minkinlannasta (yläkuva) ja ketunlannasta (alakuva).

Tässä tutkimuksessa saavutetut minkinlannan metaanintuottopotentiaalit olivat hieman alempia kuin aiemmissa tutkimuksissa määritetyt metaanintuottopotentiaalit. Zardakas ym. (2016) raportoivat kreikkalaisella tarhalla muodostuneen minkinlannan BMP-arvoiksi 368–428 m³ CH₄/tVS. Latviassa ja Tanskassa tehdyt vastaavat kokeet minkinlannalle tuottivat 512 m³ CH₄/tVS (Dubrovskis ym. 2009) ja 400 m³ CH₄/tVS (Triolo ym. 2003). Ruotsissa minkinlannan metaanipotentialiksi on raportoitu 220 m³ CH₄/tVS (Carlsson & Uldal 2009). Erot johtunevat pääasiassa eroavaisuuksista eläinten rehuissa käytetyistä raaka-aineista sekä eläinten kasvatusolosuhteista. Tanskassa minkit kasvatetaan pääasiassa halleissa, joissa muodostuva lanta poikkeaa suomalaisesta varjotalokasvatuksessa muodostuvasta lannasta. Kuivikkeen osuus on vielä suomalaistakin tuotantoa vähäisempi, sillä sitä voi lantaan ainoastaan minkkien pesistä. Lanta on merkittävästi märempää, jopa lietemäistä, ja sitä poistetaan lantavarastoon säännöllisesti (Lund ym. 2019).

Ketunlannan metaanintuottopotentialille ei löytynyt kirjallisuusviitteitä, mutta suomalaisessa RAKET-hankkeessa (Erkkilä 2016) minkin- ja ketunlannan seoksen (tuorepainosuhte 25/75) tuottama metaanimäärä panostoisimisessa kuivämädätysprosessissa oli 154 m³ CH₄/tVS, mikä erilaisen koeasetelman vuoksi (reaktorityyppi, jatkuvatoimisuus) on hieman tässä tutkimuksessa saavutettua metaanintuottopotentialia matalampi.

Taulukko 3. Metaanintuottopotentiaali (keskiarvo \pm keskihajonta) orgaanisen kuiva-aineen pitoisuutta (m^3/tVS), kuiva-ainetta (m^3/tTS) ja tuorepainoa kohden (m^3/tFM). TS:n ja VS:n vähenemät BMP-kokeessa.

Näyte	CH ₄ (m ³ /tVS)	Rinnakkaisten koejäsenten määrä	CH ₄ (m ³ /tFM)	CH ₄ (m ³ /tTS)	TS- vähe- nemä (%)	VS- vähe- nemä (%)
Minkki tuore	292 \pm 6	3	58	208	24	32
Minkki 2–3 A	275 \pm 1	2	57	159	21	27
Minkki 2–3 B	158 \pm 11	3	29	85,1	17	25
Minkki 6 kk	280 \pm 2	3	42	125	14	21
Minkki varasto	262 \pm 11	3	50	191	20	27
Kettu tuore A	224 \pm 7	3	62	156	15	23
Kettu tuore B	174 \pm 17	3	47	118	13	20
Kettu 6 kk A	248 \pm 22	3	43	163	19	25
Kettu 6 kk B	176 \pm 23	3	29	108	14	21
Kettu varasto	260 \pm 16	2	53	193	17	24

Verrattuna muiden tuotantoeläinten lantojen metaanintuottopotentiaaliin turkiseläinten lantojen potentiaali on vastaava tai hieman korkeampi. Esimerkiksi hevosenlannassa metaanintuotto lannan orgaanista ainesta kohden on luokkaa $150 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tVS}$, ja naudan liete- ja kuivalannoilla sekä sian kuivalannoilla metaanintuotto kohden on useimmiten noin $200\text{--}230 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tVS}$. Sian lietelannan metaanintuotto taas on keskimäärin hieman korkeampi, noin $320 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tVS}$ (Luostarinen ym. 2019b), mutta voi olla jopa $600 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tVS}$ (Paavola ym. 2016). Lietelannoilla korkea vesipitoisuus kuitenkin laskee merkittävästi metaanintuottoa lannan tuorepainoa kohden verrattuna kuiviin lantoihin. Esimerkiksi sian lietelannan metaanintuottopotentiaali on usein noin $15 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tFM}$, kun turkiseläinten lannassa se oli tuorepainoa kohden $30\text{--}60 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tFM}$.

Myös typen muuntumista biokaasuprosessin aikana tutkittiin määrittämällä liukoisen typen pitoisuus ympistä ja näytteistä sekä mädätteistä kokeen jälkeen. Tulokset vaihtelivat kuitenkin runsaasti eikä niiden perusteella pystytty määrittämään typen liukoistumisen tehokkuutta ketun- ja minkinlannoilla. Muutamissa näytteissä ammoniumtypen lisäys oli kuitenkin melko suurta, $26\text{--}36 \%$. Vaihtelevat tulokset todennäköisesti liittyvät erilaisiin ammoniumtypen analysointimenetelmiin eri näytteissä (mädätteestä KCL uutto ja salisylaattimenetelmä, lannoilla indofenolinimenetelmä).

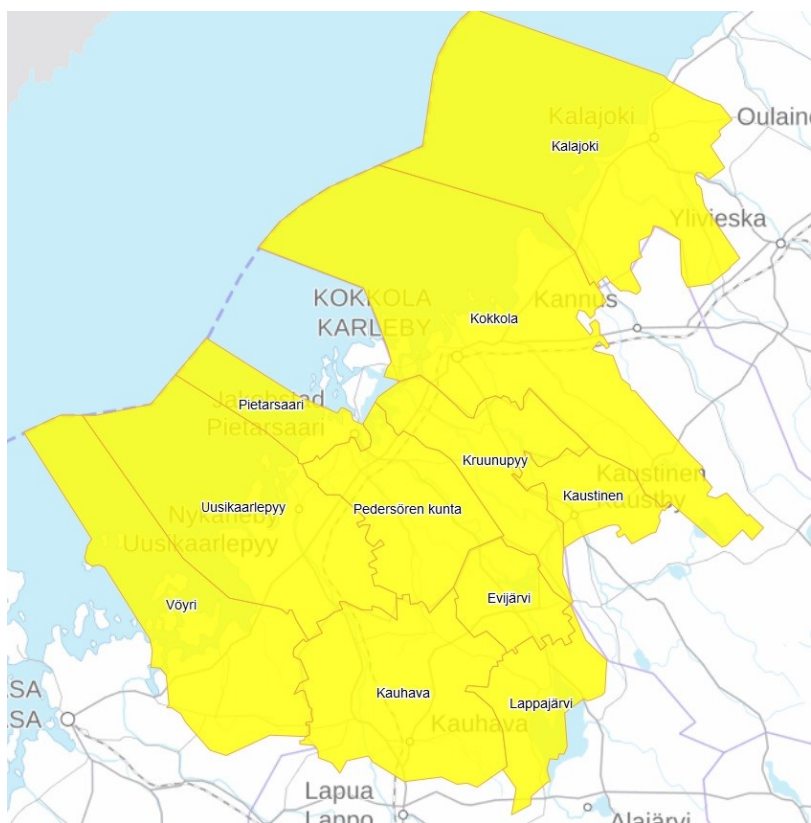
3. Alueellinen lantabiokaasulaitos

Turkiseläinten lannan biokaasutuotannon ja mädätteen jatkojalostuksen vaikutusta alueelliseen ravinnetaseeseen käsiteltiin tapauskohtaisena esimerkkitarkasteluna. Tarkasteltava alue valittiin perustuen vuoden 2016 lannantuotantomäärään intensiivisen turkistuotantoalueen kunnissa. Alueelle sijoitettiin teoreettinen märkämädätykseen perustuva biokaasulaitos, joka käsittelee sekä alueella muodostuvaa turkiseläinten lantaa että muita kotieläintuotannon lantajoja. Biokaasulaitokselle laskettiin massa-, ravinne- ja energiataseet.

3.1. Aineisto ja lähtötiedot

3.1.1. Alueen valinta

Alueellinen turkiseläinten lantojen biokaasutarkastelu keskitettiin Pohjanmaan, Etelä-Pohjanmaan sekä eteläisen Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskusten alueiden kuntiin, joille suurin osa Suomen turkistuotannosta keskittyy (Kuva 3, Taulukko 4). Biokaasutarkastelun tavoitteena oli hyödyntää turkiseläinten lantaa mahdollisimman tehokkaasti sekä määrällisesti että ravinteiltaan. Alueelliset lantamäärät ja lannan sisältämät ravinnemäärät perustuvat Suomen Normilanta -järjestelmän (Luostarinen ym. 2017a,b) tietoihin lannoista eläinsuojan jälkeen (ex housing) ja eläinmäärätilastoihin (MML 2017, paitsi hevosten tilastot perustuen Suomen Hippoksen and turkiseläimet Suomen turkiseläinten kasvattajain liiton tilastoihin vuodelta 2016).

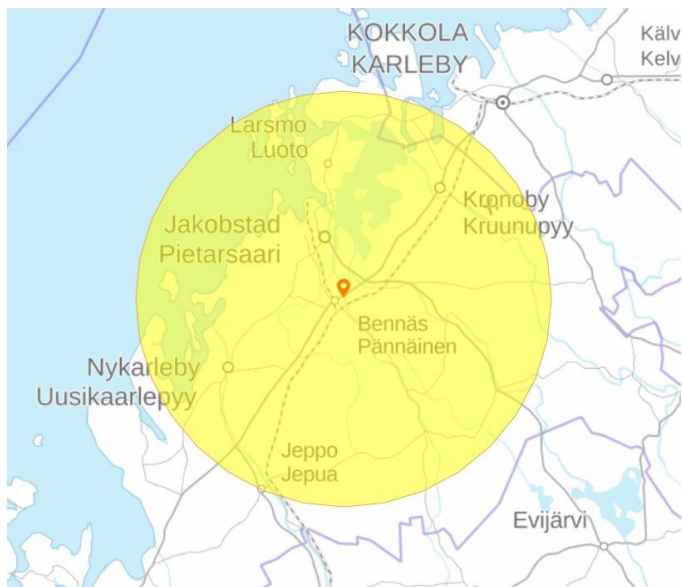


Kuva 3. Biokaasutarkasteluun valittu alue muodostuvien lantamäärien perusteella.

Taulukko 4. Suurimmat kuntakohtaisesti muodostuvat turkiseläinten lannan sekä naudan ja sian liete- ja kuivien lantojen määrät tarkastelualueella (Suomen normilanta, laskenta eläin-suojan jälkeen, Luostarinen ym. 2017a,b).

Kunta	Turkis-eläinten lanta	Naudan lietelanta	Naudan kuivat lannat	Sian lietelanta	Sian kuivat lannat	Yhteensä
<i>1 000 t/v</i>						
Uusikaarlepyy	40	32	20	117	3	212
Kalajoki	20	87	58	41	1	207
Pedersöre	16	98	65	12	0,3	191
Kauhava	15	109	66	33	1	224
Kaustinen	15	53	30	7	0,2	105
Vöyri	14	28	21	98	2	163
Lappajärvi	12	14	10	0	0	36
Evijärvi	12	31	17	0	0	60
Pietarsaari	11	1	1	0	0	13
Kokkola	8	127	67	0	0	202
Kruunupyö	6	94	56	40	1	197

Alueellisen biokaasulaitoksen tarkasteluun valittiin Pedersören ja Uudenkaarlepyyn alue (Kuva 4), jolle laskettiin biokaasulaitoksen sijoittumisen vaikutusta alueen turkiseläinten lannan ravinteiden hyötykäyttöön. Alue valittiin perustuen muodostuvaan turkiseläinten lannan sekä sian- ja naudanlantojen määriin ja ravinnepitoisuuksiin 25 kilometrin kuljetussäteellä tieverkostoa pitkin. Lisäksi laitoksen sijoituspaikkatarkastelussa etsittiin alueita, joilla muodostuvan turkiseläinten lannan määrä on mahdollisimman suuri ja joilla muun muodostuvan lannan määrä olisi sopivassa suhteessa biokaasulaitoksen syötteen kuiva-ainepitoisuutta ajatellen (riittävästi lietelantoja laimentamaan kuivaa turkiseläinten lantaa).



Kuva 4. Biokaasutarkastelun alue märkämädätystekniikkaan pohjautuen. Ympyrän säde kuvassa on 25 km, mutta lantalaskennassa maksimikuljetusetäisyys huomioitiin 25 km säteellä tieverkostoa pitkin.

3.1.2. Mädätysteknologian valinta

Suhteellisen kuivan (TS keskimäärin 30 %) turkiseläinten lanan mädätykseen on mahdollista käyttää erilaisia mädätystekniikoita. Tällä hetkellä markkinoilla on vakiintuneiden ns. märkämädätykseen soveltuvien reaktorien lisäksi myös kuivämädätystekniikoita (Kuva 5, Taulukko 5). Jatkuvatoiminen märkämädätys on hyvin tunnettu tekniikka, joka vaatii tarpeeksi matalan kuiva-ainepitoisuuden, jotta sylinterimäisissä reaktoreissa erilaisilla sekoittimilla tapahtuva sekoitus ja massojen pumppaus onnistuvat. Kuiva-ainepitoisuus märkämädätysreaktoreissa on yleensä 5–15 %. Kuivia biomassoja, kuten turkiseläinten lantaa voidaan märkämädätyksessä käsitellä yhdessä laimeampien syötteen, esimerkiksi lietelantojen kanssa. Syötettä voidaan myös laimentaa vedellä, joka voi olla peräisin esimerkiksi mädätteen jatkojalostusprosessin yhteydessä erotetusta vedestä.

Panostoimisessa kuivämädätyksessä reaktori koostuu esimerkiksi aumatyyppisestä reaktorista, jonka läpi kierrätetään mädätyksessä muodostuvaa suotovettä. Reaktori täytetään yhdellä kerralla, ja syötteen massa vaihdetaan vasta biokaasun tuotannon hiipuesssa. Kaasun tuotto on siten epätasaisempaa kuin jatkuvatoimisessa märkämädätyslaitoksessa. Kaasuntuoton tasaamiseksi ja kaasun jatkuvan käytön takaamiseksi panostoimisia reaktoreita tulee operoida useampia rinnakkain. Kuivämädätysreaktorissa syötteen kuiva-ainepitoisuus voi olla yli 20 %, yleensä n. 30–40 %, jolloin massa pysyy ns. kasalla. Kuivämädätystä voidaan operoida myös jatkuvatoimisena prosessina tulppavirtausreaktorissa. Tavanomaiseen kuivämädätykseen verrattuna tulppavirtausreaktoriin syötettävän massan kuiva-ainepitoisuus tulee olla hieman matalampi, noin 20–30 %. Tässä reaktorytyypissä massaa syötetään reaktoriin yleensä ruuvien avulla, jolloin materiaalin ei tarvitse olla pumpattavaa. Massaa syötetään reaktorin toisesta päästä sisään, jolloin sekoittimet liikuttavat massan reaktoriputken toiseen päähän, josta se poistetaan.



Kuva 5. Yläkuvassa Jepuan biokaasun märkämädätysreaktorit (Kuva: Elina Tampio/Luke). Alakuvassa kuivämädätysauman purku Palopuron biokaasulaitoksella (Kuva: Erika Winquist/Luke).

Tässä työssä tarkempaan biokaasulaitoksen massa-, ravinne- ja energiataseiden sekä kustannusten tarkasteluun valittiin märkämädätystekniikkaa käyttävä laitos. Valinta perustui sekä tarkastelualueen runsaaseen lietalantojen tarjontaan (lyhyt kuljetusmatka laitokseen) että märkämädätystekniikan kypsyyteen (hyvin tunnettu, varmatoiminen) ja mädätteen jalostettavuuteen. Märkäprosessin mädätteestä separoidut neste- ja kuivajae sekä typpi ja fosfori ovat erotettavissa ja jalostettavissa edelleen väkevöityyn, kuljetettavampaan muotoon, mikä mahdollistaa lantaravinteiden aiempaa tehokkaamman hyödyntämisen lannoitevalmisteina. Mädätteen prosessoinnissa muodostuvaa prosessivesijaetta voidaan lisäksi hyödyntää mädätysprosessissa syötteiden laimennuksessa, jolloin vältetään puhtaan veden käytöltä.

Taulukko 5. Eri mädätystekniikoiden ominaisuuksia.

	Jatkuvatoiminen märkämädätys	Panostoiminen kuivämädätys
Kuvaus tekniikasta	Sylinterimäinen täyssekoitteinen reaktori. Syötteiden TS alle 15 % (usein välillä 5–15 %).	Esimerkiksi aumatyyppinen reaktori, jossa suotonestettä kierrätetään prosessoitavan massan läpi. Ei sekoitusta. TS yli 25 % (yleensä 25–60 %).
Edut	Hyvin tunnettu ja varmatoiminen tekniikka. Soveltuu lietemäisille massoille, mutta myös yhteiskäsittelyyn kuivempien massojen kanssa tai nestekierrolla.	Sietää mahdollisesti paremmin epäpuhtauksia. Soveltuu kuiville lannoille. Ei syötteen laimennusta (jos suotopatjatyyppinen, voi imeä merkittävästi nestettä).
Haasteet	Mädäte vaatii jatkojalostusta, mikäli ravinteita kuljetetaan kauemmas.	Panostoisena vaatii useita reaktoriaumoja, joissa prosessi käynnissä rinnakkaisesti, jos halutaan tasainen kaasuntuotto. Typen ja fosforin erottelu toisistaan haastavaa kuivasta mädätteestä. Tasaisen hajoamisen varmistaminen ja siten tasalaatuisen mädätteen tuottaminen haastavaa.
Esimerkki soveltuvista materiaaleista	Lietelannat, sopivassa suhteessa myös kuivat lannat, nurmi, olki.	Kuivat lannat, separoidut kuivajakeet, nurmi, olki.
Soveltuvuus turkiseläinten lannan käsittelyyn	Vaatii yhteiskäsittelyn laimeampien syötteiden kanssa tai nestekierron syötteen laimennukseen.	Soveltuu sellaisenaan. Panostyyppinen reaktori voi vähentää esivarastoinnin tarvetta laitoksella, kun reaktori voidaan täyttää silloin, kun lantaa on tarjolla.
Mädätteen käyttö ja jalostus	Käytettävissä maataloudessa sellaisenaan tai prosessoituna. Tekniikat saatavilla sekä mädätteen separointiin että neste- ja kuivajakeiden jalostukseen. Mädätteen prosessointi mahdollistaa mädätteestä erotetun veden kierrättämisen reaktoriin.	Käytettävissä sellaisenaan (mahdollisesti separoitavissa). Kuivalle massalle soveltuvat prosessointitekniikat.

3.1.3. Laskennallinen biokaasulaitos

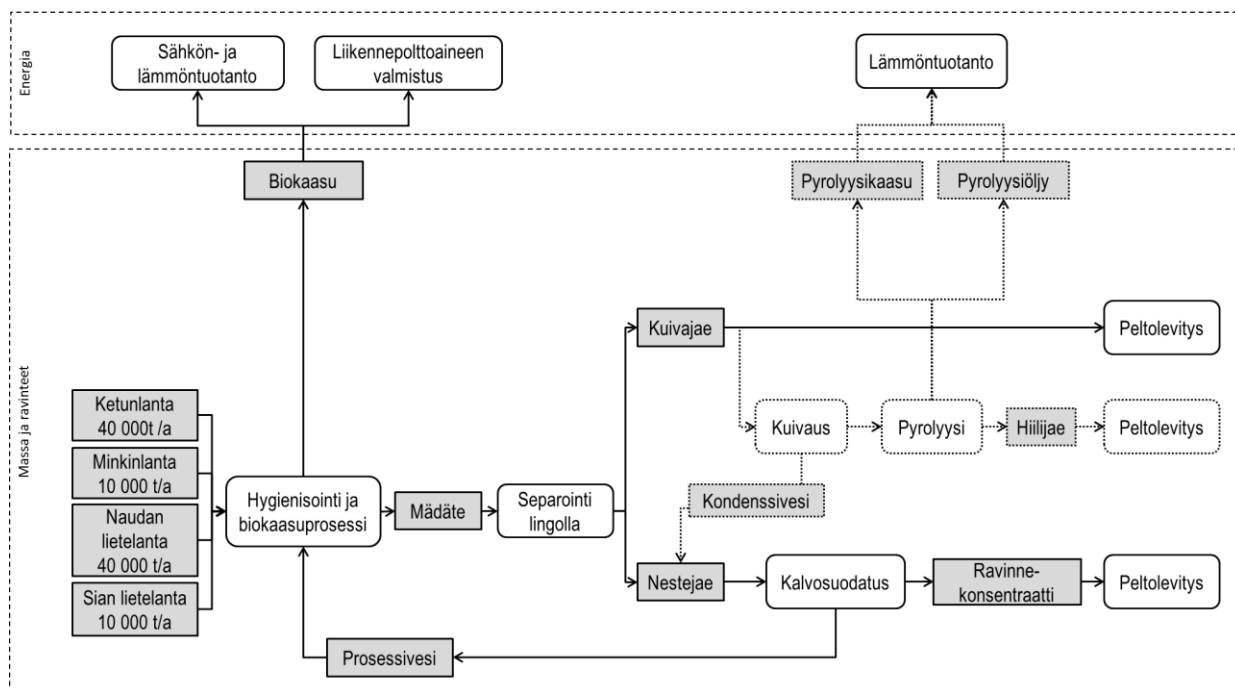
Laskennallisen biokaasulaitoksen syötteen valittiin perustuen valitulla tarkastelualueella muodostuvien lantojen suhteisiin. Esimerkkialueelle sijoitetun biokaasulaitoksen toimintaa ja tunnuslukuja mallinnettiin laskennallisesti perustuen tämän tutkimuksen kokeellisiin turkiseläinten lannan metaanintuottoarvoihin sekä kirjallisuustietoihin.

