

Opinnäytetyö (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Biotekniikka

2017

Lauri Jokela

# BIOKAASU LIIKENNEKÄYTÖSSÄ VARSINAIS-SUOMESSA

– Maatilojen biokaasulaitosten soveltuvuus  
biometaanin tuotantoon

Lauri Jokela

# BIOKAASU LIIKENNEKÄYTÖSSÄ VARSINAIS-SUOMESSA

- Maatilojen biokaasulaitosten soveltuvuus biometaanin tuotantoon

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitystyötä biokaasun hyödyntämisestä liikennepolttoaineena Varsinais-Suomen alueella. Työssä keskityttiin maatilojen kykyyn tuottaa biokaasua liikennepolttoaineeksi.

Opinnäytetyön alussa esitellään biokaasun tuotannon kannalta tärkeän mädätysprosessin teoriaa, jonka tuotteena saadaan pääosin metaanista koostuvaa biokaasua. Seuraavaksi tutustuttiin maatilojen biokaasulaitoksissa tavallisesti käytössä oleviin syötteisiin, laitoksen koostumukseen, prosessin parametreihin, tarvittaviin lupiin ja mahdollisiin investointitukiiin. Maatiloilla saatavilla olevilla syötteillä on suuri vaikutus biokaasun koostumukseen, tuotannon määrään ja biokaasuprosessin suunnitteluun.

Biokaasun jalostaminen liikennepolttoaineeksi vaatii kaasun puhdistamista epäpuhtauksista, metaanipitoisuuden rikastamista ja kaasun paineistamista tai nesteyttämistä. Käytettävät syötteet vaikuttavat biokaasuun muodostuvien epäpuhtauksien määrään ja koostumukseen. Puhdistusta seuraava jalostustekniikka vaikuttaa myös tarvittavien puhdistustekniikoiden valintaan. Jalostustekniikoita on käytössä useita, joista yleisimpiä ovat vesiabsorptio, paineenvaihteluadsorptio, kemiallinen absorptio, fysikaalinen absorptio ja membraanisuodatus. Jalostustekniikoiden väliset hintaerot johtuvat pitkälti valmistajien ja puhdistuskapasiteettien välisistä eroista.

Suomessa ja Varsinais-Suomessa biokaasupotentiaalista suurin osa on sitoutuneena maatalouteen. Potentiaalia ei kuitenkaan hyödynnetä läheskään siinä mittakaavassa, jossa se olisi mahdollista. Liikennebiokaasun käyttöä rajoittaa autokannan pieni määrä, jakeluverkon puutteellisuus ja investoinnin suuruus. Kannattavien käyttökohteiden puuttuminen on tärkein syy, miksi maatilat eivät ole investoineet biokaasuun. Biokaasun tuotannon kannattavuuden lisäämiseksi valtio voisi vähentää biokaasua käyttävien autojen verotusta, tarjota biokaasun investointitukiiin parempia ehtoja sekä helpottaa biokaasulaitoksien lupakäsittelyä.

## ASIASANAT:

Biokaasu, biometaani, liikennepolttoaine, maatilamittakaavan biokaasutuotanto, uusiutuva energia

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Biotechnology and food technology | Biotechnology

May 2017 | 41 pages

Lauri Jokela

# BIOGAS AS VEHICLE FUEL IN SOUTHWEST FINLAND

- Feasibility of farm-scale biogas plants for biomethane production

The purpose of this Bachelor's Thesis was to investigate the utilization of biogas as a vehicle fuel in Southwest Finland. The thesis focuses on the usability of farm-scale biogas plants for producing biogas that could be used as vehicle fuel.

The first part of the thesis discusses anaerobic digestion which is a crucial part of producing the mostly methane based biogas. In addition, the substrates, technologies, process parameters, required permits and possible investment support that are normally associated with farm-scale biogas plants are discussed. The available feedstock for farm-scale plants have a significant effect on the composition of biogas, the amount produced, and the planning of the process.

Before biogas can be used as a vehicle fuel it requires upgrading which includes removal of impurities, increasing the methane concentration, and pressurization or liquefaction of the gas. The feedstock materials used in anaerobic digestion affect the amount and composition of impurities formed in the biogas. The upgrading technology used also affects the purification technology needed. There are many different upgrading technologies and the most common are water scrubbing, PSA, chemical absorption, physical absorption, and membrane filtration. The price differences between upgrading technologies mostly depend on the manufacturers and the upgrading capacities.

Most of the biogas potential in Finland and Southwest Finland is tied to agriculture. However, this potential is not being utilized to the extent it could be. The use of biogas as a vehicle fuel is inhibited by the limited gas-powered car population, the lack of a sufficient distribution network, and investment costs. The lack of profitable uses for biogas at farms has discouraged making investments in biogas. In order to boost biogas production, the government could lower taxes regarding biogas powered cars, offer better terms for investment support, and alleviate the permit granting process for biogas plants.

KEYWORDS:

Biogas, biomethane, vehicle fuel, farm-scale biogas production, renewable energy

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 BIOKAASUN TUOTANTOPROSESSI</b>	<b>9</b>
2.1 Biokaasun muodostumisprosessin vaiheet	9
2.2 Prosessiin vaikuttavat tekijät	11
<b>3 MAATILAKOON BIOKAASULAITOS</b>	<b>15</b>
3.1 Käytettävät syötteen	15
3.2 Biokaasulaitos	17
3.3 Biokaasulaitokseen tarvittavat luvat	20
3.4 Investointituet	22
<b>4 BIOKAASUN LIIKENNEKÄYTTÖÖN JALOSTAMINEN</b>	<b>23</b>
4.1 Biokaasun puhdistaminen	23
4.2 Vesiabsorptio	24
4.3 Kemiallinen absorptio	24
4.4 Paineenvaihteluadsorptio (PSA)	25
4.5 Membraanisuodatus	25
4.6 Fysikaalinen absorptio	26
4.7 Kryogeeninen jalostus	26
4.8 Kustannusvertailu	27
4.9 Puhdistetun kaasun paineistus	29
<b>5 BIOKAASUN LIIKENNEKÄYTTÖ SUOMESSA</b>	<b>31</b>
<b>6 VARSINAIS-SUOMEN BIOKAASUPOTENTIAALI</b>	<b>36</b>
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>39</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>40</b>

