



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2022

# Kohti biokaasun liikennekäyttöä Pohjois-Savossa

FarmGas-PS 2 -hankkeen raportti hajautetusta  
biokaasuntuotannosta

Saija Rasi, Jukka Markkanen, Ville Pyykkönen, Kalle Aro,  
Ari-Matti Seppänen, Olli Niskanen, Seppo Mönkkönen,  
Miika Kahelin ja Sari Luostarinen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2022

# **Kohti biokaasun liikennekäyttöä Pohjois-Savossa**

FarmGas-PS 2 -hankkeen raportti  
hajautetusta biokaasuntuotannosta

Saija Rasi, Jukka Markkanen, Ville Pyykkönen, Kalle Aro, Ari-Matti Seppänen,  
Olli Niskanen, Seppo Mönkkönen, Miika Kahelin ja Sari Luostarinen

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2022





### Viittausohje:

Rasi, S., Markkanen, J., Pyykkönen, P., Aro, K., Seppänen, A.-M., Niskanen, O., Mönkkönen, S., Kahelin, M. ja Luostarinen S. 2022. Kohti biokaasun liikennekäyttöä Pohjois-Savossa : FarmGas-PS 2 -hankkeen raportti hajautetusta biokaasuntuotannosta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 44 s.

Saija Rasi ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-4007-9783>



ISBN 978-952-380-453-1 (Painettu)  
ISBN 978-952-380-454-8 (Verkkajulkaisu)  
ISSN 2342-7647 (Painettu)  
ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)  
URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-454-8>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Saija Rasi, Jukka Markkanen, Ville Pyykkönen, Kalle Aro, Ari-Matti Seppänen, Olli Niskanen, Seppo Mönkkönen, Miika Kahelin ja Sari Luostarinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2022

Julkaisuvuosi: 2022

Kannen kuva: Saija Rasi

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.omapumu.com/fi/i>

## Tiivistelmä

Saija Rasi<sup>1</sup>, Jukka Markkanen<sup>1</sup>, Ville Pyykkönen<sup>1</sup>, Kalle Aro<sup>1</sup>, Ari-Matti Seppänen<sup>1</sup>, Olli Niskanen<sup>1</sup>, Seppo Mönkkönen<sup>2</sup>, Miika Kahelin<sup>2</sup> ja Sari Luostarinen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Luonnonvarakeskus

<sup>2</sup>Savonia ammattikorkeakoulu

Suomi tavoittelee kunnianhimoisesti kasvavaa biokaasuntuotantoa ja tehokkaampaa ravinteiden kierrätystä. Merkittävimmät biokaasuntuotantoon käyttökelpoiset, vielä vähäisellä käytöllä olevat biomassat, ovat maataloudessa. Tämä korostuu Pohjois-Savon kaltaisella maatalousvaltaisella alueella. Biokaasulaitosten määrän kasvua myös maatilamittakaavassa ovat kuitenkin hidastaneet kannattavuuden haasteet. Tässä hankkeessa tarkasteltiin hajautetun biokaasuntuotannon mallia, jossa useissa maatilalaitoksissa tuotettu biokaasu hyödynnetään keskitetyn jakelupisteen kautta liikenteen polttoaineena.

Hankkeen laskelmien mukaan Pohjois-Savossa on kustannustehokkainta tuottaa biometaanin keskitettyyn jakeluun siten, että biokaasu jalostetaan ja paineistetaan jokaisella konseptissa mukana olevalla biokaasulaitoksella. Sen jälkeen paineistettu biometaanin kuljetetaan autokuljetuksena keskitettyyn jakelupisteeseen. Siellä biometaanin voidaan edelleen nesteyttää raskaan liikenteen käyttöön.

Konseptin kokonaiskustannuksista noin 70 % kohdistuu tilakohtaisille biokaasulaitoksille. Kuitenkin myös kuljetuksen ja varastoinnin kustannukset ovat merkittävät verrattuna suuren keskitetyn laitoksen biometaanin tuotantoon. Muodostuvaan kuluttajahintaan ja biometaanin myynnistä saataviin tuottoihin vaikuttaa merkittävästi myös jakeluvaihtoehto ja sen mukana tuleva tiketti kauppa, jonka merkitystä hintoihin on kirjoitushetkellä vaikea arvioida.

Tilojen näkökulmasta keskitetty biometaanin jakelu tuo yhden suuren ja vakaan asiakkaan, jonka vastuulla on tuotteen varastointi, markkinointi ja jakelu loppukäyttäjälle. Suuri investointi voi kuitenkin olla tiloille haastava. Myös tilakoon on oltava keskimääräistä pohjoissavolaista tilakokoa suurempi tai lisäyötteiden määrä merkittävä, jotta päästään kannattavuuden kannalta tarpeeksi suureen laitostuotantoon.

Jakelijan näkökulmasta hajautettu tuotanto mahdollistaa monipuolisten raaka-aineiden käytön biometaanin tuotannossa. Jakelija voi myös keskittyä biometaanin myyntiin, kun biokaasulaitoksia operoivat viljelijät, ja mädäte ravinteineen jää tilojen omaan käyttöön. Mahdollinen tarve siirtää ravinteita tilalta tai alueelta toiselle on kuitenkin arvioitava erikseen, sillä alueelliset olosuhteet vaihtelevat merkittävästi.

Politiikkaympäristö on lähtökohtaisesti biokaasua kohtaan myönteinen, ja biokaasun käyttöä pyritään edistämään sekä kansallisella tasolla että maakunta- ja kuntatasoilla. Tietoisuus biokaasun mahdollisuuksista kasvaa jatkuvasti, ja toimivilla esimerkeillä on suuri rooli biokaasuliiketoiminnan edistämiseksi. Keskeisimmät hidasteet biokaasukentälle syntyvät tuotannon heikosta kannattavuudesta, biokaasun tulevaisuuteen liittyvistä epävarmuuksista sekä ohjauksien monimutkaisuudesta ja ennakoimattomuudesta. Maatilamittakaavassa maatalojen heikentynyt taloustilanne ja jaksaminen ovat viime aikoina hidastaneet investointeja. Oikeudenmukaisuuden näkökulmasta on tärkeää, että viljelijät saavat tunnustusta niistä päästövähennyksistä, jotka on osaltaan mahdollistettu viljelijöiden investoinneilla ja työpanoksella. Näin siitä huolimatta, että tiloilla tuotettu biokaasu käytettäisiin maatalouden ja maatalojen ulkopuolella.

**Asiasanat:** Biokaasu, biometaanin, uusiutuva energia, liikennepolttoaine, ravinteiden kierrätys

# Sisälllys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Hajautettu biokaasuntuotanto.....</b>	<b>7</b>
2.1. Konseptin periaate .....	7
2.2. Konseptin mallinnus Pohjois-Savossa.....	8
2.3. Hajautetun toimintakonseptin tekniikkaselvitys.....	10
2.3.1. Biokaasun varastointi .....	10
2.3.2. Biokaasun kuljetus.....	10
2.3.3. Biokaasun jalostus biometaaniksi .....	11
2.3.4. Biometaanin kuljetus.....	11
2.3.5. Jalostetun biometaanin nesteytys.....	12
2.4. Biokaasuliiketoimintaan liittyvien hintojen määrittely.....	12
2.4.1. Toteutunut biokaasun hintakehitys liikennepolttoaineena .....	12
2.4.2. Maatilojen energiankäyttö ja energian hinnat.....	13
2.4.3. Lannoitearvo ja lantalogistiikan hyödyt.....	15
2.5. Hajautettu biokaasuntuotanto, teoreettisen konseptin kustannukset Pohjois-Savossa..	16
2.5.1. Biokaasun ja biometaanin tuotantokustannukset .....	17
2.5.2. Biometaanin kuljetuksen, varastoinnin ja jakelun kustannukset .....	18
2.6. Biometaanin käyttäjäpotentiaali Pohjois-Savossa.....	19
<b>3. Esimerkkilaitat ja -biokaasulaitokset Pohjois-Savossa .....</b>	<b>21</b>
3.1. Esimerkkilaitosten perustiedot.....	21
3.2. Esimerkkilaitosten taloudellinen kannattavuus biokaasun eri käyttövaihtoehdoissa.....	23
3.2.1. Maitotila (A) .....	23
3.2.2. Lihakarjatila (B) .....	24
3.2.3. Kahden maitotilan yhteinen laitos (C) .....	25
3.2.4. Lihakarjatilan ja kasvintuotantotilojen yhteislaitos (D) .....	27
<b>4. Konseptiin liittyviä muutospaineita, esteitä ja ajureita.....</b>	<b>28</b>
4.1. Tausta ja menetelmät.....	28
4.2. Poliittikatavoitteet ja ohjaukeinoet.....	29
4.3. Ympäristöajurit ja -hidasteet .....	29
4.4. Sosiaaliset ajurit ja hidasteet .....	30
4.5. Teknis-taloudelliset ajurit ja hidasteet.....	30
4.6. Paikallisten arvoketjujen muodostuminen.....	31
<b>5. Yhteenveto.....</b>	<b>33</b>

<b>Viitteet.....</b>	<b>36</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>40</b>

# 1. Johdanto

Suomi tavoittelee kunnianhimoisesti kasvavaa biokaasuntuotantoa ja tehokkaampaa ravinteiden kierrätystä. Suurin vielä käyttämätön potentiaali biokaasuntuotannossa on maatalouden biomassoissa, mukaan lukien kotieläintuotannon lannat ja erilaiset kasvibiomassat. Lanta on tärkein biomassa myös ravinteiden kierrätyksen kannalta. Pohjois-Savossa merkittävimmät biokaasuntuotantoon käyttökelpoiset biomassat ovat maataloudessa. Etenkin vahvan lypsykarjatuotannon lanta, osin myös lihakarjatuotannon lanta, ja kasvintuotannon sivuvirrat voisivat mahdollistaa merkittävän biokaasuntuotannon ja tehostaa ravinteiden käyttöä paikallisesti ja alueellisesti.

Kiinnostus biokaasuntuotantoon maatalousperäisistä biomassoista on kasvanut viime vuosina, mutta haasteena on edelleen ollut taloudellinen kannattavuus. Maatilamittakaavassa, etenkin nautakarjatiljoilla, lämmön ja sähkön tarpeen ajallinen vaihtelu sekä kokonaistarve eivät aina vastaa biokaasulaitoksen tuotantoa. Liikenteen polttoaineena biokaasusta saa parhaimman myyntihinnan, mutta jalostus- ja jakelulaitteiston investointihinta on korkea ja maatilat usein kaukana valtateistä, jolloin kaasun markkinointi ja myynti ovat haasteellista. Keskitetyn biokaasuntuotannon haasteena maatilojen biomassoja käytettäessä taas ovat olleet raaka-aineen sekä mädätteen pitkät kuljetusmatkat tai mädätteen kuljetettavuuden lisäämiseksi tarpeellisen jalostamisen kustannukset.

FarmGas-PS 2 -hankkeen yhtenä päätavoitteena oli edistää maatilojen omien tai maatilojen yhteisten biokaasulaitosten investointeja. Hanke on jatkoa FarmGas-PS 1 -hankkeelle, jossa raportoitiin alueen erityispiirteet sekä aikaisemmista biokaasuhankkeista kerätty tieto (Pyykkönen ym. 2021). Tavoitteen toteuttamiseksi tarkasteltiin vaihtoehtoa, jossa biokaasuntuotanto ja mädätteen hyödyntäminen lannoituksessa tapahtuvat hajautetusti maatiloilla, mutta biokaasun sisältämä energia hyödynnetään keskitetysti joko paineistettuna tai nesteytettynä biometaanina. Tällöin kaasun hyödyntäjinä voivat olla myös nesteytettyä biokaasua käyttävät tahot, kuten raskas liikenne. Hajautetun konseptin toimintamahdollisuuksia tarkasteltiin Pohjois-Savossa muodostuvan biomassan määrän ja sijainnin sekä teknisten ratkaisumahdollisuuksien kannalta. Tarkastelussa painotettiin lannan määrää ja sijaintia pääasiallisena raaka-aineena. Lannan lisäksi huomioitiin muita tiloilla syntyviä sivuvirtoja sekä nurmen käyttöä lisäraaka-aineena.

Tässä raportissa esitetään hajautettuun biokaasuntuotantoon perustuvan toimintamallin kustannuksia toimintaketjun eri vaiheissa. Toimintamallin kustannusten lisäksi havainnollistetaan esimerkkitulojen avulla maatilalle aiheutuvat investointi- ja käyttökustannukset sekä tuotot, kun biokaasu hyödynnetään toimintamallin mukaisesti keskitetyn jakelun kautta. Lisäksi esimerkkitulojen kustannuksia ja tuottoja verrataan tilanteeseen, jossa vastaavat laitokset toimivat itsenäisesti toimintamallin ulkopuolella (hyödyntäen tuotetun biokaasun sähkönä ja lämpönä tai myymällä biometaanin suoraan tilalta kuluttajalle). Lisäksi tarkastellaan hajautetun biokaasuntuotannon toimintakonseptiin liittyviä muutospaineita, esteitä ja ajureita Pohjois-Savon toimijoiden näkökulmasta.

Luonnonvarakeskuksen ja Savonia-ammattikorkeakoulun toteuttamaa hanketta rahoittaa Euroopan unionin aluekehitysrahasto Pohjois-Savon liiton kautta. Mukana ovat myös Kiuruvesi, Kuopio, Iisalmi, Vieremä, Lapinlahti, Sonkajärvi ja Siilinjärvi sekä Valio Oy, MTK-Pohjois-Savo, SKAL Itä-Suomi ry, Savon Voima ja Stora Enso.

## 2. Hajautettu biokaasuntuotanto

### 2.1. Konseptin periaate

Tässä hankkeessa tarkasteltiin tilannetta, jossa maatalouden sivuvirrat ovat hajallaan, jolloin raaka-aineiden kuljetusmatkat keskitettyyn biokaasulaitokseen kasvavat kustannusten kannalta haasteellisiksi. Raaka-aineiden ja tuotetun biokaasun kuljetettavuutta voidaan tarkastella hyvin karkeasti, jos verrataan niiden sisältämää energiamäärää (Taulukko 1). Vertailu ei ole täysin taysapuolista, sillä vertailu ei huomioi energiapanoksia, joita tarvitaan energiamäärän tuottamiseksi. Välimatkojen kasvaessa energiatihedysten merkitys kuljetuksissa kuitenkin lisääntyy.

**Taulukko 1.** Esimerkki, miten paljon energiaa noin kuution tilavuus sisältää eri jakeilla.

Esimerkki	kWh
Naudan lietelanta (1 000 kg/m <sup>3</sup> )	140
Säilörehu (500 kg/m <sup>3</sup> )	430
Biokaasu (70 bar)	410
Paineistettu biometaani (250 bar)	2 500
Nesteytetty biometaani (~160 °C)	5 800

Tämän hankkeen hajautetun biokaasuntuotannon konseptissa maatalouden sivuvirtoja hyödynnetään syntypaikalla ja tuotettua biokaasua kuljetetaan keskitettyyn jakelupisteeseen. Hajautettuun konseptiin ja sen teknisiin ratkaisuihin vaikuttavat raaka-aineena käytettävien biomassojen sijainti, keskitetyn jakelupisteen potentiaalinen sijainti sekä sen etäisyys biokaasua tuottaviin laitoksiin. Etäisyydet sekä yksittäisten biokaasulaitosten tuotantokapasiteetit vaikuttavat kaasun siirtoon ja jalostukseen valittaviin teknologioihin ja edelleen konseptin kustannuksiin.

Tässä hankkeessa tarkasteltiin seuraavia vaihtoehtoisia toteutustapoja hajautetulle konseptille:

- Biokaasun putkikuljetus maatilojen laitoksilta keskitettyyn jakelupisteeseen, jossa tapahtuu biokaasun jalostus ja paineistus/nesteytys biometaaniksi.
- Biokaasun jalostus biometaaniksi ja paineistus maatilojen laitosten yhteydessä. Tuotetun biometaanin putki- tai autokuljetus keskitettyyn jakelupisteeseen.
- Biokaasun jalostus biometaaniksi ja nesteytys maatilojen laitosten yhteydessä. Nesteytetyn biometaanin autokuljetus keskitettyyn jakelupisteeseen.
- Biokaasun jalostus ja paineistus/nesteytys maatilojen laitoksilta kiertävällä mobiiliratkaisulla. Tuotetun biometaanin kuljetus keskitettyyn jakelupisteeseen.

Laitosverkoston kokonaisenergian tuotannon tavoitteeksi päätettiin alan toimijoiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella 25 GWh, joka vastaa 2,5 milj. m<sup>3</sup> metaania. Syötteinä tämän kaasumäärän tuottaminen edellyttää esimerkiksi noin 116 500 t naudun lietelantaa ja 11 650 t nurmimassaa, jos kyseisten massojen biometaanipotentiaalista toteutuu 90 %. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan Pohjois-Savon maatalouden sivuvirtojen määrää ja sijaintia sekä teknisiä reunaehtoja hajautetulle konseptille.

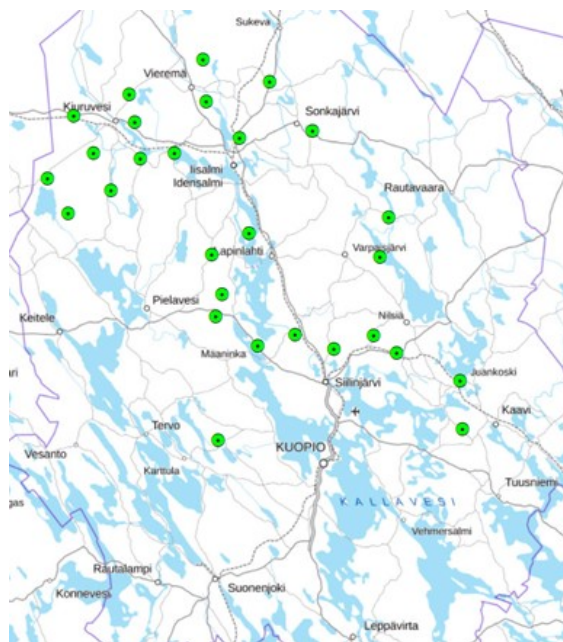


## 2.2. Konseptin mallinnus Pohjois-Savossa

Konseptin mallinnustyössä käytettiin Biomassa-atlasta, viljelijäkyselyä ja Valion tiloiltaan keräämästä lantakeskittymästä koottuja aineistoja. Aineiston tarkastelu päätettiin rajata biomassojen osalta nautojen lietelantoihin, jolloin laitostekniikat eivät rajoita mallinnusta. Tiedossa oli myös Pohjois-Savon biomassapotentiaalin painottuminen naudan lantaan (Pyykkönen ym. 2021).