Märkämädätyslaitoksen oletetut syötteen olivat seuraavat:

- 40 000 t/a ketunlanta
- 10 000 t/a minkinlanta
- 40 000 t/a naudan lietalanta
- 10 000 t/a sian lietalanta

Prosessissa tuotettu biokaasu oletettiin joko muunnettavan sähköksi ja lämmöksi laitoksen yhteydessä olevalla CHP-laitteistolla tai puhdistettavan liikennebiokaasuksi. Muodostuvalle mädätteelle tarkasteltiin kahta eri jatkojalostusketjua (Kuva 6):

1. mädätteen separointi lingolla, kuivajae sellaisenaan, nestejakeen jatkojalostus kalvotekniikalla NPK-konsentraatiksi, molempien tuotteiden lannoitekäyttö
2. mädätteen separointi lingolla, kuivajakeen pyrolysointi hiilijakeeksi, nestejakeen jatkojalostus kalvotekniikalla NPK-konsentraatiksi, molempien tuotteiden lannoitekäyttö



Kuva 6. Laskennallisen biokaasulaitoksen prosessointiketju, muodostuvat tuotteet ja käyttökohteet. Katkoviiva kuvaa tarkasteltua 2-vaihtoehtoa kuivajakeen käsittelyssä (kuivajakeen pyrolyysi).

Separointi oletettiin toteutettavan sähkökäyttöisellä lingolla, jolloin mädätteeseen lisätään polymeeriä separoinnin tehostamiseksi. Polymeeri sitoo mädätteen kuiva-ainepartikkeleita toisiinsa (flokkautuminen) ja tehostaa erityisesti fosforin erotusta kuivajakeeseen (Paavola ym. 2016). Kuivajae voidaan hyödyntää lannoitevalmisteenä sellaisenaan. Lisäksi tarkasteltiin

vaihtoehtoa, jossa kuivajae pyrolysoitiin maanparannukseen ja fosforilannoitteeksi soveltuvaksi hiilijakeeksi ja pyrolyysissä muodostuvat öljy- ja kaasujakeet hyödynnettiin energiana.

Molemmissa kuivajakeen tarkasteluvaihtoehdoissa separoitu nestejake väkevöitiin erottamalla siitä vettä kalvosuodatuksella. Kalvotekniikka on käytössä maailmalla täyden mittakaavan bio-kaasulaitoksilla mädätteen jatkojalostuksessa (Flotats ym. 2011, Fuchs & Drosch 2013). Myös Suomessa kalvosuodatusta pilotoidaan (Horn ym. 2020). Taselaskennassa kalvosuodatus koostui ultrasuodatuksesta sekä käänteisosmoosista. Separoitua nestejakeeta voidaan todellisuudessa joutua käsittelemään kuitenkin myös esimerkiksi mikro-suodatuksen tai flotaation avulla kiintoaineen poistamiseksi ennen ravinteiden talteenottoa. Näin estetään kalvojen tukkeutuminen ja vähennetään niiden huuhtelutarvetta. Kalvoja joudutaan kuitenkin regeneroimaan eli huuhtelemaan ajoittain kemikaalien (esim. HCl, H₂SO₄, NaOH, EDTA) avulla (Hancock ym. 2012).

Taselaskennassa käytetyt syötemateriaalien laskennalliset ominaisuudet on kuvattu taulukossa 6. Ketun- ja minkinlannan ominaisuustieto perustuu Suomen Normilanta -järjestelmän tietoihin lannan ominaisuuksista (Luostarinen ym. 2017b) sekä esimerkkialueen kuntakohtaiseen eri lantatyypin osuuteen. Naudan ja sian lietalantatiedot perustuvat Normilanta-järjestelmään (Luostarinen ym. 2017a). Metaanintuottopotentialin ja typpipitoisuuden muutos perustuvat ketun- ja minkinlannalla tämän hankkeen tuloksiin (ks. osio 2.2.1). Naudan ja sian lietalantojen metaanintuottopotentiali ja typen muutos perustuvat Marttisen ym. (2015) ja Paavolan ym. (2016) raportteihin. Todellisuudessa eri materiaalien yhteiskäsittelyssä metaanintuottopotentiali voi olla joko enemmän tai vähemmän kuin massojen yhteenlaskettu potentiali, johtuen esimerkiksi syötteen C/N suhteesta, ja makro- ja mikroravinteiden pitoisuuksista, pH:sta ja puskurikapasiteetista (Sol Lisboa & Lansing 2013). Turkiseläinten lannan sekä sian ja naudon lietalantojen yhteiskäsittelystä tutkimustietoa ei kuitenkaan tiettävästi ole, joten laskenta perustui ainoastaan lantojen metaanintuottopotentialeihin. Lisäksi biokaasulaitoksen operointiolosuhteet (mm. viipymäaika, kuormitus, reaktori tyyppi) vaikuttavat todelliseen kaasuntuottoon eikä laskennallista potentialiaa välttämättä saavuteta. Tässä laskennassa metaanipotentialista oletettiin saavutettavan 90 %.

Taulukko 6. Laskennassa käytetyt ominaisuustiedot biokaasulaitoksen syötemateriaaleille tuorepainoa kohden.

Biokaasuprosessi (märkäprosessi)	TS (%)	VS (%)	Ntot (g/kg)	NH ₄ -N (g/kg)	Ptot (g/kg)	CH ₄ (m ³ /tVS)	NH ₄ -N pitoisuuden lisäys	Viite
Ketunlanta	29,3	22,0	14,2	5,3	13,6	216	10	1,2
Minkinlanta	29,0	22,2	15,9	6,8	12,3	250	10	1,2
Naudan lietalanta	9,0	7,0	5,1	3,0	0,9	200	20	3,4
Sian lietalanta	8,2	7,0	4,6	2,9	1,0	320	30	3,4

¹Luostarinen ym. 2017b, ²Tämä tutkimus, ³Luostarinen ym. 2017a, ⁴Paavola ym. 2016

Linkoseparoinnin, nestejakeen kalvosuodatuksen sekä pyrolyysin vaatiman termisen kuivauksen ja pyrolyysiprosessin aikana tapahtuva massan ja ravinteiden erottuminen arvioitiin kirjallisuuden perusteella (Taulukko 7). Pyrolyysin vaatimassa esikäsittelyssä, termisessä kuivauksessa, massan ja kuiva-aineen erotus perustui termisesti kuivatun jakeen oletettuun TS-pitoisuuteen 94 % (Sarvi ym. 2020). Tämän perusteella määritettiin massan erotustehokkuudeksi

termisessä kuivauksessa 36 %, jolloin noin 1 % lannan kuiva-aineesta (TS) siirtyy kuivauskasvuun, mutta pääosin kuivauksessa haihdutetaan lannan vesifraktiota. Pyrolyysin hiilijakeen TS-pitoisuudeksi oletettiin 96 % (Sarvi ym. 2020).

Taulukko 7. Prosessointitekniikoiden erotustehokkuudet. Luku kertoo väkevämpään jakeeseen (kuivajae, konsentraatti, hiilijae/pyrolyysiöljy) päätyvän osuuden. Termisesti kuivatun kuivajakeen TS on 94 % ja pyrolysoidun hiilijakeen 96 % (Sarvi ym. 2020). Pyrolyysiöljyn osalta oletettiin, että kaikki tyyppi saadaan talteen öljyjakeeseen.

Erotustehokkuus (%)	Massa	TS	VS	Ntot	NH ₄ -N	Ptot	Viite
Linko	15	80	80	25	20	90	1-7
Ultrasuodatus	20	70	70	-	30	40	8-9
Käänteisosmoosi	28	100	100	-	97	100	2-3, 6, 8, 10-14
Terminen kuivaus	36	-	-	64	0	100	Laskennallinen, 15
Pyrolyysi (hiilijae)	55	-	-	69	0	100	15
Pyrolyysi (neste/öljy)	33	-	-	31	0	0	15

¹Hjorth ym. 2010, ²Ledda ym. 2013, ³Marttinen ym. 2015, ⁴Melse & Verdoes 2005, ⁵Møller ym. 2002, ⁶Tampio ym. 2016b, ⁷Wesnaes ym. 2013, ⁸Chiumenti ym. 2010, ⁹Bolzonella ym. 2018, ¹⁰Carreter ym. 2015, ¹¹Flotats ym. 2011, ¹²Masse ym. 2008, ¹³Masse ym. 2010, ¹⁴Velthof ym. 2015, ¹⁵Sarvi ym. 2020

Lannat oletettiin mädätettävän biokaasulaitoksessa, jossa on hygienisointiyksikkö (3 x 20 m³) sekä mädätysreaktorit. Sylinterimäisiä eristettyjä märkämädätysreaktoreita tarkasteltavalla laitoksella oletettiin olevan käsiteltävän massamäärän (100 000 t syötteitä + 60 000 t laimennusvettä) ja viipymäajan (20–25 päivää) perusteella kolme (3 x 3500 m³).

Biokaasulaitoksen tuottama energiamäärä laskettiin syötteiden metaanintuottopotentialin (m³/tVS) ja orgaanisen aineen (VS) pitoisuuden avulla. Metaanintuottopotentialista oletettiin toteutuvan 90 %. Syötteistä biokaasuksi siirtyvä massamäärä laskettiin metaanin ja hiilidioksidin tiheyden sekä oletetun biokaasun koostumuksen avulla (60 % CH₄, 40 % CO₂). Mädätteen massa laskettiin syötteiden kokonaismäärän ja biokaasuun päätyvän massamäärän erotuksena. Sähkön, lämmön ja liikennepolttoaineen tuotannossa huomioitiin eri energiantuotantomuotojen hyötysuhteet (Taulukko 8). Tuotettu metaanikuutio muutettiin energiaksi muunnoksella 1 m³ = 10 kWh.

Biokaasuprosessin lämpöenergian tarve arvioitiin syötteen lämmittämiseen kuluvaan energian ja reaktorin lämpöhäviöiden avulla (Marttinen ym. 2015, Tampio ym. 2016b). Koska biokaasuprosessia edelsi hygienisointi, syötemateriaaleja (100 000 t) lämmitettiin 12 celsiusasteesta 75 celsiusasteeseen. Tarvittu lämpöenergia laskettiin veden ominaislämpökapasiteetin avulla (kaava 1). Laskennallisesti massaa lämmitettiin hieman yli tavoitelämmön (70 °C), ja näin lämpötilan oletettiin pysyvän tavoitteessa hygienisointikäsitteilyn ajan. Prosessissa kierrätettävälle vedelle ei huomioitu erillistä lämmitystarvetta, vaan hygienisoinnin lämmön oletettiin riittävän myös kierrätettävän veden lämmitykseen. Lämpöenergian tarve märkämädätyslaitoksessa oli näin ollen yhteensä 7315 MWh/a. Mahdollista lämmönvaihtimien käyttöä ja niiden vaikutusta lämpötaseeseen ei huomioitu. Lämmönvaihtimien avulla lämmitystarpeen osuus voi kuitenkin laskea merkittävästi.

$$\Delta E = c \times m \times \Delta t, \quad (\text{kaava 1})$$

missä ΔE = lämmittämiseen tarvittava energia
 c = aineen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C ($c_{\text{vesi}} = 4,18$ kJ/kg°C)
 m = massa, kg
 Δt = lämpötilan muutos, °C

Reaktorin lämpöhäviöt laskettiin vuosittaisena keskiarvona käyttäen seuraavia oletuksia: reaktorin tilavuus ($3 \times 3500 \text{ m}^3$), reaktorin korkeuden ja halkaisijan suhde 1:3, eristemateriaalin lämmönläpäisykerroin $u=0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Luostarinen ym. 2016), reaktorin sisälämpötila 37 °C ja kuu-kausittainen ulkoilman keskilämpötila Etelä-Suomessa. Lämpöhäviön laskentaan voitaisiin myös käyttää arviota, jolloin lämpöhäviön määrä on noin 15–20 % reaktorin lämmöntarpeesta (Smyth ym. 2009, Rapport ym. 2011). Reaktorin lämmönläpäisevyyteen perustuva lämpöhäviö märkämädätyslaitoksessa oli n. 950 MWh/a, kun se kertoimella 15 % laskettuna olisi 1300 MWh/a.

$$E_{\text{häviö}} = u \cdot A \cdot \Delta t \quad (\text{kaava 2})$$

missä u = lämmönläpäisykerroin ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 A = reaktorin ulkovaipan pinta-ala
 Δt = lämpötilan muutos, °C

Hygienisoinnin ja biokaasuprosessin sähkönkulutus perustui kirjallisuuteen ja se sisälsi myös syötteiden esisekoituksen ja pumppauksen (Taulukko 8). Hygienisoinnin sähkönkulutukseen ei sisälly murskausta ja seulontaa, mikä nostaisi prosessin sähkönkulutuksen tasolle 150 kWh/t (Pöschl ym. 2010, Tampio ym. 2016b). Mädätteen separointi sähkökäyttöisellä lingolla sekä separoitujen jakeiden käsittelyn energiankulutuksen taustatiedot on esitetty taulukossa 8.

Separointiin lisättävää polymeeriä ja kalvojen regenerointiin käytettäviä kemikaaleja (mm. NaOH) ei huomioitu laskennassa. Esimerkiksi polymeerin vaikutus massataseeseen oletettiin vähäiseksi jauhemaisen polymeerin käytön myötä (polymeerin valmistus laitoksen prosessiveen) eivätkä kalvojen regeneroinnin kemikaalit päädy mädätteeseen.

Tuotetusta biokaasusta oletettiin tuotettavan joko sähköä ja lämpöä laitoksen CHP-yksikössä tai liikennepolttoainetta. Näiden prosessivaiheiden hyötysuhteet on koottu taulukkoon 8.

Separoidun kuivajakeen pyrolyysille (450 °C) ja sitä edeltävälle esikuivaukselle huomioitiin sekä prosessien vaatima lämmön- ja sähkönkulutus sekä lämpöenergian tuotanto kattilassa Lehtoranta ym. (2020) esitetyn laskelman ja lähtötietoaineiston mukaisesti. Esikuivauksessa haihdutetun veden määrä oli 658 kg/t perustuen biokaasulaitoksella kuivattavan mädätteen vesipitoisuuteen. Pyrolyysin kaasusaannoksi oletettiin aiempien kokeiden perusteella $23 \text{ m}^3/\text{t}$, hiilen saannoksi 167 kg/t ja pyrolyysinesteen saannoksi 101 kg/t perustuen turkiseläinten lannan pyrolyysiin (Sarvi ym. 2020). Sekä neste- että kaasu- ja jätejakeet oletettiin poltettavan lämpöenergiaksi lämpökattilassa (Lehtoranta ym. 2020). Nestejake voitaisiin myös käyttää syötemateriaalina biokaasuprosessissa sen sisältämän korkean orgaanisen aineen pitoisuuden vuoksi (Sarvi ym. 2020).

Taulukko 8. Biokaasulaitoksen ja mädätteen nestejakeen käsittelyn laskennassa käytetyt lähtöarvot eri prosessivaiheiden energiankulutukselle sekä hyötysuhteelle.

	Prosessi	Arvo	Yksikkö	Viite
Sähkönkulutus	Hygienisointi	5	kWh/tTS	1-4
	Reaktori	3	% energiantuotannosta	1-2, 5
	Linko	3,5	kWh/t käsiteltävää materiaalia	2, 6-7
	Kalvosuodatus	30	kWh/t käsiteltävää	8-10
	CHP:n kulutus	5	% CHP:n sähköntuotannosta	1, 11-13
	Liikennepolttoaineen tuotanto	0,75	kWh/tuotettu m ³ _{CH4}	4, 14
Hyötysuhteet	Sähköntuotanto CHP:ssa	38	%	4, 15-16
	Lämmöntuotanto CHP:ssa	48	%	
	Liikennepolttoaineen tuotanto	98	%	14,17

¹Pöschl ym. 2010, ²Tampio ym. 2016b, ³Lindkvist ym. 2017, ⁴Marttinen, ym. 2015, ⁵Berglund & Börjesson 2006, ⁶Flotats ym. 2011, ⁷Møller ym. 2002, ⁸Bolzonella ym. 2017, ⁹Gerardo ym. 2015, ¹⁰Vaneechaute ym. 2017, ¹¹Banks ym. 2011, ¹²Havukainen ym. 2014, ¹³Naegele ym. 2012, ¹⁴Biomethane Regions 2012, ¹⁵Bacenetti et al., 2013, ¹⁶Poeschl et al., 2012, ¹⁷Biokaasulaskuri v0.3.0

3.1.4. Mädätteen sisältämän fosforin kuljetustarve

Alueellisessa biokaasulaitoksessa muodostuvan mädätteen sisältämän fosforin käyttöä arvioitiin laitoksen sijainnin ja ympäristön kasvintuotannon fosforitarpeen avulla. Laskenta toteutettiin kuntatasolla Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen toteuttaman Ravinlaskurin avulla (Ravinlaskuri 2019). Tarkastelualueen vuosittaista kasvin tutkitun tarpeen mukaan (Valkama ym. 2011, 2016) fosforilannoitusmäärää huomioiden kuntien peltojen P-lukujakauma (Lemola ym. 2018) ja eri kasvien viljelypinta-alat (viljat ja nurmet: Biomassa-atlas; avomaavihannekset, hedelmät ja marjat: Luke 2018; muut vähäisen tuotannon kasvit: asiantuntija-arviot Ravinlaskurin toteutuksen yhteydessä) verrattiin samalla alueella muodostuvan lantafosforin (Suomen normilanta, Luostarinen ym. 2017a,b; eläintilastot, MML 2017, lukuun ottamatta Suomen Hippoksen tilastot hevosille ja Suomen Turkiseläinten Kasvattajain Liiton tilastot turkiseläimille vuodelta 2016) määrään. Tulokseksi saatiin kunkin kunnan fosforitase. Alijäämäinen fosforitase tarkoittaa, että alueella on tarvetta lisäfosforille ja sinne voidaan tuoda muualta fosforipitoista lantaa tai mädätettä, kun taas ylijäämäinen tase tarkoittaa liikaa lantafosforia lannoitustarpeeseen nähden ja siten tarvetta kuljettaa lannan tai mädätteen fosforia pois kunnan alueelta.

Kuntakohtaiset fosforitaseet sijoitettiin kartalle, josta laskettiin tarvittava kuljetussäde tarkastellun biokaasulaitoksen mädätteestä erotetulle fosforipitoiselle kuivajakeelle fosforin hyödyntämiseksi siellä, missä sille on saatavissa satovastetta. Käytännössä kuljetusetaisyyden arvioinnissa huomioitiin näin ollen ainoastaan lantafosforin taseeltaan alijäämäiset kunnat.

Vaikutus peltojen P-lukujen kehitykseen

Peltojen P-lukujen kehitysennuste laskettiin Uusitalo ym. (2016) kehittämällä mallilla Pedersören, Uudenkaarlepyyn, Kauhavan ja Lapuan kuntien alueilla. Laskennassa oletettiin peltojen fosforilannoituksen toteutuvan kasvin tutkitun tarpeen mukaisesti (ks. edellä). Peltotaseen laskentaan käytettiin sadossa poistuvan fosforin määräksi viljoilla 16 kg P/ha/v ja nurmilla 24 kg P/ha/v. P-lukuennuste laskettiin 25 vuoden päähän.

3.2. Alueellinen laitos ja sen syötteen

Tarkemmin biokaasulaitoksen massa-, ravinne- ja energiataseiden, tuotteiden kuljetuksen ja prosessoinnin teknistaloudellisuutta tarkasteltiin märkämädätykseen perustuvalla biokaasulaitokselle, joka sijoittuisi Pohjanmaalla Pedersören kuntaan. Paikka valikoitui erityisesti alueen runsaan naudon ja sian liettelantamäärän sekä merkittävän turkiseläinten liettelantamäärän vuoksi (Taulukko 9). Turkiseläinten lantaa tässä esimerkkitapauksessa kuljetetaan biokaasulaitukseen myös kunnan ulkopuolelta, mutta tarvittavat liettelantamäärät löytyvät kunnan omalta alueelta. Laitoksen sijoittelun kannalta onkin erityisen tärkeää minimoida laimeamman ja suuren tilavuuden omaavan liettelannan kuljetusmatkat, kun taas sama tilavuus suhteellisen kuivaa minkin- ja ketunlantaa voidaan samoilla kustannuksilla kuljettaa hieman kauempaa. Laitos voisi sijoittua hyvinkin lähelle alueen nauta- ja sikatiloja, jolloin liettelannan kuljettaminen laitokselle voitaisiin toteuttaa esimerkiksi putkistossa.