## KUVAT

Kuva 1. Biokaasun muodostumisprosessin vaiheet [3]	11
Kuva 2. Esimerkki maatalan biokaasuprosessin koostumuksesta [23]	20
Kuva 3. Euroopassa käytettyjen jalostustekniikoiden osuudet vuonna 2014 [18]	23
Kuva 4. Biokaasun jalostuksen hinta verrattuna laitoksen kapasiteettiin [13]	29
Kuva 5. Biomeetanin paineistuksen energiankulutus [19]	30
Kuva 6. Suomessa tuotettu biokaasu laitostyypeittäin [7]	31
Kuva 7. Liikennekäyttöön tuotetun biokaasun energiasisältö Suomessa [15]	32
Kuva 8. Liikennepolttoaineden hiilidioksidipäästöt [21]	33
Kuva 9. Biokaasun tuotantopotentiaali maakunnittain [15]	36
Kuva 10. Varsinais-Suomen biokaasulaitokset [17]	37

## TAULUKOT

Taulukko 1. Biokaasun keskimääräinen koostumus [3]	9
Taulukko 2. Metaanintuottopotentiaali eri syötteille [11]	16
Taulukko 3. Maatalan biokaasulaitoksen teoreettinen metaanintuotto [23]	16
Taulukko 4. Viiden yleisimmän jalostustekniikan energian kulutus asteikkona [19]	28
Taulukko 5. Metaanin ja bensiinin energiasisältö [8]	34

# KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
BAT	Best available techniques. Parhaiden käytettävissä olevien tekniikoiden hyödyntäminen biokaasuprosessin eri vaiheissa.
Biometaani	Biokaasua, jonka metaanipitoisuus kaasusta on 95 % tai korkeampi kutsutaan usein biometaaniksi.
CHP	Combined heat and power. Biokaasua hyödynnetään sähkön ja lämmön samanaikaisessa tuotannossa turbiinien avulla.
CNG, CBG	Compressed natural gas, compressed biogas. Liikennepolttoaineena käytettäessä maa- tai biokaasu tulee paineistaa ensin vähintään 200 bar:iin ennen kuin sitä voidaan hyödyntää polttoaineena.
Jalostustekniikka	Biokaasun metaanipitoisuuden rikastamisessa käytettyjen tekniikoiden yleisnimitys. Jalostustekniikoiden tärkein tarkoitus on erottaa biokaasusta hiilidioksidia, mikä on toiseksi yleisin kaasu biokaasussa.
LNG, LBG	Liquefied natural gas, liquefied biogas. Nesteyttämällä maa- tai biokaasua saavutetaan suurempi energiatiheys, jotta kaasua voidaan käyttää sekä laivojen että suurempien ajoneuvojen polttoaineena.
PSA	Pressure swing adsorption. Yksi biokaasun jalostuksessa käytetty tekniikka, mikä hyödyntää kaasujen ominaisuutta läpäistä tiettyä materiaalia paineistettuna ja näin erottaa toisistaan eri läpäisykyvyn omaavia kaasuja.
VS	Volatile solids, Haihtuvien kuiva-aineiden pitoisuus (%). Kuvaa mädätyksessä mikrobien käytettävissä olevan kuiva-aineen pitoisuutta.

# 1 JOHDANTO

Uusiutuvan energian tuotanto on Euroopassa sekä Suomessa jatkuvassa kasvussa ja fossiilista polttoaineista luopumista tuetaan monin tavoin. EU on asettanut päästötavoitteita jäsenmailleen, joiden tavoitteet tulisi saavuttaa vuoteen 2020 ja 2030 mennessä. Ruotsi sekä Saksa ovat toimineet edelläkävijöinä biokaasun tuotannossa sekä kaasun jalostamisessa liikennekäyttöön. Suomessakin biokaasun hyötyihin on kiinnitetty huomiota ja biokaasuun on päätetty investoida yhä enemmän. Biokaasulaitokset käyttävät raaka-aineenaan orgaanisia syötteitä, jotka anaerobisessa käsittelyssä eri mikrobikasvustoilla tuottavat metaanipitoista biokaasua. Syötteinä voidaan käyttää useita erityyppisiä orgaanisia materiaaleja, joiden tuotantopotentiaalia on tutkittu eri menetelmillä. Prosessissa käsitelty syöte voidaan kaasuntuotannon jälkeen käyttää lannoitteena, joten kaikki prosessissa syntyvä materiaali saadaan hyötykäyttöön.

Opinnäytetyö keskittyy maatilakokoisten biokaasulaitosten kykyyn tuottaa biokaasua liikennekäyttöön. Opinnäytetyö tehtiin selvitystyönä Turun AMK:n ohjaamaan biokaasuprojektiin. Biokaasua tuottaessa liikennekäyttöön täytyy kaasun metaanipitoisuus rikastaa yli 95 %:seksi ja samalla kaasusta poistetaan muita epäpuhtauksia, kuten rikkivetyä. Biokaasupotentiaalista suurin osa on sidoksissa maatalouteen. Maatilojen biokaasulaitoksissa kustannustehokkaiden käyttökohteiden puuttuminen on hidastanut uusiin laitoksiin investoimista. Yleisesti biokaasun käytön osalta lupaavimmat näkymät ovat liikennekäytössä ja työkonepolttoaineena. [7]

Biokaasun rikastuksen jälkeen käytetään kaasusta termiä biometaani. Biometaani säilötään joko paineistettuna kaasuna CBG/CBM (Compressed Biogas/Compressed Biomethane) tai se nesteytetään LBM/LBG (Liquefied Biomethane/Liquefied Biogas). Paineistettua biokaasua voidaan syöttää suoraan maakaasuverkkoon, jos se täyttää vaaditut laatuvaatimukset. Vuoden 2017 alussa Suomessa oli käytössä kaksi tankkausasemaa nestemäiselle biokaasulle tai maakaasulle ja muut tankkausasemat käyttivät paineistettua biokaasua tai maakaasua. [9]

Opinnäytetyössä tutustutaan myös biokaasua sisältävän metaanin jalostuksessa käytettäviin tekniikoihin. Käytössä on useita jalostustekniikoita, joista kustannustehokkaimman vaihtoehdon valitseminen vaatii aiheeseen perehtymistä. Biokaasu täytyy myös paineistaa jalostamisen jälkeen liikennekäyttöä varten ja

paineistuksen vaatimukset otetaan myös opinnäytetyössä huomioon. Yhteenvedona tehdään päätelmä, onko maataloilla tuotettavan biokaasun rikastaminen liikennekäyttöön kannattavaa Varsinais-Suomessa.