Lantakeskittymät syötettiin karttaohjelmistoon kylän tarkkuudella ja oletettiin, että kyseisen sijainnin tilakohtainen tai useamman maatilan yhteinen laitos pystyy käsittelemään kaikki lantakeskittymän lietelannat. Laitosten yhteydestä oletettiin löytyvän säilörehua tai muuta ylijäämänurmea noin 10 % laitoksen käsittelemästä lantamäärästä (tuorepainona). Tämä nurmimäärä lisättiin osaksi laitosten syöteseosta nostamaan kuiva-aineen määrää mädätyksessä sekä tehostamaan kaasuntuottoa. Määrän oli kuitenkin maltillinen RED II direktiivin kestävyystarkastelun kannalta (Rasi ym. 2019). Keskittymien kartta-aineistosta hahmoteltiin potentiaaliset laitosverkostot laitosten minimikoon, verkoston energiantuotantopotentiaalin ja etäisyyksien perusteella. Tilakohtaisen laitoksen lannankäsittelykapasiteetin minimiksi päätettiin 8 000 t/v ja maksimiksi 20 000 t/v. Kuljetusetäisyyksissä pyrittiin kustannusten minimointiin.

Hankkeen keräämän kartta-aineiston perusteella nautojen lantakeskittymät painoutuivat Ylä-Savoon ja Kuopion pohjoispuolisille alueille (Kuva 1). Lantakeskittymiä kartoitettiin yhteensä 28, joista 20 täytti lantamäärälle asetetut kriteerit. Näitä kohteita tarkastellessa hahmottui kaksi alueellista ryhmää: Iisalmen seutu ja Siilinjärven seutu.



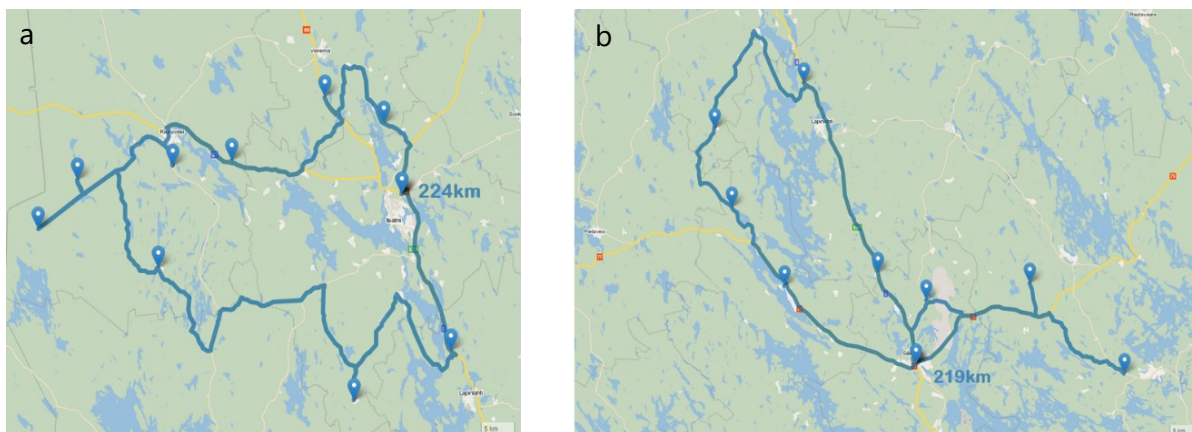
**Kuva 1.** Hankkeen kartoittamat lantaesiintymät Pohjois-Savon alueella.

Näiden kahden seudun biomassoja tarkastelemalla, Biomassa-atlaksesta nousivat esiin kunta-kohtaiset erot naudan lietelannan määrissä. Iisalmen alueella suurimmat naudan lietelantamäärät sijaitsivat Kiuruveden (n. 160 000 t/v) ja Vieremän (n. 80 000 t/v) kunnissa. Alueen pienimmät naudan lietelantamäärät sijaitsivat Iisalmissa (n. 45 000 t/v) ja Pielavedellä (n. 40 000 t/v).

Siilinjärven alueella suurimmat naudan lietelantamäärät sijaitsivat Kuopion (n. 130 000 t/v) ja Lapinlahden (n. 70 000 t/v) kuntien alueella. Osassa Siilinjärven läheisistä kunnista naudan lietelantaa oli huomattavasti pienempiä määriä, kuten Tuusniemellä (n. 10 000 t/v) ja Tervossa (n. 5 000 t/v). Iisalmen alueella 25 GWh:n tuottamiseen tarvittava lietelantamäärä (117 208 t/v)

saataisiin 25,7 km:n säteellä Iisalmesta ja Siilinjärven alueella 27,3 km säteellä Siilinjärveltä (117 260 t/v).

Keskitettyjen jakelupisteiden sijainneiksi päätettiin mallintaa Iisalmessa sijaitsevaa valtateiden 27 ja E63 risteysaluetta ja Siilinjärvellä sijaitsevaa valtateiden 77 ja E63 risteysaluetta. Näiden sijaintien perusteella valittiin lähimmät (mallinnetut) biokaasulaitokset, joiden lantamäärät olivat tarpeeksi suuria ja jotka yhdessä tuottivat 25 GWh vastaavan määrän biokaasua. Molempien laitosvaihtoehtojen läheisyydestä kartoitettiin yhdeksän maatalan biokaasulaitoksen verkostot, joista kaksi sopisi molempiin ryhmiin (Kuva 2).



**Kuva 2.** Keskitettyjen biometaanin jakelupisteet ja niiden piirissä olevat esimerkkilaitokset: a) Iisalmen verkosto, b) Siilinjärven verkosto (Fonectan karttapalvelu).

Iisalmen verkostossa etäisyydet maatalojen biokaasulaitosten ja keskitetyn jakelupisteen välillä vaihtelivat 12 km:n ja 57 km:n välillä. Tieverkostoa pitkin keskitetyltä jakelupisteeltä kaikkien maatalalaitosten kautta takaisin keskitetylle jakelupisteelle matkaa kertyi 224 km. Tämän biokaasulaitosten verkoston biometaanin tuotantopotentiaali oli 2 543 100 m<sup>3</sup>, joka vastaa n. 25,4 GWh:n energiantuotantoa. Laitoskohtaiset biometaanin tuotot vaihtelivat 1,8 ja 4,5 GWh:n välillä.

Siilinjärven seudun maatalojen biokaasulaitosten etäisyydet keskitettyyn jalostuslaitokseen vaihtelivat 14 km ja 39 km välillä. Tieverkostoa pitkin keskitetyltä jakelupisteeltä kaikkien maatalalaitosten kautta takaisin keskitetylle jakelupisteelle matkaa kertyi 219 km. Tämän verkoston biometaanin tuotantopotentiaali on 2 508 100 m<sup>3</sup>, joka vastaa noin 25 GWh:n energiantuotantoa. Laitoskohtaiset biometaanin tuotot vaihtelivat 2,3 ja 3,3 GWh:n välillä.

Näitä kahta alueellista verkostoa vertaamalla, keskeisimmiksi eroiksi nousivat maatalalaitosten kokoluokat ja etäisyydet keskitettyyn jakelupisteeseen. Iisalmen verkoston maatalalaitosten kokoluokat vaihtelivat huomattavasti enemmän kuin Siilinjärven verkoston. Siilinjärvellä kaikkien maatalalaitosten kokoluokka oli 10 000–15 000 t/v lietelantaa. Siilinjärven verkostossa tilojen laitokset olivat lähempänä keskitettyä jakelupistettä kuin Iisalmen verkostossa, mutta tieverkostoa pitkin reittien pituuksissa ei ollut suurta eroa Iisalmen (224 km) ja Siilinjärven (219 km) verkostojen välillä.

## 2.3. Hajautetun toimintakonseptin tekniikkaselvitys

Tekniikkaselvityksen tavoitteena oli selvittää biokaasun varastointiin, jalostukseen, paineistukseen ja nesteytykseen vaikuttavia teknisiä ratkaisuja, jotka vaikuttavat hajautetun biokaasun tuotannon konseptiin ja konseptin kustannuksiin.

### 2.3.1. Biokaasun varastointi

Biokaasua täytyy pystyä varastoimaan lyhyen aikaa tuotantolaitoksen yhteydessä ennen sen jatkokäsittelyä. Varastointia tarvitaan tuotantoprosessin ja biokaasun käytön tai jalostusprosessoinnin mahdollisten kapasiteettimuutosten vuoksi. Biokaasulaitoksen yhteydessä on yleensä reaktorialtaan päällä kaksikerroksinen kaasukupu, jonka alle kaasua voi varastoida rajallisia määriä riippuen märkämädätyslaitoksen reaktorialtaan tai kuiva-mädätyslaitoksissa perkolaattisäiliön koosta. Vastaaventyypisiä maanpäällisiä varastointipaljoja voidaan käyttää kaasun varastointiin myös reaktorirakenteiden ulkopuolella. Talvisiin olosuhteisiin sopivien kaasuvastojen rakenteen tulee olla kaksikerroksinen, jossa itse kaasupussin päällä on ylipaineistettu kuorikupu, joka kantaa tuuli- ja lumikuorman. Näissä varastopalloissa biokaasun varastointipaine on matala, tyypillisesti noin 10–50 mbar (Mohan 2018). Matalan kaasunpaineen vuoksi biokaasun varastointikapasiteetti on kaasupallon tilavuuteen nähden pieni.

Jalostamattoman biokaasun varastointikapasiteetti on rajallinen. Hajautetussa konseptissa mukana olevalla biokaasulaitoksella

- a) jalostamattomaa biokaasua tulee pystyä siirtämään putkikuljetuksella;
- b) siirrettävän jalostuslaitteiston käsittelykapasiteetin tulee vastata varastointikapasiteettia; tai
- c) laitoksella on oltava jalostus- ja paineistuslaitteisto, jotta varastoinnille saadaan lisää vaihtoehtoja.

### 2.3.2. Biokaasun kuljetus

Jalostamattoman biokaasun kuljetusvaihtoehtoja on rajoitetusti, sillä biokaasun paineistusta rajoittaa seoskaasussa olevan hiilidioksidin ominaisuudet. Raakakaasun maksimipaine voi olla korkeintaan 100 bar, jotta hiilidioksidin nesteytyminen ei tuota ongelmaa kaasun käsittelyssä. Lyhyillä kuljetusmatkoilla alle 100 baariin paineistettua biokaasua voidaan kuljettaa autokuljetuksena, mutta biokaasun energiamäärän jäädessä alhaisessa paineessa pieneksi on tällainen kuljetus taloudellisesti kannattamatonta.

Biokaasun putkisiirron yleistasoisia kustannuksia on vaikea arvioida, koska siirtolinjan reitin olosuhteet vaikuttavat merkittävästi putkilinjan perustamiskustannuksiin. Putkireitti asettaa myös maankäytöllisiä rajoituksia, jotka voivat vaikeuttaa putkiston rakentamista. Biokaasullekin soveltuvan kaasuputken materiaalikustannus on noin 30 €/m, ja asennushinta vaihtelee suuresti. Kirjallisuuden mukaan asennustyön hintataso on noin 60 €/m (Haimila 2015). Biokaasun siirto putkilinjalla on todettu kannattavaksi alle 20 km siirtomatkoilla, jos siirrettävän biokaasumäärän energiasisältö on vähintään 11 GWh/v (Hurtig ym. 2014).

Koska etäisyydet hajautettujen maatalalaitosten ja keskitetyn jalostuspisteen välillä Pohjois-Savon alueella olivat pääosin yli 20 km ja kuljetettavan biokaasun määrät energiasisällöltään alle 5 GWh/v, päätettiin tässä hankkeessa, ettei putkikuljetuksen kustannuksia tarkastella tämän tarkemmin. Huomioitavaa kuitenkin on, että pienemmillä etäisyyksillä ja/tai suuremmilla biokaasumäärillä putkikuljetus on varteenotettava vaihtoehto.

### 2.3.3. Biokaasun jalostus biometaaniksi

Biokaasu koostuu pääasiassa metaanin (50–70 %) ja hiilidioksidin (30–50 %) seoksesta, jossa voi mukana olla pieniä määriä vesihöyryä, rikkivetyä ja muita orgaanisia yhdisteitä. Biokaasusta voidaan jalostaa liikennepolttoaineeksi soveltuvaa biometaanin poistamalla hiilidioksidi ja muut epäpuhtaudet. Yleisesti liikennepolttoaineeksi myytävän biometaanin metaanipitoisuus on yli 95 %. Turvallisuusmäärittelyissä biometaanin minimimetaanipitoisuuden raja-arvo on 80 % (Tukes, Biokaasun turvallisuusohje).

Suomessa yleisimmin käytössä olevat tekniikat biokaasun jalostukseen maatilamittakaavassa ovat vesipesuun ja membraanipuhdistukseen perustuvia. Lisäksi suuremman kokoluokan biokaasulaitoksilla on yleisesti käytössä PSA (pressure swing adsorption) -tekniikkaan sekä kemialliseen absorbointitekniikkaan perustuvia laitoksia. Vesipesutekniikan etuja ovat tehokas hiilidioksidin poisto ja matala poistokaasun metaanipitoisuus. Haittapuolina ovat korkea investointikustannus, korkeat käyttökustannukset ja huono skaalautuvuus vaihteleville kaasunkäsittelytarpeille. Membraanipuhdistuksen etuja ovat matala investointikustannus, hyvä skaalautuvuus, soveltuvuus pienille biokaasumäärille ja yksinkertainen prosessin hallinta. Haittapuolena on, että prosessi vaatii puhdistettavan biokaasun tehokkaan kuivauksen ja rikinpoiston, jotta puhdistuselementit säilyvät toimintakunnossa. Lisäksi kaasua tulee kierrättää prosessissa useaan kertaan, jotta päästään tarvittavan korkeisiin metaanipitoisuuksiin ja alhaiseen poistokaasun metaanihävikkiin. Membraaniryököiden elinkaaresta ei ole saatavilla paljon tietoa, ja kalvojen kestävyys on voimakkaasti riippuvainen jalostettavan biokaasun laadusta (Ryckeboch ym. 2011).

Konseptitarkastelun yhtenä vaihtoehtona oli, että biokaasua jalostetaan mobiililla jalostusyksiköllä, joka kiertäisi konseptissa olevien biokaasulaitosten välillä. Vaikka mobiileja jalostusyksiköitä on suunniteltu eri hankkeissa jo pitkään, liittyy niihin kuitenkin vielä teknisiä kysymyksiä, jotka vaikuttavat myös kustannuksiin. Tässä hankkeessa päädyttiin siihen, ettei mobiilia ratkaisua käytetä konseptin talouslaskennassa, vaan jokaisella biokaasulaitoksella on oma jalostus- ja paineistuslaitteisto.

Biokaasun jalostustekniikan valintaan vaikuttavat paikalliset olosuhteet, käsiteltävän biokaasun määrä ja laatu sekä prosessissa tarvittavan energian hinta (Ardolino ym. 2020). Tässä hankkeessa ei oteta kantaa puhdistustekniikan valintaan, mutta talouslaskennassa käytettiin vesipesun hintoja (Liite 1 ja 2).

### 2.3.4. Biometaanin kuljetus

Jalostettua biometaanin voidaan kuljettaa tuotanto- ja jalostuspaikalta jakelupisteeseen paineistettuna putki- tai autokuljetuksena tai nesteytettynä autokuljetuksena. Nesteytetyn biometaanin kuljetus edellyttää kaasun nesteytystä tuotanto- ja jalostuspaikalla.

Biometaanin paineistuksella pystytään lisäämään kaasun tiheyttä ja näin kuljettamaan suurempi määrä energiaa pienemmässä tilassa. Autokuljetuksessa biometaanin voidaan kuljettaa painepullokonteissa, joita on saatavilla joko koukkulavalastukseen tai nosturilastukseen sopivina. Koukkulavalastuksen etuna on erillisen kuormausnosturin tarpeettomuus. Kontteja kulkee ajoneuvoyhdistelmässä maksimissaan kolme kappaletta. Painepullokonteissa biometaanin voidaan paineistaa 250–300 baarin paineeseen riippuen painepullojen paineenkestosta. Biometaanin kuljetukseen käytettävien pullojen ja konttien osalta on noudatettava ADR-sopimusta (European Agreement concerning the international carriage of Dangerous goods by

Road). Pullot ja kontit tarkastetaan ADR-sopimuksessa esitetyin määräajoin. Jos pullokontit sisältävät vesitilavuudeltaan yli 450 litran säiliöitä, tulee ne rekisteröidä Tukesin rekisteriin.

Esimerkiksi 500 m<sup>3</sup> normaalipaineista biometaania vie 250 baarin paineeseen paineistettuna 20 °C:n lämpötilassa noin 2,2 m<sup>3</sup>.

Tässä hankkeessa jalostetun biometaanin kuljetuksen tarkasteluun valittiin paineistetun biometaanin konttikuljetus koukkulavakomposiittikontissa pitkien siirtomatkojen vuoksi. Lyhyemmällä matkoilla hyötykuormaltaan pienemmät kontit/kaasupullopatteristot voivat olla kannattavampia (Liite 1).

### 2.3.5. Jalostetun biometaanin nesteytys

Biometaanin nesteytys perustuu kryogeenitekniikkaan, jossa biometaanin lämpötila lasketaan normaalissa ilmanpaineessa alle -164 °C:n. Silloin sen olomuoto muuttuu kaasusta nesteeksi. Nesteytetynä biometaani tiivistyy noin 600-kertaisesti, jolloin sen kuljettaminen esimerkiksi ajoneuvon polttoainesäiliössä on tehokasta. 250 baarin paineeseen paineistetun kaasumaisen biometaanin tiheys on 180 kg/m<sup>3</sup> ja nesteytetyn 423 kg/m<sup>3</sup>. Nesteytysprosessia varten biometaanin laatuvaatimukset ovat korkeat, hiilidioksidipitoisuuden tulee olla alle 50 ppm, veden alle 1 ppm ja rikkivedyn alle 4 ppm.

Biometaani voidaan nesteyttää käyttämällä nesteytymisen haihtumiseen tai kompressoritekniikkaan perustuvaa prosessia. Braytonin, Rankisen ja Clauden kiertokompressoritekniikoissa kylmäaineena toimii itse biometaani. Käänteisessä Stirling-prosessissa kylmäaineena toimii helium (Capra ym. 2019).

Biometaanin nesteytyslaitteistojen korkeiden puhtausvaatimusten ja suurten kustannusten vuoksi hajautetussa biokaasuntuotantokonseptissa nesteytyksen oletettiin tapahtuvan keskitetyssä jakelupisteessä. Tutkimus- ja kehitystyötä pienen mittakaavan nesteytyksestä tehdään kirjoitushetkellä, mutta luotettavien teknisten ja taloudellisten lähtöarvojen puuttuessa laitoskohtaista nesteytystä ei tässä hankkeessa voitu huomioida.