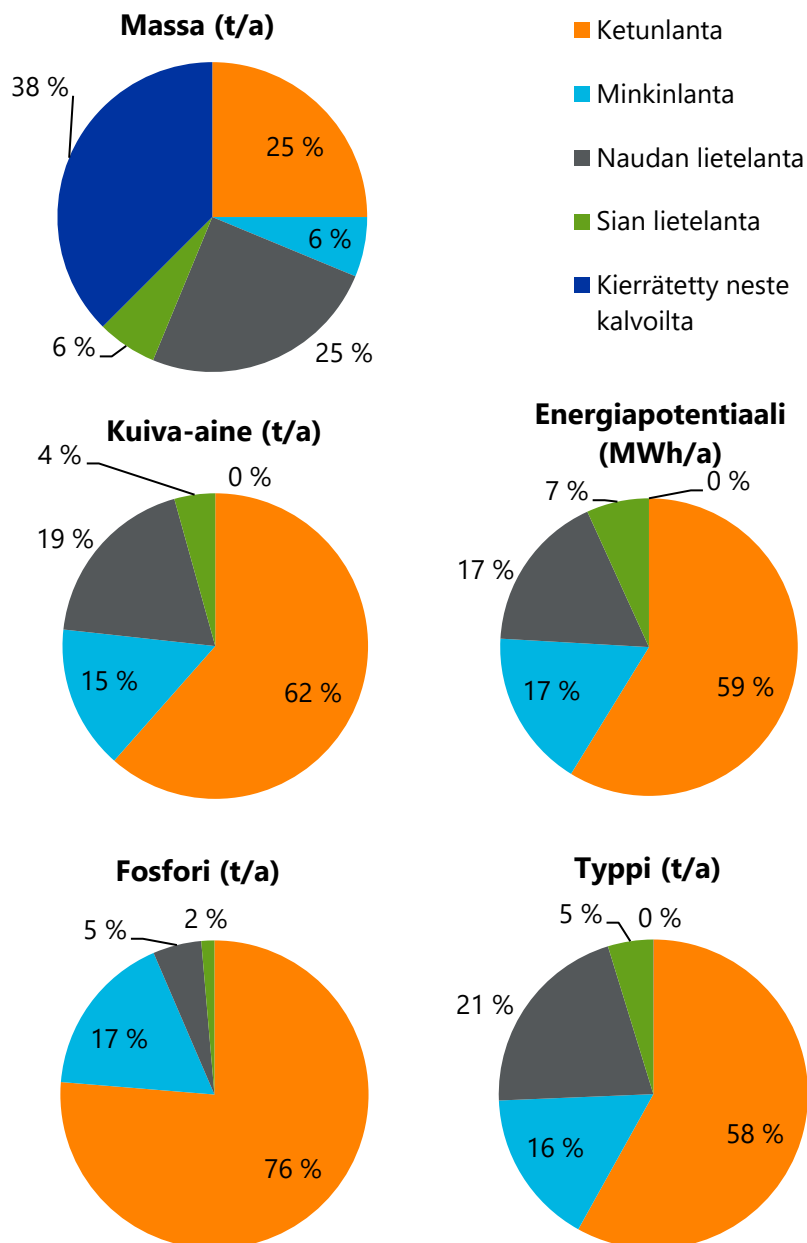
Taulukko 9. Laskennallisen biokaasulaitoksen lähialueella syntyvät todelliset liettelantamäärät (t/a) ja laskennassa käytetty liettelantamäärä. Turkiseläinten lanta laskennassa koostui 40 000 tonnista ketun lantaa ja 10 000 tonnista minkin lantaa.

Biokaasulaitos (märkämädätys)	Syntyvä lanta (t/a) 25 km kuljetusteella	Laskennassa käytetty lanta (t/a)
Turkiseläinten lanta	50 093	50 000
Lypsykarjan ja lihakarjan liettelanta	60 252	40 000
Emakkojen ja porsaiden + lihasikojen liettelanta	32 089	10 000
Yhteensä	142 434	100 000

Syötteiden kuljetusmatkaksi laskettiin

- Turkiseläinten lanta: 50 000 t kuorma-autokuljetuksena, kuljetusetäisyys 25 km
- Sian liettelanta: 10 000 t putkistoa pitkin laitokselle, kuljetusetäisyys 1 km
- Naudan liettelanta: 10 000 t putkistoa pitkin, kuljetusetäisyys 4 km sekä 30 000 t kuljetus säiliöautolla, kuljetusetäisyys keskimäärin 12 km (maksimietäisyys 20 km)

Varsinaisten lantasyötteiden (50 000 t turkiseläinten lantaa ja 50 000 t liettelantaa) lisäksi laitoksen syöteseoksen laimennukseen käytetään mädätteen jatkojalostuksen yhteydessä erotettua vettä (60 000 t/a, Taulukko 10). Erotettu vesi käytetään prosessivetenä laimentamaan syötteiden kuiva-ainepitoisuus märkäprosessiin soveltuvalla tasolla. Syötteinä käytettävien lantojen ominaisuudet eroavat toisistaan, jolloin niiden vaikutus syöteseoksessa on kuvan 7 mukainen. Esimerkiksi ketunlanta vastaa ainoastaan 25 prosenttia koko biokaasulaitoksen syötemäärästä, mutta sen sisältämä fosforimäärä on yli 75 % laitoksen syötettävästä fosforimäärästä vuosittain. Myös energiapotentiaaliin on ketunlannalla merkittävä vaikutus, mikä johtuu sen korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta.



Kuva 7. Massan, kuiva-aineen, energiapotentiaalin sekä ravinteiden jakautuminen syötemasojen kesken märkämädätysreaktorissa.

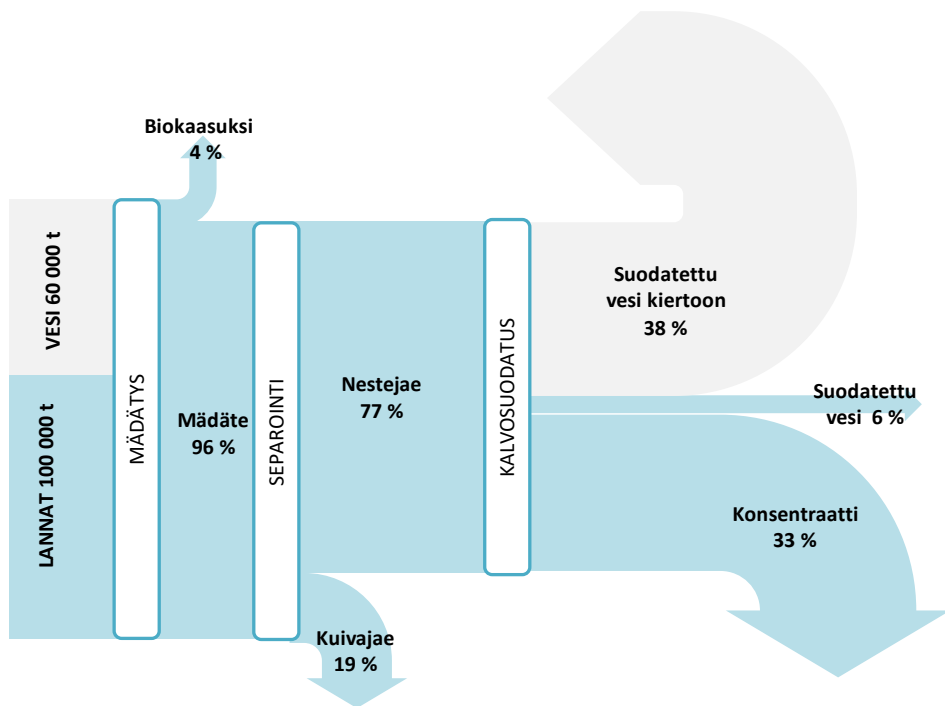
Syötemateriaalien yhteenlaskettu kuiva-ainepitoisuus on 11,9 %, mikä soveltuu märkämädätysprosessille hyvin. Mikäli laitoksessa käsiteltäisiin tätä kuivempia materiaaleja, tulisi prosessiveden osuutta lisätä. Kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa massan sekoitettavuuteen ja pumppaukseen ja sitä kautta myös laitoksen energiankulutukseen. Laitoksen orgaanisen aineen viipymäajaksi oletettiin 20 päivää, jolloin yhteenlaskettu reaktoritilavuuden tarve on noin 8 800 m³.

Taulukko 10. Märkämädätyslaitoksen syötteiden massa- ja ravinnevirrat ja teoreettinen energiantuotto.

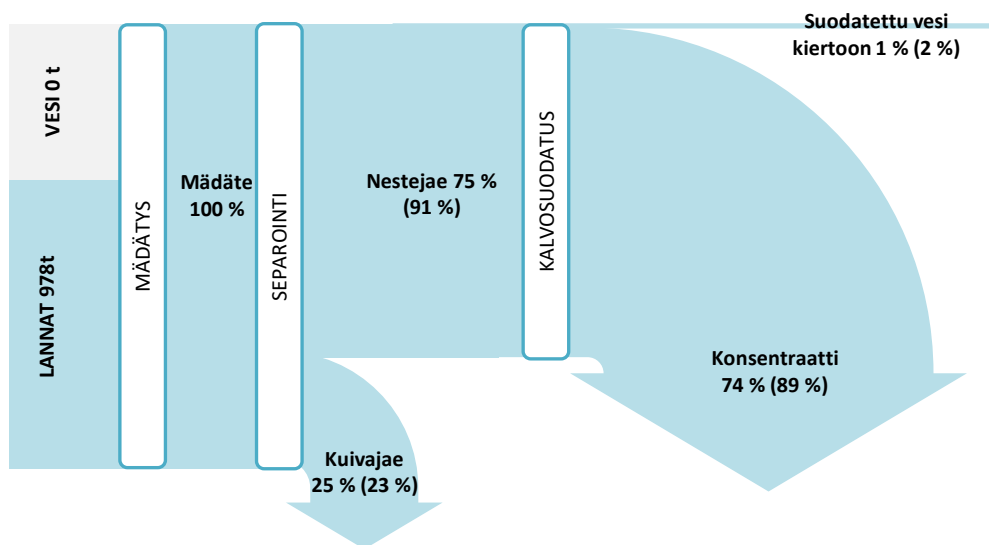
Massavirrat	Massavirta (t/a)	TS (t/a)	VS (t/a)	Ntot (t/a)	NH ₄ -N (t/a)	Ptot (t/a)	Energia (MWh/a)
Ketunlanta	40 000	11 730	8 807	568	211	545	19 022
Minkinlanta	10 000	2 904	2 218	159	68	123	5 545
Naudan liete- lanta	40 000	3 613	2 799	204	120	36	5 598
Sian liete- lanta	10 000	824	688	46	29	10	2 200
Prosessivesi	60 000	-	-	-	-	-	-
Yhteensä	160 000	19 072	14 511	978	427	715	32 366

3.3. Biokaasulaitoksen massa- ja ravinnetase sekä tuotteet

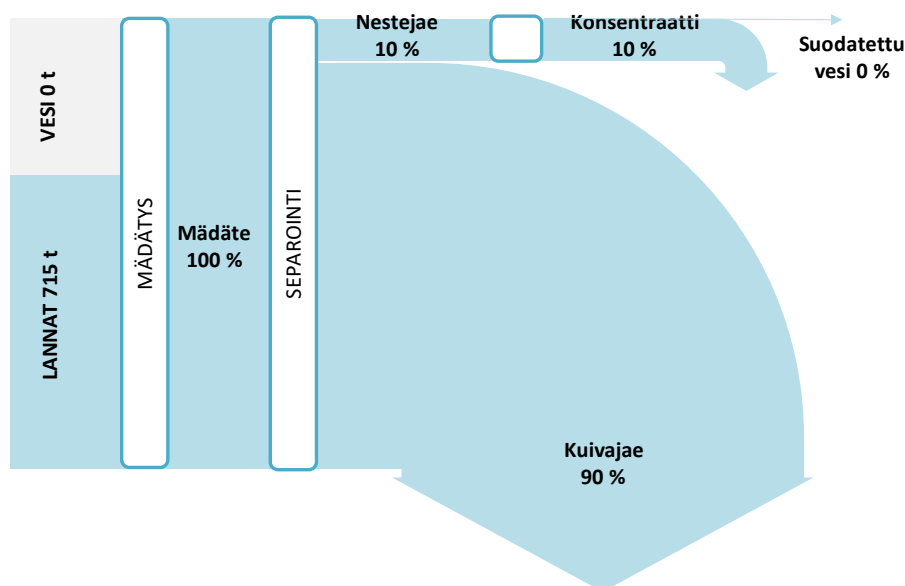
Biokaasuprosessin ja mädätteen jalostuksen aikana syötemassa ja sen sisältämät ravinteet jakautuvat eri jakeisiin, jotka muodostavat prosessoinnin lopputuotteet. Massan ja ravinteiden jakautuminen prosessoinnin aikana on riippuvaista laitoksella käytettävistä yksikköprosesseista, tässä tapauksessa biokaasuprosessista, mädätteen linkoseparoinnista ja neste- sekä kuivajakeen käsittelystä. Prosessoinnin aikana pieni osa (4 %) syötteiden massasta poistuu muodostuvana biokaasuna, mutta 96 % jatkaa mädätteenä jatkojalostukseen (Kuva 8). Mädate sisältää kaikki syötteiden sisältämät ravinteet (Kuvat 8–10). Laitoksen tuottamista tuotteista (biokaasu, mädätteestä erotettu kuivajae, konsentraatti ja suodatettu prosessivesi) prosessivesi on suurin massa ja laitoksen ravinteet pystytään käsittelemään tiivistämään konsentraattiin ja kuivajakeeseen. Kuivajae muodostuu alkuperäisestä käsiteltävästä massasta 19 % ja se sisältää 90 % laitoksen käsittelemästä fosforimäärästä. Konsentraattia muodostuu 33 % ja se sisältää 74 % laitoksen käsittelemästä kokonaistypestä ja 89 % liukoisesta ammoniumtypestä.



Kuva 8. Syötemateriaalien ja prosessin laimennukseen käytetyn veden massan jakautuminen käsittelyprosessissa.

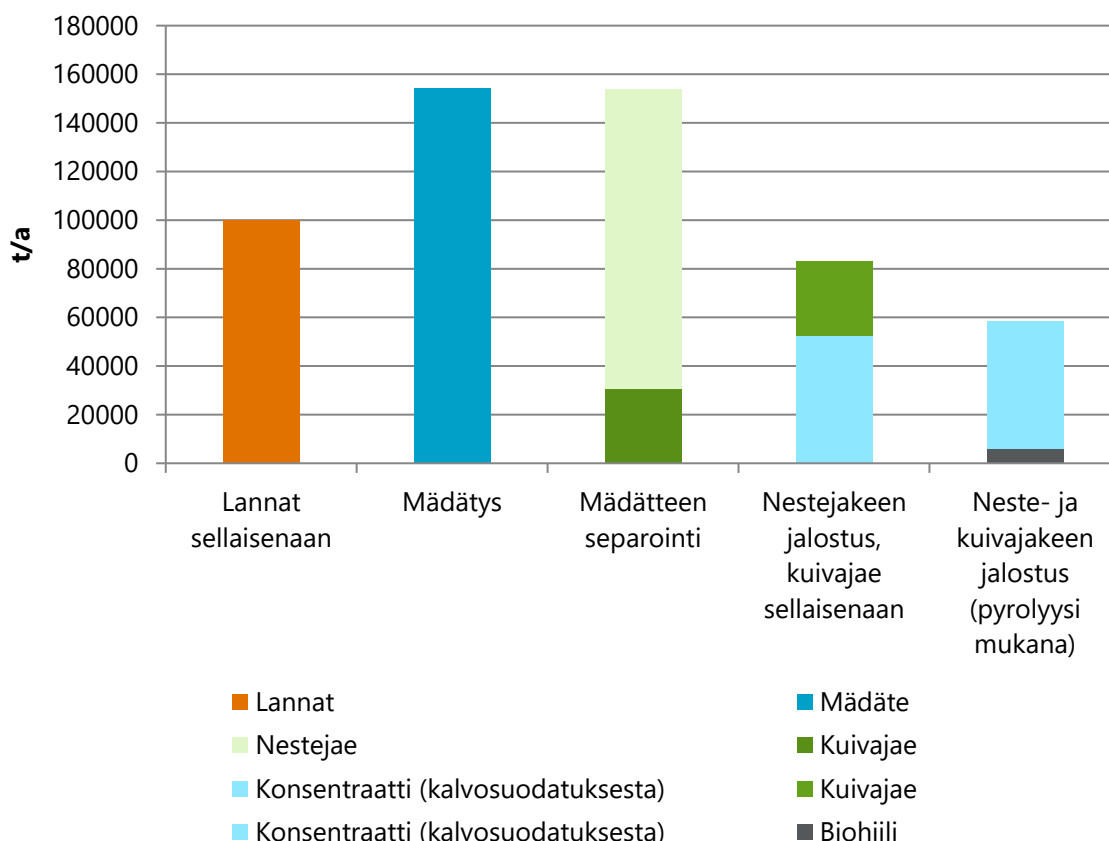


Kuva 9. Syötemateriaalien sisältämän typen (ammoniumtyppi sulussa) jakautuminen käsittelyprosessissa.



Kuva 10. Syötemateriaalien sisältämän fosforin jakautuminen käsittelyprosessissa. Mädätteen prosessoinnin aikana ravinteista typpi siirtyy linkoseparoinnin myötä pääosin nestejakeeseen ja edelleen nestejakeen kalvokäsittelyssä muodostuvaan ravinnekonsentraattiin. Fosforista taas on separoinnin jälkeen 90 % kuivajakeessa.

Kokonaisuudessaan mädätteen jalostuksessa tavoitteena on veden erottaminen ja ravinteiden väkevöiminen kuljetettaviksi jakeiksi. Mädätys ainoana käsittelyprosessina lisää massan määrää, koska märkäprosessi käyttää prosessivettä laimennuksessa toimiakseen märkämädätyksenä. Mädätteen jalostus vedenerotuksen avulla mahdollistaa kuitenkin märkämädätyksen käytön, jolloin myös kuivia materiaaleja, kuten turkiseläinten lantaa voidaan käyttää syötteenä. Tarkastellun biokaasulaitoksen tapauksessa laitoksen syötteenä käytettävien lantojen massa (100 000 t/a) pystytään väkevöimään noin 80 000 t/a tasolle, mikäli laitoksella on käytössä linkoseparoinnin jälkeen nestejakeen väkevöinti (Kuva 11). Kuivajae on noin 30 000 tonnia, ja tämä fosforipitoinen jae on kuljetettavissa kauemmas, kun taas typpipitoinen konsentraatti on tavoitteena käyttää lähellä biokaasulaitosta. Biokaasulaitoksen tuotteiden määrä ja ominaisuudet on koottu taulukkoon 11. Nestejakeen jalostuksessa muodostuvasta prosessivedestä suurin osa hyödynnetään syötemassojen laimennuksessa.



Kuva 11. Tuotettujen lannoitevalmisteiden kokonaismassa (t/a) eri tapauksissa, riippuen lannan ja mädätteen käsittelyn ratkaisusta. Massamäärän lisäys mädätyksessä johtuu kierrätettävän prosessiveden lisäyksestä. Viimeinen palkki kuvaa mädätteestä jalostettujen jakeiden massaa tapauksessa, jossa separoitu kuivajae pyrolysoidaan.

Taulukko 11. Biokaasuprosessissa ja mädätteen nestejakeen jatkojalostuksessa muodostuvat tuotteet sekä niiden määrä ja ominaisuudet. Konsentraattia ja kuivajaeita voidaan käyttää lannoitevalmisteina. Tarkemmat tiedot myös muista eri prosessin välivaiheissa muodostuvista jakeista on koottu liitteisiin 1 ja 2.

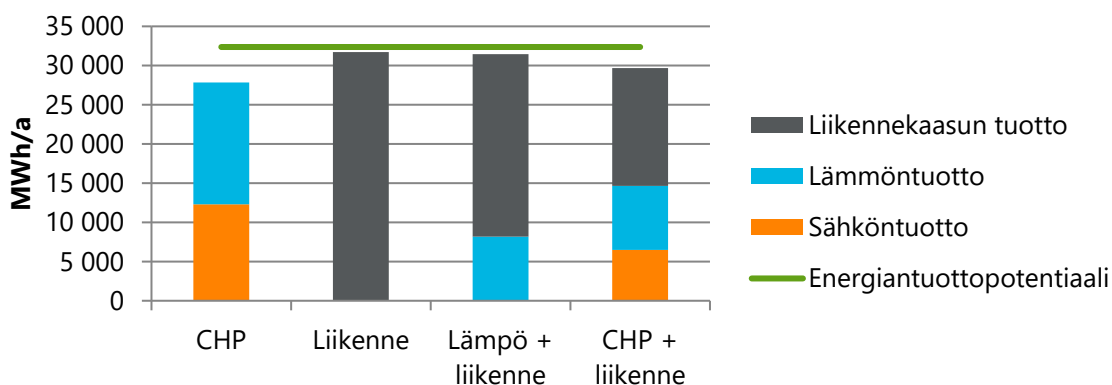
	Massavirta (t/ha)	TS (%)	VS (%)	Ntot (g/kg)	NH ₄ -N (g/kg)	Ptot (g/kg)	NH ₄ -N/Ptot
Konsentraatti	52 270	5,0	3,3	13,9	7,3	1,4	5
Kuivajae	30 819	34,2	22,3	7,9	3,2	20,9	0,15
Prosessivesi (kiertoon prosessiin)	71 008	0	0	0,1	0,1	0	-

3.4. Biokaasulaitoksen energiatase ja -tuotteet

Laskennallisen märkämädätyslaitoksen energiatasetta ja -tuotteita tarkasteltiin tilanteessa, jossa laitokseen sisältyy mädätteen jalostus kalvotekniikoiden avulla. Tämän laitosvaihtoehdon energiatasetta tarkasteltiin neljässä eri energiantuotantoskenaariossa, joissa laitos joko

- tuottaa biokaasusta sähköä ja lämpöä CHP-yksikössä (CHP)
- jalostaa biokaasun liikennepolttoaineeksi (Liikenne)
- tuottaa tarvitsemansa lämmön lämpökattilalla ja tuottaa jäljelle jäävästä biokaasusta liikennepolttoainetta (Lämpö + liikenne)
- tuottaa tarvitsemansa lämpöenergian ja osan sähköenergiasta CHP-yksikössä ja tuottaa jäljelle jäävästä biokaasusta liikennepolttoainetta (CHP + liikenne)

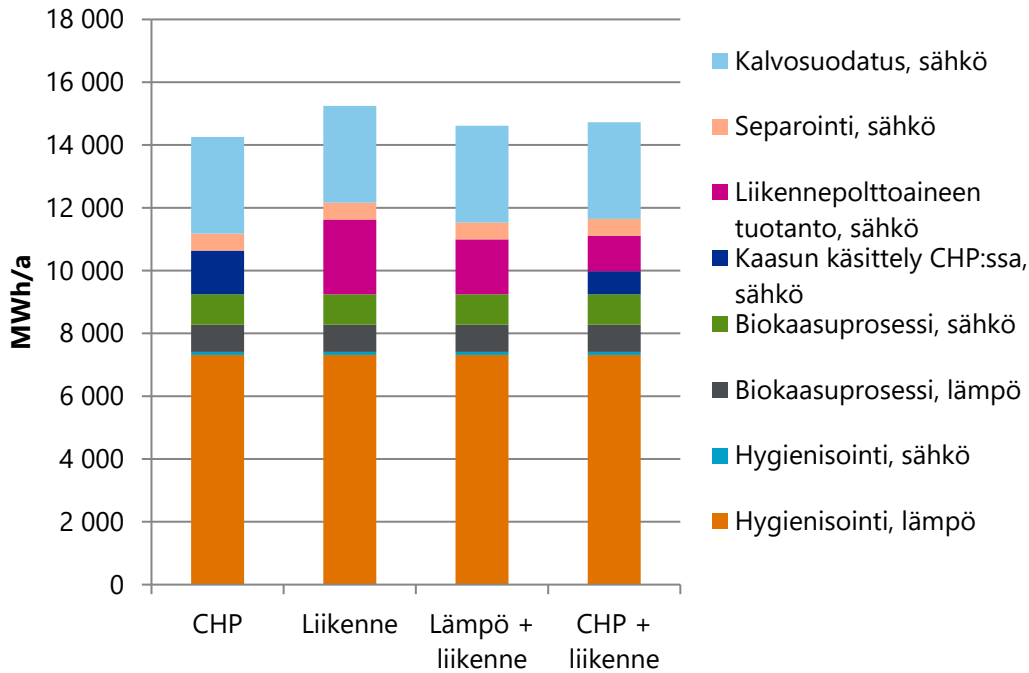
Märkämädätyslaitoksen laskennallinen energiapotentiaali on noin maksimissaan 32 GWh. Riippuen valitusta energian jatkojalostuksesta laitos tuottaa 28–32 GWh energiaa, kun laitoksen omaa kulutusta ei vielä vähennetty (Kuva 12).