## 2 BIOKAASUN TUOTANTOPROSESSI

Biokaasua saadaan biologisen hajoamisprosessin tuloksena. Hapettomuus on tärkeä osa mädätysprosessia, jonka tuloksena syntyy biokaasua ja mädätysjäätöstä. Jos mädätysprosessi altistuu liian suurelle määrälle happea, muuttuu hajoamisprosessi mädättämisestä kompostoitumiseksi. Biokaasu on kaasuseos (taulukko 1), joka koostuu suurimmaksi osaksi metaanista sekä hiilidioksidista. [1] [3]

Taulukko 1. Biokaasun keskimääräinen koostumus [3]

Aine	%
Metaani, CH <sub>4</sub>	55-75
Hiilidioksidi, CO <sub>2</sub>	25-45
Hiilimonoksidi, CO	0-0,3
Typpi, N <sub>2</sub>	1-5
Vety, H <sub>2</sub>	0-3
Rikkivety, H <sub>2</sub> S	0,1-0,5

### 2.1 Biokaasun muodostumisprosessin vaiheet

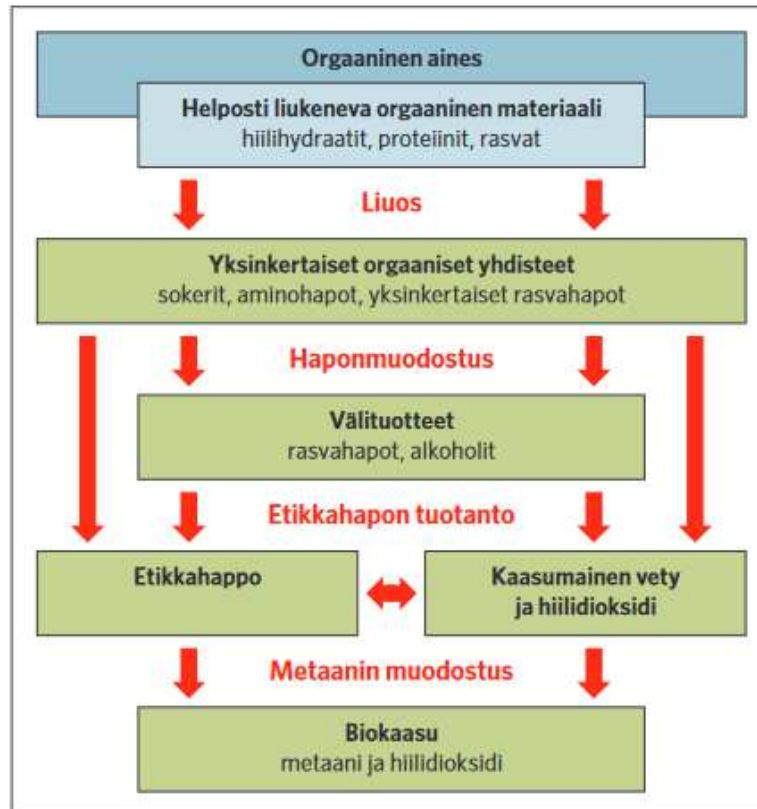
Biokaasun muodostuminen jaetaan neljään eri vaiheeseen, joissa alkuperäinen materiaali hajotetaan pienemmiksi osiksi eri mikrobien toimesta. Neljä vaihetta ovat: hydrolyysi, happokäyminen, etikkahappokäyminen ja metanogeneesi (kuva 1). Kussakin vaiheessa hajotetaan edellisen vaiheen tuotteet, jotta muiden vaiheiden mikrobit voivat hyödyntää niitä. Mädätyksen lämpötila vaikuttaa siihen kuinka nopeasti reaktiot tapahtuvat prosessissa, kunhan lämpötila on mikrobeille sopivissa rajoissa. Kaikki neljä vaihetta ovat prosessissa käynnissä samanaikaisesti ja hitain reaktiovaihe vaikuttaa koko prosessin nopeuteen. [1] [3]

Hydrolyysi on teoreettisesti biokaasuprosessin ensimmäinen vaihe, minkä aikana kompleksisia orgaanisia yhdisteitä, kuten hiilihydraatteja, valkuaisaineita sekä rasvoja pilkkotaan yksinkertaisemmiksi yhdisteiksi. Hydrolyyttiset mikrobit muuntavat orgaanisia yhdisteitä helpommin liukeneviksi molekyyleiksi entsyymien avulla. Hydrolyysissä syntyviä sokereita, rasvahappoja ja aminohappoja käytetään muiden mikrobien energianlähteenä. [1] [3]

Happokäymisessä hydrolyysiin tuotteita muutetaan fermentoivien bakteerien toimesta metanogeesissä käytettäviksi substraateiksi. Liuenneet yksinkertaiset sokerit, aminohapot ja rasvahapot hajotetaan asetaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi sekä haihtuviksi rasvahapoiksi ja alkoholeiksi. Asetaatti, hiilidioksidi ja vety muodostavat noin 70 % happokäymisen tuotteista, kun haihtuvat rasvahapot ja alkoholit muodostavat tuotteista noin 30 %. [1] [3]

Etikkahappokäymisessä haihtuvat rasvahapot ja alkoholit, joita ei voida suoraan muuntaa metaaniksi, hapettuvat metanogeesissä käytettäviksi substraateiksi. Happokäymisessä muodostuneet haihtuvat rasvahapot ja alkoholit hapetetaan metanogeesisille bakteereille käytettäviksi asetaateiksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Vety inhiboi etikkahappokäymisestä vastaavien bakteerien aineenvaihduntaa, vaikka metaanikäymisessä vetyä käytetään metaanin raaka-aineena. [1]

Metaania muodostuu pääosin asetaatista sekä reaktioiden välituotteina syntyvästä vedystä ja hiilidioksidista. Muodostuvasta metaanista noin 70 % syntyy asetaateista ja loput hiilidioksidista ja vedystä. Metanogeesi on biokaasuprosessin vaiheista hitain ja prosessiparametrien muutokset vaikuttavat huomattavasti sen toimintakykyyn. Biokaasuprosessin tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman metaanipitoista biokaasua, joten metanogeesi on koko prosessin kannalta tärkein vaihe. Haihtuvat rasvahapot sekä vety ovat suurempina pitoisuuksina haitallisia eri prosessin mikrobeille, joten niiden pitoisuuden seuraaminen prosessin aikana on tärkeää. [1] [3]