## 2.4. Biokaasuliiketoimintaan liittyvien hintojen määrittely

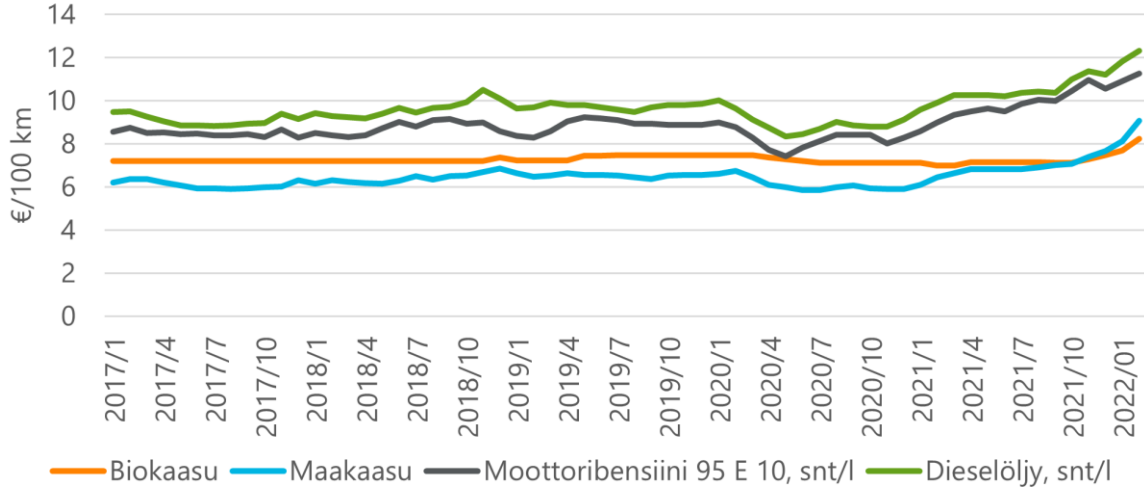
Biokaasuntuotantoon liittyvä liiketoiminta elää murrosvaihetta, johon sisältyy uusia mahdollisuuksia, mutta myös riskejä. Laskelmiin perustuva kannattavuuden määrittely on riippuvainen laskelmissa käytettävistä hintaoletuksista. Niihin sisältyykin aina riskejä tulevien hintojen toteutumisesta, mutta toki historiatietojen avulla voidaan arvioida hintavaihteluita ja markkinatilanteen tulevaisuutta.

### 2.4.1. Toteutunut biokaasun hintakehitys liikennepolttoaineena

Pitkällä aikavälillä biometaani on ollut kilometrikustannusten perusteella edullinen ja hinnaltaan vakaa liikennepolttoaine. Laskelmissa käytettävät polttonesteiden hinnat perustuvat Tielastokeskuksen keräämiin hintoihin sekä maa- ja biometaanin Gasum Oy:n ilmoittamiin keskihintoihin. Kilometrikustannus on laskettu liikenne- ja viestintäviranomaisen (Traficom) tuottaman lakisääteisen hintavertailun mukaan keskikokoisten autojen viitekulutuksen ja käyttövoimaverojen jyvityksellä 17 000 kilometrin ajomäärälle.



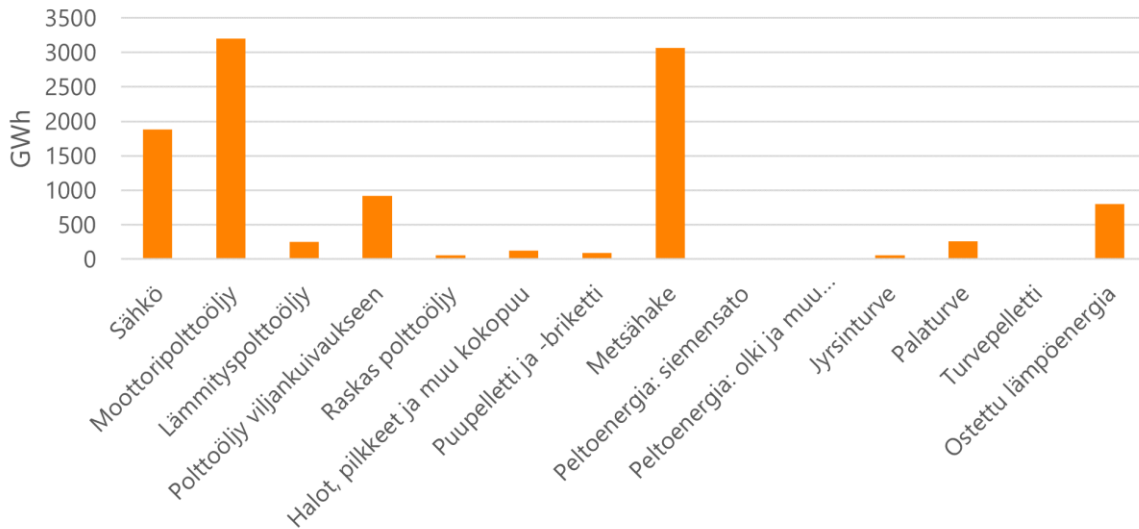
Maakaasun hinta on ollut pitkään biokaasua edullisempaa, mutta vuoden 2021 loppupuolella muuttunut markkinatilanne on nostanut biokaasun kilometrihinnaltaan edullisimmaksi polttoaineeksi (Kuva 3). Hinnan kehitys tätä raporttia kirjoittaessa (kevät 2022) on edelleen muuttunut merkittävästi.



**Kuva 3.** Polttoaineiden vertailukelpoinen kilometrikustannus euroa/100 km, sis. keskimääräisen käyttövoimaveron 17 000 km/vuosi ajomäärällä (Traficom 2022, oma laskelma)

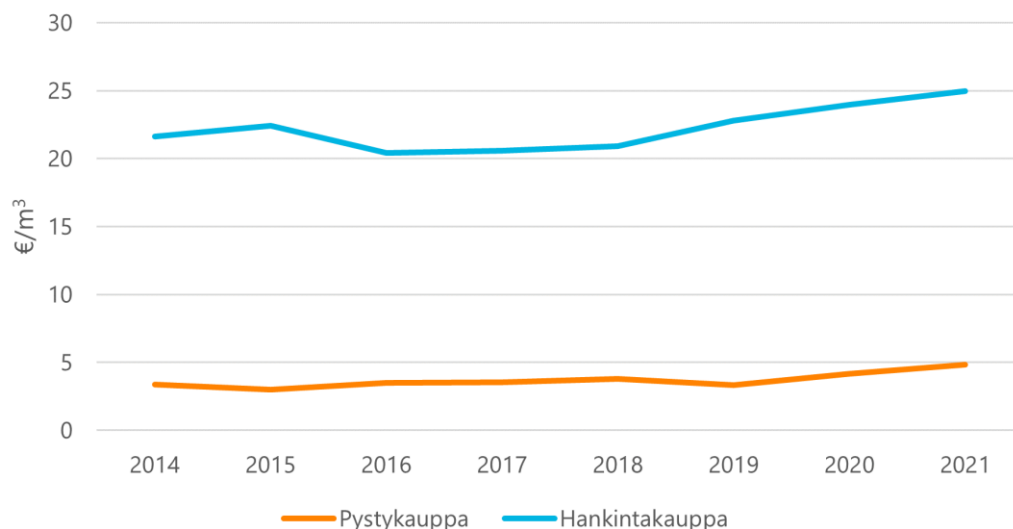
### 2.4.2. Maatilojen energiankäyttö ja energian hinnat

Suomen maatilojen energiankäyttö vuonna 2020 oli yhteensä 10 700 GWh (Luke 2022a). Tästä sähkön osuus oli 18 % ja moottori- ja viljankuivauspolttoöljyjen osuus 38 %. Lämmöntuotannon osuus kokonaisenergiankulutuksesta oli 44 %. Noin 60 % lämmöstä tuotettiin uusiutuvalla puu- ja peltoenergialla (Kuva 4).



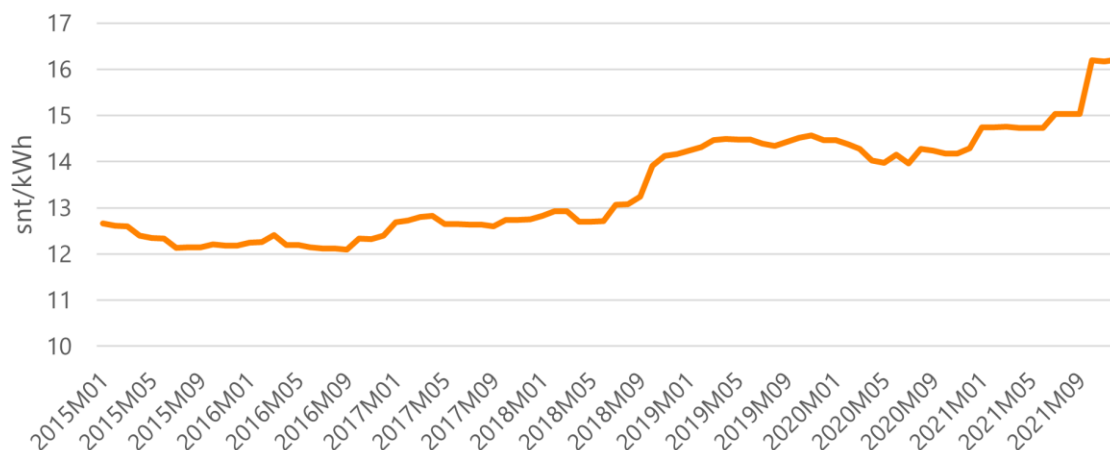
**Kuva 4.** Energiankäyttö maataloudessa (Luke 2022a).

Luonnonvarakeskuksen tilastojen mukaan (2022b) yleisimmän lämpöenergian lähteen, energianpuun, tilastoidusta kaupasta oli vuoden 2021 viimeisellä neljänneksellä karsittua rankaa 51 %. Keskimäärin energiapuusta vuosina 2014–2021 on maksettu pystykaupassa 3,7 euroa per kuutio ja hankintakaupassa 22,2 euroa per kuutio. Kiintokuutiometri rankapuuta vastaa keskimäärin 2 MWh energiaa (2,5 kuutiota haketta). Käyttöpaikalle toimitettuna metsähake maksaa noin 23–25 €/MWh, kun kantohintaan on lisätty hankinta, kuljetus ja haketus tai hankintahintaan kuljetus ja haketus. Käyttöpaikkahinta on viime vuosina ollut noin 2,2–2,5 senttiä per kWh. Polttoainekustannusten nousu kuljetuksessa ja haketuksessa sekä energiapuun kysynnän kasvu tavoiteltaessa tuontienergian vähentämistä voi nostaa hintaa tästä (Kuva 5).



**Kuva 5.** Energiapuun hinta keskimäärin pystykaupassa ja hankintakaupassa (Luke 2022b).

Sähkön hinta on ollut viime vuosina nousujohteinen. Eurooppalaisittain sähkön hintataso on Suomessa ollut edullinen, mutta kevään 2021 jälkeen tilanne on muuttunut. Hinnat ovat kallistuneet huomattavan paljon koko Euroopassa, myös Suomessa. Tyypillisesti pörssihintojen suurempien heilahdusten taustalla on useita samanaikaisesti vaikuttavia tekijöitä. Euroopassa sähköä valmistetaan paljon maakaasusta, jonka hintavaihtelu välittyy eurooppalaiseen sähkön hintaan (Tilastokeskus, 2022a). Pohjoismaiden sähköverkko on integroitunut Eurooppaan, mutta keskeinen tekijä hintojen määrätymisessä on hydrologinen tase eli veden määrä vesivoimalaisten vesialtaissa. Suomessa Olkiluodon kolmannen ydinreaktorin käynnistyminen vuoden 2022 aikana tulee parantamaan Suomen sähköomavaraisuutta ja siten myös vakauttamaan sähkön hintaa. Silti sähköpörssissä tullaan jatkossakin näkemään heilahduksia. Sähkön kokonaishinta ilman arvonlisäveroa 12/2021 oli noin 12 snt/kWh (Kuva 6) (Tilastokeskus, 2022a).



**Kuva 6.** Sähkön hinta snt/kWh keskimäärin käyttäjäryhmässä maatilatalous, pääsulake 3x35 A, sähkön käyttö 35 000 kWh/v. Hinta sisältää sähköenergian, siirtomaksun ja verot (Tilastokeskus, 2022b).

### 2.4.3. Lannoitearvo ja lantalogistiikan hyödyt

Biokaasuntuotanto voi parhaimmillaan parantaa lannan ravinteiden hyödynnettävyyttä. Lanta on erinomainen lannoite, mutta lannan typen hidas mineralisoituminen kasveille käyttökelpoiseksi voi vähentää lannan käytön hyötyä viljelyssä. Lannan tyyppiä on mahdollista hyödyntää huomattavasti nykyistä paremmin, sillä aikaisempien laskelmien perusteella hyödyntäminen on esimerkiksi maitotiloilla vaihdellut 15–32 % välillä (Nousiainen 2011, Kajava ym. 2019).

Kasvit, kuten viljat ja nurmet, ottavat suurimman osan ravinteistaan kasvukauden alussa. Tyyppillisesti lannan käyttö osana lannoitusta suunnitellaan niin, että osa ravinteista annetaan nopealiukoisina mineraalilannoitteina, jotka tyydyttävät kevään ravinnetarvetta. Lannan ravinteet vapautuvat hitaammin kasvukauden aikana. Biokaasuprosessin ravinnehyöty prosessoimattomaan lantaan verrattuna perustuu pääasiassa lannan sisältämän typen suurempaan liukoisen typen osuuteen mädätyksen jälkeen. Näin lannalla voidaan korvata suurempi osuus mineraalilannoitteista.

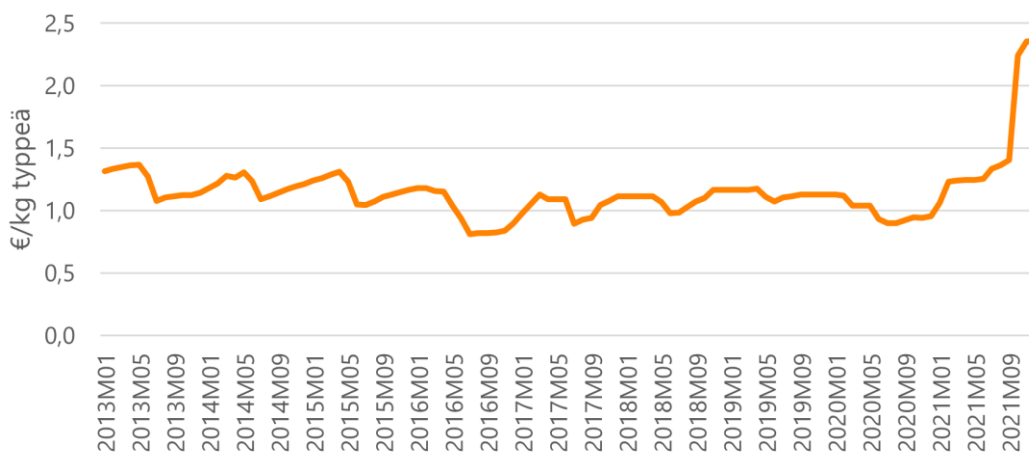
Raaka-aineiden orgaanista tyyppiä hajoaa liukoiseen muotoon mädätyksessä. Siten reaktorista poistuvan mädätteen liukoisen typen määrä on suurempi kuin raakalannassa, mutta kokonaisympäristön määrä pysyy jotakuinkin ennallaan. Mineralisaation määrä riippuu käytettyjen raaka-aineiden laadusta ja prosessiparametreista (esimerkiksi viipymä ja orgaaninen kuormitus sekä orgaanisen aineen hajoavuus), joten yksiselitteistä arvoa sille ei voida antaa.

Naudan lietalannan tyyppi ei liukoistu kovin voimakkaasti, sillä materiaali on käynyt läpi yhden tyyppiä hajottavan prosessin jo märehittävän pötsissä. Naudan lietalannan liukoisen typen määrä nousee noin 20 %. Sian lietalannan tyyppi voikin mineralisoitua naudan lantaa voimakkaammin. Vastaavasti helposti hajoavan kasvibiomassan typen mineralisaatio voi olla jopa 50–80 % (Paa-vola 2015). Kun syötteenä on naudan lietalantaa ja kasvibiomassoja, liukoisen typen osuus nousee huomattavasti. Saavutettua hyötyä voidaan kuitenkin menettää, mikäli mädätteen varastointitavat, levitysteknologia ja levitysolosuhteet eivät ole parhaat mahdolliset. Tämän raportin kannattavuuslaskelmissa laskettiin typen liukoistuminen olettaen, että biokaasuprosessissa orgaanisen typen ja orgaanisen aineen pitoisuuden vähenemän suhdeluku on 0,6 (Liite 2). Suhdelukuarvio perustuu naudan lietalannan (Frost & Gilkinson 2011, suhdeluku 0,73), sian lietalannan (Marcato ym. 2008, suhdeluku 0,63) ja käsittelemättömän ruokajätteen (Tampio ym.

2014, suhdeluvut eri kuormituksilla 0,60–1,2) mädätyskokeiden dataan. Liukoisen typen hinnaksi arvioitiin 2,35 €/kg (alv 0 %).

Typen liukoistumisen lisäksi biokaasuprosessoinnin hyötynä voi olla mädätteen liukoisen typen parempi satovaste verrattuna raakalantaan. Kolmivuotisissa ohrakokeissa lypsykarjatilän biokaasulaitoksen mädätteen liukoinen tyyppi vastasi lähes täysin (keskimäärin 98 %) mineraalityppeä. Vastaava luku naudnan prosessoimattomalla lietelannalla oli 85 %. Nurmikokeissa eroa mädätteen ja raakalannan välillä ei havaittu (Virkajärvi ym. 2016).

Kotieläintilan lannan ravinteiden hyödyntämisessä keskeinen haaste on peltolevityksen oikea-aikaisuus ja tehokkuus. Prosessoimattomassa naudnan lietelannassa on alhainen ravinnepitoisuus, mikä nostaa logistiikkakuluja ja estää levitystä keväällä, kun peltojen kantavuus on talven kosteuden jäljiltä heikentynyt. Mädätys voi parantaa lietelannan käsiteltävyyttä ja juoksevuutta, mikä helpottaa levitystä. Parempi juoksevuus voi mahdollistaa myös tehokkaamman levitysteknologian, kuten vetoletkulevityksen käytön. Mineraalityypen keskimääräinen hinta yleisimmissä tyyppilannoitteissa on ollut vuosina 2013–2021 keskimäärin 1,15 euroa/kg ja hintavaihtelua kuvaava keskihajonta 0,17 euroa/kg tyyppiä. Vuoden 2021 lopussa kiihtynyt hintojen nousu on johtanut typen arvon nousuun jopa 2,35 euroa/kg tasolle (Kuva 7). Lannan liukoisen typen osuuden kasvattaminen, lantalogistiikan parantuminen ja typen haihtumisen minimoiva levitysteknologia kasvattavat lannan taloudellista arvoa ja vähentävät osaltaan hintavaihteluista aiheutuvia taloudellisia riskejä.



**Kuva 7.** Typen hinta mineraalilannoitteissa (Tilastokeskus 2022c, oma laskelma).

## 2.5. Hajautettu biokaasuntuotanto, teoreettisen konseptin kustannukset Pohjois-Savossa

Tekniikka- ja taloustarkastelujen perusteella hajautetun biokaasuntuotannon konseptiksi valittiin vaihtoehto, jossa jokaisella maatalojen biokaasulaitoksella on oma jalostus- ja paineistuslaitteisto (Kuva 8). Jokaiselta maataloilaitokselta jalostettu ja paineistettu kaasu kerätään autokuljetuksena keskitettyyn jakelupisteeseen, jossa kaasu voidaan myös nesteyttää.