Kuva 12. Eri energiamuotojen tuotanto eri energian jalostusvaihtoehdoissa. Vihreä viiva kuvaa laitoksen syötemassojen energiantuotantopotentiaalia, pylvään ja energiapotentiaalin väliin jäävä alue on biokaasun energian jalostuksessa muodostuvaa häviötä. Laitoksen omaa energiankulutusta ei ole huomioitu.

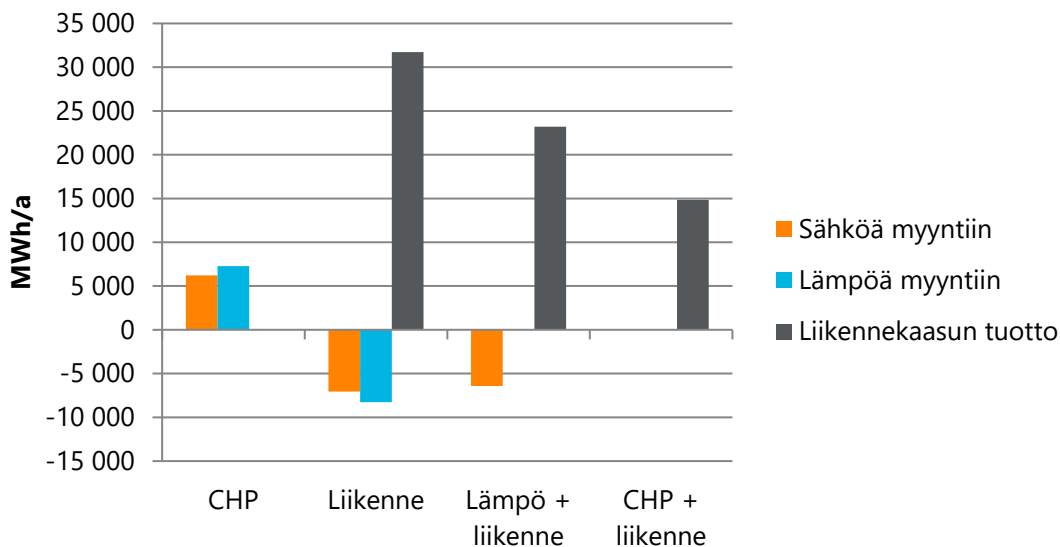
Märkämädätyslaitoksen energiankulutus koostuu hygienisointiin ja reaktorin lämmitykseen kuluva lämpöenergiasta sekä eri yksikköprosessien sähkökulutuksesta (Kuva 13). Reaktorin osuus lämmönkulutuksesta on tässä tarkastelussa pieni, sillä hygienisoinnin lämmöntarpeen oletettiin kattavan myös suuren osan reaktorien lämmöntarpeesta.

Riippuen valitusta energian jatkojalostuksesta laitos kuluttaa prosesseissaan 14,3–15,3 GWh, josta 6,1–7,1 GWh koostui sähkökulutuksesta ja 8,2 GWh lämmönkulutuksesta. Käytännössä erot kuvan 13 energiankulutuksessa eri skenaarioiden välillä johtuvat CHP:n ja liikennekaasun tuotannon välisestä erosta sähkökulutuksessa.



Kuva 13. Energian kulutus eri skenaarioissa.

Laitoksen oman sähkön- ja lämmönkulutuksen jälkeen myytäväksi päätyvä osuus energiasta riippuu valitusta energian jalostustekniikasta. Mikäli laitoksella on CHP-yksikkö, tuottaa se sähköä ja lämpöä myös omaan käyttöönsä, ja myytäväksi päätyvä sähkön osuus 6,2 GWh/a ja lämmön 7,3 GWh/a (Kuva 14). Mikäli laitos jalostaa kaiken tuottamansa energian liikennepolttoaineeksi (31,7 GWh/a), tulee sen hankkia tarvitsemansa sähkö- ja lämpöenergia (7,0 + 8,2 GWh/a) ostoenergiana laitoksen ulkopuolelta. Jos laitoksella on liikennepolttoaineen jalostuksen lisäksi lämpökattila, voi se tuottaa tarvitsemansa lämmön itse (8,2 GWh/a) ja lopun kaasun liikennepolttoaineeksi 23,1 GWh/a. Tällöin laitos ostaa ulkopuolelta tarvitsemansa sähkön (6,4 GWh/a). Mikäli laitos tuottaa CHP-yksikössä oman lämmöntarpeensa, on sen ulkopuolelta tarvitsema sähkötarve enää vain 2 MWh/a, ja kaasua jalostetaan liikennepolttoaineeksi 15 GWh/a.

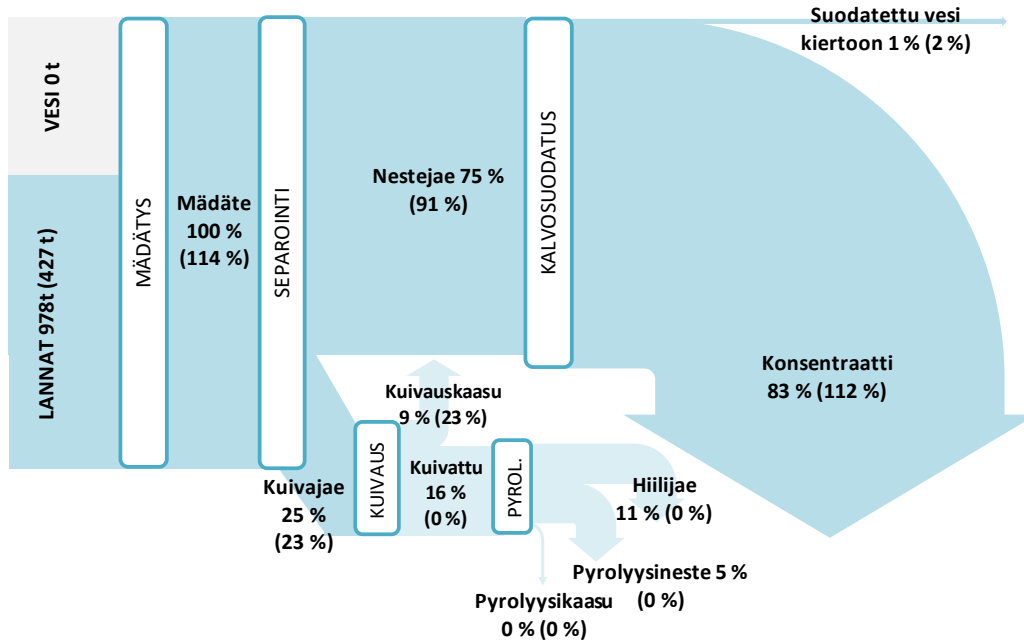


Kuva 14. Biokaasulaitoksella muodostuva nettoenergia eli laitoksen oman kulutuksen jälkeen myyntiin päätyvä osuus eri skenaarioissa. Negatiivinen luku kuvaa ostoenergian tarvetta.

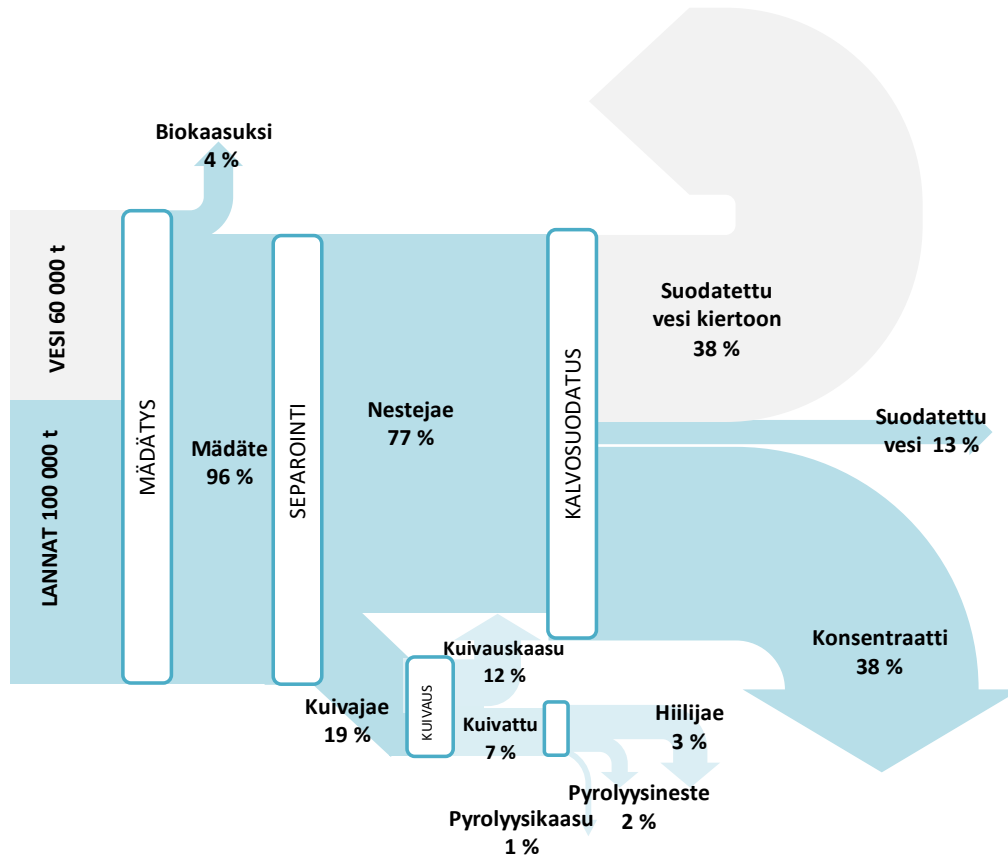
3.4.1. Kuivajakeen pyrolyysin vaikutus ravinne- ja energiataseeseen

Mikäli laitoksen mädätteestä separoitua kuivajakeetta jalostettaisiin edelleen pyrolysoinnin avulla hiilijakeeksi (samalla muodostuvat neste- ja kaasujakeet energiakäyttöön), on sillä vaikutusta koko prosessiketjun ravinne- ja energiataseeseen. Massa- ja ravinnetaseet muuttuisivat kuivajakeen käsittelylle siten, että lingolla separoitu mädätteen kuivajake meni termisen kuivauksen kautta pyrolyysiin. Kuivausprosessi vaaditaan, jotta jakeen kuiva-ainepitoisuus nousisi pyrolyysissä vaadittavalle tasolle (30 % -> >90 %). Kuivauksessa muodostuva typpipitoinen kondenssivesi (höyryn mukana haihtuva neste, joka tiivistetään) ohjataan kalvosuodatukseen samaan jalostukseen mädätteestä erotetun nestejakeen kanssa, mikä taas vaikuttaa nestejakeen prosessiketjuun.

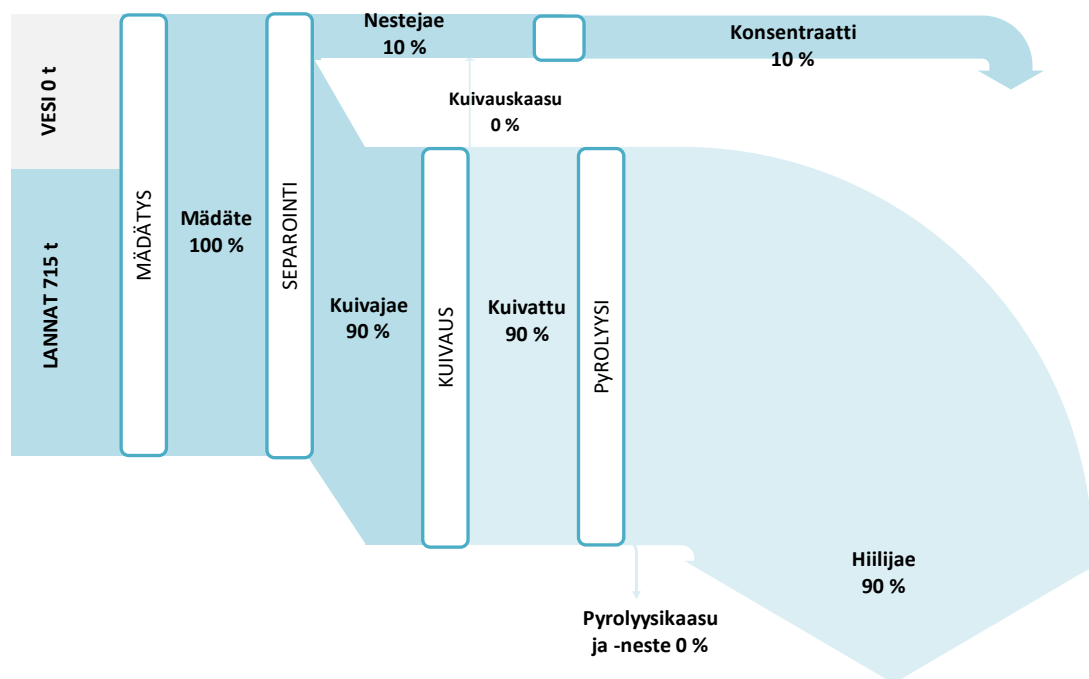
Pyrolyysin mukaantulo biokaasulaitoksen mädätteen jatkojalostusketjuun vähentää laitoksessa muodostuvien ravinnepitoisuuksien määrää noin 65 000 tonnin tasolle vuosittain (ilman pyrolyysiä n. 80 000 t/a). Kuivajake tiivistetään pyrolyysin avulla hiilijakeeksi, jonka massa on vuositasolla noin 5000 tonnia ja joka sisältää 81 % kaikesta laitoksen käsittelemästä fosforista (Kuvat 15–17). Pyrolyysin esikäsittelyssä kuivauksen kondenssiveden ohjaaminen kalvosuodatukseen yhdessä lingolla muodostuvan nestejakeen kanssa lisää nestejakeen jalostuksessa muodostuvien massojen määrää. Kondenssiveden ohjaaminen kalvoille kuitenkin lisää konsentraatin ravinnepitoisuuksia (Taulukko 12), kun myös kuivajakeesta erottunutta lisätyppeä ja fosforia kiertää nestejakeen jalostukseen takaisin.



Kuva 15. Syötemateriaalien ja prosessin laimennukseen käytetyn veden massan jakautuminen mädätteen jalostuksessa.



Kuva 16. Syötemateriaalien sisältämän typen (ammoniumtyppi suluissa) jakautuminen mädätteen jalostuksessa.



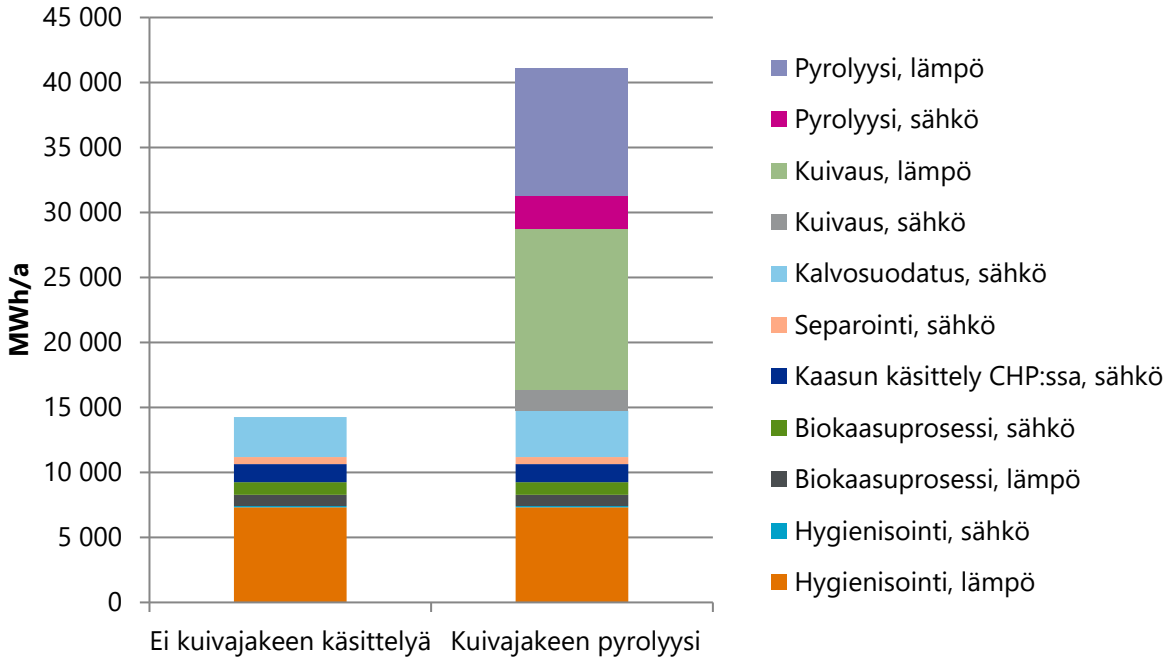
Kuva 17. Syötemateriaalien sisältämän fosforin jakautuminen mädätteen jalostuksessa. Mikäli kuivajäte prosessoidaan edelleen pyrolyysissä, tuotetaan väkevää, fosforipitoista biohiiltä.

Taulukko 12. Biokaasuprosessissa, mädätteen nestejakeen jatkojalostuksessa sekä kuivajäkeen pyrolyysissä muodostuvat tuotteet, määrä ja ominaisuudet. Konsentraattia ja pyrolyysin hiilijätettä voidaan käyttää lannoitevalmisteina. Tarkemmat tiedot myös muista eri prosessin välivaiheissa muodostuvista jakeista on koottu liitteisiin 1 ja 2.

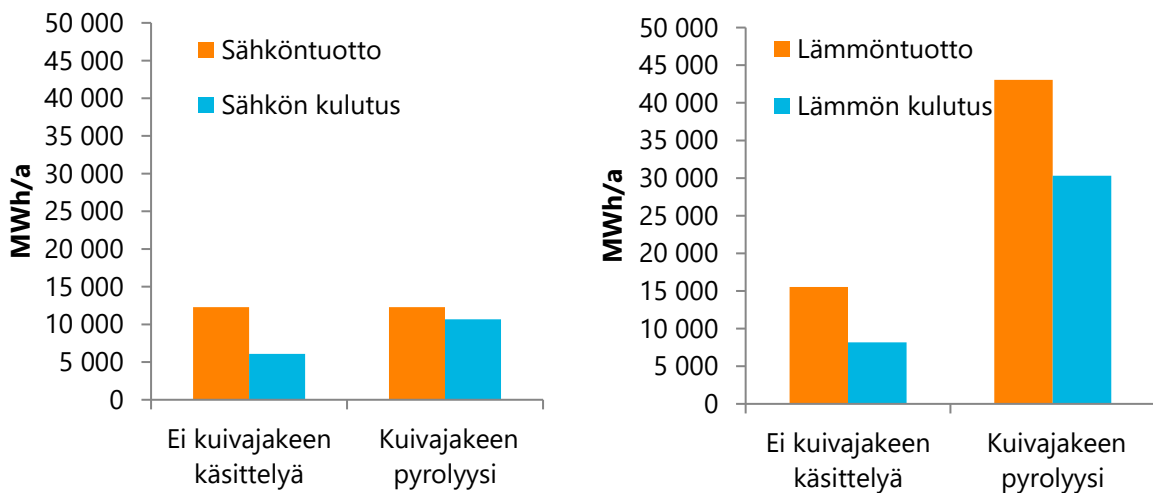
	Massavirta (t/a)	TS (%)	VS (%)	Ntot (g/kg)	NH ₄ -N (g/kg)	Ptot (g/kg)
Konsentraatti	60 633	4,5	14,2	13,4	7,9	1,2
Prosessivesi (kiertoon prosessiin)	82 369	0	0	0,1	0,1	0,0
Hiilijäte	5 547	99,6	-	19,5	0	116,0

Mikäli laitoksen mädätteestä separoitua kuivajätettä jalostettaisiin edelleen pyrolysoinnin avulla hiilijäkeeksi (samalla muodostuvat neste- ja kaasujakeet energiakäyttöön), muuttuu myös laitoksen energiatase verrattuna mädätteen jalostukseen ilman pyrolyysiä. Laitoskokonaisuuden energiatasetta tarkasteltiin tilanteessa, jossa biokaasulaitoksessa muodostuva biokaasu sekä pyrolyysiprosessin kaasu- ja nestejäte poltettaisiin CHP-yksikössä sähköksi ja lämmöksi. Pyrolyysiprosessin vaatima kuivajäkeen esikuivaus on hyvin energiantensiivistä ja sen vaatima lämpöenergian tarve on merkittävä (Kuva 18). Tästä syystä laskelmassa oletettiin, että kaikki pyrolyysistä saatava energia poltetaan lämpöenergiaksi lämpökattilassa. Verrattuna tilanteeseen ilman mädätteen kuivajäkeen jatkojalostusta pyrolyysiprosessi toisaalta lisää energiantuottoa, mutta myös energiankulutusta. Sähkön energiatase on vuositasolla noin 2 GWh ja lämmön noin 13 GWh positiivinen (Kuva 19).