Kuva 1. Biokaasun muodostumisprosessin vaiheet [3]

## 2.2 Prosessiin vaikuttavat tekijät

Anaerobisten mikrobien kasvuun ja toimintaan tärkeimmät vaikuttavat tekijöitä ovat happipitoisuus, tasainen lämpötila, pH-arvo, ravinteiden saatavuus ja inhibiittorien pitoisuus sekä läsnäolo. Eri vaiheisiin osallistuvilla mikrobeilla parhaiten soveltuvat olosuhteet poikkeavat eri ryhmien välillä jonkin verran toisistaan. Metaania muodostavat mikrobit ovat koko prosessissa herkimpiä olosuhteiden vaihtelulle. Biokaasulaitoksissa prosessiparametrit pyritäänkin sopeuttamaan metanogeenisten bakteerien mukaan. [1] [3]

Happi on myrkyllistä niille mikrobeille, jotka muodostavat metaania mädätysprosessin aikana. Biokaasulaitoksissa pyritään siis välttämään hapen pääsyä reaktoriin. Syötemateriaalin mukana prosessiin saattaa, kuitenkin päätyä usein jonkin verran happea. Jos prosessissa syntyy suuria määriä rikkiä, happea voidaan syöttää reaktoriin hapettamaan sitä mutta biokaasua tuottaessa liikennekäyttöön tätä ei voida tehdä. Reaktoriin päätyvän hapen määrän ollessa tarpeeksi pieni, ei

ongelmaa synny, sillä osa prosessin bakteereista pystyvät kuluttamaan sen ennen haittavaikutusten ilmentymistä. [1] [3]

Lämpötila vaikuttaa reaktorissa tapahtuvien biologisten reaktioiden nopeuteen, mutta lämpötilan tulee olla kuitenkin prosessin kannalta tärkeille mikrobeille sopivissa rajoissa. Biokaasuprosessissa 3-5 % syötteen energiasisällöstä muuttuu lämpöenergiaksi eikä se sitoudu muodostuvaan metaaniin, mikä tulee huomioida lämpötilan ylläpidossa. Suomessa tulee ottaa ilmasto-olosuhteet huomioon prosessin eristystä ja lämmitystä suunniteltaessa. Mahdollisimman tasaisen lämpötilan ylläpitäminen on prosessin kannalta erittäin tärkeää. Hitaat lämpötilan muutokset auttavat mikrobeja sopeutumaan paremmin, jolloin prosessin toiminta pysyy myös tasaisena. [1] [3] [16]

Biokaasuprosessit jaetaan kolmeen eri lämpötila-alueeseen sen perusteella, millä lämpötila-alueella ne tapahtuvat. Alle 25 °C lämpötilassa toimivia prosesseja kutsutaan psykrofiiliseksi, 32–42 °C lämpötilavälillä olevia prosesseja kutsutaan mesofiiliseksi ja 50–60 °C lämpötilavälin prosesseja termofiiliseksi. Useimmat modernit biokaasulaitokset ovat termofiilisiä prosesseja, kun taas maatilojen biokaasulaitoksista useimmat ovat mesofiilisiä prosesseja. Lämpötila vaikuttaa etenkin prosessin nopeuteen, mitä korkeampi lämpötila sitä enemmän laitos tuottaa biokaasua ja samalla laitos myös kuluttaa enemmän syötettä. Korkeampaa lämpötilaa hyödyntävissä laitoksissa energiankulutus on tietenkin suurempaa, mikä johtuu lämpöhävikistä sekä lämmittämiseen kuluva energiasta. Korkeassa lämpötilassa toimivien prosessien lämpötilan vaihtelut ovat myös prosessin toiminnalle huomattavasti haitallisempia, kuin matalammassa lämpötiloissa tapahtuvat vaihtelut. Termofiilisillä prosesseilla on muitakin hyötyjä, kuin vain suurempi tuotettu biokaasumäärä. Näitä ovat esimerkiksi patogeenien tuhoutuminen, metanogeneesisten bakteerien kasvun nopeutuminen ja syötteen parempi hajoaminen sekä ravinteiden liukenemisen parantuminen. [1] [3]

pH vaikuttaa biokaasuprosessin eri vaiheisiin osallistuvien bakteerien kasvuun ja toimintaan. Jotta biokaasuprosessissa voidaan tuottaa metaania, tulee pH:n olla 5,5 - 8,5 välillä. Ideaalin pH arvon on huomattu, kuitenkin olevan 7-8 välillä, jolloin metanogeneesiin osallistuvat mikrobit toimivat parhaiten. Hydrolysoinnista ja happokäynnistä vastaavat mikrobit viihtyvät parhaiten happamissa olosuhteissa

(pH 4,5–6,3). Nämä mikrobit pystyvät toimimaan myös neutraaleissa olosuhteissa, minkä ansiosta metaanintuotannon kannalta tärkeimmille mikrobeille voidaan ylläpitää paremmat olosuhteet. Jos lisätty syötemäärä on liian suuri, reaktorissa happamuus alkaa kasvamaan, sillä mikrobit eivät ehdi kuluttamaan muodostuvia happoja tarpeeksi nopeasti. Tästä johtuen metaania muodostavien mikrobien toiminta heikkenee ja prosessin metaanintuotanto saattaa keskeytyä. Jos mädätysprosessin pH alkaa laskemaan, tulee syötteen lisääminen lopettaa ja antaa prosessille aikaa normalisoitua. Syötteiden puskurointikapasiteetti muodostuu erityisesti nestefaasissa olevien emäksien ja happojen ansiosta. Syötteen puskurointikapasiteetti vaihtelee, kuitenkin käytettävien syötteiden mukaan. Lietelantaa käytettäessä syötteenä, eläinten ravinnon sekä vuodenaikojen on huomattu vaikuttavan puskurointikykyyn. Syötteiden puskurointikapasiteettia on siis vaikea määrittää ja joillakin syötteillä saattaa olla mädätettynä pH-arvoa nostava vaikutus. [1] [3] [16]