**Kuva 8.** Hankkeessa tarkasteltu hajautetun biokaasuntuotannon konsepti.

### 2.5.1. Biokaasun ja biometaanin tuotantokustannukset

Molemmissa konseptivaihtoehdoissa (Iisalmen ja Siilinjärvi) oli yhdeksän maatilakohtaista biokaasulaitosta. Oletuksena oli, että kaikissa laitoksissa perussyötteenä on naudan lietelantaa sekä lisäsyötteenä noin 10 % nurmirehua (tuorepaino). Osa lisäsyöttestä voisi olla myös erilaisia kuivia lantoja, mutta tässä esimerkissä niitä ei otettu mukaan laskennan yksinkertaistamiseksi. Laitosten koko vaihteli 1,8 GWh/v tuotannosta 4,5 GWh/v tuotantoon, ja vuosittain mädätetyn lietelannan määrä vaihteli 8000 tonnista 20 000 tonniin. Laitokset ovat Pohjois-Savon keskimääräisiä maatiloja suurempia, joten kaikilla laitoksilla oletettiin, että 1/3 lietelannasta ja rehusta kuljetetaan toisilta tiloilta. Kuljetusmatka olisi keskimäärin 10 km. Myös mädätteestä kolmannes palautetaan syötettä toimittaville tiloille.

Esimerkkibiokaasulaitokset koostuvat lietelannan syötesäiliöstä, biokaasureaktorista, prosessilaitteistosta ja teknisistä tiloista. Syötesäiliön tilavuus vastaa 20 vuorokauden lietelannan määrää, ja se on varustettu sekoittimella ja syöttöpumpulla. Kiinteille syötteille (säilörehu, lanta) tarvitaan 50 m<sup>3</sup> katettu välivarasto. Kiinteä syöte murskataan 10 m<sup>3</sup> vetoisella sähkökäyttöisellä apevaunulla, josta on syöttöyhteet reaktoriin. Reaktori on jatkuvasyöttöinen, täyssekoitteinen säiliöreaktori (CSTR), jossa syötteen viipymä on 35 vuorokautta. Määdete pumpataan reaktorista maatalan lietesäiliöön, joka ei kuulu biokaasulaitosinvestointiin. Kaikkiin laitoksiin kuuluu kaasupolttimella varustettu lämpökattila ja boileri sekä soihtu. Muita laitteita ovat vesiabsorptioon perustuva kaasunjalostus- ja paineistuslaitteisto sekä mädätteen välivarasto (puskurivarasto), jonka tilavuus vastaa 20 vuorokauden lietelannan määrää.

Näillä oletuksilla pienimmän laituskoon (8 000 t lietelantaa) biometaanin myynnin kannattavuusrajaksi muodostui 73,6 €/MWh ja suurimman (20 000 t lietelantaa) 54,6 €/MWh. Jos kaikille konseptissa mukana oleville laitoksille oletetaan sama biometaanin myyntihinta (72 €/MWh = 1 €/kg), jäisi pienimmän laitoksen tulos miinukselle (Taulukko 2). Tuloissa on huomioitu liukoisen typen määrän lisääntyminen prosessissa, joka keskimäärin näillä esimerkkilaitoksilla on 26 % verrattuna syötemateriaalien sisältämään liukoisen typen määrään. Konseptin toteutettavuuden kannalta olisi tärkeää, että eri kokoisilla biokaasulaitoksilla olisi mahdollisuus liittyä konseptiin mukaan.



**Taulukko 2.** Konseptin keskimääräiset laitokset ja niiden tuotot ja tulos.

Laitos	Lietelanta t/v	Nurmi-säilörehu t/v	Energian tuotto GWh/v	Tulos €/v	Takaisin-maksuaika v	Investointi milj.€
Minimi	8 000	960	1,8	-2 900	10,5	0,94
Keskiarvo	12 500	1500	2,8	+27 000	6,0	1,07
Maksimi	20 000	2 400	4,5	+77 000	3,9	1,29

### 2.5.2. Biometaanin kuljetuksen, varastoinnin ja jakelun kustannukset

Kustannuslaskennan molemmissa konseptivaihtoehdoissa (Siilinjärvi ja Iisalmi) laitokset jaettiin kahteen ajolenkkiin, joiden keskimääräinen pituus oli 110 km. Oletuksena oli, että jokaiselle konseptissa mukana olevalle laitokselle tarvitaan kaksi biometaanille varattua kuljetuskonttia, joista toinen toimii varastona. Vähintään yksi kontti tarvitaan aina biometaanin jakeluasemalla. Kuljetus tapahtuu komposiittikonteissa, joita kuljetetaan täysperävaunuyhdistelmällä kolme kerrallaan (hyötykuorma 9 540 kg). Jakeluaseman kustannus laskettiin paineistetun biometaanin nopeatankkausasemasta. Investointien lisäksi kustannuksiin huomioitiin kiinteät kustannukset (20 v, 5 %) sekä sähkö- ja huoltokustannukset. Paineistetun biometaanin jakelun kokonaiskustannukset näillä oletuksilla ovat 50,07 snt/kg (Taulukko 3).

**Taulukko 3.** Paineistetun biometaanin kuljetuksen sekä jakeluaseman kustannukset.

Kustannus	Yksikkö	Hinta
Yhden kontin kuorma	kg	3 150
Kontin hinta	€	158 000
Keskimääräinen kuljetusmatka	km	110
Kuormia vuodessa, keskimäärin	-	20,5
Kontin kiinteä kustannus (25 v, 5 %)	€	11 210
Rahtikustannus	snt/kg	34,72
Kuljetus yhteensä	snt/kg	37,32
Tankkauksen maksimikapasiteetti	kg/v	333 333
Investointi	€	400 000
Kiinteät kustannukset (20 v, 5 %)	€/v	32 096
Sähkö	snt/kg	1,62
Huolto	snt/kg	1,5
Jakeluasema yhteensä	snt/kg	12,75
Jakelu yhteensä	snt/kg	50,07

Lisäksi kustannuksissa tulisi huomioida arvonlisävero sekä valmistevero, joka koostuu energiasisältöverosta (10,33 €/MWh) sekä hiilidioksidiverosta. Kestävyyksivaatimukset täyttävälle biometaanille hiilidioksidivero on 0 €. Näiden lisäksi biometaanin kuuluu jakeluelvoitteen piiriin, jos tuotanto on yli yhdeksän GWh vuodessa. Lisäksi soveltamisrajan alle jäävät jakelijat voivat vapaaehtoisesti hakeutua jakeluelvoitteen piiriin. Jakeluelvoitteen tuoman mahdollisen lisätulon arvioiminen on kuitenkin haastavaa, sillä ulkopuolisilla toimijoilla tai viranomaisilla ei ole oikeutta saada tietoonsa ylitäytön siirron kaupallisia ehtoja, kuten hintoja.

Kirjallisuuden mukaan biometaanin nesteytyskustannus noin 25 GWh vuosikapasiteetilla vaihtelee käytetyn teknologian, tarvittavan energian ja nesteytystyyppien hintojen mukaan noin 31–61 snt/kg. Nesteytetyn biometaanin jakeluaseman kustannuksista emme tässä hankkeessa saaneet tarkkaa arviota.

## 2.6. Biometaanin käyttäjäpotentiaali Pohjois-Savossa

Konseptin käyttäjäselvitys toteutettiin vertaamalla kirjallisuuslähteiden pohjalta alueen potentiaalisia biometaanin käyttäjämääriä mallinnetun biokaasuverkoston energiantuotantoon. Kootun numeerisen aineiston tueksi selvitettiin alueen toimijoiden motivaatiota ja näkemyksiä kaasun käytöstä. Henkilöauton vuosittaiseksi keskimääräiseksi kilometrimääräksi oletettiin 14 000 km, kuorma-autoille 68 000 km ja raskaille ajoneuvoyhdistelmille (rekoille) 77 000 km (Tilastokeskus 2019). Kilometrikulutukseksi biometaanilla oletettiin henkilöautoilla 2 MJ/km paineistetulla biometaanilla ja kuorma-autoilla ja rekoilla 15,5 MJ/km nesteytetyllä biometaanilla (Börjesson 2017). Kaasukäyttöisen henkilöauton toimintasäteeksi yhdellä tankillisella oletettiin 400 km ja kuorma-autolle ja rekoille 1000 km.

Mallinnetun biokaasuverkoston vuosittainen energiantuotto 25 GWh (90 000 000 MJ) vastaisi 3 200 henkilöauton tai 75 rekan (30 t puoliperävaunuyhdistelmän) vuosikulusta. Sama energiamäärä vastaa 112 500 tankillista henkilöautoille tai 5 800 tankillista rekoille.

Pohjois-Savossa henkilöautoja oli vuoden 2020 päättyessä 173 077 ja kuorma-autoja (ml. raskaat ajoneuvoyhdistelmät) 8 018 (Tilastokeskus 2021) (Taulukko 4). Kohdealueen kunnissa (Iisalmessa, Siilinjärvellä, Kiuruvedellä, Lapinlahdella, Sonkajärvellä, Kuopiossa ja Vieremällä) näistä henkilöautoista oli 112 493 (Liiteri-tietopalvelu, hakupäivä 10.12.2021). Jos oletetaan, että kuorma-autoja on kohdealueella samassa suhteessa kuin henkilöautoja (65 % maakunnan autokannasta) olisi alueella 5 211 kuorma-autoa. Koko Pohjois-Savon alueen henkilöautojen vuosittainen energiantarve on 1 731 GWh ja kohdealueen 1 125 GWh. Edellä mainitulla tavalla johdetulle kuorma-autojen määrälle vastaava tarve on kohdealueella 1 638 GWh. Verrattaessa kohdealueen autokannan energian käyttöä mallinnetun biokaasulaitosverkoston energiantuotantoon huomataan, että energian tarve on huomattavasti verkoston tuottamaa suurempi. 25 GWh:n tuotanto riittää kattamaan vain noin 3 % henkilöautojen tai noin 2 % kuorma-autojen energian käytöstä.

**Taulukko 4.** Pohjois-Savon ja kohdealueen henkilö- ja kuorma-autojen määrät ja vuosittainen energian käyttö.

Maakunta	Henkilöautojen määrä	Energian käyttö GWh/v	Kuorma-autojen määrä	Energian käyttö GWh/v
Pohjois-Savo	173 077	1 346	8 018	2 347
Kohdealue	112 493	875	5 211	1 526

Mallinnettujen keskitettyjen nesteytetyn biometaanin jakelupisteiden kautta kulkevien rahtikuljetusten määrä on riippuvaista siitä, sijaitseeko laitos lialmessa vai Siilinjärvellä. lialmen kautta kulkevien valtateiden E63 ja 27 vuosittainen tavaraliikennevolyymi on 800 000 t (Rantala ym. 2020), joka vastaa noin 27 000 puoliperävaunuyhdistelmää (30 t). Siilinjärven kautta kulkevien valtateiden E63 ja 77 vuosittainen tavaraliikennevolyymi on selvästi suurempi, 2 000 000 t (Rantala ym. 2020), joka vastaa noin 67 000 puoliperävaunuyhdistelmää. Näiden volyyymien perusteella mallinnettujen jakelupisteiden ohi kulkevasta tavaraliikenteestä 21 % tulisi pysähtyä tankkaamaan lialmessa tai 9 % Siilinjärvellä, jotta vuosittainen energiantuotanto tulisi käytetyksi.

Kohdealueella on myös huomionarvoisia logistiikkatoimijoita, joiden rahtiliikenne voisi toimia ajurina tuotetun nesteytetyn biometaanin käytölle. Valion tehdas Lapinlahdella on keskeinen logistinen toimija alueella. Valion maitoautot kulkevat alueella ympäri vuorokauden, ja Valio on arvioinut yhden maitoauton keskimääräiseksi vuosittaiseksi kilometrimääräksi 290 000 km (Valio 2022). Lapinlahden tehtaalla ajossa on noin 12 maitoautoa (Rantala ym. 2020), jolloin näiden maitoautojen vuosittainen energiantarve edellä mainitulla kilometrimäärillä olisi 15 GWh. Lisäksi Valion tehtaasta tuotteet kulkevat kuorma-autoilla logistiikkakeskuksiin eripuolille Suomea, jolloin näidenkin kuljetusten energiantarve voitaisiin kattaa alueen biometaanilla.

Kohdealueella sijaitsee myös mm. Yaran lannoitetehtas Siilinjärvellä sekä Ponssen metsäkone-tehtas Vieremällä. Molempien tehtaiden Suomen asiakaslogistiikka hoidetaan pääasiassa kuorma-autoilla (Rantala ym. 2020). Myös nämä toimijat voisivat kattaa huomattavan osan tuotetusta nesteytetystä biometaanista. Vastaavasti Wega Oy:n kysyntäkartoituksessa Biokaasulla liikkeelle -hankkeessa (Wega 2021) arvioitiin lialmen alueen paikallisen raskaan liikenteen kaa-sukysynnäksi 23–28 GWh, kansallisen raskaan liikenteen kysynnäksi 4–9 GWh, kaupunkiliikenteen, jakelun ja jätehuollon kysynnäksi 3–7 GWh sekä yksityisen henkilöautoliikenteen 1–2 GWh yksityisessä henkilöautoilussa. Myös tällöin kysynnästä suurin osa on nesteytetylle raskaan liikenteen polttoaineelle.

### 3. Esimerkkitalat ja -biokaasulaitokset Pohjois-Savossa

Hankkeen pääasiallisena tavoitteena oli selvittää, onko maatilakokoluokan biokaasulaitokselle kannattavaa lähteä tuottamaan biokaasua ja edelleen biometaania keskitetyn jakelun konseptiin, vai onko tilalle kannattavampaa käyttää tuotettu biokaasu tilan omaan energiantuotantoon tai myydä biometaani paineistettuna liikennekäyttöön oman jakeluaseman kautta.

Tässä kappaleessa kuvataan tarkemmin maatilamittaluokan biokaasulaitoksen kulujen muodostumista käyttäen taustatietona pohjoissavolaisten maatilojen lähtötietoja. Samalla huomioidaan laitoksen mahdollinen osallistuminen keskitetyn jakelun konseptiin tai tuotetun biokaasun muu käyttö. Hankkeeseen ilmoittautui mukaan 14 nautakarjatilaa eri puolilta Pohjois-Savo. Maatiloista yhdeksän oli maitotilaa ja viisi lihakarjatilaa. Maitotilojen kokoluokka vaihteli 120 lypsylehmästä 270 lypsylehmään ja lihakarjatilojen 500 naudasta tuhanteen nautaan asti. Vastaavasti käytettävissä oleva lietelantamäärä vaihteli 4 000 kuutiosta 11 000 kuution per tila. Useimmilla tiloilla oli lisäksi käytettävissä biokaasulaitoksen syötteenä jonkin verran kuivalantaa ja säilörehunurmea tai muita nurmia.

#### 3.1. Esimerkkilaitosten perustiedot

Tilaesimerkit muodostettiin hankkeessa mukana olleiden todellisten maatilojen pohjalta. Yksikään esimerkeistä ei suoraan kuvaa yksittäistä hanketilaa. Hankealueelta kuitenkin löytyy useita kotieläintiloja ja mahdollisia tilakeskittymiä, jotka ovat esimerkkien kokoluokkaa. Näin ollen hankkeen taustatietojen perusteella oheiset esimerkit kuvaavat varsin hyvin tilakokoa, joilla biokaasuntuotannon käynnistäminen voisi olla mahdollista Pohjois-Savossa. Konseptin tarkastelua varten luotiin neljä erilaista esimerkkitalaa. Esimerkkitaloista kaksi olivat tilan omia laitoksia (esimerkkitalat A ja B) ja kaksi tilojen yhteislaitoksia (esimerkkitalat C ja D). Kullekin esimerkkitalalle laskettiin kolme vaihtoehtoa biokaasun käytölle. Vaihtoehdot olivat:

1. Biokaasun käyttö sähkönä ja lämpönä CHP-laitoksen avulla tilan omaan ja biokaasulaitoksen käyttöön. Investoinnin tuottoihin laskettiin sähkön kustannussäästö, lämmön kustannussäästö sekä lannoitekustannussäästö. Kolmella neljästä esimerkistä ylijäämätuotto oletettiin menevän myyntiin jalostettuna ja paineistettuna sekä yhdessä esimerkissä ylijäämäenergia oletettiin myytävän verkkoon.
2. Biokaasun jalostus biometaaniksi ja myynti paineistettuna jakelijalle. Biometaani paineistus komposiittikonttiin, jotka omistaa erillinen jakelija. CHP-laitosta ei ole, ja biokaasulaitoksen tarvitsema lämpö tuotetaan kaasukattilalla. Investoinnin tuottoihin laskettiin biometaanin myyntituotto ja lannoitekustannussäästö.
3. Biokaasun jalostus biometaaniksi ja myynti oman jakeluaseman kautta. CHP-laitosta ei ole, ja biokaasulaitoksen tarvitsema lämpö tuotetaan kaasukattilalla. Investoinnin tuottoihin laskettiin biometaanin myyntituotto ja lannoitekustannussäästö.

Kaikissa esimerkeissä tilan biokaasulaitoksen kustannukset koostuvat syötteiden hinnasta, huolto- ja korjauskustannuksista sekä laitoksen vaatiman työn hinnasta. Biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuutta arvioitiin takaisinmaksuajan perusteella. Alle kymmenen vuoden takaisinmaksuaikaa voidaan pitää perusteltuna esimerkiksi tarvittavan rahoituksen näkökulmasta. Useimmiten investointi vaatii pankkilainaa, ja pankit harvoin myöntävät investoinnille kymmentä vuotta pidempää laina-aikaa. Hankkeiden kannattavuuden arvioinnissa on huomattava, että niihin saatavilla oleva investointituki on vuonna 2022 50 % kustannuksista. Kaikissa

vaihtoehtoisissa on oletettu sama 50 %:n tukitaso, vaikka osassa esimerkkejä biokaasua sekä hyödynnetään tilalla että myydään. Tämän hetken tukipolitiikka ei kuitenkaan ole näin joustava (Pyykkönen ym. 2021). Tilakohtaisen laitoksen onkin jo suunnitteluvaiheessa harkittava, millainen investointituki on missäkin tapauksessa hyödyllisin. Investointituen määrä ja perusteet voivat myös muuttua.

Kaikissa laitosesimerkeissä käytettiin samoja taustaoletuksia vertailun helpottumiseksi. Todellisuudessa laitostekniikka voi olla eri laitoksilla hyvinkin erilainen, mikä vaikuttaa oleellisesti laitoksen investointi- ja käyttökustannuksiin. Maatilojen biokaasulaitosten oletettiin olevan samanlaisia kuin konseptin keskitetyt laitokset (kappale 2.5.1) ilman mädätteen välivarastointia. Muita laitteita olivat tapauksesta riippuen CHP-yksikkö (sähkön ja lämmön yhteistuotanto), vesiansorptioon perustuva kaasunjalostus- ja paineistuslaitteisto ja/tai tankkausasema. Vertailun helpottamiseksi tietyt suureet vakioitiin laskennassa (Taulukko 5). Tarkemmat laskentatiedot Liitteessä 2.