Vaihtoehtoisesti pyrolyysissä muodostuvat kaasu- ja nestejake voitaisiin osittain käyttää sähköksi, jolloin lämpöenergian ylijäämä olisi pienempi. Lämpöenergian myynnin haasteena voi joillain alueilla olla käyttökohteiden puute, jos lähistöllä ei ole lämpöä tarvitsevaa teollisuutta tai sen jakeluun kaukolämpöverkkoa.



Kuva 18. Mädätyksen ja mädätteen jatkojalostuksen energiankulutukset jaoteltuna yksikköprosesseihin eri skenaarioissa.

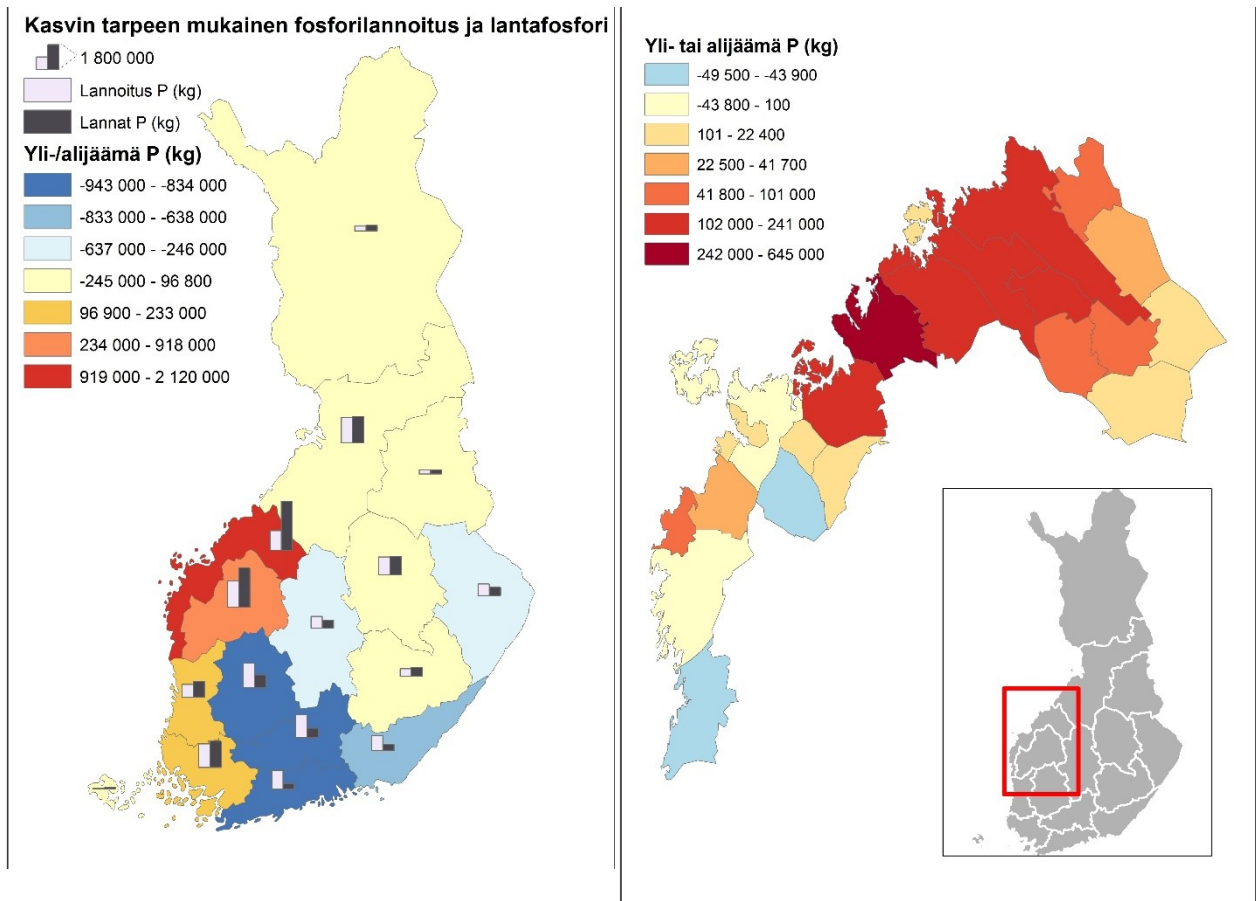


Kuva 19. Biokaasulaitoksen ja mädätteen käsittelyn sähkön ja lämmön kulutus tilanteessa, jossa biokaasulaitos jalostaa ainoastaan mädätteen nestejakeen (ei kuivajakeen jalostusta), ja tilanteessa, jossa myös mädätteen kuivajakeetta jalostetaan (pyrolyysi).

3.5. Mädätteen sisältämän fosforin poiskuljetus alueelta ja vaikutus fosforitaseisiin

Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan alueilla turkis- ja muusta kotieläintuotannosta syntyvän lantafosforin määrä on paljon suurempi kuin alueen kasvintuotannon fosforitarve (ylijäämäinen fosforitase). Etelä-Pohjanmaan fosforitase on 801 t ylijäämäinen vuositasolla ja Pohjanmaan fosforitase on 2110 t ylijäämäinen (Kuva 20, Taulukko 13).

Tarkasteltava biokaasulaitos tuottaa mädättä, josta separoitu kuivajae sisältää fosforia 643 t/a. Fosforipitoinen kuivajae olisi poiskuljetettavissa alueelta. Mikäli tämän tarkastelun mukainen biokaasulaitos sijaitsisi Pedersören kunnassa, Pohjanmaan maakunnan ylijäämäinen fosforitase pienenesi 30 %, kun 643 t P/a poistuisi maakunnasta. Laitoksen tuottamalla fosforilannoitteella voitaisiin kattaa lähes 90 % koko Pirkanmaan maakunnan alijäämäisestä fosforitaseesta, jos laitoksen tuottama kuivajae ohjattaisiin kokonaan Pirkanmaalle.



Kuva 20. Alueelliset ja Pohjanmaan kuntien fosforitaseet (Luostarinen ym. 2019b). Kunta- ja ELY-rajat © Maanmittauslaitos 2017.

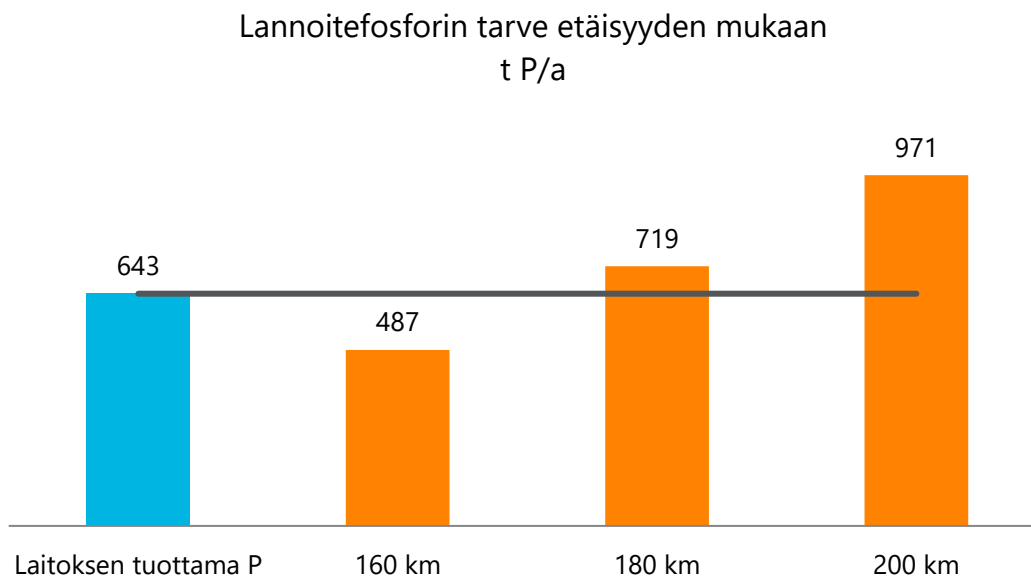
Taulukko 13. Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan kuntakohtaiset fosforitaseet (Ravinnelaskuri 2019). Fosforitase on laskettu vertaamalla kunnassa syntyvän lantafosforin määrää kasvin tarpeen mukaiseen fosforilannoitukseen.

Pohjanmaa				Etelä-Pohjanmaa			
Kunta	Lannoitus-fosforin tarve, t/a	Syntyvä lanta-fosforin määrä, t/a	Fosfori-tase, t/a	Kunta	Lannoi-tus-fosfo-rin tarve, t/a	Syntyvä lanta-fosforin määrä, t/a	Fosfori-tase, t/a
Halsua	27	92	64	Alajärvi	82	141	59
Isokyrö	74	90	16	Alavus	85	128	44
Kannus	48	110	62	Evijärvi	33	193	160
Kaskinen	0	0	0	Ilmajoki	133	247	114
Kaustinen	34	270	237	Isojoki	48	26	-23
Kokkola	121	281	160	Karjajoki	34	20	-14
Korsnäs	11	89	78	Kauhajoki	205	127	-78
Kristiinankau-punki	87	37	-50	Kauhava	263	422	160
Kruunupyy	96	248	152	Kuortane	40	73	33
Laihia	64	20	-44	Kurikka	156	199	43
Lestijärvi	13	22	9	Lappajärvi	35	191	156
Luoto	5	15	9	Lapua	144	164	20
Maalahti	55	92	37	Seinäjoki	260	408	148
Mustasaari	106	87	-19	Soini	25	22	-3
Närpiö	141	133	-8	Teuva	88	67	-21
Pedersöre	125	355	230	Vimpeli	27	30	3
Perho	41	63	22	Ähtäri	37	37	0
Pietarsaari	5	154	149	Etelä-Poh- janmaa yh- teensä	1694	2495	801
Toholampi	59	100	41				
Uusikaarlepyy	73	706	633				
Vaasa	25	31	5				
Veteli	50	150	100				
Vöyri	111	336	225				
Pohjanmaa yh- teensä	1371	3481	2110				

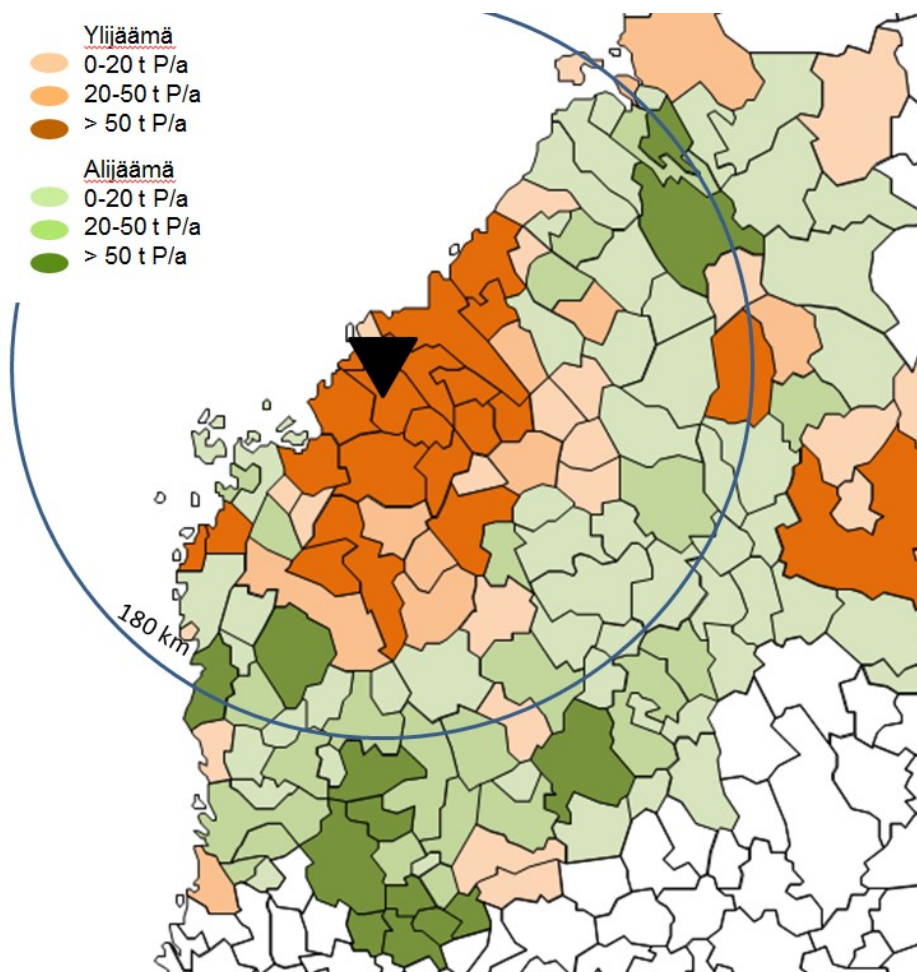
3.5.1. Kuivajakeen kuljetus

Tarkasteltava alueellinen biokaasulaitos tuottaa mädättä, josta separoitu kuivajae sisältää fosforia 643 t/a. Mädätyksen ja lingolla toteutetun separoinnin jälkeen fosforipitoinen kuivajae olisi kustannustehokkaammin poiskuljetettavissa alueelta. Mikäli tämän tarkastelun mukainen biokaasulaitos sijaitsisi Pedersören kunnassa, Pohjanmaan maakunnan 2 100 tP/a ylijäämäinen fosforitase pienenesi 30 %, kun 643 t P/a poistuisi maakunnasta. Alueelle voisi näin ollen sijoittaa useammankin lantaa jalostavan laitoksen. Etelä-Pohjanmaan maakuntaan sijoitettuna vastaava laitos voisi laskea alueen lantafosforin ja fosforilannoituksen tarpeen tasetta 80 %. Yhden tarkastellun laitoksen tuottamalla fosforilannoitteella voitaisiin taas kattaa lähes 90 % koko Pirkanmaan maakunnan alijäämäisestä fosforitaseesta, jos laitoksen tuottama kuivajae ohjattaisiin kokonaan Pirkanmaalle.

Alueellisilla fosforiylijäämillä on merkitystä uusien biokaasulaitosten suunnittelussa, koska laitoksen sijoittuminen ylijäämäiselle alueelle vaikuttaa mädätteen prosessointitarpeeseen. Mitä kauemmas mädätteen fosforia joudutaan kuljettamaan, sitä tehokkaampaa ja pidemmälle vietympää jakeiden jalostamisen on oltava. Tarkasteltavissa maakunnissa vain muutamalla kunnalla on alijäämäinen fosforitase, nekin määrältään melko pieniä, joten tarkastellun laitoksen käsittelemä fosforirikas kuivajae olisi kuljetettava alueen ulkopuolelle. Laitoksen tuottaman fosforimäärän ja kuntakohtaisten fosforitaseiden perusteella arvioitiin kuljetusetäisyys (Kuvat 21 ja 22), joka tarvittaisiin kuivajakeen hyödyntämiselle kasvin tarpeen mukaiseen lannoitukseen. Etäisyyden arvioinnissa huomioitiin ainoastaan fosforitaseeltaan alijäämäiset kunnat. Kuljetussäteeksi saadaan noin 180 km, jonka sisällä laitoksen tuottama fosforirikas kuivajae tulisi kasvin tarpeen mukaiseen fosforilannoitukseen.



Kuva 21. Lannoitefosforin tarve kuljetussäteen mukaan, kun laitoksen tuottama fosforimäärä oletetaan käytettävän kasvin tarpeen mukaiseen lannoitukseen.



Kuva 22. Kuntakohtaiset fosforitaset: vihreä osoittaa alijäämäistä tasetta, oranssi ylijäämäistä. Musta kolmio kartalla näyttää laskennallisen biokaasulaitoksen sijainnin ja 180 km säde laitoksen käsittelemän fosforin leviämistä taseeltaan alijäämäisiin kuntiin.

3.5.2. Nestejakeen kuljetus

Tarkasteltu biokaasulaitos tuottaa mädätteestä erotettavan fosforipitoisen kuivajakeen lisäksi nestemäistä konsentraattia, joka sisältää suurimman osan mädätteen sisältämästä typestä, mutta myös hieman fosforia. Kokonaisuudessaan konsentraatin sisältämä fosforimäärä vuositasolla on 71 t, mikä on 11 % kuivajakeen sisältämästä fosforimäärästä. Käytännössä jo tämäkin fosforimäärä konsentraatissa rajoittaa sen lannoitekäyttöä korkean fosforiluokan pelloilla ja fosforylijäämäisellä alueella. Tarkastellun laitosalueen välittömässä läheisyydessä olevista pelloista merkittävä määrä on P-luvultaan luokissa korkea ja arveluttavan korkea (Lemola ym. 2018). Tämän vuoksi konsentraatin kuljetustarpeeksi arvioitiin maksimissaan 90 km. Tämän säteen sisällä konsentraatin sisältämä fosfori pystyttäisiin hyödyntämään biokaasulaitosta lähimmissä fosforitaseeltaan alijäämäisissä kunnissa.

Mädätteen nestejakeesta erotettujen ravinteiden, erityisesti typen, käyttöä biokaasulaitoksen lähialueella voitaisiin kuitenkin tehostaa teknologiavalinnoilla. Mikäli laitoksessa olisi valittu tuotettavaksi puhdasta typpilannoitetta esimerkiksi ammoniumtyyppiä strippaamalla, voitaisiin typpi käyttää aivan laitoksen lähialueella. Strippauksessa muodostuu toisena tuotteena kuitenkin myös laimeaa fosforilannoitetta, jonka käytölle ja/tai prosessoinnille tulisi kehittää ratkaisu. Typen erotuksen jälkeen (strippaus) fosfori- ja kaliumipitoinen laimea neste voitaisiin konzentroida esimerkiksi kalvosuodatuksen tai haihdutuksen avulla.

3.5.3. Lannoitevalmisteiden käyttö peltoviljelyssä

Konsentraatin ja kuivajakeen käyttöä lannoitteena rajaavat EU:n nitraattidirektiivi (ja sitä kansallisesti toteuttava ”Nitraattiasetus” 1250/2014) ja ympäristökorvausjärjestelmä. Organisisissa lannoitevalmisteissa levitettävän kokonaistypen määrä saa olla enintään 170 kg N/ha. Fosforin levitysmäärä riippuu pellon viljavuusluokasta sekä viljeltävästä kasvista.

Taulukossa 14 on esitetty esimerkkilaskelma ohran ja nurmen lannoitukselle konsentraatilla ja kuivajakeella eri viljavuusluokan mailla. Konsentraatin on tässä oletettu jäävän samalle alueelle kuin mistä lanta on laitokseen kerätty (Pedersören kunta), kun taas kuivajae kuljetettaisiin fosforiköyhälle peltomaalle alueen ulkopuolelle, esimerkiksi Pirkanmaan tai Keski-Suomen maakuntien pohjoisosiin. Laitoksen lähialueilla peltojen fosforitaso on tyypillisesti korkea ja viljavuusluokka ”hyvä” tai ”korkea”. Viljavuusluokassa ”hyvä” sallittu fosforilannoituksen määrä on 5 kg P/ha viljoille ja öljy- ja palkokasveille sekä 11 kg P/ha nurmille (satotaso 7 500 kg ka/ha), mikä tarkoittaa konsentraatin sallittua levitysmäärää 4 t/ha viljoille ja 8 t/ha nurmelle. Kokonaistyyppiä tulisi tällöin levitetyksi 49 kg N/ha viljoille ja öljy- ja palkokasveille tai 109 kg N/ha nurmelle, jolloin lisätyppiä tarvitaan muista lähteistä. Viljavuusluokassa ”korkea” fosforilannoitus ei ole ympäristökorvauksen mukaan sallittu kuin perunalle ja sokerijuurikkaalle.

Mikäli nestemäisillä, lantapohjaisilla kierrätyslannoitevalmisteilla sallittaisiin fosforin osalta vähäinen poikkeus levittää viljavuusluokaltaan ”hyvä” lohkoille esim. 7 kg P/ha ja ”korkea” lohkoille esim. 5 kg P/ha, olisi konsentraatin käyttö taloudellisesti kannattavampaa, koska tuotteen kuljetusmatkaa voitaisiin lyhentää. Alueella muodostuvan lantafosforin valtaosan poistuminen varmistettaisiin kuitenkin samaan aikaan kuivajakeessa olevan fosforin poiskuljetuksella alueelta. Tällä jo toteutuisi merkittävä muutos tarkasteltavan alueen fosforilannoituksessa ja pieniä määriä fosforia sisältävän, mutta tyypirikkaan konsentraatin käyttö lähialueella olisi paremmin markkinoitavissa alueen viljelijöille.

Taulukko 14. Biokaasulaitoksen kierrätyslannoitevalmisteiden käyttö ohran ja nurmen viljelyssä maan viljavuusluokkien perusteella. Esimerkissä konsentraatti levitetään korkeamman P-luvun pelloille, kun taas kuivajae matalamman P-luvun pelloille alueen ulkopuolelle. Lannoitteen sisältämä fosfori on levitystä rajoittava tekijä. Ohralle vähintään 5000 kg/ha satotaso mahdollistaa P lisälannoituksen 3–6 kg P/ha.