Biokaasuprosessissa käytettävän substraatin koostumus on myös tärkeä tekijä optimaalisen biokaasutuotannon saavuttamiseksi. Syötteitä voidaan jakaa niiden kuiva-ainepitoisuuden, metaanintuottopotentiaalain ja hiilen ja typen määrän suhteen mukaan. Hiilen ja typen suhde on tärkeää ottaa huomioon käytettäviä syötteitä suunniteltaessa. Esimerkiksi kasvibiomassa sisältää paljon hiiltä ja kanan- sekä sianlanta sisältää taas runsaasti typpeä. Jos hiiltä on liian paljon verrattuna typen määrään, jää osa syötteen biokaasuntuottopotentiaalista hyödyntämättä. Liian suuri typpipitoisuus taas muodostaa reaktiossa liian paljon ammoniakkia, mikä puolestaan inhiboi reaktion metaanintuotantoa. Hiilen ja typen ideaalin suhteen on todettu olevan 20:1. Syötteen pitäisi siis sisältää noin kaksikymmentä kertaa enemmän hiiltä kuin typpeä. Biokaasulaitos voi toimia myös tämän suhteen ulkopuolella ilman ongelmia (10–30:1). Syötteessä tulee myös olla mukana tarvittava määrä hivenaineita mikrobien aineenvaihdunnan toiminnan kannalta, kuten kobolttia, nikkeliä ja molybdeeniä ja seleeniä. Eläintenlanta sisältää tarpeeksi hivenaineita, jotta niitä ei tarvitse erikseen lisätä. Energiakasveja mädätettäessä hivenaineita on syötteessä vähän, jolloin mädätysreaktoriin lisätään usein metallisuoloja. Rautasuolojen avulla voidaan vähentää rikkivetyä, sillä rauta sitoo rikkiä mutta samalla se sitoo myös fosforia, mikä on kasveille tärkeä ravinne lannoitteessa. [1] [3]

Syöteinä käytettävät materiaalit voivat sisältää kemikaalisia, biologisia tai fysikaalisia kontaminaatiolähteitä. Osa niistä pystyy jo hyvin pieninä pitoisuuksina inhiboimaan prosessia. Kontaminaatiolähteitä ovat esimerkiksi antibiootit, kasvimyrkyt, desinfiointiaineet ja raskasmetallit. Syötteen laadunvalvonta on tärkeää, jotta mädätysjäätännöksen turvallinen käyttö lannoitteena voidaan taata. Turvalliset sekä jatkokäsittelyä vaativat syötteet on määritelty EU:n ja samalla Suomen lainsäädännössä. Teurasjäte on sellainen syöte, mikä vaatii esikäsittelyä ennen sen käyttämistä biokaasulaitoksessa. Biokaasuprosessin mikrobien oman aineenvaihdunnan tuloksena syntyvä ammoniakki, rikkivety ja haihtuvat rasvahapot inhiboivat myös prosessia. [1] [3]

### 3 MAATILAKOON BIOKAASULAITOS

Maatalouden biokaasulaitokset ovat yleensä yhden maatilan karjan- tai sianlantaa käsitteleviä laitoksia. Laitokset saattavat ottaa vastaan säännöllisesti tai epäsäännöllisesti myös muita lähistöllä syntyviä vastaavia syötteitä sekä lisäksi ne voivat käyttää tiloilla syntyvää kasvibiomassaa. Tyypillisesti maatalouden biokaasulaitokset tuottavat sähköä ja/tai lämpöä omaan käyttöönsä ja hyödyntävät käsittelyn mädätteen lannoitteena pelloilla. Tällöin käsittelyjäännöksellä ei ole tuotevaatimuksia, mutta sen käyttöä ohjaavat maatalouden ympäristötukiin liittyvät ehdot. Sivutuoteasetus tai lannoitevalmistelaki eivät aseta toiminnalle vaatimuksia. Liikennekäyttöön biometaania tuottavia maatalouden biokaasulaitoksia on vielä vähän sekä niiden kannattavuudesta on tehty rajallista selvitystä. [10]

Uutta biokaasulaitosta suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota parhaisiin käytettävissä oleviin tekniikkoihin (BAT). BAT käsittää ne alueet, joilla on vaikutusta toiminnan ympäristövaikutuksiin, tekniseen käyttökelpoisuuteen ja taloudellisuuteen. Yksittäisellä biokaasulaitoksella parhaat mahdolliset käyttökelpoiset tekniikat arvioidaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon kunkin toiminnan erityispiirteet. Ympäristövaikutuksia arvioitaessa tarkastellaan ilmaan ja veteen pääseviä päästöjä, jätteiden laatua, määrää ja vaikutusta ympäristöön, raaka-aineiden sekä kemikaalien käyttöä ja varastointia, jätteiden hyötykäyttöä ja energian käytön tehokkuutta. Teknisten ratkaisujen arvioinnissa tärkeimpiä aiheita ovat tuotantomenetelmä, prosessitekniikka, prosessin hallinta, riskien ja onnettomuuksien ehkäisy, henkilöstön koulutus sekä laitoksen sijainti ja ikä. Toiminnan taloudellisuudesta tulee tehdä erillinen arvio, jossa otetaan huomioon tarvittava hankinta investointi, tuotannosta aiheutuvat kulut sekä arvioidut tulot sekä tuet. [10]

#### 3.1 Käytettävät syötteet

Teoriassa kaikki orgaaninen aine on mädätettävissä, mutta on käytännöllisempää mädättää orgaanista ainetta, joka hajoaa helposti luonnossakin. Maatiloilla yleisempiä käytettävissä olevia orgaanisia aineita ovat lanta sekä rehu. Käytettävä lanta on usein peräisin joko karjasta tai sioista ja kasviperäisenä syötteenä käytetään ylijäämärehua sekä muita ylijäämäkasveja. Paljon kuitua sekä ligniiniä sisältäviä aineita, kuten puuta

ja olkea tulee välttää käyttämästä syötteenä, sillä mädätyksestä vastaavat bakteerit eivät pysty hajottamaan niiden rakennetta. [3] [23]

Taulukko 2. Metaanintuottopotentiali eri syötteille [11]

Materiaali	Metaanintuottopotentiali	
	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tonni orgaanista ainetta	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tonni märkápaino
Teurasjäte	570	150
Biojäte	500–600	100–150
Kasvibiomassa	300–450	30–150
Jätevedenpuhdistamon liete	200–400	5–15
Lehmänlanta	100–250	7–14
Sianlanta	300–400	17–22