**Taulukko 5.** Laskennassa käytettyjä oletusarvoja.

Tieto	Käytetty oletusarvo	Yksikkö	Lähde
Lietelannan kuiva-aine	9	%	Luostarinen ym. 2017
Säilörehun kuiva-aine	30	%	arvio
Kuivikelannan kuiva-aine	30	%	arvio
Lietelannan metaanipotentiaali	200	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t VS	Biokaasulaskuri
Kuivikelannan metaanipotentiaali	200	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t VS	Biokaasulaskuri
Säilörehun metaanipotentiaali	320	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t VS	arvio (ei huippulaatua)
Syötteen hydraulinen viipymä (HRT) biokaasureaktorissa	35	vrk	arvio
Sähkön hinta	0,12	€/kWh, alv 0 %	Markkinahinta 3/2022
Typnikilon hinta	2,35	€/kg, alv 0 %	Markkinahinta 12/2021
Säilörehun tuotantokustannus, tuoretonni	20	€/tn, alv 0 %	ProAgria/Luke/Savonia
Myydyn tukkukaasun hinta	1,00	€/kg, alv 0 %	Tilahinnan oletusarvo
Myydyn biometaanin hinta	1,458	€/kg, alv 0 %	Markkinahinta 2/2022
Investointituki %	50	%	Investointitukitaso 2022
Laskentakorkokanta	5	%	arvio
Työtunnin hinta sis. sivukulut	21	€/h	Työntekijän palkka sivukuluineen v. 2022



## 3.2. Esimerkkilaitosten taloudellinen kannattavuus biokaasun eri käyttövaihtoehdoissa

### 3.2.1. Maitotila (A)

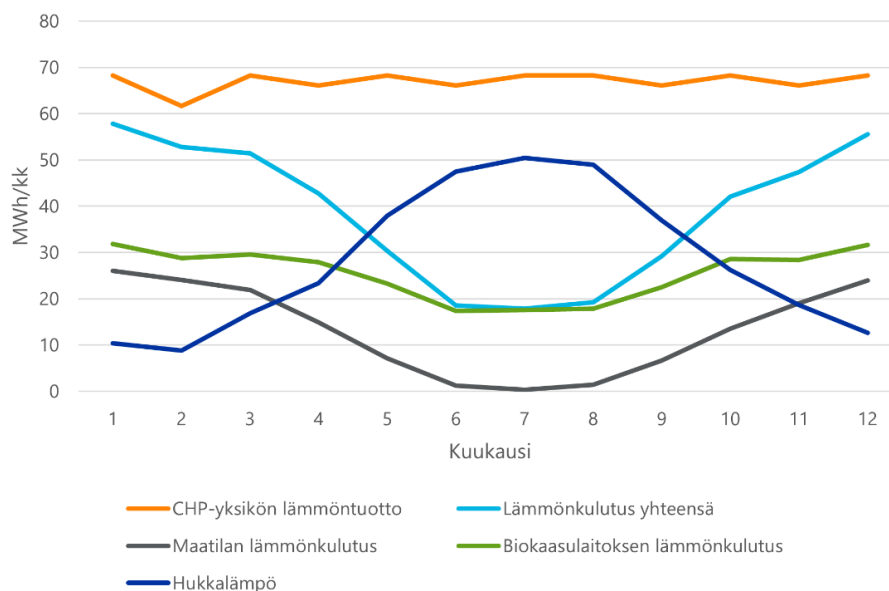
Maitotilan eläinmäärä on 240 lypsylehmää ja lisäksi nuorkarjaa 180 eläintä. Tilan peltopinta-ala on 300 ha. Viljelykierrossa peltopinta-alasta on nurmea 240 ha ja ohraa 60 ha. Nurmi uusitaan suojaviljaan, ja osa nurmesta voidaan käyttää syötteenä biokaasureaktoriin. Reaktorin vuosittaisena syötteenä on 10 000 tonnia lietelantaa ja 400 tuoretonnia viljeltyä nurmea. Biokaasulaitoksen reaktorin kokonaistilavuus on 1 100 m<sup>3</sup>. Reaktori tuottaa raakakaasua 255 000 m<sup>3</sup>/v. Liukoisen typen määrä lisääntyy prosessissa noin 18 % (5 230 kg/v) verrattuna syötemateriaalien liukoisen typen määrään.

Paras taloudellinen tulos saavutetaan, kun biometaani myydään oman tankkausaseman kautta (Taulukko 6). Laskenta ei kuitenkaan ota huomioon, onko biometaanille tasaista kysyntää ja onko tilan ja tankkausaseman sijainti biometaanin käyttäjien kannalta hyvä. Biokaasun suora käyttö CHP-laitoksen kautta oman tilan sähkönä ja lämpönä ei ole kannattava vaihtoehto, koska lämpöenergiasta voidaan hyödyntää vain pieni osa. Biokaasun käyttö omaan energiantuotantoon voi tulla kyseeseen, jos esimerkiksi lypsyrobottien pesuun lämpimällä vedellä tarvitaan paljon energiaa tai jos tilalla on navetan lisäksi muita lämmitettäviä rakennuksia. Oman käytön kannattavuuden ratkaisee korvattavan sähkön ja lämmön hinta. Omassa käytössä usein ongelmaksi muodostuu CHP:n tuottaman lämmön heikohko käyttöaste, sillä CHP:n energiantuotosta noin 1/3 on sähköä ja 2/3 osaa on lämpöä. Tämän tyyppisillä tiloilla voi olla järkevää säätää biokaasun tuottoa syötteiden koostumusta muuttamalla eri vuoden aikoina (Kuva 9). Maksimaalista biokaasun tuottoa ei aina kannata tavoitella. Suurellakaan maitotilalla ei välttämättä löydy lämmölle käyttöä kaikkina vuodenaikoina, ja sitä on lauhdutettava.

**Taulukko 6.** Maitotilan (A) kustannukset ja tuotot eri biokaasun käyttövaihtoehtoisissa. A1) Biokaasun käyttö tilalla sähköksi ja lämmöksi, ylijäämä myynti sähkönä verkkoon A2) Biometaanin tuotanto ja myynti jakelijalle, A3) Biometaanin tuotanto ja myynti omalta tankkausasemalta.

	Yksikkö	A1	A2	A3
Biokaasun tuotantopotentiaali	MWh/v	1 600	1 600	1 600
Biometaanin myynti	MWh/v	-	1 240	1 240
Biokaasulaitoksen investointikustannus	€	850 000	854 000	980 000
CHP-yksikön osuus koko investoinnista	€	181 000	-	-
Puhdistus ja paineistusyksikön osuus koko investointikustannuksesta	€	-	185 000	185 000
Jakeluaseman osuus koko investoinnista	€	-	-	120 000
Tuotot	€	56 500	102 000	143 000
Laitoksen kustannukset	€/v	41 000	51 000	56 000
Investoinnin annuiteettikustannus	€/v	39 000	37 000	42 000
Takaisinmaksuaika	v	25,2*	7,7**	4,5***

\* sähkön korvaushinta 220 000 kWh/v a' 0,12 €/kWh, lämmön hinta 160 000 kWh a' 0,07 €/kWh, sähkön myyntihinta 330 000 kWh a' 0,02 €/kWh, \*\*1 €/kg biometaanin myyntihinta (ALV 0 % ja käyttövoimavero 0 €/MWh), \*\*\* 1,458 €/kg biometaanin myyntihinta (ALV 0 % ja käyttövoimavero 0 €/MWh)



**Kuva 9.** Esimerkkitala A1:n lämmön tuotanto ja kulutus CHP-laitoksen kautta

### 3.2.2. Lihakarjatila (B)

Lihakarjatilan eläinmäärä on 800 lihanautaa lämpimässä ritiläpalkkikasvattamossa. Lisäksi yksikössä on vasikkakasvattamo, joka tuottaa kuivikelantaa 500 tn vuodessa. Tilan peltopinta-ala

on 500 ha. Viljelykierrosta peltopinta-alasta on 350 ha nurmea ja 150 ha ohraa. Nurmi uusitaan suojaviljaan, ja osa nurmesta voidaan käyttää syötteenä biokaasureaktoriin. Reaktorin syötteenä käytetään 10 000 tonnia lietelantaa, 500 tn kuivikelantaa ja 1000 tuoretonnia viljeltyä nurmea. Biokaasureaktorin koko on 1 213 m<sup>3</sup>. Reaktori tuottaa raakakaasua 207 400 m<sup>3</sup>/v. Liukoisen typen määrä lisääntyy prosessissa noin 26 % (7 800 kg/v) verrattuna syötemateriaalien liukoisen typen määrään.

Esimerkkitalan tulokset eivät eroa paljon toisistaan energiankäytön eri vaihtoehdoissa (Taulukko 7). Tilan oman energian käytön vaihtoehdossa rinnalla on myös biometaanin myynti jakelijalle, sillä pelkästään sähköä ja lämpöä hyödyntämällä iso osa kaasusta jää hyödyntämättä. Ratkaisun riskinä on kuitenkin nykyisten investointitukien eri rahoituslähteiden ehdot. Investointitukea saa ainakin toistaiseksi eri lähteistä vain joko tilan omaan käyttöön tai myyntiin. Esimerkkitalan B tulosta parantaa merkittävästi kaikissa vaihtoehdoissa lisäsyötteen (kuivikelanta ja säilörehu) merkittävästi suurempi määrä kuin maitoa tuottavalla esimerkkitala A:lla. Lisäsyötteen kasvattavat biokaasuntuotantoa n. 30 % verrattuna tilanteeseen, jossa lisäsyötettä ei käytetä.

**Taulukko 7.** Lihakarjatilán (B) biokaasulaitoksen kustannukset ja tuotot eri biokaasun käyttövaihtoehdoissa. B1) Biokaasun käyttö tilalla sähköksi ja lämmöksi, ylijäämän myynti biometaanina jakelijalle (59 %), B2) Biometaanin tuotanto ja myynti jakelijalle, B3) Biometaanin tuotanto ja myynti omalta tankkausasemalta.

	Yksikkö	B1	B2	B3
Biokaasun tuotantopotentiaali	MWh/v	2 070	2 070	2 070
Biometaanin myynti	MWh/v	1 210	1 640	1 640
Biokaasulaitoksen investointikustannus	€	977 000	901 000	1 027 000
CHP-yksikön osuus koko investoinnista	€	122 000	-	-
Puhdistus ja paineistusyksikön osuus koko investoinnista	€	193 000	219 000	219 000
Jakeluaseman osuus koko investoinnista	€	-	-	126 000
Tuotot	€	130 000	139 000	193 000
Laitoksen kustannukset	€/v	55 000	69 000	74 000
Investoinnin annuiteettikustannus	€/v	46 000	39 000	44 000
Takaisinmaksuaika	v	5,8*	5,9**	3,4***

\* sähkön korvaushinta 160 000 kWh/v a' 0,12 €/kWh, lämmön hinta 80 000 kWh a' 0,07 €/kWh, 1 €/kg kaasun myyntihinta (ALV 0 %), \*\*1 €/kg biometaanin myyntihinta (ALV 0 % ja käyttövoimavero 0 €/MWh), \*\*\* 1,458 €/kg biometaanin myyntihinta (ALV 0 % ja käyttövoimavero 0 €/MWh)

### 3.2.3. Kahden maitotilan yhteinen laitos (C)

Kahden maitotilan eläinmäärä on yhteensä 400 lypsylehmää ja 250 eläintä nuorkarjaa. Tilojen yhteen laskettu peltopinta-ala on 500 ha. Viljelykierrossa peltopinta-alasta on nurmea 400 ha ja ohraa 100 ha. Nurmi uusitaan suojaviljaan, ja osa nurmesta voidaan käyttää syötteenä biokaasureaktoriin. Reaktorin syötteenä käytetään 18 000 tonnia lietelantaa ja 500 tuoretonnia viljeltyä nurmea. Biokaasulaitos sijaitsee toisen tilan eläinsuojan yhteydessä, ja lietelanta

pumpataan toiselta tilalta putkisiirtona (1,5 km) biokaasulaitokselle. Myös mädäte pumpataan putkisiirtona takaisin toiselle tilalle (sama putkilinja kuin raakalannalle). Molemmat tilat voivat käyttää mädätettä pelloille ilman hygienisointia. CHP-laitos sijaitsee biokaasulaitoksen yhteydessä, ja sen tuottamaa sähköä siirretään toiselle tilalle sähkökaapelia pitkin. Biokaasulaitoksen reaktorin kokonaistilavuus on 1 774 m<sup>3</sup>. Reaktori tuottaa raakakaasua 272 160 m<sup>3</sup>/v. Liukoisen typen määrä lisääntyy prosessissa noin 17 % (8 700 kg/v) verrattuna syötemateriaalien liukoisen typen määrään.

Tässä esimerkissä tulosta parantaa kaikissa vaihtoehtoissa syötteiden määrän ja yksikkökoon kasvu verrattuna edellisiin esimerkkeihin (A ja B) (Taulukko 8). Investointikustannus jää tuotettua biokaasukiloa kohden pienemmäksi kuin esimerkkituloilla A ja B. Esimerkkitulo koostuu kahdesta suuresta maitotilasta, jotka sijaitsevat lähellä toisiaan. Mallissa lietelanta siirretään tilojen välillä putkilinjalla, jonka investointikustannuksesta ja toimivuudesta on vielä vähän tietoa ja kokemuksia. Myös esimerkkituloilla C paras tulos saadaan oman biometaanin jakeluaseman kautta, mutta tällä mallilla on myös samat rajoitteet kuin esimerkkituloilla A, eli tulos saavutetaan vain myymällä kaikki tuotettu biometaanin.

**Taulukko 8.** Kahden maitotilan yhteisen laitoksen (C) kustannukset ja tuotot eri biokaasun käyttövaihtoehtoissa. C1) Biokaasun käyttö tilalla sähköksi ja lämmöksi, ylijäämän myynti biometaanina jakelijalle (45 %), C2) Biometaanin tuotanto ja myynti jakelijalle, C3) Biometaanin tuotanto ja myynti omalta jakeluasemalta.

	Yksikkö	C1	C2	C3
Biokaasun tuotantopotentiaali	MWh/v	2 720	2 720	2 720
Biometaanin myynti	MWh/v	1 210	2 080	2 080
Biokaasulaitoksen investointikustannus	€	1 250 000	1 110 000	1 200 000
CHP-yksikön osuus koko investoinnista	€	170 000	-	-
Puhdistus ja paineistusyksikön osuus koko investoinnista	€	183 000	228 000	228 000
Pumppauslinjan osuus koko investoinnista	€	100 000	100 000	100 000
Jakeluaseman osuus koko investoinnista	€	-	-	126 000
Tuotot	€	163 000	170 000	238 000
Laitoksen kustannukset	€/v	54 000	71 000	77 000
Investoinnin annuiteettikustannus	€/v	8 000	48 000	53 000
Takaisinmaksuaika	v	4,6*	4,6**	2,8***

\* sähkön korvaushinta 400 000 kWh/v a' 0,12 €/kWh, lämmön hinta 100 000 kWh a' 0,07 €/kWh, 1 €/kg kaasun myyntihinta (ALV 0 %), \*\*1 €/kg biometaanin myyntihinta (ALV 0 % ja käyttövoimaverot 0 €/MWh), \*\*\* 1,458 €/kg biometaanin myyntihinta (ALV 0 % ja käyttövoimaverot 0 €/MWh)

### 3.2.4. Lihakarjatiljan ja kasvintuotantotilojen yhteislaitos (D)

Lihakarjatiljan eläinmäärä on 500 lihanautaa lämpimässä ritiläpalkkikasvattamossa. Tilan peltopinta-ala on 250 ha. Peltopinta-ala 250 ha on kokonaan nurmea. Tila tekee yhteistyötä viiden kasvinviljelytilan kanssa, joilta saadaan syötteenä kultakin 400 tonnia viljelykierrosta tulevaa nurmea (sekä ostettua ohraa). Kasvinviljelytilat ottavat vastaan 1/3 mädätteen määrästä. Reaktorin syötteenä käytetään 7 000 tonnia lietelantaa ja 2 000 tuoretonnia viljeltyä nurmea. Biokaasulaitoksen reaktorin kokonaistilavuus on 863 m<sup>3</sup>. Reaktori tuottaa vuodessa raakakaasua 266 240 m<sup>3</sup>. Liukoisen typen määrä lisääntyy prosessissa noin 42 % (8 800 kg/v) verrattuna syötemateriaalien liukoisen typen määrään.

Esimerkki D poikkeaa muista esimerkeistä siten, että merkittävä määrä säilörehupohjaisista lisäsyötteistä ostetaan ja kuljetetaan (noin 10 km) kasvinviljelytiloilta lantaa tuottavan lihakarjatiljan yhteyteen. Lisäksi osa mädätteestä palautetaan kasvinviljelytiloille. Lisäsyötteiden määrä on märkämädätysprosessin ylärajoilla (14 %). Tällaisen mallin mukainen toteutustapa vaikuttaa lupaavalta, jos rehun ja mädätteen siirtomatka on maltillinen (Taulukko 9). Kun lisäsyötteiden määrän on näin suuri, laitosta suunniteltaessa tulee huomioida erityisen tarkasti uusiutuvan energian direktiivi 2 (RED II). Tässä esimerkissä on oletettu, että nurmi saadaan viljelykierrosta ja mädätteen palauttamisella peltoon huomioidaan, ettei maan hiilen määrä vähene. Mikäli nurmirehua kuitenkin viljellään pelkästään biokaasulaitoksen syötteenä, nurmen määrän on oltava tarpeeksi alhainen, jotta RED II direktiivin päästövähennykset saadaan aikaiseksi. Tähän vaikuttaa mm. se, onko nurmi viljelty kivennäismaalla vai turvemaalla.

**Taulukko 9.** Lihakarjatiljan ja kasvintuotantotilojen yhteislaitos (D) kustannukset ja tuotot eri biokaasun käyttövaihtoehdoissa. D1) Biokaasun käyttö tilalla sähköksi ja lämmöksi, ylijäämän tuotanto ja myynti biometaanina jakelijalle (70 %), D2) Biometaanin tuotanto ja myynti jakelijalle, D3) Biometaanin tuotanto ja myynti omalta jakeluasemalta.

	Yksikkö	D1	D2	D3
Biokaasun tuotantopotentiali	MWh/v	2 460	2 460	2 460
Biometaanin myynti	MWh/v	1 700	2 120	2 120
Biokaasulaitoksen investointikustannus	€	965 000	887 000	1 013 000
CHP-yksikön osuus koko investoinnista		113 000	-	-
Puhdistus ja paineistusyksikön osuus koko investoinnista	€	216 000	240 000	240 000
Jakeluaseman osuus koko investoinnista	€	-	-	126 000
Tuotot	€	164 000	173 000	243 000
Laitoksen kustannukset	€/v	95 600	112 500	118 000
Investoinnin annuiteettikustannus	€/v	44 400	38 000	43 000
Takaisinmaksuaika	v	6,3*	6,6**	3,2***

\* sähkön korvaushinta 120 000 kWh/v a' 0,12 €/kWh, lämmön hinta 80 000 kWh a' 0,07 €/kWh, 1 €/kg kaasun myyntihinta (ALV 0 %), \*\*1 €/kg biometaanin myyntihinta (ALV 0 % ja käyttövoimavero 0 €/MWh), \*\*\* 1,458 €/kg biometaanin myyntihinta (ALV 0 % ja käyttövoimavero 0 €/MWh)



## 4. Konseptiin liittyviä muutospaineita, esteitä ja ajureita

### 4.1. Tausta ja menetelmät

Biokaasuliiketoimintaa, varsinkin biokaasuntuotantoa, leimaa voimakas paikallisuus. Erityisesti maatalouden raaka-aineisiin perustuva biokaasuntuotanto on voimakkaasti sidoksissa raaka-aineisiin, joiden kuljetuskustannukset vaikuttavat herkästi tuotannon kannattavuuteen. Biokaasuntuotanto on täten houkuttelevinta lähellä raaka-aineen tuotanto- tai syntymispaikkaa. Paikallisuudesta johtuen biokaasuntuotannon käytännön edistäminen tapahtuu usein juuri kunta- tai aluetasolla, jolla on luontevinta saattaa paikalliset toimijat yhteen. Myös monet biokaasun kannalta keskeiset päätökset, kuten investointipäätökset ja laitosten luvitukset, tehdään paikallisella tasolla.