	Levitysmäärä max (t/ha)	Ntot (kg N/ha)	NH ₄ -N (kg N/ha)	Ptot (kg P/ha)
KONSENTRAATTI				
Ohra				
<i>Maan viljavuusluokka:</i>				
Tyydyttävä	7	99	52	10
Hyvä	4	49	26	5
Korkea	ei sallittu	0	0	0
Nurmi (satotaso 7500 kg ka/ha)				
<i>Maan viljavuusluokka:</i>				
Tyydyttävä	12	170*	89	17
Hyvä	8	109	57	11
Korkea	ei sallittu	0	0	0
KUIVAJAE				
Ohra				
<i>Maan viljavuusluokka:</i>				
Huono	2	13	5	34
Huononlainen	1	10	4	26
Välttävä	1	6	2	16
Nurmi (satotaso 7500 kg ka/ha)				
<i>Maan viljavuusluokka:</i>				
Huono	2	17	7	46
Huononlainen	2	14	6	38
Välttävä	1,5	11	5	30

*Ntot nousee rajoittavaksi tekijäksi nurmella viljavuusluokassa "tyydyttävä"

3.6. Taloudellinen tarkastelu

Taloudellinen tarkastelu tehtiin laskennalliselle esimerkkilaitokselle, jossa mädäte separoidaan neste- ja kuivajakeeksi ja nestejäte väkevöidään kalvosuodatuksella. Kuivajakeen jatkokäsittely pyrolyysillä jätettiin kuitenkin tarkastelun ulkopuolelle (Kuva 6: prosessiketju ilman pyrolyysiä). Keskitetyn biokaasulaitoksen merkittävimmät tulonlähteet ovat porttimaksut ja energian tuotannosta saatavat tulot. Kierrätyslannoitevalmisteilla ei toistaiseksi ole hyvin toimivia markkinoita, mutta niistäkin on mahdollista saada jonkin verran tuloa. Porttimaksujen osuus voi olla pääosa laitoksen tuloista. Porttimaksut ovat biokaasulaitoksen syötteistä perimiä käsittelymaksuja, kun laitos ottaa vastaan erilaisia, käsittelevä vaativia jätejakeita, kuten puhdistamolietettä, biojätettä tai elintarviketeollisuuden jätteitä. Liikennekaasun jalostuksen myötä myös biokaasusta tuotetulle energialle on mahdollista saada parempi hinta kuin perinteisille energiatuotteille sähkölle ja lämmölle.

3.6.1. Käytetyt hinta- ja lähtötiedot esimerkkilaitokselle

Laskennallisen esimerkkilaitoksen investointihinnan rakentumisen arvioimiseen käytettiin pääasiallisesti seuraavia lähteitä: vuonna 2013 käynnistyneen Jepuan Biokaasu Oy:n investointihintatietoja (Jeppo Kraft Andelslag 2010, Stenvall 2017, Imppola 2013, Huikuri ja Niemi 2016) sekä Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot -raporttia (Luostarinen ym. 2019b). Taulukossa 15 on vertailtu tämän hankkeen laskennallista esimerkkilaitosta Jepuan Biokaasu Oy:n olemassa olevaan laitokseen sekä Luostarinen ym. (2019b) kuvaamaan laskennalliseen laitokseen.

Esimerkkibiokaasulaitoksen hinta johdettiin Jepuan biokaasulaitoksen investointihinnasta olettamalla 10 %:n nousu rakennuskustannuksiin kuuden vuoden aikana (vertaa rakennuskustannusindeksi vuonna 2016 = 109, kun vuonna 2010 = 100) sekä lisäämällä investointihintaan mädätteen separointi linkoamalla (n. 520 000 €, arvio perustuen Alfa Lavalin 10 m³/h lietteenkäsittely-kapasiteetin hintaan, joita tarvittaisiin tälle laitokselle 5 kpl). Investoinnin kokonais hinta 11 milj. € jää silti matalammaksi kuin Luostarinen ym. (2019b) olivat arvioineet vastaavan kokoiselle lantaa käsittelevälle biokaasulaitokselle (14,4 milj. €). Yhtenä selityksenä todennäköisesti on eri tavalla mitoitettu raaka-aineiden varastointikapasiteetti sekä moninaiset rakentamisen, maisemoinnin ym. kustannukset, jotka oli Luostarisen ym. (2019) kustannusarvioon sisällytetty.

Kalvosuodatuslaitteiston investointihinta-arvio perustui julkaisuun Bolzonella et al. (2018), jossa 100 m³/vrk kapasiteetiltaan olevan laitteiston investointihinnaksi oli arvioitu 1 milj. €. Tässä tutkimuksessa esimerkkinä toimivan laskennallisen biokaasulaitoksen tarvitsema kapasiteetti on tähän verrattuna nelinkertainen (422 m³/vrk).

Taulukko 15. Laskennallisen biokaasulaitoksen vertailua Jepuan Biokaasu Oy:n laitokseen sekä Luostarisen ym. (2019) kuvaamaan lantabiokaasulaitokseen.

	Laskennallinen esimerkkibiokaasulaitos	Jepuan Biokaasu Oy	Luostarinen ym. 2019b
Laitostekniikka	Märkämädätys	Märkämädätys	Märkämädätys
Käynnistysvuosi		2013	
Laitostoimittaja		Doranova Oy / Weltec Biopower	
Reaktoritilavuus	3 x 3 500 m ³	3 x 3 500 m ³	
Raaka-aine	turkiseläinten kuivalanta, naudan ja sian liete- lanta	sian ja naudan liete- lanta, perunan-kuo- rijäte, nurmi, teuras- tamojäte	sian ja naudan liete- lanta, myös kuivia lan- toja, nurmea
Kapasiteetti	100 000 t	90 000 t	100 000 t
Biokaasun tuotanto	28–32 GWh	25–30 GWh	25 GWh *
Biokaasun hyödyntäminen	valinnan mukaan	liikennekaasu, kaa- sun myynti teolli- suudelle (CBG)	liikennekaasu (CBG)
Mädätteen jatkojalostus	separointi linkoamalla, nestejakeen kalvosuoda- tus	ei jatkojalostusta	separointi linkoamalla, nestejakeen haihdutus ja strippaus
Investointi: bio- kaasulaitos	11 milj. €	9,5 milj. €	14,4 milj. €
Investointi: lii- kennekaasun jalostus	3 milj. €	2,5 milj. €	3 milj. €
Investointi: ra- vinteiden jalos- tus	4 milj. €	-	3 milj. €

* Liikennekaasun energiasältö

Taulukkoon 16 on kerätty taloudellisessa tarkastelussa käytetyt hintatiedot. Turkiseläinten lannan mahdollinen porttimaksu laskettiin Luostarinen ym. (2017b) lannantuotantotietojen sekä Kaarle Kaistilalta saatujen hinta-arvioiden (suullinen tiedonanto 3.9.2019) perusteella seuraavasti:

Minkki:

- Normilantalaskenta, lanta varastosta (ex storage): 0,017 t/vuosi/nahka
- Porttimaksuarvio: 0,20–0,40 €/nahka -> 11,70–23,40 €/t

Sinikettu:

- Normilantalaskenta, lanta varastosta (ex storage): 0,049 t/vuosi/nahka
- Porttimaksuarvio: 0,40–0,80 €/nahka -> 8,20–16,40 €/t

Taloudellisessa tarkastelussa päädyttiin tämän perusteella käyttämään kaikille turkiseläinten lannoille porttimaksusta arviota 15,00 €/t.

Kuljetuskustannus laskettiin polttoaineen kulutukseen perustuen olettamalla, että polttoainekustannukset muodostavat 20–40 % kokonaiskustannuksista (Soppi 2017). Alle 100 km:n ajoille oletettiin polttoainekustannusten olevan 20 % ja yli 100 km:n ajoille 40 % kokonaiskustannuksista. Heikkinen (2013) mittasi opinnäytetyössään 26 tonnin Mercedes-Benz Actros 2532 -kuorma-auton polttoaineenkulutusta ja sai keskiarvoksi 28,80 l/100 km. Diesel-polttoaineen hinnalla 1,35 €/l (www.tankille.fi, 10.9.2019) polttoainekustannukseksi saadaan silloin 38,80 €/100 km. Vastaavan painoisen (26 t) Volvo FM 400 säiliöauton kuormakyky on 14 920 kg ja säiliön tilavuus 17 m³ minkä perusteella ajettavaksi kuormaksi arvioitiin 15 m³. Kuutiota kohti polttoainekustannukseksi saatiin tällöin 2,59 €/m³/100 km ja edelleen kokonaiskustannukseksi joko 12,94 €/m³/100 km (alle 100 km) tai 6,47 €/m³/100 km (yli 100 km).

Taulukko 16. Taloudellisessa tarkastelussa käytetyt hintatiedot.

	Hinta (alv 0%)	Viite
Porttimaksu, turkiseläinten lanta	15,00 €/t	arvio
Porttimaksu, sian lietelanta	2,50 €/t	Paavola ym. 2016
Kuljetuskustannus, alle 100 km	12,94 €/m ³ /100 km	laskettu
Kuljetuskustannus, yli 100 km	6,47 €/m ³ /100 km	laskettu
Ostosähkö	67,45 €/MWh	Tilastokeskus 2019a (8,36 snt/kWh, alv 24 %)
Metsähake	20,49 €/MWh	Tilastokeskus 2019b
Hakelämpölaitoksen annuiteetti (4 %, 15 v)	5,56 €/MWh	Tikkanen 2015
Lämmön tuotanto hakkeella	26,06 €/MWh	laskettu yllä olevilla tiedoilla
Sähkön myynti	37,96 €/MWh	Tilastokeskus 2019c (47,07 €/MWh, alv 24 %)
Lämmön myynti	25,00 €/MWh	Paavola ym. 2016
Liikennekaasun myynti	88,19 €/MWh	Gasum 2019 (1,52 €/kg, alv 24 %)
Polymeeri	2,43 €/kg	www.zauba.com (1.11.2016): Flopam FO 4800 SSH
NaOH (50 %)	0,19 €/kg	www.alibaba.com (3.12.2019): NaOH (99 %)
Mineraalityypilannoite	1,09 €/kg N	Maaseudun tulevaisuus, Lannoitteiden hinnat (30.9.2019)
Työkustannus (ilman sotua)	17,20 €/h	Työtehoseura 2019
CHP:n huoltokustannus	0,013 €/kWh	Hahn 2011

3.6.2. Tulokset

Alueellisen esimerkkibiokaasulaitoksen taloudellinen tarkastelu tehtiin prosessointiketjulle, jossa mädäte separoidaan, nestejakeesta valmistetaan kalvosuodatuksella ravinnekonentraattia ja kuivajae hyödynnetään sellaisenaan ilman jatkojalostusta (Kuva 6). Biokaasun energiasällön hyödyntämiselle laskettiin seuraavat vaihtoehdot: CHP, Liikenne, Liikenne + lämpö, Liikenne + CHP (Kuva 14, Taulukko 17). Vaihtoehdossa, jossa kaikki biokaasu jalostetaan liikennepolttoaineeksi, sähkö ostetaan verkosta ja lämpö tuotetaan hakkeella.

Taulukko 17. Alueellisen biokaasulaitoksen kannattavuustarkastelun rakentuminen.

	CHP	Liikenne	Liikenne + lämpö	Liikenne + CHP
Biokaasun tuotanto: - Lämpökattila / CHP - Käsittelyjäännöksen - separointi	- Muuttuvat kustannukset - Tulot (porttimaksut, sähkö, lämpö) - Investoinnin annuiteetti			
Liikennekaasun jalostus: - Puhdistus - Paineistus		- Muuttuvat kustannukset - Tulot (liikennekaasun myynti) - Investoinnin annuiteetti		
Ravinnekonentraatin valmistus: - Kalvosuodatus	- Muuttuvat kustannukset - Tulot (ravinnekonentraatin myynti) - Investoinnin annuiteetti			
KANNATTAVUUS	- Kate - Tulot ja menot yhteensä, investoinnin annuiteetti - Takaisinmaksuaika			

Yksityiskohtaiset taloustarkastelut on kuvattu liitteissä 3a–3d. Biokaasutuotannon muuttuvia kustannuksia olivat raaka-aineiden ja syntyvän kuivajakeen kuljetuskustannukset, prosessin vaatima sähkö, lämpö ja kemikaalit, työkustannus sekä huolto- ja ylläpitokustannus. Turke-eläinten lannalle kuljetuskustannusta ei huomioitu, koska tuottajien oletettiin tuovan lannan laitokselle. Tuloja puolestaan oletettiin saatavan raaka-aineena käytettyjen lantojen porttimaksuista sekä CHP-tuotantovaihtoehdossa myös sähkön ja lämmön myynnistä. Sähkön myyntihintana käytettiin Pohjoismaisen sähköpörssin keskimääräistä hintaa ajalla kesä 2018 – kesä 2019 (Tilastokeskus 2019a). Sähkölle olisi voinut saada hiukan korkeamman hinnan olettamalla, että sähkö myydään Farmivirtana (www.oulunenergia.fi). Tariffihintaa sähköstä ei kuitenkaan ole enää mahdollista saada, koska syöttötariffijärjestelmä sulkeutui uusien biokaasulaitosten osalta 1.1.2019. Lämmön myynti perustui oletukseen, että lähialueella on käyttäjiä esim. kaukolämmölle. Investointikustannuksille oletettiin saatavan tukea 30 %. Investoinnin annuiteetti laskettiin 4 %:n korolla ja 15 vuoden käyttöiällä.

Liikennekaasun jalostuksessa muuttuvia kustannuksia olivat puhdistuksen- ja paineistuksen sähkönkulutus, sekä laitteiston huolto- ja ylläpitokustannukset. Kaasun jalostuksen työkustannus oli sisällytetty laitoksen yhteiseen työkustannukseen. Tuloja saatiin liikennekaasun myynnistä, jonka tässä oletettiin tapahtuvan laitoksen omalta tankkausasemalta.

Ravinnekonentraatin valmistuksen muuttuvia kustannuksia olivat kalvosuodatuksen sähkön ja kemikaalien kulutus, työkustannus sekä huolto- ja ylläpitokustannus. Tuloja saatiin ravinnekonentraatin myynnistä, mutta myyntihinnasta vähennettiin kuljetuskustannus.

Ravinnekonstraatin myyntihinta laskettiin suoraan konsentraatin typpipitoisuuden avulla käyttäen vertailuhintana mineraalityypilannoitteen hintaa. Muille ravinteille ei oletettu hintaa.

Biokaasulaitoksen taloudellisessa tarkastelussa haettiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Onko biokaasun tuotanto turkiseläinten lannasta kannattavaa alueellisessa biokaasulaitoksessa?
- Mikä on taloudellisesti kannattavin tapa biokaasun energiasisällön hyödyntämiselle?
- Voisiko biokaasun tuotanto olla kannattavaa myös ilman porttimaksuja?
- Miten laajan alueellisen autokannan liikennekaasun puhdistus ja myynti vaatii?
- Parantaako nestejakeen jatkojalostus ravinnekonstraatiksi biokaasulaitoksen kannattavuutta?

Taulukko 18 antaa vastauksen kolmeen ensimmäiseen kysymykseen. Hyödyntämällä biokaasu joko kokonaan tai suurimmaksi osaksi liikennekaasun jalostukseen, biokaasun tuotanto alueellisessa biokaasulaitoksessa osoittautui kannattavaksi. Sen sijaan yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (CHP) oli raskaasti tappiollista. Taulukkoon 18 on myös laskettu samat vaihtoehdot tilanteessa, jossa laitos ottaisi vastaan lantaa ilman porttimaksuja. Tässä tapauksessa ainoastaan täysimääräinen liikennekaasun jalostus on juuri ja juuri kannattavaa.

Taulukko 18. Biokaasun hyödyntämistavan ja porttimaksujen vaikutus laitoksen kannattavuuteen.

	CHP	Liikenne (2 800 autoa)	Liikenne + lämpö (2 000 autoa)	Liikenne + CHP (1 300 autoa)
Porttimaksut:				
Tulos, €	-727 492	870 826	377 718	-9 715
Takaisinmaksuaika, v	48,4	6,7	8,9	12,0
Ei porttimaksuja:				
Tulos, €	-1 502 492	95 826	-397 282	-784 715
Takaisinmaksuaika, v	-	11,0	18,3	38,7

Kaiken tuotetun biokaasun jalostus liikennekaasuksi vastaa n. 2 800 henkilöauton vuosikulutusta (keskikulutus 4,6 kg/100 km, ajomatka 18 000 km/vuosi). Jos laitos kuitenkin tuottaa itse tarvitsemansa sähkön ja lämmön (Liikenne + CHP -vaihtoehto), tuotetun liikennekaasun määrä vastaa n. 1 300 henkilöauton vuosikulutusta (Taulukko 18).

Suomessa kaasuautojen määrä on noussut viime vuosilla kiihtyvällä tahdilla. Vuoden 2018 lopussa kaasuautoja oli Suomessa n. 6300, vuoden 2019 lopussa n. 10 400 ja vuoden 2020 lopussa n. 13 600 (Traficom 2020a). Noin puolet kaasuautoista on tällä hetkellä Uudellamaalla, jossa on myös tihein kaasuntankkausasemaverkosto. Pohjanmaalla oli vuoden 2021 alussa yht. 115 200 autoa, joista n. 8 000 Pedersören kunnassa (Traficom 2020b). Nykyisellä kaasuautojen määrän kasvuvauhdilla 1 300 kaasuauton määrä lähiseudulla voisi hyvinkin olla mahdollinen jo lähivuosien aikana. Täysimääräistä liikennekaasun jalostusmäärää (2 800 autoa) voi kuitenkin olla vaikea saavuttaa lähitulevaisuudessa, koska se tarkoittaisi kolmasosan kunnan autoista kulkevan biometaanilla. Näin ollen porttimaksuista luopuminen tuskin on mahdollista ilman erillistukea lantabiokaasulle (Luostarinen ym. 2019b) tai ravinteiden kierrätykselle (esim. Sanna Marinin hallitusohjelmassa mainittu ravinnekiertokorvaus).

Biokaasulaitoksen mädäte erotetaan lingolla neste- ja kuivajakeeseen. Kannattavuustarkastelussa oletettiin, ettei laitos saa näistä kummastakaan myyntituloja (Taulukko 19). Laitos maksaa jakeiden kuljetuksen, mutta viljelijä maksaa levityksen. Kannattavuustarkastelussa lähtöoletuksena kuitenkin oli, että nestejakeesta valmistetaan edelleen ravinnekonsentraattia kalvosuodatuksella, jolloin kuljetuskustannus pienenee, kun kuljetettavan massan määrä vähenee. Lisäksi oletettiin, että laitos saa ravinnekonsentraatista myyntituloja. Ravinnekonsentraatin hinnan oletettiin määräytyvän sen sisältämän liukoisen typen mukaan.

Taulukko 19. Vaihtoehtoisten ravinnejakeiden määrät, kuljetusmatkat ja hinnat.

	Määrä (t/a)	Typpeä (t/a)	Kuljetusmatka (km)	Hinta (€/kg N)
Kuivajae	30 819	244	180	ei hintaa
Nestejae	123 277	733	90	ei hintaa
Ravinnekonsentraatti	52 270	725	90	1,09

Laskennassa käytetyt kuljetusmatkat perustuivat lähialueen ravinnetaseisiin. Kannattavuustarkastelussa haluttiin lisäksi selvittää, mikä kuljetusmatkan on vähintään oltava, jotta ravinnekonsentraatin valmistus on kannattavaa. Lähtökustannus saatiin nestejakeen kuljetuskustannuksesta, jos väkevöintiä ei tehdä:

Nestejakeen kuljetuskustannus: $123\,277\text{ t} \times 90\text{ km} \times -12,94\text{ €/t/100 km} = -1\,435\,276\text{ €}$

Ravinnekonsentraatin valmistuskustannukset laskettiin ostosähkön hinnalla.

Kustannuksia ja tuloja syntyy seuraavasti:

- Sähkö (-)
- Kemikaalit (-)
- Työ (-)
- Huolto ja ylläpito (-)
- Kalvosuodatuslaitteiston investointi (-)
- Ravinnekonsentraatin kuljetus (-)
- Ravinnekonsentraatin myyntitulo (+)
- Kaikki yht. -443 585 €

Näin ollen ravinnekonsentraatin valmistuskustannukset siis jäivät alle kolmasosaan siitä, mitä nestejakeen kuljetus 90 km:n päähän olisi maksanut. Kuljetusmatkaksi, jolla kuljetuskustannukset ja valmistuskustannukset ovat yhtä suuret, saadaan 28 km. Ravinnekonsentraatin valmistus ei siis olisi kannattavaa, jos se voitaisiin käyttää samalla alueella, jolta lannat kerätään laitokselle (25 km:n kuljetussäteellä tieverkostoa pitkin).

4. Yhteenveto

Turkiseläinten lannan prosessointi biokaasulaitoksella ml. mädätteen jalostus mahdollistaa lannan ravinteiden prosessoinnin sellaiseen muotoon, jossa ne on tehokkaampaa kuljettaa ravinteita tarvitseville alueille. Prosessin ja fosforin paremman kuljetettavuuden myötä pystytään vaikuttamaan alueellisiin fosforiylijäämiin, joita turkistuotannon alueille muodostuu. Lasketun esimerkin mukaisesti Pohjanmaan fosforiylijäämää voitaisiin vähentää 30 %, kun biokaasulaitoksessa käsitellään vuosittain 50 000 tonnia turkiseläinten lantaa ja fosfori kuljetetaan alueelta pois.