1 m<sup>3</sup> metaania ~ 1 l öljyä ~ 10 kWh

Sianlannalla on noin kaksinkertainen metaanintuottopotentiali verrattuna karjanlantaan, joten teoriassa on kannattavampaa käyttää sianlantaa biokaasureaktorin syötteenä. Lietelanta sisältää useimmat biokaasuprosessin kannalta tärkeiden mikrobien tarvitsemat ravinteet, sillä on korkea puskurikapasiteetti ja lantaa on saatavilla tasaisesti vuoden ympäri. Lietelannalla on melko pieni kuiva-ainepitoisuus, mikä vaatii suuremman kokoluokan reaktorilavuuden saavuttamaan haluttu metaanintuottotaso. Metaanintuottoa biokaasulaitoksissa, jotka käyttävät lantaa pääsääntöisesti raaka-aineenaan, voidaan lisätä lisäämällä syötteeseen muita orgaanisia aineita, kuten rehua. Kuiva-ainepitoisuus ei kuitenkaan saa nousta liian korkeaksi, jotta syötettä on helpompi käsitellä. Liian kuivat olosuhteet vaikeuttavat mikrobien toimintaa sekä nostavat mahdollisten prosessille haitallisten aineiden, kuten antibioottien ja raskasmetallien pitoisuutta syötteessä. [3] [11]

Taulukko 3. Maatilan biokaasulaitoksen teoreettinen metaanintuotto [23]

	syöte t / vuosi	osuus syötteestä %	VS %	BMP m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / t VS	metaanin- tuotto m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	osuus energiasta %
Lietelanta	4 602	93,8	7,8	200	72 000	81,9
Sonta	159	3,2	12,5	200	4 000	4,5
Säilörehu	148	3,0	23,0	350	11 900	13,5
<b>Yhteensä</b>	<b>4 908</b>				<b>87 900</b>	

VS = volatile solids = orgaaninen aines



Taulukko 3:ssa on laskettu syötteen eri osuuksien metaanintuottopotentiali niiden orgaanisen ainepitoisuuden perusteella. Säilörehun osuus syötteestä oli 3 % mutta sen osuus metaanintuotosta oli 13,5 %. Teoriassa sekoittamalla lietelantaan korkeampaa kuiva-ainepitoisuutta sisältävää syötettä, saadaan merkittävästi kasvatettua metaanintuottopotentialia pitämällä samalla koko syötteen kuiva-ainepitoisuus matalana. Biokaasulaitoksessa voidaan käyttää märkämädätystä, kun syötteen koko kuiva-ainepitoisuus on alle 15 %. Märkämädätystä on huomattavasti helpompi pitää jatkuvatoimisena kuin kuivämädätystä, mikä taas helpottaa biokaasun tasaista tuotantoa. [11] [23]

Rehuna käytetyillä monivuotisilla heinäkasveilla on monia hyviä ominaisuuksia toimia energiakasveina biokaasutuotannossa. Heinäkasveilla on hyvä hajoavuus anaerobisissa olosuhteissa, niitä on helppoa viljellä eivätkä ne ole vaativia kasveja. Varastointi on myös helppoa ja Suomesta löytyy osaamista sekä tarvittavaa laitteistoa niiden kasvattamiseen. Biokaasureaktoreissa käytettävän rehun partikkelikoko pienennetään usein jonkin tyyppisellä silppurilla tai hakkurilla ja se syötetään erillisenä kuivasyötteenä reaktoriin. [11]

### 3.2 Biokaasulaitos

Biokaasulaitos koostuu neljästä prosessivaiheesta esikäsittelystä, mädätyksestä, mädätysjäännöksen käsittelystä sekä biokaasun hyödyntämisestä. Biokaasulaitosta rakennettaessa laitoksen tyyppi ja suunnittelu riippuvat pitkälti käytettävissä olevan syötteen tyypistä sekä volyyymistä. Syötteen volyyymi vaikuttaa bioreaktorin, varastoinnin sekä hyödyntämistekniikoiden kokoon ja valintaan. Syötteen tyyppi ja laatu vaikuttavat puolestaan siihen, minkälaista prosessitekniikkaa käytetään. Jokaiselle eri laitteelle tai laitoksen osalle on olemassa useampia teknisiä ratkaisuja, ja valinta tehdään parhaiten soveltuvimman ratkaisun mukaan. [1]

Biokaasureaktori on tärkeimmässä asemassa koko biokaasuprosessissa. Reaktorin valinta ja operointi riippuu pääosin käytettävästä syötteestä, erityisesti syötteen homogeenisuus ja kuiva-ainepitoisuus vaikuttavat valintaan. Maatilan ulkopuolelta tulevien orgaanisten jätteiden mädätys saattaa vaatia esikäsittelyä, kuten tarvittavien materiaalien hygienisointia sekä partikkelikoon pienentämistä. Reaktori on usein muodoltaan sylinterimäinen teräksestä tai teräsbetonista rakennettu säiliö, joka on peitetty kahdella tiiviillä kalvolla. Alemman kalvon alle oleva tila toimii kaasuvälikamiona,

josta biokaasu myös kerätään talteen. Ylempi kalvo toimii puolestaan sääsuojana, joka pidetään kuperana paineilman avulla. Suomen olosuhteissa kalvojen välisen tilan lisäeristäminen on tarpeen ja reaktorin yleisesti hyvä eristäminen sekä lämmitys pitää varmistaa. Reaktorissa syötteen mädättämiseksi mikrobien tulee päästä kosketuksiin mädätettävän aineen kanssa. Syötettä sekoittamalla saadaan varmistettua lämmön ja ravinteiden tasainen jakaantuminen, kaasukuplien vapaa kulkeutuminen pinnalle sekä estetään kerrostumien muodostuminen, eli metaanintuotantoa saadaan tehostettua. Sekoitus ei saa kuitenkaan olla liian nopeaa, sillä sen on huomattu vaikuttavan negatiivisesti metaanintuotantoon. Sekoittumisella ehkäistään myös reaktorin pohjalle muodostuvia saostumia, jotka vähentävät reaktorin aktiivista tilavuutta. [3] [11]