Merkittävänä haasteena biokaasuntuotannon edistämiseksi on tunnistettu päätöksenteon, lainsäädännön ja ohjauksen sirpaleisuus. Biokaasuntuotantoon ja -käyttöön kohdistuu sääntelyä useilta eri politiikan osa-alueilta (energia, maatalous, ympäristö, ilmasto, liikenne), mikä hämärtää kokonaiskuvan hahmottamista biokaasun roolista ja mahdollisuuksista. Tämän lisäksi kansallisella tasolla asetetut tavoitteet eivät aikaisemmin ole olleet linjassa käytettyjen ohjauskeinojen kanssa. Se lähettää biokaasukentän toimijoille herkästi ristiriitaisia signaaleja biokaasun tulevaisuudesta ja politiikan jatkuvuudesta (Huttunen ym. 2014).

Kansallisen tason politiikka ei myöskään toteudu kaikilla yhtäläisellä tavalla. Vaikka biokaasun kannalta keskeiset kysymykset, kuten tuotannon kannattavuus ja kysynnän luominen ovat relevantteja koko Suomessa, kysymykset on ratkaistava paikallisesti. Erityisesti biokaasun kohdalla kansallisella tasolla luodut energiapolitiikan suunnat, ja näitä tukevat ohjauskeinot näyttäytyvät erilaisina paikalliselta tasolta katsottuna. Biokaasun keskeisiä jakolinjoja ovat esimerkiksi maatilojen määrä ja sijainti, biometaanin jakeluverkoston kattavuus ja pääsy maakaasuverkkoon.

Politiikan sirpaleisuus yhdessä alueellisten erojen kanssa johtaa helposti siihen, että biokaasukysymystä ratkaistaan Suomessa hyvin erilaisessa tahdissa ja erilaisilla tavoilla. Parhaimmillaan kansallisen vision toteuttaminen paikallisesti mahdollistaa alueiden erityispiirteiden ja vahvuuksien hyödyntämisen. Pahimmillaan se johtaa kokemukseen eriarvoisesta kohtelusta alueiden välillä ja kehittää biokaasukenttää vaillinaisesti ja vain tietyillä alueilla.

Suomessa biokaasukentän kokonaiskuvaa on viime vuosina edistetty tuomalla biokaasun kannalta keskeisiä toimijoita yhteen pohtimaan toimenpiteitä biokaasualan kehittämiseksi. Biokaasusuohjelmaa koonneen työryhmän loppuraportti esittää useita mahdollisia toimenpiteitä biokaasuntuotannon edistämiseksi. Se pureutuu erityisesti tuotannon kannattavuuteen (Työ- ja elinkeinoministeriö ym. 2020). Vastaavasti biokaasun nykytilaa ja tulevaisuuden näkymiä on Suomessa kartoitettu kattavasti viimeaikoina (Alm 2022).

Tässä hankkeessa haastateltiin kymmentä Pohjois-Savon biokaasutoiminnan kannalta keskeiseksi tunnistettua toimijaa. Haastateltavat pyrittiin valitsemaan siten, että he edustavat mahdollisimman kattavasti biokaasuntuotantoa, -jakelua ja mahdollista kysyntää. Lisäksi haastateluissa oli hallinnon edustajia sekä kunta- että maakuntatasolta. Haastattelut toteutettiin aktiivisina haastatteluina (Holstein & Gubrium 2011). Niiden tavoitteena oli tarkastella maatalouden raaka-aineisiin perustuvaa biokaasuntuotantoa ja -käyttöä Pohjois-Savon toimijoiden näkökulmasta. Haastattelut tehtiin tammikuussa 2022.

Haastatteluaineisto litteroitiin, minkä jälkeen se käsiteltiin laadullisen sisällönanalyysin (Hsieh & Shannon 2005) keinoin NVivo-ohjelmistolla. Analyysissa etsittiin haastatteluissa keskusteltuja ajureita ja esteitä, jotka vaikuttavat biokaasuntuotantoon Pohjois-Savossa. Aineisto järjestettiin viiden teeman alle: 1) politiikka, 2) ympäristö 3) sosiaaliset tekijät, 4) tekniikka ja talous, ja 5) paikallisten arvoketjujen muodostuminen. Teemojen sisälle sijoitetuista tekstipätkistä eroteltiin biokaasuntuotantoa ja -käyttöä tukevia tekijöitä sekä kentän edistämistä hidastavia esteitä.

## 4.2. Poliittikatavoitteet ja ohjaukset

Suomalainen biokaasupolitiikka on historiallisesti keskittynyt energian tuotannon tukemiseen. Kirjoitushetkellä biokaasulaitoksen investoija voi hakea investointitukea kolmesta eri investointiohjelmasta (Alm 2022, ss. 43–44). Maaseudun yritystuen tasoa on nostettu määräaikaisesti 50 %:n tasolle hyväksytyistä kustannuksista. Haastateltavat pitivät tätä tasoa paitsi houkuttelevana, myös tukitason järkevänä ylärajana. Määräaikaisen tukitason potentiaalia ei kuitenkaan ole saatu täysimääräisesti toteutettua. Maatalouden kannattavuuskuoppa on osunut epäonnisesti juuri korotetun tukitason ajalle, minkä vuoksi rahoituksen varmistaminen ja investointien edistäminen ovat jääneet monella tilalla toteutumatta. Myös korotetun tukitason aikajännettä on pidetty melko lyhyenä biokaasuinvestoinnin suunnitteluun ja toteuttamiseen. Suunnittelussa olevaa ilmasto- ja ravinnekierrätystukea (esim. Luostarinen ym. 2019) pidettiin tukimallina kannatettavana, sillä lantasyötteesen sidotun tuotantotuen nähtiin tuovan jatkuvuutta biokaasuntuotantoon.

Kysynnän edistämiseen tähtävistä tukimalleista biokaasun sisällyttäminen biopolttoaineiden jakeluelvoitteeseen (Työ- ja elinkeinoministeriö 2021) nähtiin positiivisena poliittikkatoimena. Jakeluelvoitteen nähtiin luovan biokaasulle peruskysynnän ja näin lisäävän luottamusta biokaasuntuotannon kannattavuuteen. Jakeluelvoitteeseen liittyminen kuitenkin poistaa biokaasulta sen liikennekäytössä aiemmin nauttiman veroedun. Veroedun poistumista ei kuitenkaan nähty ongelmallisena johtuen tärkeimmän substituutin, maakaasun, nousseesta hinnasta. Yleisesti ottaen markkinaehtoisia ja kysynnän lisäämiseen kohdistuvia poliittikkatoimia pidettiin kannatettavina.

Haastattelujen perusteella voitiin huomata, että biokaasulle julkilausutut tavoitteet koettiin monitulkintaisiksi, eivätkä ne onnistu luomaan toimijoille pitkän aikavälin kuvaa houkuttelevasta liiketoiminnasta. Vastaavasti biokaasun tukijärjestelmä näyttäytyi sekavana, koska tukisot ja ulosmyyntisäännöt vaihtelevat investointitukien välillä. Tukijärjestelmä koettiin myös muuttuvana ja epäjatkovana, mikä hankaloittaa investointien suunnittelua. Pääsääntäisesti voidaan sanoa, että pitkän aikavälin ennakoitavuus oli tukitason hetkellistä nostoa tavoiteltavampaa.

## 4.3. Ympäristöajurit ja -hidasteet

Biokaasun mahdollisuus vähentää päästöjä maataloilla ja liikenteessä on keskeinen biokaasuteknologiaa edistävä ajuri. Biokaasu on tunnistettu yhtenä ratkaisuna Suomen kansallisessa ilmastotoimenpiteiden suunnittelussa, mutta myös useissa alueellisissa ja paikallisissa ilmasto-ohjelmissa. Suunnitelmien avulla on mahdollista paitsi lisätä biokaasun tunnettavuutta, myös luoda tulevaisuuden näkymää biokaasuteknologialle. Biokaasu nähdään erityisen toimivana ratkaisuna maatalousvaltaisilla alueilla. Biokaasun avulla on mahdollisuus samanaikaisesti lisätä uusiutuvan energian tuotantoa, vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, lisätä ravinnekiertoja,

vähentää maatalouden vesistövaikutuksia ja parantaa tilojen toimintaedellytyksiä. Ympäristöhyötyjen saavuttaminen vaatii kuitenkin hyviä käytäntöjä jokaisessa biokaasuntuotannon vaiheessa.

Kuluttajat ja yritykset ovat entistä kiinnostuneempia uusiutuvasta energiasta ja vähähiilistä tuotteista ja palveluista. Ympäristö- ja ilmastotietoisuuden kasvu on biokaasulle merkittävä ajuri esimerkiksi liikennesektorilla, jossa kuljetusten vähähiilisyydellä nähdään olevan myynti- ja maine-etua. Samalla yrityksille ja kansalaisille avautuu mahdollisuus vähentää päästöjään vähähiilisempien tuotteiden ja palveluiden avulla. Lisääntynyt tietoisuus ei ole kuitenkaan vielä siirtynyt maksuhalukkuudeksi, eikä täten luo merkittävää ohjausvaikutusta hintasignaalin kautta.

Maatiloilla biokaasuntuotannolla on useita mahdollisia ympäristö- ja kustannushyötyjä. Uusiutuvan energian tuottaminen ja mädätteen käyttäminen lannoituksessa mahdollistavat kustannussäästöjä tuotantopanoksien hankinnassa. Tulevaisuudessa joillakin tiloilla myös turvekuivikkeen korvaaminen mädätteestä separoidulla kuivajakeella lisää tilan omavaraisuutta. Biokaasuliiketoiminnan taloudellinen kannattavuus on tärkeä edellytys tuotannon edistämiseksi. Haastatteluista ilmeni, että tulevaisuudessa biokaasuntuotannosta ja käytöstä saatavan ilmastohyödyn rooli tulee luultavasti kasvamaan. Vähäpäästöisen ja ilmastoviisaan maatalouden harjoittaminen voi olla entistä välttämättömämpää niille tiloille, jotka haluavat jatkaa ja laajentaa tuotantoaan tulevaisuudessa. Tämän vuoksi osa haastateltavista näki haasteellisenä, että biokaasun päästövähennykset kohdistuvat maatilojen ulkopuolelle, mikäli biokaasua käytetään liikenteen käyttövoimana.

#### **4.4. Sosiaaliset ajurit ja hidasteet**

Mielikuvien rooli on keskeistä kasvaville teknologioille. Toimivat esimerkit biokaasulaitosten ja kaasukäyttöisten teknologioiden käytöstä rakentavat luottamusta investointia suunnitteleviin toimijoihin. Vastaavasti kertomukset huonoista kokemuksista leviävät nopeasti ja voivat merkittävästikin heikentää investointihalukkuutta. Kuntalaisten ja yritysten näkemys biokaasusta on tällä hetkellä positiivinen, sillä biokaasuun yhdistetään kuva ympäristöystävällisenä ja uusiutuvana/kierrättävänä teknologiana. Kokemuksia eri mittakaavan biokaasulaitoksista sekä biokaasujärjestelmien liiketoimintamalleista on kuitenkin vielä rajallisesti. Pilottilaitosten rakentaminen eri alueille ja eri kokoluokissa voisi vauhdittaa maatalaitosten yleistymistä.

Lisääntynyt työmäärä ja henkinen jaksaminen täytyy arvioida biokaasulaitoksesta syntyvien kustannusten lisäksi. Viljelijöille ruuan tuottaminen on toiminnan keskeinen tavoite, ja energiantuottajan rooli voi näyttäytyä etäisenä, mikäli nämä kaksi näyttäytyvät toisistaan hyvin erillisinä. Hyvin suunniteltu biokaasuinvestointi, toiminnan kannattavuus ja viljelijän henkilökohtainen kiinnostus biokaasutekniikkaa kohtaan usein laskevat investoinnin kynnyksiä. Nykyinen ilmastokeskustelu maatalouden ilmastovaikutuksista voi yhtäältä lisätä painetta ja näin vauhdittaa päästövähennysten tekemiseen maatiloilla, mutta toisaalta passivoida ja heikentää viljelijöiden jaksamista.

#### **4.5. Teknis-taloudelliset ajurit ja hidasteet**

Teknis-taloudelliset ajurit ja hidasteet liittyvät ensisijaisesti biokaasulaitosten raaka-aineen kuljetusäisyyksiin, biometaanin jakeluverkoston kattavuuteen ja kaasujoneuvojen toimivuuteen.

Maatilojen sijoittuminen asettaa maantieteellisen rajoitteen biokaasulaitosten sijainnille. Mikäli raaka-aineen kuljetusetäisyydet maailoilta biokaasulaitokseen nousevat liian suuriksi, biokaasuntuotanto ei ole enää kannattavaa korkeiden logistiikkakustannusten vuoksi. Maatilojen omilla biokaasulaitoksilla raaka-aine tulee tai voidaan tuottaa suoraan tilalla, mikä pienentää kuljetusten kustannuksia merkittävästi. Maatilojen omien biokaasulaitosten kannattava kokoluokka on kuitenkin kasvanut jatkuvasti. Se rajaa suuren osan tiloista investointien ulkopuolelle raaka-aineen riittämättömyyden tai investointikyvyn puutteen vuoksi. Maatilojen heikko taloustilanne erityisesti viimeisten vuosien aikana on heikentänyt mahdollisuuksia rahoituksen saamiselle ja jättänyt monia pitkällekin suunniteltuja investointeja toteutumatta jaksamisen ja/tai rahoituksen puutteen takia. Mikäli energian ja lannoitteiden hinnat pysyvät korkeina myös jatkossa, maatilojen oma biokaasuntuotanto saattaa vaikuttaa nykyistä houkuttelevamalta. Erityisesti lantasyötteen arvo lannoituksessa voi kasvaa, mikä saattaa vähentää halukkuutta myydä tai luovuttaa lantaa tilan ulkopuolelle.

Keskeinen tekninen hidaste biokaasun liikennekäytön lisäämisessä johtuu jakeluasemien rajallisuudesta ja niiden maantieteellisestä sijoittumisesta. Raskaan liikenteen toimintaedellytyksien kannalta hajanainen tankkausverkosto asettaa useita haasteita, sillä ajoneuvojen reitit ja toimintasäteet ovat rajoittuneet tankkausmahdollisuuksien mukaisesti. Lisäksi yksittäisen tankkauspumpun tyhjentyminen tai vikatilanne voi tarkoittaa, ettei korvaavaa tankkauspistettä ole saatavilla. Mikäli sekä kaasukäyttöisten henkilöajoneuvojen että raskaampien kuljetusajoneuvojen määrä lisääntyy yhtäaikaaisesti, voi asemien sijoituslogiikka vaihdella. Raskaan liikenteen tankkausasemat tulisi sijoittaa mahdollisimman keskeisille paikoille valtavyöhyksen läheisyyteen. Henkilöautoliikenteessä tankkausasemien hajasijoittelu, esimerkiksi maatilojen omien tankkauspisteiden kautta, voi tukea asemaverkoston kattavuutta.

Kaasukäyttöisiä kuorma-autoja on saatavilla useammalta valmistajalta, ja ajoneuvojen luotettavuudesta on hyviä kokemuksia. Vaikka raskaan liikenteen kaasuajoneuvon hankinta- ja huoltokustannukset ovat dieselkäyttöistä ajoneuvoa suuremmat, voi biokaasun alempi hinta korvata tämän ajoneuvon elinkaaren aikana. Kaasutekniikka ei kuitenkaan nykyisellään ole toimiva suurimman kokoluokan ja suorituksen kuorma-autoissa. Tämän vuoksi kaasukäyttöisten ajoneuvojen vaihtoväli voi kasvaa huomattavan pitkäksi. Pitkä vaihtoväli luo yrittäjälle riskin biometaanin saatavuudesta tulevaisuudessa ja muiden käyttövoimien nopeammasta kehittämisestä.

## 4.6. Paikallisten arvoketjujen muodostuminen

Hankkeessa toteutettujen haastattelujen perusteella kuljetusliikenne voisi toimia biokaasusta jalostetun biometaanin keskeisenä käyttökohteena Pohjois-Savossa. Valtatiet 5 ja 9 ovat keskeisiä kuljetusliikenteen kulkuväyliä, ja ne voisivat tarjota biokaasulle kysyntää kuljetuksissa. Kirjoitushetkellä Pohjois-Savon alueella on yksi nesteytettyä biometaania tarjoava tankkausasema ja yksi paineistettua biometaania tarjoava asema, jotka kummatkin sijaitsevat Kuopiossa (Gasum 2022). Tankkausasemien määrää tulisi kasvattaa, jotta biometaanin saatavuus tankkauksen ongelmatilanteissa saataisiin varmistettua.

Biokaasukenttä voi käynnistyä paikallisesti, mutta se hyötyy merkittävästi markkinoiden kasvusta, jossa biokaasun ja biometaanin tuottajien, jakelijoiden ja kuluttajien määrä kasvaa kunta- ja maakuntarajojen yli. Suuren kaupallisen toimijan mukana olo biokaasuntuotannossa ja -jakelussa edistää merkittävästi biokaasukentän kasvua. Kaupallinen toimija voi olla joko kunta, yritys tai riittävän suuri maatilojen yhteenliittymä, jolla on kykyä tuottaa biokaasulle uskottava perustarjonta. Pienempien tuottajien ja käyttäjien toimijoiden on helpompi liittyä mukaan biokaasuliiketoimintaan, kun kentällä on jo ennestään toimijoita ja toimivia arvoketjuja.

Liikenteen toimijoilla ja kunnilla on kasvava kiinnostus biokaasun käyttöön. Biokaasulla nähdään hyötyjä sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä että ravinteiden kierrätyksessä ja maatalojen toimintaedellytysten parantamisessa maatalousvaltaisilla alueilla. Kunnat voisivat toimia biokaasuinvestoinnin keskeisinä koordinaattoreina tuomalla toimijoita yhteen, lisäämällä biokaasun tunnettavuutta omissa kehityssuunnitelmissaan ja tarjoamalla biokaasulle kysyntää esimerkiksi julkisessa liikenteessä. Biokaasun edistämistä kuntatasolla heikentää erityisesti kysynnän ja tuotannon yhteensovittaminen sekä toimivien arvoketjuesimerkkien vähäisyys. Tietoa biokaasuntuotannosta ja -käytöstä levitetään kuntien välillä, mutta esimerkkien puute ja teknologian tuntemattomuus vaikuttavat hidastavan teknologiaan investoimista. Ensimmäinen biokaasuun sitoutuva ja investoiva kunta kantaa vielä tuntemattoman teknologian mukanaan tuomat investointiriskit ja joutuu selvittämään biokaasun edistämiseen liittyvät byrokraattiset ja toimijoiden koordinoimiseen liittyvät haasteet. Monelle toimijalle lienee houkuttelevaa katsoa ja odottaa, miten biokaasukenttä lähtee pilottikunnan tapauksessa etenemään ennen omaa sitoutumista.