Ennen tätä hanketta turkiseläinten lannan biokaasutusta ei Suomessa ollut vielä juurikaan tutkittu eikä sitä ollut onnistuneesti käytetty biokaasulaitoksissa syötteenä. Tulosten mukaan sekä minkin- että ketunlannalla on kuitenkin hyvä metaanintuottopotentiaali, ja haasteet sen biokaasukäytössä liittyvätkin lannankäsittelyyn turkistiloilla.

Lannan poistoa tiloilla pitäisi kehittää metaanintuoton ja biokaasulaitoksessa operoinnin parantamiseksi. Lannan tulisi olla mahdollisimman tuoretta, jotta voitaisiin vähentää orgaanisen kuiva-aineen hävikkiä ja siitä aiheutuvaa metaanintuottopotentiaalin laskua harvan lannanpoiston ja pitkän varastoinnin aikana. Samalla myös lannan sisältämän typen hävikki laskisi ja se saataisiin paremmin hyötykäyttöön. Turkiseläinten lannan biokaasukäsittelyn ongelmana ovat myös sen sisältämät epäpuhtaudet, kuten kivet ja hiekka, jotka voivat rikkoa laitteita, aiheuttaa tukoksia tai reaktoriin kertyessään syödä sen kapasiteettia. Epäpuhtauksien minimoimiseksi lannan joukossa olisi hyvä käyttää nykyistä runsaammin kuiviketta, varjotalon alle muodostuva lanta eristää paremmin maarakenteista esimerkiksi runsaammalla kuivikekerroksella ja estää häkinpalojen ja eläinten virikkeiden pääsy lantaan. Epäpuhtauksia voitaisiin erotella myös biokaasulaitoksella ennen syöttöä reaktoriin esimerkiksi seulomalla, mutta se lisäisi prosessin kustannuksia ja saattaisi toimiakseen vaatia lannan laimentamista tukiaineella. Toimia lannan puhtauden varmistamiseen voisivat olla esimerkiksi myös sakkomaksut epäpuhtaalle lannalle, mutta toisaalta tiedottamisella ja yhteistyöllä turkistuottajien kanssa voidaan lisätä tietoisuutta epäpuhtauksien aiheuttamista haitoista biokaasulaitoksella.

Kuivan turkiseläinten lannan biokaasukäsittelyyn voisi soveltua esimerkiksi suotopetityyppinen panostoiminen kuivämädätys. Mahdollisessa yhteiskäsittelyssä voitaisiin käyttää muita kuivia lantatyyppisiä tai esimerkiksi nurmea ja olkea. Turkiseläinten lannan mädätyksessä panostoiminen reaktori voitaisiin käynnistää 2-4 kertaa vuodessa, aina tarhoilla tapahtuvan lannanpoiston yhteydessä. Näin prosessiin saataisiin mahdollisimman tuoretta lantaa ja lannan esivarastointi ennen mädätystä voitaisiin minimoida. Koska reaktoriumaa ei sekoiteta samaan tapaan kuin jatkuvatoimisia reaktoriratkaisuja eikä prosessi tarvitse pienen palakoon omaavaa tasaista syötemassaa, voisi se sietää paremmin turkiseläinten lannassa olevia epäpuhtauksia (kivet, hiekka, häkinpalaset). Haasteena kuitenkin olisivat kaasuntuoton epätasaisuus ja riski korkean typpipitoisuuden aiheuttamalle inhibitiolle eikä ravinteiden jalostaminen, erityisesti typen ja fosforin erottaminen toisistaan väkevoityihin jakeisiin ole kovin helposti toteutettavissa. Kuivämädätyksen mädäte todennäköisesti markkinoitaisiinkin sellaisenaan maanparannusaineena, jolloin käsittely ei lisäisi lantafosforin kuljetettavuutta eikä näin vaikuttaisi alueellisiin fosforiylijäämiin.

Näistä syistä tässä tutkimuksessa tarkasteltiin märkämädätystä turkiseläinten lannan sekä nautojen ja sikojen lietalantojen yhteiskäsittelyssä. Tarkasteluun valitulla alueella (Pedersöre) oli turkistuotannon lisäksi myös muuta kotieläintuotantoa ja merkittävä lantaravinteiden ylitarjonta, jonka ratkaisemiseksi vaadittiin ravinteiden väkevoimistä kuljetettaviin lannoitevalmisteisiin. Märkämädätyksen vaatima alhaisempi syötteen kuiva-ainepitoisuus varmistettiin

käyttämällä lisäsyötteenä sian ja naudan lietelantoja sekä mädätteestä sen jalostamisen yhteydessä erotettua prosessivettä.

Tarkastellun laitoksen lopputuotteina muodostui joko mädätteestä separoitua kuivajaetta tai siitä vielä pyrolysoitua hiilijaetta, jotka mahdollistaisivat lantafosforin kuljettamisen lannan ylijäämä alueelta merkittävästi kauemmas, alueille, joilla fosforilannoitukselle on saatavissa satovastetta. Nestejakeen jalostus toteutettiin kalvosuodatuksella, jonka lopputuotteena on tyypeä ja fosforia sisältävä ravinnekonentraatti. Korkean fosforiylijäämän alueella olisi mahdollisesti ollut parempi tuottaa ensin puhdasta typpiravinnetta esimerkiksi ammoniakkia strippaamalla, sillä tällöin lantojen tyyppi saataisiin tehokkaammin lähialueella käyttöön. Kuivajaetta taas voitaisiin myös kuivata ja pelletöidä, mikä vaikuttaisi paitsi jakeen varastoitavuuteen, myös levityskaluston käyttöön. Lannoitevalmistemarkkinoiden muodostumiseen ja kuljetusmatkoihin vaikuttavatkin konkreettisesti viljelijöiden tarpeet ja kalusto, esimerkiksi lannoitevalmisteiden varastointitilat ja -kapasiteetti sekä orgaanisille lannoitevalmisteille saatavilla oleva levityskalusto.

Keskitetty biokaasulaitokset ovat Suomessa kirjoitushetkellä liiketoimintamalliltaan jätteenkäsittelylaitoksia, joissa ansainta perustuu pääasiassa vastaanotetuista biomassoista perittäviin porttimaksuihin. Tämä tuo haasteen lantaa raaka-aineenaan käyttävälle biokaasulaitokselle, koska lannasta ei voida periä yhtä korkeita porttimaksuja. Turkiseläinten lannasta maksetaan kuitenkin jo nyt usein porttimaksua kompostointilaitoksiin, joten siirtyä toiseen prosessointivaihtoehtoon ei olisi tuottajille yhtä suuri kuin muilla lantatyypeillä. Tarkastellun laitoksen porttimaksu turkiseläinten lannalle arvioitiinkin kompostointilaitoksen porttimaksun perusteella.

Biokaasusta jalostetun liikennekaasun valmistuksen ja käytön yleistymisen myötä myös biokaasusta valmistetulle energialle on mahdollista saada sähkön ja lämmön tuotantoa korkeampi hinta. Nyt tehdyssä tarkastelussa esimerkkilaitos osoittautui kannattavaksi myös ilman porttimaksuja, jos kaikki tuotettu biokaasu jalostettiin ja myytiin liikennekaasuksi. Tämä tosin laitoksen vaatisi lähiseudulle 2 800 kaasukäyttöistä henkilöautoa, mikä on kolmasosa kaikista Pederören kunnan autoista. Kompostointikäsitteilyä vastaavan porttimaksun avulla riittäisi 2 000 kaasuauton kulutusta vastaava vuosituotanto, jolloin laitos tuottaisi lopusta biokaasusta lämpöä omaan käyttöön. Mikäli alueella otettaisiin käyttöön muitakin kaasukäyttöisiä autoja kuin henkilöliikenne, menekki liikennekaasulle nousisi merkittävästi eikä henkilöautoja tarvittaisi näin paljoa.

Esimerkkilaitokseen suunniteltu nestejakeen väkeväinti säästi kustannuksia, koska nestejakeelle tai siitä valmistetulle ravinnekonentraatille löytyi lannoituskäyttöä vasta 90 km:n etäisyydellä laitoksesta. Laskennalliseksi etäisyydeksi, jolla väkeväinnistä ja konsentraatin kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset olivat yhtä suuria, saatiin 28 km. Kuivajakeen pyrolyysistä ei tehty taloudellista tarkastelua, koska lannan pyrolyysin kustannuksista ei ole saatavilla riittävästi tietoa. Suurin osa mädätteen sisältämästä fosforista ohjautui separoinnissa kuitenkin juuri kuivajakeeseen, jolloin sen kannattavaksi kuljetusmatkaksi saatiin jopa 180 km. Koska pyrolyysissä muodostuvan hiilijakeen massaksi saatiin vain 13 % alkuperäisen kuivajakeen massasta, pyrolyysi olisi vähentänyt kuljetuskustannuksia merkittävästi.

Viitteet

- Bacenetti, J., Negri, M., Fiala, M. & Gonzalez-García, S. 2013. Anaerobic digestion of different feedstocks: impact on energetic and environmental balances of biogas process. *Sci Total Environ* 463–464: 541–551.
- Banks, C., Chessire, M., Heaven, S. & Arnold, R. 2011. Anaerobic digestion of source segregated domestic food waste: performance assessment by mass and energy balance. *Bioresour Technol* 102, 612–620.
- Berglund, M. & Börjesson, P. 2006. Assessment of energy performance in the lifecycle of biogas production. *Biomass Bioenergy* 30: 254–266.
- Biokaasulaskuri v0.3.0. <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas>
- Biomethane Regions 2012. Introduction to the Production of biomethane from biogas a guide for England and Wales. http://www.severnwyne.org.uk/fileadmin/Resources/Severn-Wye/Projects/Biomethane_Regions/Downloads/BMR_D.4.2.1.Technical_Brochure_EN.pdf
- Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M. & Frison, N. 2018. Nutrients recovery from anaerobic digestate of agro-waste: Techno-economic assessment of full scale applications. *J Environ Manage* 216: 111–119.
- Carlsson, M. & Uldal, M. 2009. Substrathandbok för biogasproduktion. Rapport SGC200, Svenskt Gasteknisk Center AB. <http://www.sgc.se/Publikationer/Rapporter/>
- Carretier, S., Lesage, G., Grasmick, A. & Heran, M. 2015. Water and nutrients recovering from livestock manure by membrane processes. *Can J Chem Eng* 93: 225–233.
- Chiumenti, R., Chiumenti, A. & da Borso, F. 2010. Digestate treatment by means of a full scale membrane system: an innovative method for managing surplus nitrogen and for valorizing farm effluents. Ramiran 2010, 14th Ramiran International Conference, Lisbon, Portugal, 12–15 September 2010.
- Dubrovskis, V., Plume, I. & Straume, I. 2009. Investigation of biogas production from mink and cow manure. Proceedings of the 8th International Scientific Conference, Engineering for rural development, Jelgava, Latvia 2009.
- Erkkilä, P. 2016. Ravinteiden kierrätyksen edistäminen turkiseläinten lantaa hyödyntämällä, RAKET. Loppuraportti. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B1AA8B1F7-11E3-4471-88BF-F85A9C681E2F%7D/123937>
- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M. 2011. Manure processing technologies. Technical Report No. II concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment. 184 pp. http://agrotechnologyatlas.eu/docs/21010_technical_report_II_manure_processing_technologies.pdf
- Fuchs, W. & Drosig, B. 2013. Assessment of the state of the art of technologies for the processing of digestate residue from anaerobic digesters. *Water Sci Technol* 67: 1984–1993.

- Gasum 2019. Maa- ja biokaasun hinnat tankkausasemilla 3.12.2019. <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkaushinnat/?gclid=EA1aIQobChMlt6rVyb-Z5glVxaiaCh3eMQ EEAAYASACEgIFRfD BwE>
- Gerardo, M.L., Alijohani, N.H.M., Oatley-Radcliffe, D.O.L. & Lovitt, R.W. 2015. Moving towards sustainable resources: Recovery and fractionation of nutrients from dairy manure digestate using membranes. *Water Res* 80: 80–89.
- Hahn, H. 2011. Guideline for financing agricultural biogas projects. IEE Project BiogasIN, Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES). http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-4131821.pdf
- Hancock, N.T., Black, N.D. & Cath, T.Y. 2012. A comparative life cycle assessment of hybrid osmotic dilution desalination and established seawater desalination and wastewater reclamation processes. *Water Res* 46: 1145–1154.
- Havukainen, J., Uusitalo, V., Niskanen, A., Kapustina, V. & Horttanainen, M. 2014. Evaluation of methods for estimating energy performance of biogas production. *Renew Energ* 66: 232–240.
- Heikkinen, L. 2013. Kuorma-auton polttoaineenkulutus jakeluliikenteessä. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Auto- ja kuljetustekniikka, Logistiikka, Opinnäytetyö 28.5.2013. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013053011822>
- Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L. & Sommer, S.G. 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron Sustain Dev* 30: 153–180.
- Horn, S. Seppänen, A. Winqvist, E. Lehtoranta, S. & Luostarinen, S. 2020 Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntämism vaihtoehdot – vaihtoehtojen taloudellisuus ja ilmastovaihtokutukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 42/2020. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. <http://hdl.handle.net/10138/321266>
- Huikuri, N., Niemi, A. 2016. Matkaraportti vierailusta Jepuan biokaasulaitoksella ja Snellmanin lihanjalostustehtaalla, PIKES Oy. <https://www.pikes.fi/-/matkaraportti-vierailusta-jepuan-biokaasulaitoksella-ja-snellmanin-lihanjalostustehtaalla-2-6-2016->
- Impola R., 2013. Matkaraportti, Opintomatka Keski-Suomi ja Pohjanmaa. BioE-logia –hanke, Oulun seudun ammattikorkeakoulu. https://www.oamk.fi/hankkeet/bioelogia/docs/opintomatkat/koneagria_20131028_raportti.pdf
- Jeppo Kraft Andelslag 2010. Biokaasulaitos, YVA-selostus. Saatavilla: <https://www.ymparisto.fi>
- Kyytsönen, J. 2019. Kaasuautojen määrä kasvaa nopeasti. Maaseudun tulevaisuus 1.9.2019. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/koneet-autot/artikkeli-1.499526>
- Luke 2018. Käytössä oleva maatalousmaa 2017 -tilasto [verkkojulkaisu]. Helsinki: Luonnonvarakeskus [viitattu 5.11.2018]. <https://stat.luke.fi/kaytossa-oleva-maatalousmaa>
- Ledda, C., Schievano, A., Salati, S. & Adani, F. 2013. Nitrogen and water recovery from animal slurries by a new integrated ultrafiltration, reverse osmosis and cold stripping process: A case study. *Water Res* 47: 6165–6166.
- Lehtoranta, S., Johansson, A., Malila, R., Rankinen, K., Grönroos, J., Luostarinen, S. & Kaistila, K. 2020. Vaihtoehtoja kestävämpään turkiseläinten lannan hyödyntämiseen. Suomen

- ympäristökeskuksen raportteja 35/2020. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. <http://hdl.handle.net/10138/318398>
- Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M. & Turtola, E. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Vuodet 1996–2000 ja 2005–2009. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-558-5>
- Lindkvist, E., Johansson, M.T. & Rosenqvist, J. 2017. Methodology for analysing energy demand in biogas production plants – A comparative study of two biogas plants. *Energies* 10: 1822.
- Lund, P., Frydendahl Hellwing, A.L. & Friis Børsting, C. 2019. Normtal for husdyrgødning 2019. 38 s. https://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/dokumenter_anis/normtal/Normtal_2019.pdf
- Luostarinen, S. (toim.) 2013. Biokaasuteknologiaa maataloilla I. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi - käyttökokemuksia MTT:n maatalakohtaiselta laitokselta. MTT Raportti 113. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-481-6>
- Luostarinen, S., Pyykkönen, V., Winqvist, E., Kässi, P., Grönroos, J., Manninen, K. & Rankinen, K. 2016. Maatilojen biokaasulaitokset. Mahdollisuudet, kannattavuus ja ympäristövaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2016. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-188-4>
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017a. Suomen normilanta -laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-441-0>
- Luostarinen, S., Perttilä, S., Nousiainen, J., Hellstedt, M., Joki-Tokola, E. & Grönroos, J. 2017b. Turkiseläinten lannan määrä ja ominaisuudet. Tilaseurannan ja lantalaskennan tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-439-7>
- Luostarinen, S., Tampio, E., Berlin, T., Grönroos, J., Kauppila, J., Koikkalainen, K., Niskanen, O., Rasa, K., Salo, T., Turtola, E., Valve, H. & Ylivainio, K. 2019a. Keinoja orgaanisten lannoitevalmisteiden käytön edistämiseen. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:5. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-941-8>
- Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T. & Ylivainio, K. 2019b. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2019. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-777-0>
- Marttinen, S., Tampio, E., Sinkko, T., Timonen, K., Luostarinen, S. & Manninen, K. 2015. Biokaasulaitokset - syötteistä lopputuotteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2015. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-013-9>
- Masse, L., Massé, D.I. & Pellerin, Y. 2008. The effect of pH on the separation of manure nutrients with reverse osmosis membranes. *J Membr Sci* 325: 914–919.

- Masse, L., Massé, D.I., Pellerin, Y. & Dubreuil, J. 2010. Osmotic pressure and substrate resistance during the concentration of manure nutrients by reverse osmosis membranes. *J Membr Sci* 348: 28–33.
- Melse, R.W. & Verdoes, N. 2005. Evaluation of four farm-scale systems for the treatment of liquid pig manure. *Biosyst Eng* 92: 47–57.
- Møller, H.B., Sommer, S.G. & Ahring, B.K. 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresour Technol* 85: 189–196.
- Naegele, H.J., Lemmer, A., Oechsner, H. & Jungbluth, T. 2012. Electric energy consumption of the full scale research biogas plant “Unterer Lindenhof”: results of longterm and full detail measurements. *Energies* 5: 5198–5214.
- Paavola, T., Winquist, E., Pyykkönen, V., Luostarinen, S., Grönroos, J., Manninen, K. & Rankinen, K. 2016. Lantaravinteiden kestävä hyödyntäminen tiloilla ja keskitetyssä biokaasulaitoksessa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 33/2016. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-258-4>
- Poeschl, M., Ward, S. & Owende, P. 2012. Environmental impacts of biogas deployment - Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air. *J Clean Prod* 24: 168–183.
- Pöschl, M., Ward, S. & Owende, P. 2010. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. *Appl Energy* 87: 3305–3321.
- Rajagopal, R., Massé, D.I. & Singh, G. 2013. A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia. *Bioresour Technol* 143: 632–641.
- Rapport, J.L., Zhang, R., Jenkins, B.M., Hartsough, B.R. & Tomich, T.P. 2011. Modeling the performance of the anaerobic phased solids digester system for biogas energy production. *Biomass Bioenergy* 35: 1263–1272.
- Ravinelaskuri 2019. Alueellisen ravinnekierron suunnittelun työkalu viranomaiskäyttöön. Luke & SYKE 2019.
- Sarvi, M., Rasi, S., Salo, T., Rasa, K., Vainio, M., Ylivainio, M. & Luostarinen, S. 2020. Pyrolyysi turkiseläinten lannan käsittelymenetelmänä. TURKISTEHO-hankkeen osaraportti. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 44/2020. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-993-4>
- Smyth, B.M., Murphy, J.D. & O'Brien, C.M. 2009. What is the energy balance of grass biogas in Ireland and other temperate northern European climates *Renew Sust Energy Rev* 13: 2349–2360.
- Sol Lisboa, M. & Lansing, S. 2013. Characterizing food waste substrates for co-digestion through biochemical methane potential (BMP) experiments. *Waste Manage* 33: 2664–2669.
- Soppi, V. 2017. Älykäs kuljetus – testiraportti. Volvo Finland Ab. <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/alykas-kuljetus/testijakso.html>
- Stenvall, K. 2017. Jepuan Biokaasu Oy – Energiaa ja kasvuvoimaa. <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2018/07/Jeppo-Biogas-Ab-N%C3%A4rpes-6.4.2017.pdf>

- Tampio, E., Ervasti, S., Paavola, T. & Rintala, J. 2016a. Use of laboratory anaerobic digesters to simulate the increase of treatment rate in full-scale high nitrogen content sewage sludge and co-digestion biogas plants. *Biores Technol* 220: 47–54.
- Tampio, E., Marttinen, S. & Rintala, J. 2016b. Liquid fertilizer products from anaerobic digestion of food waste: mass, nutrient and energy balance of four digestate liquid treatment systems. *J Clean Prod* 125. 22–32.
- Tilastokeskus 2019a. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, snt/kWh (hinnat sisältävät sähköenergian, siirtomaksun ja verot): T8 (Yritys- ja yhteisöasiakkaat 2 000 – 19 999 MWh/vuosi). http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/stat-fin_ehi_pxt_004_fi.px/table/tableViewLayout1/
- Tilastokeskus 2019b. Kotimaisten polttoaineiden käyttäjähinnat energiantuotannossa: Metsähake/-murske käyttöpaikalla, hinta €/MWh, FOEX:n tiedonkeruu. http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/stat-fin_ehi_pxt_001_fi.px/table/tableViewLayout1/
- Tilastokeskus 2019c. Pohjoismaisen sähköpörssin spot-hintoja hinta-alueittain: Suomi. http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/stat-fin_ehi_pxt_010_fi.px/table/tableViewLayout1/
- Traficom 2020a. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot ajoneuvoluokittain ja käyttövoimittain 2007-2020. <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot>
- Traficom 2020b. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot ajoneuvoluokittain ja kunnittain 31.3.2021. <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot>
- Triolo, J. M., Ward, A. J., Pedersen, L., & Sommer, S. G. 2013. Characteristics of animal slurry as a key biomass for biogas production in Denmark. In *Biomass Now-Sustainable Growth and Use*. M.D. Matovic (eds.), IntechOpen.
- Työtehoseura 2019. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat (urakointihinnat vuodelta 2018). <https://www.tts.fi/tutkimus/kehitys/hankkeet/maatalous/koneurakointi/urakointihintakysely>
- Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Valkama, E., Ketoja, E., Vaahtoranta, A., Virkajärvi, P., Grönroos, J., Lemola, R., Ylivainio, K., Rasa, K. & Turtola, E. 2016. A simple dynamic model of soil test phosphorus responses to phosphorus balances. *J Environ Qual*, 45(3): 977–983.
- Valkama, E., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2011. Yield response models to phosphorus application: a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertilizer P use of cereals. *Nutr Cycl Agroecosys* 91: 1–15.
- Valkama, E., Rankinen, K., Virkajärvi, P., Salo, T., Kapuinen, P. & Turtola, E. 2016. Nitrogen fertilization of grass leys: Yield production and risk of N leaching. *Agr Ecosys Environ* 230: 341–352.
- Vaneechaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2017. Nutrient recovery from digestate: Systematic technology review and product classification. *Waste Biomass Valor* 8: 21–40.
- Velthof, G.L. 2015. Mineral concentrate from processed manure as fertilizer. *Alterra Report 2650*. Alterra Wageningen UR. <https://edepot.wur.nl/352930>

- Wesnaes, M., Hamelin, L. & Wenzel, H. 2013. Life Cycle Inventory & Assessment Report: Separation of Digested Fattening Pig Slurry for Optimal P Concentration, Denmark. BalticManure WP5 Assessing Sustainability of Manure Technology Chains. http://balticmanure.eu/download/Reports/lca_report_on_seperation_web.pdf
- Ylivainio, K., Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2014. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland: Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. WP4 Standardisation of manure types with focus on phosphorus. Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-505-9>
- Zarkadas, I., Dontis, G., Pilidis, G. & Sarigiannis, D.A. 2016. Exploring the potential of fur farming wastes and byproducts as substrates to anaerobic digestion process. *Renew Energy* 96: 1063–1070.