Biokaasureaktori on yleensä täyssekoitteinen, mikä tarkoittaa sitä, että on mahdotonta tietää kuinka kauan yksittäinen molekyyli on viipynyt reaktorissa. Viipymäajalla tarkoitetaan siis sitä keskimääräistä aikaa, minkä syöte viipyy reaktorissa. Biokaasulaitosta suunniteltaessa on tehtävä kompromissi syötteen täydellisen mädättämisen suhteen, sillä se vaatii pitkää viipymäaika, mikä puolestaan merkitsee suurempaa reaktoritilavuutta ja näin nostaa investointikuluja. Viipymäaika lasketaan jakamalla biokaasureaktorin nestetilavuus päivittäisen syötön määrällä. Jatkuvasyötteisessä reaktorissa viipymäajan tulee olla pidempi kuin biokaasun muodostumisen kannalta tärkeiden mikrobien jakaantumisaika, jotta mikrobit eivät huuhtoudu käsittelyjäänteiden mukana ulos reaktorista. Minimiviipymäaika riippuu syötteen koostumuksesta sekä lämpötilasta missä mädätysreaktio tapahtuu. Viipymäaika voidaan säädellä syötteen määrällä, jos ennen toiminnan aloitusta suunniteltu syötön määrä osoittautuu liian suureksi tai pieneksi. [3] [11]

Reaktorin kuormitus saadaan laskettua, kun jaetaan reaktoriin syötetyn orgaanisen aineen määrä reaktorin tilavuudella. Syötteen kuiva-ainepitoisuudesta osa on orgaanista ainetta ja osa koostuu muusta kuiva-aineesta, mikä tulee ottaa huomioon kuormitusta laskettaessa. Syöte on taas tärkeässä asemassa, sillä sen kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuus määrää reaktorin maksimikuormituksen. Lietelannan sekä muun orgaanisen jätteen sekoituksella kuormitus on noin 2-4 kgVS/m<sup>3</sup>d kohti. Kuormituksen säätely on myös tärkeä keino operoida sekä valvoa reaktorin toimintaa. Jos kuormitus on reaktorissa liian suuri, muodostuu reaktoriin liian paljon mädätyksen välituotteita, jotka alkavat inhiboimaan metaanin muodostumista. [3] [11]

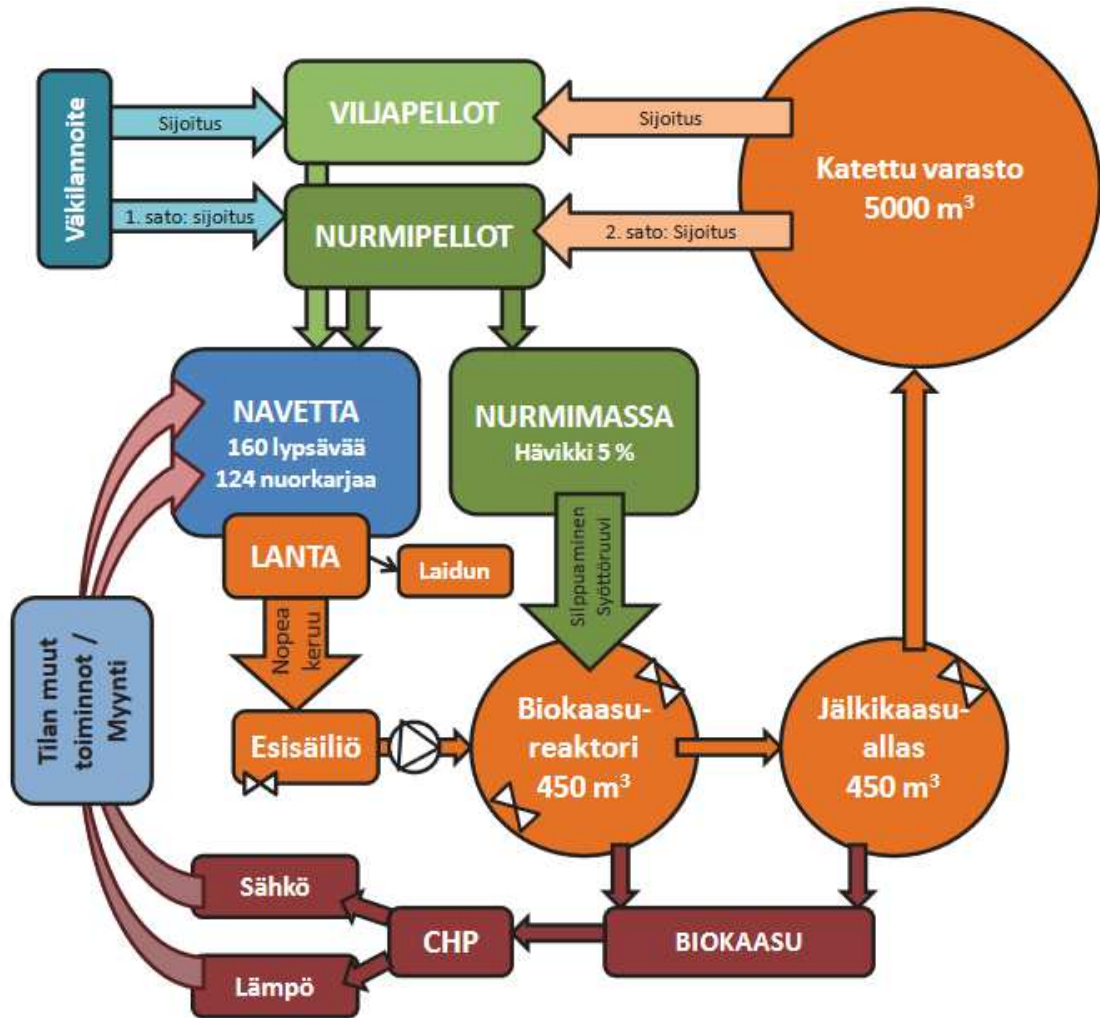
Koska reaktorista poistuvalla mädätysjäännöksellä on vielä jäljellä metaanintuottopotentialia, ohjataan se tiiviiseen jälkikaasualtaaseen, jossa on usein

sekoitus mutta ei aktiivista lämmitystä. Jälkikaasualtaassa muodostuva biokaasu kerätään talteen ja se syötetään samaan biokaasusäiliöön kuin pääreaktorissa tuotettu kaasu. Mädätysjäännös siirtyy painovoiman avulla varastoon, mistä sitä voidaan käyttää lannoitteena. [3]

Biokaasulaitoksen toimivuuden kannalta on tärkeää seurata tuotetun biokaasun määrää kuutioissa sekä kaasun metaanipitoisuutta. Jos metaanipitoisuuden huomataan laskevan, on prosessissa jotain vikaa ja mahdolliset puutteet tulee korjata mahdollisimman pian. Prosessissa seurataan myös muita parametrejä, kuten mädätysjäännöksen pH:ta, syötteen ja mädätysjäännöksen kuiva-aineiden sekä orgaanisten aineiden pitoisuuksia, lämpötilaa ja typpipitoisuutta. [11]