## 5. Yhteenveto

Tässä hankkeessa tarkasteltiin hajautetun biokaasuntuotannon mallia, jossa useissa maatilojen biokaasulaitoksissa tuotettu biokaasu hyödynnetään keskitetyn jakelupisteen kautta liikenteen polttoaineena. Hankkeen kohdealueena käytettiin Pohjois-Savoa, mutta hankkeen tuloksia voidaan soveltaa myös muilla alueilla. Koska Pohjois-Savon alue on voimakasta lypsykarjatuotannon aluetta, päähuomio raaka-aineissa keskittyi naudanlantaan.

Kootun aineiston perusteella Pohjois-Savon lantakeskittymät painottuivat Ylä-Savoon ja Kuopion pohjoispuolisille alueille. Molemmille alueille mallinnettiin kaksi keskitettyä biometaanin jakelupistettä, joissa molemmissa tuotantokapasiteetti oli 25 GWh. Etäisyydet keskitettyjen jakelupisteiden ja verkostossa olevien maatilojen välillä vaihtelivat 12 ja 57 km välillä ja yksittäisten biokaasulaitosten tuotantokapasiteetit 1,8 ja 4,5 GWh välillä.

Hankkeessa tehtiin myös tekniikkaselvitys, jonka avulla määritettiin konseptille toimintatavat ja kustannukset. Kustannustehokkaimmaksi tavaksi tuottaa biometaanin keskitettyyn jakeluun osoitettiin malli, jossa jokaisella konseptissa mukana olevalla biokaasulaitoksella biokaasu jalostetaan ja paineistetaan, jonka jälkeen paineistettu biometaani kuljetetaan autokuljetuksena keskitettyyn jakelupisteeseen. Keskitetyssä jakelupisteessä biometaani voidaan edelleen nesteyttää raskaan liikenteen käyttöön. Autokuljetus valikoitui pääosin kuljetusmatkojen perusteella, mutta osassa laitoksia biokaasun tai biometaanin kuljetus putkikuljetuksena voisi tulla kyseeseen. Tällöin voitaisiin jättää välistä biometaanin paineistaminen kuljetusta varten, mikä voisi vähentää kokonaiskustannuksia.

Konseptissa mukana olevilla esimerkibiokaasulaitoksilla tuotetun biometaanin myynnin kannattavuusraja vaihteli. Keskimäärin biometaanin tilahinnaksi muodostui 1,00 €/kg, jolla kannattavuuden raja laitoksia operoivien tilojen kannalta saavutettiin. Tilakoko kaikissa esimerkkitilauksissa oli kuitenkin hieman keskimääräistä pohjoissavolaista maatilaa suurempia. Esimerkiksi maitotilalla tulisi olla yli 200 lypsylehmää ja nuorkarja, jotta esimerkkitilauksien kokoluokka saavutetaan. Tämä vastaa kolmen-neljän lypsyrobotin tilakokoa. Lihakarjatiloihin riittävän suuri tilakoko tarkoittaa yli 500 lihanaudan yksikköä. Hankealueella potentiaalisia maito- ja lihakarjatiloihin on alle 30.

Paineistetun biometaanin keskitetyn jakelun kustannukset olivat noin 0,50 €/kg. Yhteenlasketuna kuluttajalle myytävän biometaanin hinta tulisi olla veroineen lähelle 2,00 €/kg, jotta kaikki kulut saadaan katettua ja tuloja tuotettua. Lisäkuluja aiheuttaisi vielä biometaanin nesteytys, jonka tuotantokustannus on noin 0,3–0,6 €/kg. Nesteytetyn biometaanin hinta olisi näin vielä paineistettua korkeampi. Hintaan ja biometaanin myynnistä saataviin tuottoihin vaikuttaa merkittävästi jakeluvaihtoehto ja sen mukana tuleva tikkikauppa, jonka merkitystä hintoihin kirjoitushetkellä vaikeaa arvioida.

Tilojen näkökulmasta keskitetty biometaanin jakelu tuo yhden suuren ja vakaan asiakkaan, jonka vastuulla on tuotteen varastointi, markkinointi ja jakelu loppukäyttäjälle. Suuri investointi biokaasulaitokseen voi silti olla tiloille haastava. Konseptissa ravinteet jäävät mädätteenä tilan omaan käyttöön, mikä erityisesti Pohjois-Savon nautakarjatuotannossa on eduksi. Suuren peltopinta-alan ja nurmen hyvän ravinteiden oton takia ravinteille yleensä on omaa käyttöä. Ravinnetasapainon tarkastelu on kuitenkin tehtävä kaikille tiloille ja alueille erikseen, sillä olosuhteet vaihtelevat merkittävästi.

Jakelijan näkökulmasta hajautettu tuotanto mahdollistaa monipuolisten raaka-aineiden käytön biometaanin tuotannossa. Jakelija voi myös keskittyä liikennepolttoaineen myyntiin, koska viljelijät operoivat biokaasulaitoksia, ja mädäte ravinteineen jää tilojen omaan käyttöön.



Biometaanin kuljetuksen ja varastoinnin kustannukset ovat kuitenkin merkittävät verrattuna suuren, keskitetyn biokaasulaitoksen biometaanin tuotantoon. Konseptin skaalaus tuottaa myös oman haasteensa, koska kaikki konseptissa mukana olevat laitokset eivät todennäköisesti valmistu samaan aikaan. Tämän vuoksi ainakin alkuvaiheessa kustannukset voivat olla korkeammat pienemmästä biometaanin määrästä johtuen. Myös tikettikaupan merkitys on jakelijalle suuri.

Biometaanin tuotannon houkuttelevin ja kannattavin vaihtoehto tarkastelluista laitosesimerkeistä on suurilla lihakarjatiloiilla (Liite 3), jotka eivät juurikaan saa kustannussäästöjä omasta sähkön ja lämmön käytöstä. Lihakarjatiloiilla on motivaatio saada paras mahdollinen biokaasun tuottopotentiali käyttöön, koska tulot saadaan tilalta ulos myydystä biokaasusta. Niillä olisi myös houkuttelevaa hankkia lannan lisäksi lisäsyötteitä biokaasuntuotannon maksimoimiseksi.

Laskelmissa käytetty puhdistetun ja paineistetun biometaanin tilahinnan oletusarvo 1,00 €/kg on teoreettinen viitearvo, koska tuotteelle ei vielä ole ostajaa ja muodostunutta markkinahintaa. Lisäksi konseptissa on oletuksena, että ostaja toimittaa kaasukontin ja hoitaa logistiikan. Biometaanin myynti liikennepolttoaineeksi paineistettuna ilman omaa, laitospaikoista jakeluasemaa vaatii kumppaniksi luotettavan toimijan. Yhden toimijan varaan jääminen voi sisältää merkittävän riskin niin hinnan kuin menekin suhteen.

Oman jakeluaseman rakentaminen biokaasulaitoksen yhteyteen ei ole kovin iso lisäinvestointi, mutta se edellyttää riittävää varastopuskuria tuotetulle biometaanille. Asiakkaista pitää olla riittävästi ja menekki melko tasainen. Lisäksi jakeluasema tuo mukanaan viranomaisvalvontaa ja raportointia. Kaikkia niistä aiheutuvia kustannuksia ei ole välttämättä näissä laskelmissa otettu huomioon. Esitetyissä hinnoissa ei myöskään ole mukana arvonlisä- tai käyttövoimaveroa. Investointien esteenä voi olla myös maatilojen kustannuskriisi ja vakuuksien puute. Suuren kokoluokan kotieläintiloilla on tehty merkittäviä investointeja, ja velkataakka on usein valmiiksi suuri. Täten biokaasulaitoksen investointiin voi olla haastavaa saada velkarahoitusta, koska tilan vakuusreserviä ei ole jäljellä. Konseptin mukaisen tilatuotannon toteutumista voitaisiin edesauttaa merkittävästi esim. leasingrahoituksella tai takauksilla biometaanin ostajalta tai muilta tahoilta (esim. kunta, valtio).

Biokaasuntuotantoon ja -käyttöön vaikuttaa useita tekijöitä, joista osa toimii biokaasun asemaa tukevasti ja osa heikentävästi. Biokaasu nähdään kotimaisena ja uusiutuvana energianlähteenä, jolla on energian tuotannon ja päästöjen vähentämisen lisäksi myös muita hyötyjä. Maatalousvaltaisissa kunnissa biokaasun nähdään edistävän kokonaisvaltaisesti alueen energiantuotantoa, huoltovarmuutta sekä ympäristötavoitteita. Maatiloilla on myös kasvavaa kiinnostusta biokaasuteknologiaa ja yleistä tilojen omavaraisuuden kehittämistä kohtaan (Taulukko 10). Poliittikaympäristö on lähtökohtaisesti biokaasua kohtaan myönteinen, ja biokaasun käyttöä pyritään edistämään sekä kansallisella tasolla että maakunta- ja kuntatasoilla. Keskeisimmät hidasteet biokaasukentälle syntyvät tuotannon heikosta kannattavuudesta, biokaasun tulevaisuuteen liittyvistä epävarmuuksista sekä ohjauskeinojen monimutkaisuudesta ja ennakoimattomuudesta. Maatilamittakaavassa maatilojen heikentynyt taloustilanne ja jaksaminen ovat viime aikoina hidastaneet investointeja.

Biokaasun käyttötapa ja -kohde vaikuttavat keskeisesti biokaasusta saatavan päästövähennyksen suuruuteen ja siihen, miten käytön ilmastovaikutusta voidaan laskea esimerkiksi tuotteiden hiilijalanjälkeä arvioitaessa. Tämän vuoksi ei ole yhdentekevää käytetäänkö biokaasua sähkön, lämmön vai liikenteen polttoaineen tuottamiseen, ja käytetäänkö biokaasu maatiloilla vai esimerkiksi laajemmin henkilö- ja tavaraliikenteessä. Viljelijää houkuttelee usein biokaasun käyttö oman tilan toiminnoissa, koska biokaasusta saatava päästövähennys realisoituu tällöin joko tilan omassa ja/tai tuotettavan tuotteen hiilijalanjäljessä. Kansallisen ilmastopolitiikan näkö-

kulmasta biokaasu kannattaisi kuitenkin pääsääntöisesti käyttää raskaalle tieliikenteelle johtuen voimakkaammasta päästövähennysvaikutuksesta ja muiden uusiutuvien ratkaisujen niukkuudesta. Oikeudenmukaisuuden vuoksi on tärkeää, että viljelijöille annetaan biokaasulla saavutetuista päästövähennyksistä tunnustusta, vaikka biokaasun käyttö kohdistuisi maatalouden ja maatilojen ulkopuolelle. Biokaasutuotannon kannattavuuden lisäksi täytyy huolehtia, että viljelijät saavat arvostusta esimerkiksi niistä liikenteen päästövähennyksistä, jotka on osaltaan mahdollistettu viljelijöiden investoinneilla ja työpanoksella.

**Taulukko 10.** Biokaasuntuotannon ajureita ja esteitä maataloilla.

	<b>Ajurit</b>	<b>Esteet ja hidasteet</b>
<b>Politiikka ja ohjaukset</b>	Maatilojen investointituen taso kirjoitushetkellä (50 %) kannustaa investointeihin. Ilmasto- ja energiapolitiikka tukevat uusiutuvien energialähteiden tuotantoa.	Investointitukijärjestelmä monimutkainen. Tukimekanismien epäjatkuvuus. Poliittikatavoitteet eivät luo tulevaisuudennäkymää biokaasulle.
<b>Tekniikka ja talous</b>	Lannoitteiden ja energian nousut hinta lisää biokaasuntuotannon houkuttelevuutta. Biokaasuntuotanto lisää tilan toimintamahdollisuuksia.	Tilojen heikko kannattavuus. Rahoituksen saaminen haastavaa. Pitkät kuljetusetäisyydet.
<b>Sosiaaliset tekijät</b>	Tilojen omavaraisuuden kehittäminen ja biokaasutekniikka kiinnostavat viljelijöitä.	Ilmastokeskustelu voi uuvuttaa ja passivoida. Biokaasulaitos voi lisätä viljelijän työmäärää. Viljelijät voivat vierastaa energiantuottajan roolia.
<b>Ympäristö</b>	Ravinteiden kierrätys ja uusiutuvan energian tuotanto koetaan tärkeänä. Halukkuus vähentää tilan khk-päästöjä.	Kuluttajien ilmastotietoisuus ei ole vielä muuttunut maksuhalukkuudeksi. Päästövähennyksen kohdentuminen maatilojen ulkopuolelle.
<b>Liiketoimintamallit</b>	Tiloilla kiinnostusta yhteistuotantolaitoksiin ja raaka-aineen toimittamiseen.	Toimivista arvoketuista vain rajallisesti esimerkkejä.

## Viitteet

- Alm, M. 2022. Uusiutuva energia – biokaasulla kohti hiilineutraalia tulevaisuutta (TEM toimialaraportit 2022:1). <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-951-3>
- Ardolino, F., Cardamone, G.F., Parrillo, F. & Arena, U. 2020. Biogas-to-biomethane upgrading: A comparative review and assessment in a life cycle perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 139, 110588. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110588>
- Biokaasulaskuri 2022. <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas>
- Börjesson, P., Lantz, M., Andersson, J., Björnsson, L., Möller, B., Fröberg, M., Hanarp, P., Hultheberg, C., Iverfeldt, E., Lundgren, J., Røj, A., Svensson, H. & Zinn, E. 2017. Methane as vehicle fuel – a well to wheel analysis (METDRIV). 10.13140/RG.2.2.24258.79045.
- Capra, F., Magli, F. & Gatti, M. 2019. Biomethane liquefaction: A systematic comparative analysis of refrigeration technologies. *Applied Thermal Engineering*. 158, 113815. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113815>
- Envitecpolis, 2021. Toteutettavuusselvitykset Kehitysyhtiö Savogrow Oy Kaasua liikkeelle - hanke Loppuraportti 20.4.2021. <https://www.savogrow.fi/wp-content/uploads/2021/09/2021-04-27-Loppuraportti-Toteutettavuusselvitykset-1.pdf>
- Frost, P. & Gilkinson, S. 2011. 27 months performance summary for anaerobic digestion of dairy cow slurry at AFBI Hillsborough. Interim technical report. <https://www.afbini.gov.uk/sites/afbini.gov.uk/files/publications/%5Bcurrent-domain%3Amachine-name%5D/Anaerobic%20Digestion%20Performance%20Summary%2027%20months.pdf>
- Gasum. 2022. Tankkausasemat. <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkausasemat/> Luettu: 29.3.2022
- Hahn, H. 2011. Guideline for financing agricultural biogas projects - Training material for biogas investors. [http://www.biogasin.org/files/pdf/WP3/D.3.7\\_IWES\\_EN.pdf](http://www.biogasin.org/files/pdf/WP3/D.3.7_IWES_EN.pdf)
- Haimila, P. 2015, Liikennebiokaasun jakelu Mikkelin seudulla: Teknologia- kustannus- ja kannattavuustarkastelu. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalous. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201501231245>
- Holstein, J. A., & Gubrium, J. F. 2011. Active Interview. SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.4135/9781412986120>
- Hsieh, H.-F., & Shannon, S.E. 2005. Three Approaches to Qualitative Content Analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9): 1277–1288.
- Huttunen, S., Kivimaa, P. & Virkamäki, V. 2014. The need for policy coherence to trigger a transition to biogas production. *Environmental innovation and societal transitions*, 12, 14–30. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.04.002>

- Hurtig, M., Brundin, C., Vestner, R., Larsdotter, L., Gårdbro, G., Larsson, R., Lindström, F. & Kristoffersson, S. 2014. Bio Fuel Region Umeå Universitet. [http://biofuelregion.se/wp-content/uploads/Rapport-UmU-Projekt-2014\\_01\\_17-liten.pdf](http://biofuelregion.se/wp-content/uploads/Rapport-UmU-Projekt-2014_01_17-liten.pdf)
- Kajava, S. (toim.). 2019. EuroMaito-verkosto – tukea maidontuotannon resurssitehokkuuden ja kestävyiden kehittämiseen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 26/2019. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/543953>
- KTBL 2013. Faustzahlen biogas. 3. Ausgabe. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL).
- Lehtonen, Jukka & Luostarinen, Juha 2022. Metener Oy. Metener Oy:n vesipesutekniikkaan perustuvan biokaasun jalostuslaitteiston investointikustannus- ja sähkönkulutustiedot. Henkilökohtaiset tiedonannot Ville Pyykköselle 16.-25.3.2022.
- Liiteri- tietopalvelu, 2022. Elinympäristön tietopalvelu Liiteri. Hakupäivä 10.12.2021 <https://www.ymparisto.fi/liiteri>
- Luke 2022a. Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus>
- Luke 2022b Teollisuuspuun kauppa. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/teollisuuspuun-kauppa/teollisuuspuun-kauppa-2021>
- Luostarinen, S., Juha Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017. SUOMEN NORMILANTA –laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/540239>
- Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T. & Ylivainio, K. 2019. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot (Nro 40/2019; Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-777-0>
- Marcato, C.E., Pinelli, E., Pouech, P., Winterton, P. & Guirese, M. 2008. Particle size and metal distributions in anaerobically digested pig slurry. *Bioresource Technology* 99: 2340-2348.
- Mohan, J. 2018. Bio Gas Holder HAZOP Study and Semi Quantitative Fire Risk Assessment of Organic Matter. *Journal of Safety Engineering* 7(2): 43-49. doi:10.5923/j.safety.20180702.01
- Nousiainen, J. 2011. TilaArtturi-projekti 2007–2009 loppuraportti. Edita.
- Paavola, T. 2015. Mädätysjäännöksen käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa: Kymäläinen M, Pakarinen O. (toim.). Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry. Hämeen ammattikorkeakoulu. Hämeenlinna. S. 94–123.
- Pyykkönen, V., Seppänen, A.-M., Markkanen, J., Rasi, S., Luostarinen, S., Virkkunen, E. & Järvinen, M. 2021. Pohjois-Savon maakunnalliset erityispiirteet biokaasun tuotannossa ja ravinteiden kierrätyksessä : FarmGas-PS 1 -hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 42 s.
- Rantala, J. Mäntynen, J. Huhta, R. & Isola, R. 2020. Itä-Suomen logistiikka - Talouselämän mahdollistajana. WSP Finland Oy