Liitteet

Liite 1a. Laskennallisen biokaasulaitoksen massataseet, kun mädätettä jalostetaan separoinnin ja nestejakeen kalvosuodatuksen avulla.

Prosessi	Jae	Massavirta (t/a)	TS (t/a)	VS (t/a)	Ntot (t/a)	NH4-N (t/a)	Ptot (t/a)
	Syöte	160000	19072	14511	978	427	715
Mädätys	Mädäte	154096	13168	8608	978	488	715
	Biokaasuksi	5904	5904	5904	0	-60	0
Separointi	Nestejae	123277	2634	1722	733	390	71
	Kuivajae	30819	10534	6886	244	98	643
Kalvosuodatus	Konsentraatti kalvoilta	52270	2634	1722	725	382	71
	Puhdistettu vesi	71008	0	0	8	8	0

Liite 1b. Laskennallisen biokaasulaitoksen massataseet, kun mädätettä jalostetaan separoinnin ja nestejakeen kalvosuodatuksen sekä kuivajakeen kuivauksen ja pyrolyysin avulla.

Prosessi	Jae	Massavirta (t/a)	TS (t/a)	VS (t/a)	Ntot (t/a)	NH4-N (t/a)	Ptot (t/a)
	Syöte	160000	19072	14511	978	427	715
Mädätys	Mädäte	154096	13168	8608	978	488	715
	Biokaasuksi	5904	5904	5904	0	-60	0
Separointi	Nestejae	123277	2634	1722	733	390	71
	Kuivajae	30819	10534	6886	244	98	643
Kalvosuodatus	Konsentraatti kalvoilta	60633	2739	8608	811	477	71
	Puhdistettu vesi	82369	0	0	10	10	0
Kuivaus	Kuivattu kuivajae	11095	10429	0	156	0	643
	Kuivauskaasu	19724	105	6886	88	98	0
Pyrolyysi	Hiilijae	5547	5525	0	108	0	643
	Pyrolyysiöljy	3390	1187	0	48	0	0
	Kaasu	2157	3717	0	0	0	0

Liite 2a. Laskennallisen biokaasulaitoksen massojen ominaisuudet, kun mädätettä jalostetaan separoinnin ja nestejakeen kalvosuodatuksen avulla.

Prosessi	Jae	TS (%)	VS (g/kg)	Ntot (g/kg)	NH4-N (g/kg)	Ptot (g/kg)
	Syöte	11,9	90,7	6,1	2,7	4,5
Mädätys	Mädäte	8,6	55,9	6,3	3,2	4,6
	Biokaasuksi	-	-	-	-	-
Separointi	Nestejae	2,1	14,0	5,9	3,2	0,6
	Kuivajae	34,2	223,4	7,9	3,2	20,9
Kalvosuodatus	Konsentraatti kalvoilta	5,0	32,9	13,9	7,3	1,4
	Puhdistettu vesi	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0

Liite 2b. Laskennallisen biokaasulaitoksen massojen ominaisuudet, kun mädätettä jalostetaan separoinnin ja nestejakeen kalvosuodatuksen sekä kuivajakeen kuivauksen ja pyrolyysin avulla.

Prosessi	Jae	TS (%)	VS (g/kg)	Ntot (g/kg)	NH4-N (g/kg)	Ptot (g/kg)
	Syöte	11,9	90,7	6,1	2,7	4,5
Mädätys	Mädäte	8,6	55,9	6,3	3,2	4,6
	Biokaasuksi	-	-	-	-	-
Separointi	Nestejae	2,1	14,0	5,9	3,2	0,6
	Kuivajae	34,2	223,4	7,9	3,2	20,9
Kalvosuodatus	Konsentraatti kalvoilta	4,5	142,0	13,4	7,9	1,2
	Puhdistettu vesi	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
Kuivaus	Kuivattu kuivajae	94,0	0,0	14,1	0,0	58,0
	Kuivauskaasu	5,3	349,1	4,5	4,9	0,0
Pyrolyysi	Hiilijae	99,6	0,0	19,5	0,0	116,0
	Pyrolyysiöljy	35,0	0,0	14,3	0,0	0,0
	Kaasu	-	-	-	-	-

Liite 3a. Alueellisen biokaasulaitoksen kannattavuus: CHP-tuotanto.

BIOKAASUN TUOTANTO CHP				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
<i>Kuljetuskustannukset</i>	<i>t/a</i>	<i>km</i>	<i>€/m³/100 km</i>	<i>€/a</i>
Ketunlanta	40 000	25	tuodaan laitok- selle	
Minkinlanta	10 000	25	tuodaan laitok- selle	
Naudan lietelanta	10 000	4	putkea pitkin	
Naudan lietelanta	30 000	12	-12,94	-46 571
Sian lietelanta	10 000	1	putkea pitkin	
Kuivajakeen kuljetus	30 819	180	-6,47	-358 819
<i>Energia</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	0		-67,45	0
Ostolämpö	0		-26,06	0
<i>Kemikaalit</i>	<i>t/a</i>		<i>€/kg</i>	<i>€/a</i>
Polymeeri	46		-2,43	-112 644
<i>Työ</i>	<i>h/a</i>		<i>€/h</i>	<i>€/a</i>
2 hlö, sotu mukana	3 654		-25,80	-94 273
<i>Huolto- ja ylläpito</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/kWh</i>	<i>€/a</i>
CHP	12 299		-0,013	-159 888
Biokaasulaitos	1,5 % investoin- nista			-165 000
Vakuutukset	0,5 % investoin- nista			-55 000
TULOT				
<i>Porttimaksut</i>	<i>t/a</i>		<i>€/t</i>	<i>€/a</i>
Ketunlanta	40 000		15,00	600 000
Minkinlanta	10 000		15,00	150 000
Naudan lietelanta	40 000		0,00	0
Sian lietelanta	10 000		2,50	25 000
<i>Energian myynti</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Sähkön myynti	6 220		37,96	236 073
Lämmön myynti	7 275		25,00	181 875
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	€/a
Biokaasulaitos			11 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			7 700 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-692 546
RAVINNEKONSENTRAATIN VALMIS- TUS				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021

<i>Energia</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	0		-67,45	0
<i>Kemikaalit</i>	<i>t/a</i>		<i>€/kg</i>	<i>€/a</i>
NaOH (50 %)	222		-0,19	-42 161
<i>Työ</i>	<i>h/a</i>		<i>€/h</i>	<i>€/a</i>
0,5 hlö, sotu mukana	914		-25,80	-23 568
<i>Huolto- ja ylläpito</i>				
Liikennekaasun jalostus	2 % investoinnista			-80 000
Vakuutukset	0,5 % investoinnista			-20 000
TULOT				
<i>Myyntitulot</i>	<i>t/a</i>	<i>t N/a</i>	<i>€/kg N</i>	<i>€/a</i>
Ravinnekonstraatti	52 270	725	1,09	790 422
<i>Kuljetuskustannukset</i>	<i>t/a</i>	<i>km</i>	<i>€/t/100 km</i>	<i>€/a</i>
Konstraatin kuljetus	52 270	90	-12,94	-608 557
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	€/a
Kalvosuodatuslaitteisto			4 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			2 800 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-251 835
KANNATTAVUUS				
BIOKAASUN TUOTANTO				
			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-992 195
Tulot				1 192 948
Investointi (tuki 30 %)			7 700 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-692 546
RAVINNEKONSTRATIN VALMISTUS				
			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-165 729
Tulot				181 865
Investointi (tuki 30 %)			2 800 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-251 835
KOKO PROSESSI				
KATE				216 889 €
TULOS				-727 492 €
TAKAISINMAKSUAIKA				48,4 v

Liite 3b. Alueellisen biokaasulaitoksen kannattavuus: Liikennekaasun jalostus.

BIOKAASUN TUOTANTO LIIKENNEKAASUN JALOSTUS				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
<i>Kuljetuskustannukset</i>	<i>t/a</i>	<i>km</i>	<i>€/m³/100 km</i>	<i>€/a</i>
Ketunlanta	40 000	25	tuodaan laitok- selle	
Minkinlanta	10 000	25	tuodaan laitok- selle	
Naudan lietelanta	10 000	4	putkea pitkin	
Naudan lietelanta	30 000	12	-12,94	-46 571
Sian lietelanta	10 000	1	putkea pitkin	
Kuivajakeen kuljetus	30 819	180	-6,47	-358 819
<i>Energia</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	1 606		-67,45	-108 307
Ostolämpö	8 261		-26,06	-215 272
<i>Kemikaalit</i>	<i>t/a</i>		<i>€/kg</i>	<i>€/a</i>
Polymeeri	46		-2,43	-112 644
<i>Työ</i>	<i>h/a</i>		<i>€/h</i>	<i>€/a</i>
2 hlö, sotu mukana	3 654		-25,80	-94 273
<i>Huolto- ja ylläpito</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/kWh</i>	<i>€/a</i>
Biokaasulaitos	1,5 % inves- toinnista			-165 000
Vakuutukset	0,5 % inves- toinnista			-55 000
TULOT				
<i>Porttimaksut</i>	<i>t/a</i>		<i>€/t</i>	<i>€/a</i>
Ketunlanta	40 000		15,00	600 000
Minkinlanta	10 000		15,00	150 000
Naudan lietelanta	40 000		0,00	0
Sian lietelanta	10 000		2,50	25 000
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	€/a
Biokaasulaitos			11 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			7 700 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-692 546
LIIKENNEKAASUN JALOSTUS				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021

Ostosähkö	2 379		-67,45	-160 463
Työ (sisältyy biokaasun tuotannon työai- kaan)				
Huolto- ja ylläpito				
Liikennekaasun jalostus	1,5 % inves- toinnista			-45 000
Vakuutukset	0,5 % inves- toinnista			-15 000
TULOT				
	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Liikennekaasu	31 719		88,19	2 797 183
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	<i>€/a</i>
Liikennekaasun jalostus			3 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			2 100 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-188 876
RAVINNEKONSENTRAATIN VALMISTUS				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
<i>Energia</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	3 082		-67,45	-207 885
<i>Kemikaalit</i>	<i>t/a</i>		<i>€/kg</i>	<i>€/a</i>
NaOH (50 %)	222		-0,19	-42 161
<i>Työ</i>	<i>h/a</i>		<i>€/h</i>	<i>€/a</i>
0,5 hlö, sotu mukana	914		-25,80	-23 568
<i>Huolto- ja ylläpito</i>				
Liikennekaasun jalostus	2 % investoin- nista			-80 000
Vakuutukset	0,5 % inves- toinnista			-20 000
TULOT				
<i>Myyntitulot</i>	<i>t/a</i>	<i>t N/a</i>	<i>€/kg N</i>	<i>€/a</i>
Ravinnekonstraatti	52 270	725	1,09	790 422
<i>Kuljetuskustannukset</i>	<i>t/a</i>	<i>km</i>	<i>€/t/100 km</i>	<i>€/a</i>
Konsentraatin kuljetus	52 270	90	-12,94	-608 557
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	<i>€/a</i>
Kalvosuodatuslaitteisto			4 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			2 800 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-251 835
KANNATTAVUUS				
BIOKAASUN TUOTANTO				

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021

			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-1 155 887
Tulot				775 000
Investointi (tuki 30 %)			7 700 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-692 546
LIIKENNEKAASUN JALOSTUS				
			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-220 463
Tulot				2 797 183
Investointi (tuki 30 %)			3 000 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-188 876
RAVINNEKONSENTRAATIN VALMISTUS				
			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-373 614
Tulot				181 865
Investointi (tuki 30 %)			2 800 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-251 835
KOKO PROSESSI				
KATE				2 004 084 €
TULOS				-870 826 €
TAKAISINMAKSUAIKA				6,7 v

Liite 3c. Alueellisen biokaasulaitoksen kannattavuus: Liikennekaasun jalostus + lämmön tuotanto.

BIOKAASUN TUOTANTO LIIKENNEKAASUN JALOSTUS + LÄMMÖN TUOTANTO				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
<i>Kuljetuskustannukset</i>	<i>t/a</i>	<i>km</i>	<i>€/m³/100 km</i>	<i>€/a</i>
Ketunlanta	40 000	25	tuodaan laitokselle	
Minkinlanta	10 000	25	tuodaan laitokselle	
Naudan lietelanta	10 000	4	putkea pitkin	
Naudan lietelanta	30 000	12	-12,94	-46 571
Sian lietelanta	10 000	1	putkea pitkin	
Kuivajakeen kuljetus	30 819	180	-6,47	-358 819
<i>Energia</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	1 606		-67,45	-108 307
Ostolämpö	0		-26,06	0
<i>Kemikaalit</i>	<i>t/a</i>		<i>€/kg</i>	<i>€/a</i>
Polymeeri	46		-2,43	-112 644
<i>Työ</i>	<i>h/a</i>		<i>€/h</i>	<i>€/a</i>
2 hlö, sotu mukana	3 654		-25,80	-94 273
<i>Huolto- ja ylläpito</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/kWh</i>	<i>€/a</i>
Biokaasulaitos	1,5 % investoinnista			-165 000
Vakuutukset	0,5 % investoinnista			-55 000
TULOT				
<i>Porttimaksut</i>	<i>t/a</i>		<i>€/t</i>	<i>€/a</i>
Ketunlanta	40 000		15,00	600 000
Minkinlanta	10 000		15,00	150 000
Naudan lietelanta	40 000		0,00	0
Sian lietelanta	10 000		2,50	25 000
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	€/a
Biokaasulaitos			11 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			7 700 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-692 546
LIIKENNEKAASUN JALOSTUS				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	1 740		-67,45	-117 353

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021

Työ (sisältyy biokaasun tuotannon työaikaan)				
Huolto- ja ylläpito				
Liikennekaasun jalostus	1,5 % investoinnista			-45 000
Vakuutukset	0,5 % investoinnista			-15 000
TULOT				
	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Liikennekaasu	23 197		88,19	2 045 693
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	<i>€/a</i>
Liikennekaasun jalostus			3 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			2 100 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-188 876
RAVINNEKONSENTRAATIN VALMISTUS				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
<i>Energia</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	3 082		-67,45	-207 885
<i>Kemikaalit</i>	<i>t/a</i>		<i>€/kg</i>	<i>€/a</i>
NaOH (50 %)	222		-0,19	-42 161
<i>Työ</i>	<i>h/a</i>		<i>€/h</i>	<i>€/a</i>
0,5 hlö, sotu mukana	914		-25,80	-23 568
<i>Huolto- ja ylläpito</i>				
Liikennekaasun jalostus	2 % investoinnista			-80 000
Vakuutukset	0,5 % investoinnista			-20 000
TULOT				
<i>Myyntitulot</i>	<i>t/a</i>	<i>t N/a</i>	<i>€/kg N</i>	<i>€/a</i>
Ravinnekonstraatti	52 270	725	1,09	790 422
<i>Kuljetuskustannukset</i>	<i>t/a</i>	<i>km</i>	<i>€/t/100 km</i>	<i>€/a</i>
Konsentraatin kuljetus	52 270	90	-12,94	-608 557
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	<i>€/a</i>
Kalvosuodatuslaitteisto			4 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			2 800 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-251 835
KANNATTAVUUS				
BIOKAASUN TUOTANTO				
			€	<i>€/a</i>
Muuttuvat kustannukset				-940 614
Tulot				775 000
Investointi (tuki 30 %)			7 700 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-692 546

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021

LIIKENNEKAASUN JALOSTUS				
			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-177 353
Tulot				2 045 693
Investointi (tuki 30 %)			3 000 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-188 876
RAVINNEKONSENTRAATIN VALMISTUS				
			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-373 614
Tulot				181 865
Investointi (tuki 30 %)			2 800 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-251 835
KOKO PROSESSI				
KATE				1 510 976 €
TULOS				-377 718 €
TAKAISINMAKSUAIKA				8,9 v

Liite 3d. Alueellisen biokaasulaitoksen kannattavuus: Liikennekaasun jalostus + CHP-tuotanto.

BIOKAASUN TUOTANTO LIIKENNEKAASUN JALOSTUS +CHP-TUOTANTO				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
<i>Kuljetuskustannukset</i>	<i>t/a</i>	<i>km</i>	<i>€/m³/100 km</i>	<i>€/a</i>
Ketunlanta	40 000	25	tuodaan laitokselle	
Minkinlanta	10 000	25	tuodaan laitokselle	
Naudan lietalanta	10 000	4	putkea pitkin	
Naudan lietalanta	30 000	12	-12,94	-46 571
Sian lietalanta	10 000	1	putkea pitkin	
Kuivajakeen kuljetus	30 819	180	-6,47	-358 819
<i>Energia</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	2		-67,45	-130
Ostolämpö	0		-26,06	0
<i>Kemikaalit</i>	<i>t/a</i>		<i>€/kg</i>	<i>€/a</i>
Polymeeri	46		-2,43	-112 644
<i>Työ</i>	<i>h/a</i>		<i>€/h</i>	<i>€/a</i>
2 hlö, sotu mukana	3 654		-25,80	-94 273
<i>Huolto- ja ylläpito</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/kWh</i>	<i>€/a</i>
CHP	6 540		-0,013	-85 016
Biokaasulaitos	1,5 % investoinnista			-165 000
Vakuutukset	0,5 % investoinnista			-55 000
TULOT				
<i>Porttimaksut</i>	<i>t/a</i>		<i>€/t</i>	<i>€/a</i>
Ketunlanta	40 000		15,00	600 000
Minkinlanta	10 000		15,00	150 000
Naudan lietalanta	40 000		0,00	0
Sian lietalanta	10 000		2,50	25 000
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	€/a
Biokaasulaitos			11 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			7 700 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-692 546
LIIKENNEKAASUN JALOSTUS				

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	0		-67,45	0
Työ (sisältyy biokaasun tuotannon työaikaan)				
Huolto- ja ylläpito				
Liikennekaasun jalostus	1,5 % investoinnista			-45 000
Vakuutukset	0,5 % investoinnista			-15 000
TULOT				
	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Liikennekaasu	14 853		88,19	1 309 860
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	<i>€/a</i>
Liikennekaasun jalostus			3 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			2 100 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-188 876
RAVINNEKONSENTRAATIN VALMISTUS				
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET				
<i>Energia</i>	<i>MWh/a</i>		<i>€/MWh</i>	<i>€/a</i>
Ostosähkö	0		-67,45	0
<i>Kemikaalit</i>	<i>t/a</i>		<i>€/kg</i>	<i>€/a</i>
NaOH (50 %)	222		-0,19	-42 161
<i>Työ</i>	<i>h/a</i>		<i>€/h</i>	<i>€/a</i>
0,5 hlö, sotu mukana	914		-25,80	-23 568
<i>Huolto- ja ylläpito</i>				
Liikennekaasun jalostus	2 % investoinnista			-80 000
Vakuutukset	0,5 % investoinnista			-20 000
TULOT				
<i>Myyntitulot</i>	<i>t/a</i>	<i>t N/a</i>	<i>€/kg N</i>	<i>€/a</i>
Ravinnekonentraatti	52 270	725	1,09	790 422
<i>Kuljetuskustannukset</i>	<i>t/a</i>	<i>km</i>	<i>€/t/100 km</i>	<i>€/a</i>
Konsentraatin kuljetus	52 270	90	-12,94	-608 557
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
			€	<i>€/a</i>
Kalvosuodatuslaitteisto			4 000 000	
Tuettu hinta (tuki 30 %)			2 800 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-251 835
KANNATTAVUUS				

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021

BIOKAASUN TUOTANTO				
			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-917 453
Tulot				775 000
Investointi (tuki 30 %)			7 700 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-692 546
LIIKENNEKAASUN JALOSTUS				
			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-60 000
Tulot				1 309 860
Investointi (tuki 30 %)			3 000 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-188 876
RAVINNEKONSENTRAATIN VALMISTUS				
			€	€/a
Muuttuvat kustannukset				-165 729
Tulot				181 865
Investointi (tuki 30 %)			2 800 000	
Annuiteetti (4 %, 15 v)				-251 835
KOKO PROSESSI				
KATE				1 123 542 €
TULOS				-9 715 €
TAKAISINMAKSUAIKA				12,0 v



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000