- Rasi, S. Timonen, K., Joensuu, K., Regina, K., Virkajärvi, P., Pulkkinen, H., Tampio, E., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2019. Nurmi biokaasun raaka-aineena - RED II direktiivin mukainen kasvihuonekaasupäästöjen laskenta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 29 s.
- Ryckebosch, E., Drouillon, M. & Vervaeren, H. 2011. Techniques for transformation of biogas to biomethane. Biomass and Bioenergy. 35: 1633-1645. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.033>
- Saalasti, M. 2022. Doranova Oy. Doranova Oy:n biokaasulaitosten investointikustannus- ja sähkökulutusarviot. Henkilökohtainen tiedonanto Ville Pyykköselle 21.2.2022.
- Tampio, E., Ervasti, S., Paavola, T., Heaven, S., Banks, C. & Rintala, J. 2014. Anaerobic digestion of autoclaved and untreated food waste. Waste management 34: 370-377.
- Tilastokeskus. 2022a. Pohjoismaisen pörssisähkön kuukausihinta kohosi ennätyskorkealle vuoden 2021 viimeisellä neljänneksellä. Tiedote, julkaistu: 10.3.2022. [https://www.stat.fi/til/ehi/2021/04/ehi\\_2021\\_04\\_2022-03-10\\_tie\\_001.fi.html](https://www.stat.fi/til/ehi/2021/04/ehi_2021_04_2022-03-10_tie_001.fi.html)
- Tilastokeskus. 2022b. Sähkön hankinta energialähteittäin, 1990-2021. Luettu: 4.5.2022 [https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_ehk/statfin\\_ehk\\_pxt\\_12vp.px/](https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehk/statfin_ehk_pxt_12vp.px/)
- Tilastokeskus. 2022c. Maatalouden tuotantovälineiden ostohintaindeksi. Saatavilla: <https://www.stat.fi/tilasto/ttohi>
- Tilastokeskus, 2021. Ajoneuvokanta 2020. Liikenne ja matkailu 2021. [https://www.stat.fi/til/mkan/2020/mkan\\_2020\\_2021-02-26.fi.pdf](https://www.stat.fi/til/mkan/2020/mkan_2020_2021-02-26.fi.pdf)
- Tilastokeskus, 2019. Tieliikenteensuoritelaskenta 2018. <https://vayla.fi/documents/25230764/0/Raportti+tieliikenteen+suoritelaskenta+2018.pdf/4079997f-549e-4f99-b2cd-e697681a371c>
- Traficom 2022. Polttoaineiden vertailuhintojen laskeminen. Luettu 14.4.2022. <https://www.traficom.fi/fi/polttoainekustannusvertailu>
- Tukes, 2022. Biokaasun turvallisuusohje. <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/biokaasun-turvallisuusohje/>
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2021. Biokaasu ja sähköpolttoaineet sisällytetään liikennepolttoaineiden kansalliseen jakeluvoitteeseen. Tiedote 29.6.2021. Luettu: 14.4.2022 <https://tem.fi/-/biopolttoaineet-jakeluvoitteeseen>
- Työ- ja elinkeinoministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö ja valtiovarainministeriö 2020. Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti (Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:3). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-482-2>
- Valio 2022. Uusi biokaasulla kulkeva maitoauto starttasi Seinäjoella -verkkoartikkeli. Julkaistu 18.1.2022 <https://www.valio.fi/yritys/media/uutiset/uusi-biokaasulla-kulkeva-maito-auto-starttasi-seinajoella/>
- Virkajärvi, P., Hyrkäs, M., Rätty, M., Pakarinen, T., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2016. Biokaasuteknologiaa maatiloilla II. Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen hyödyntäminen

lannoitteena. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2016. [http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/536848/luke-luobio\\_37\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/536848/luke-luobio_37_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Wega, 2021. Biokaasulla liikkeelle kysyntäkartoitus- esitys 18.3.2021. <https://docplayer.fi/213196857-Biokaasulla-liikkeelle-kysyntakartoitus-wega.html>



## Liitteet

### Liite 1. Biokaasun ja biometaanin varastoinnin ja kuljetuksen kustannusten taustatiedot

#### Varastointi

Kaksoiskalvosäiliöitä saa useilta valmistajilta. Kotimainen Biovoima Oy antoi tarjouksen kahden eri kokoluokan varastopalloista. Toimitukseen kuului kaikki kaasuväestön toimintaan tarvittava tekniikka perustukset ja asennus (Taulukko 12). Membraanipallolle ilmoitetaan 15 vuoden käyttöikä.

#### Taulukko 11. Biokaasun varastoinnin investointikustannukset

Biokaasun tilavaraston investointikustannus			
Kapasiteetti	m <sup>3</sup>	1 500	400
Mitoitusvirtaama	m <sup>3</sup> /h	350	50
Investointi asennettuna	€	68 000	42 000
Kiinteät kustannukset (15 v, 5 %)	€/v	6 551	4 046

#### Biokaasun jalostus

Membraanitekniikka sekä vesipesu ovat tällä hetkellä yleisemmin käytössä olevat kaasunjalostustekniikat maatilamittaluolassa. Taulukossa 13 on vertailtu 500 Nm<sup>3</sup>/h kokoluokan laitojen kustannuksia.

#### Taulukko 12. Membraanitekniikan ja vesipesun kustannusten vertailu.

	Membraani	Vesipesu
Biokaasun käsittelykapasiteetti Nm <sup>3</sup> /h	500	500
Biometaanin tuotto Nm <sup>3</sup> /h	259	253
Investointikustannus	1 200 000	1 700 000
Käyttökustannukset €/v	240 000	217 000
Kaasun jalostuksen käyttökustannus snt/kg	16,10	14,90
Investointi €/v 20 v 5 %	96 288	136 408
Investointi snt/kg	6,46	9,37
Kokonaiskustannus snt/kg	22,56	24,27

## Liite 2. Biokaasuntuotannon, energia- ja kannattavuuslaskelmien menetelmät

Kannattavuuslaskelmissa oletettiin investointitukitasoksi 50 % ja laskentakoroksi 5 %. Taulukossa 13 on esitetty tukemattomien investointikustannusten laskentamenetelmät sekä laitoksen osien poistoajat ja ylläpitokustannusten laskentaperusteet. Investointihintojen regressiokaavat on johdettu Doranova Oy:n (Saalasti 2022) ja Metener Oy:n (Lehtonen & Luostarinen 2022) datasta sekä kirjallisuudesta (KTBL 2013, Hahn 2011). Osa hinnoista on Luken ja Savonian arvioita.

**Taulukko 13.** Investointikustannusten sekä korjaus- ja ylläpitokustannusten laskentamenetelmät ja laitoksen osien käyttöiät.  $V$  = reaktorin nestetilavuus,  $P_{el}$  = CHP-yksikön sähköteho.

Biokaasulaitoksen osa	Investointihinta / kaava (€)	Lähde	Poisto- aika (v)	Ylläpito lask.per.
Reaktorirakenteet (sis. pohjalaatat)	=80,525*V+76761	Doranova	20	1 %
Reaktorin lapasekoitin/-sekoittimet	=12,584*V+6809,7	Doranova	10	5 %
Pumppu (lietteen syöttö)	=10000	Doranova	10	5 %
Muu prosessiteknikka	=53875	Doranova	10	5 %
Muut rakenteet (tekniset tilat, putket, kondenssikaivot)	=3,1834*V+36198	Doranova	20	1 %
Kiinteän syöttölaite (apevaunu 10 m <sup>3</sup> ja syöttöyhteet reaktoriin)	=58750	Doranova	15	5 %
Lämpökattila	=20 000	Doranova	20	2 %
Boileri, putkitukset ja automaatioliitännät	=43 750	Doranova	20	2 %
CHP-yksikkö + puhallin, aktiivihiilisuodatus ja kondenssiveden poisto	=2274,5*EKSPONENTTI (-0,003*P <sub>el</sub> )*P <sub>el</sub>	Doranova	10	1,8 snt/kWh <sub>el</sub>
Yllä mainittujen asennustyöt & käyttöönotto	=9,7925*V+68050	Doranova	20	0 %
Suunnittelu ja projektin johto	=5,6702*V+39403	Doranova	20	0 %
Soihtu	=10000	Arvio	20	0 %
Muut (toimittajan rahoituskulut, matkakulut, rahti ym.)	=0,9629*V+19893	Doranova	20	0 %
Rehusyötevarasto 50 m <sup>3</sup> , katettu, sis. asennus	=22 100	Doranova	20	2 %
Lietesyöte-/mädätevarasto sis. asennus	=(25,229*V+26927)	Doranova	20	1 %
Lietesyöte-/mädätevaraston sekoitin, sis. asennus	=6000	KTBL 2013	10	5 %
Liete-/mädätevaraston kaksoismembraanikate, sis. asennus	=13,761*V+5596,3	Doranova	20	1 %
Jalostin + paineistus 250 bariin, sis. asennus	=2720,5*[raakakaasu m <sup>3</sup> /h]+114812	Metener	20	3 %
Tankkausasema jalostimen yhteydessä, sis. Asennus	=120000 (raakakaasukapasiteetti 60–150 m <sup>3</sup> /h), 150000 € (300 m <sup>3</sup> /h)	Metener	20	3 %
Maatyöt	=45/m <sup>2</sup>	Doranova	20	0 %
Sähköliityntä verkkoon	=10000	Arvio	20	0 %
Riskilisiä	5 % yllä mainituista	Doranova	20	0 %
Vakuutukset	0,5 %/v laitoksen hinnasta	Hahn 2011	20	0

Konseptin keskitettyjen laitosten syötteistä 2/3 tulee laitoksen yhteydessä olevalta maatilalta ja 1/3 muilta tiloilta, jotka sijaitsevat keskimäärin 10 km etäisyydellä biokaasulaitoksesta.

Mädätteestä 1/3 palautetaan syötteitä toimittaville tiloille. Lietelannan ja mädätteen kuljetuskustannukseksi oletettiin 3 €/t/10 km ja rehun kuljetuskustannus 5 €/t/10 km.

Biokaasulaitoksen sähkönkulutus laskettiin taulukossa 14 esitetyillä oletusarvoilla. Lukemat valittiin Doranova Oy:n (Saalasti 2022), Metener Oy:n ja Luken datasta johdettujen keskiarvojen ja arvioiden perusteella.

**Taulukko 14.** Biokaasulaitoksen sähkönkulutuslaskelmien oletusarvot.

Laite	Arvo	Yksikkö	Lähde
Sekoittimet, reaktori (lapa)	3	W/m <sup>3</sup> nestetil.	Doranova
Kaksoimembraanikaasuvaraston puhallin	0,0077	kWh/vrk/m <sup>3</sup> reaktorin nestetil.	Doranova
Ilman syöttö reaktoriin	0,3	kWh/t kokonaissyötettä	Doranova
Syöttöpumppu, nesteet	0,4	kWh/t lietalantaa	Doranova
Apevaunu + syöttöruuvi	3,5	kWh/t kiinteää syötettä	Doranova
Poistopumppu (määdte)	0,4	kWh/t mädätettä	Doranova
Lietesyötesäiliön sekoittimet	0,55	W/m <sup>3</sup> nestetil.	Arvio
Mädätevaraston sekoittimet	0,55	W/m <sup>3</sup> nestetil.	Arvio
Lämmityskierron pumpput	0,6	kWh/t syötettä	Doranova
Biokaasupuhallin	0,1	kWh/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	Luke Maaninka
Muu prosessitekniikka / varaus	72	kWh/vrk	Doranova
Jalostus	2	% biometaanin energiasisällöstä	Metener
Paineistus 250 bariin	3	% biometaanin energiasisällöstä	Metener
Tankkausasema	0,5	% biometaanin energiasisällöstä	Metener

Biokaasureaktori pidetään jatkuvasti 37 °C lämpötilassa ja vaatii siten lämpöenergiaa syötteiden lämmittämiseksi prosessilämpötilaan sekä kompensoimaan reaktorirakenteiden läpi tapahtuvaa lämmön johtumista ilmaan (katto, seinät) ja maaperään (pohja). Mallissa reaktorin lämpöenergian tarvetta vähentää sekoituksen tuottama lämpöenergia. Reaktorin lämpöenergian kokonaistarve ( $E_{\text{yhteensä}}$ ) laskettiin kaavalla 1:

$$E_{\text{yhteensä}} \text{ (kWh)} = E_{\text{syöte}} + E_{\text{ilma}} + E_{\text{maa}} - E_{\text{sekoitus}} \quad (\text{Kaava 1})$$

Syötteen lämmitykseen tarvittava energia ( $E_{\text{syöte}}$ ) laskettiin kaavalla 2:

$$E_{\text{syöte}} \text{ (kWh)} = (4,19 - 0,0275 \cdot C_{\text{TS}} / 3,6 \cdot m_{\text{syöte}}) \cdot (T_{\text{reaktori}} - T_{\text{syöte}}), \quad (\text{Kaava 2})$$

jossa  $C$  on  $T_{\text{S}}$ -pitoisuus (ka-pitoisuus),  $m_{\text{syöte}}$  on syöteseoksen tuoremassa,  $T_{\text{reaktori}}$  on reaktorin prosessilämpötila (37 °C) ja  $T_{\text{syöte}}$  on syöteseoksen lämpötila.

Lämmön johtuminen reaktorin katon ja seinien läpi ilmaan ( $E_{\text{ilma}}$ ) laskettiin kaavalla 3:

$$E_{\text{ilma}} \text{ (kWh)} = U \cdot (A_{\text{katto}} + A_{\text{vaippa}}) \cdot (T_{\text{reaktori}} - T_{\text{ilma}}) / 1000 \quad (\text{Kaava 3})$$

jossa  $U$  lämmönläpäisykerroin ( $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ),  $A_{\text{katto}}$  on katon pinta-ala ( $\text{m}^2$ , membraanikaasuvarastoa ei huomioitu),  $A_{\text{vaippa}}$  on sylinterinmuotoisen reaktorin vaipan ala ( $\text{m}^2$ ). Reaktorin mitoituslaskelmissa reaktorin lämmitettävä kokonaistilavuus oli  $1,1 \cdot$  nestetilavuus ja reaktorin kokonaiskorkeus  $6,9 \text{ m}$ .

Lämmön johtuminen reaktorin pohjan läpi maahan ( $E_{\text{maa}}$ ) laskettiin kaavalla 4:

$$E_{\text{maa}} = (\text{kWh}) = U \cdot (A_{\text{pohja}}) \cdot (T_{\text{reaktori}} - T_{\text{ilma}}) / 1000 \quad (\text{Kaava 4})$$

jossa  $A_{\text{pohja}}$  on reaktorin pohjan pinta-ala. Reaktorin lämmönkulutuslaskelmissa käytetyt syötteiden ja ympäristön lämpötilat on esitetty taulukossa 15.

**Taulukko 15.** Laskennassa käytetyt syötteiden ja ympäristön lämpötilat

Kuukausi →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lietelanta (°C)	8	8	10	10	15	20	20	20	15	10	10	8
Kiinteät syötteet (°C)	0	0	0	2	9	14	17	14	9	4	0	0
Ilma (°C)	-9	-9	-4	2	9	14	17	14	9	4	-2	-6
Maa (°C)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Sekoituksen tuottama lämpöenergia ( $E_{\text{sekoitus}}$ ) laskettiin kaavalla 5:

$$E_{\text{sekoitus}} (\text{kWh}) = P \cdot V / 1000 \quad (\text{Kaava 5})$$

jossa  $P$  on sekoitusteho ( $3 \text{ W}/\text{m}^3$  reaktorinestettä) ja  $V$  reaktorin nestetilavuus. Malli perustuu upposekoittimeen, joka on sijoitettu reaktorilietteeseen, jolloin sen käyttämän sähköenergian oletetaan muuttuvan kokonaan lämpöenergiaksi (liike-energia + moottorin tuottama hukka-lämpö).

Biokaasun jalostuksessa (vesiabsorptio) oletettiin metaanihävikiksi  $1 \%$  (Lehtonen & Luostarinen 2022). Lämpökattilan hyötysuhteeksi arvioitiin  $85 \%$ . CHP-yksikön sähköhyötysuhteeksi oletettiin  $40 \%$  ja lämpöhyötysuhteeksi  $50 \%$ .

Orgaanisen aineen (VS) hajoaminen laskettiin syötteiden metaanintuottopotentialin sekä niistä syntyvän biokaasun tilavuuspitoisuuden sekä kaasujen tiheyksien perusteella. Biokaasun oletettiin muodostuvan pelkästään metaanista ( $0,717 \text{ kg}/\text{Nm}^3$ , lämpötila  $0 \text{ °C}$  ja paine  $101,325 \text{ kPa}$ ) ja hiilidioksidista ( $1,977 \text{ kg}/\text{Nm}^3$ ). Lantojen metaanipitoisuudeksi oletettiin  $65$  ja rehun  $55$  tilavuusprosenttia.

Biokaasuprosessissa liukoistuvan (mineralisoituvan) typen määrä laskettiin olettaen, että orgaanisen typen (kokonaistyyppi – liukoinen tyyppi) ja orgaanisen aineen (VS) hajoamisen suhdeluku on  $0,6$ .

## Liite 3. Kooste maatilakohtaisista esimerkkilaitoksista

Esimerkki	Lietelanta t/v	Rehu + kuivikelanta t/v	Kaasun tuotanto MWh/v	Kaasun myynti MWh/v	Investointi €	Tuotot €/v	Kustannukset ilman pääomakuluja €/v	Takaisinmaksuaika, v
A1 Maitotila CHP, ylijäämänsähkön myynti	10 000	400	1600	0	850 000	56 500	41 000	25,2
A2 Maitotila, biometaanin myynti jakelijalle	10 000	400	1600	1 240	854 000	10 200	51 000	7,7
A3 Maitotila, oma tankkausasema	10 000	400	1600	1 240	980 000	143 000	56 000	4,5
B1 Naudanlihatila CHP, ylijäämä biometaanina jakelijalle	10 000	1000+500	2070	1 210	977 000	130 000	55 000	5,8
B2 Naudanlihatila, biometaanin myynti jakelijalle	10 000	1000+500	2070	1 640	901 000	139 000	69 000	5,9
B3 Naudanlihatila, oma tankkausasema	10 000	1000+500	2070	1 640	1 027 000	193 000	74 000	3,4
C1 Kaksi maitotilaa (yhteislaitos) CHP, ylijäämä biometaanina jakelijalle	18 000	500	2720	1 210	1 250 000	163 000	54 000	4,6
C2 Kaksi maitotilaa (yhteislaitos), biometaanin myynti jakelijalle	18 000	500	2720	2 080	1 110 000	170 000	71 000	4,6
C3 Kaksi maitotilaa (yhteislaitos), oma tankkausasema	18 000	500	2720	2 080	1 230 000	238 000	77 000	2,8
D1 Naudanlihatila ja kasvitilat (yhteislaitos), CHP, ylijäämä biometaanina jakelijalle	7 000	2000	2460	1 700	965 000	164 000	95 600	6,3
D2 Naudanlihatila ja kasvitilat (yhteislaitos), biometaanin myynti jakelijalle	7 000	2000	2460	2 120	887 000	173 000	112 500	3,2
D3 Naudanlihatila ja kasvitilat (yhteislaitos), oma tankkausasema	7 000	2000	2460	2 120	1 013 000	243 000	118 000	3,2



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Latokartanonkaari 9  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000