Mädätysjäännöksellä on huomattavia etuja verrattuna käsittelemättömän lannan käyttämiseen pelloilla lannoitteena. Lannan hajotessa suurin osa sen sisältämästä typestä muuttuu ammoniumtypeksi, mikä kasvien on helpompi käyttää ravinteenaan. Mädätetyssä lannassa olevan typen huuhtoutuminen viljelysmaasta vähenee verrattuna käsittelemättömään lantaan. Lannan hajuhaitat vähenevät mädätyksen jälkeen, sillä hajua aiheuttavat orgaaniset yhdisteet hajoavat mädätyksessä. Mädätysjäännös voidaan levittää pelloille samalla tekniikalla kuin käsittelemätön lanta. [3]

Alemmassa kuvassa on esitelty kuvitteellinen maatilan biokaasulaitos, joka hyödyntää tuotettavaa biokaasua CHP:n avulla tuottamaan sähköä ja lämpöä. CHP:llä tarkoitetaan combined heat and power turbiinin hyödyntämistä tuottamaan lämpöä sekä sähköä samanaikaisesti. Syötteenä laitoksessa käytetään lietelannan sekä nurmipelloilta saatavan kasvibiomassan yhdistelmää, josta kasvibiomassan osuus koko syötteestä on 3 %. Lanta kerätään esisäiliöön mahdollisimman nopeasti, missä se sekoitetaan tasalaatuiseksi ennen sen pumppausta reaktoriin. Silputtu kasvibiomassa syötetään reaktoriin syöttöruuvin avulla, joka on asennettu reaktorin yhteyteen. [23]



Kuva 2. Esimerkki maatilán biokaasuprosessin koostumuksesta [23]

### 3.3 Biokaasulaitokseen tarvittavat luvat

Ennen biokaasulaitoksen perustamista ja rakentamisen aloittamista täytyy eri toimintalupien olla kunnossa. Laitoksen koko ja prosessissa käytettävät syötteet vaikuttavat eniten siihen, mistä luvista tulee jättää hakemus sekä mistä lupien myöntämisedellytyksistä muodostuu tiukempia.

Ympäristölupa on tästä hyvä esimerkki, sillä jos biokaasulaitoksessa käytetään muuta syötettä kuin lantaa tai sen tuottama polttoaineteho on yli 5 megawattia, täytyy laitokselle hankkia erillinen ympäristölupa eläinsuojan ympäristöluvan lisäksi. Jos laitoksessa käsitellään vuodessa yli 20 000 tonnia jätettä, täytyy sille suorittaa ympäristövaikutusten arviointimenettely, joka saattaa kestää jopa vuoden. [5] [6]

Rakennettavalle biokaasulaitokselle haetaan myös maankäyttö- ja rakennuslain mukainen rakennuslupa, jota haetaan kunnalta ja sen liitteenä tulee olla laitoksen rakennepiirustukset. Laitoksen valmistuttua ja ennen sen käyttöönottoa tulee suorittaa loppukatselmus. [5] [6]

Elinkeinoilmoitus tehdään siinä tapauksessa, jos laitoksessa käsitellään tilan ulkopuolisia maataloudessa syntyviä jätteitä, ympäristölupaa vaativasta toiminnasta syntyviä jätteitä, yhdyskuntajätevesilietettä, teollisuuden lietteitä tai vastaavia ulkopuolisia jätteitä. Jos mädätysjäätös myydään markkinoilla lannoituskäyttöön, tulee se myös osaksi elinkeinoilmoitusta. Ilmoitusta ei tarvitse tehdä, jos käsittelemätöntä tai käsiteltyä lantaa siirretään tilalta toiselle. [5] [6]

Laitoshyväksyntää tulee hakea usein elinkeinoilmoituksen kanssa, sillä se sisältää samoja vaatimuksia jätteiden käsittelystä sekä mädätysjäätöksen myymisestä lannoitteena tai sen käyttämisessä lannoitteen valmistuksessa. Mikäli syötteenä käytetään tilalla syntyvää lantaa sekä peltobiomassaa ja mädätysjäätös menee tilan omaan käyttöön, ei elinkeinoilmoitusta tai laitoshyväksyntää tarvitse tehdä. Elinkeinoilmoitus sekä laitoshyväksyntä haetaan molemmat Eviralta. [5]

Räjähdyssuojausasiakirja laaditaan sellaisissa kohteissa, missä työntekijät ovat alttiina mahdolliselle räjähdysvaaralle. Biokaasulaitoksella tuotettava metaani on erittäin helposti syttyvää kaasua. Kun biokaasua kertyy tarpeeksi suljettuun tilaan ja lämpötila on sopiva, voi kaasuseos syttyä kipinän vaikutuksesta ja räjähtää. Biokaasulaitokselle on siis tehtävä räjähdysuojausasiakirja työntekijöiden turvallisuuden takaamiseksi. Siinä tulee antaa yleiskuva laitoksen suojaustoimenpiteistä ja vaaran sekä riskien arvioinnin tulokset. [5] [6]

Biokaasulaitokselle tulee myös laatia pelastussuunnitelma, jos sitä ei ole olemassa tai sitä tulee täydentää, jos se on laadittu vain eläinsuojalle. Pelastussuunnitelma tulee olla olemassa mahdollisten tukien saamiseksi uudistusrakennushankkeissa ja niihin verrattavissa peruskorjauksissa. [5]

Biokaasulaitoksen koosta sekä muista tilalla käytettävistä vaarallisista kemikaaleista riippuen tulee tehdä ilmoitus pelastusviranomaisille. Biokaasu on määritelty erittäin helposti syttyväksi kaasuksi, joten sillä on melko tiukat rajat ilmoittamisvaatimusten suhteen. Jos biokaasulaitoksessa on jollakin hetkellä yli tuhat kiloa kaasua, tulee laitoksesta tehdä ilmoitus pelastusviranomaisille. Kaasun määrän ylittäessä viisi tuhatta kiloa tarvitaan laitokselle vaarallisten kemikaalien laajamittaisen teollisuuskäsittelyn ja

varastoinnin lupa. Pelastusviranomaisen tulee suorittaa laitoksen tarkastus kolmen kuukauden kuluessa toiminnan aloittamisesta. [5]

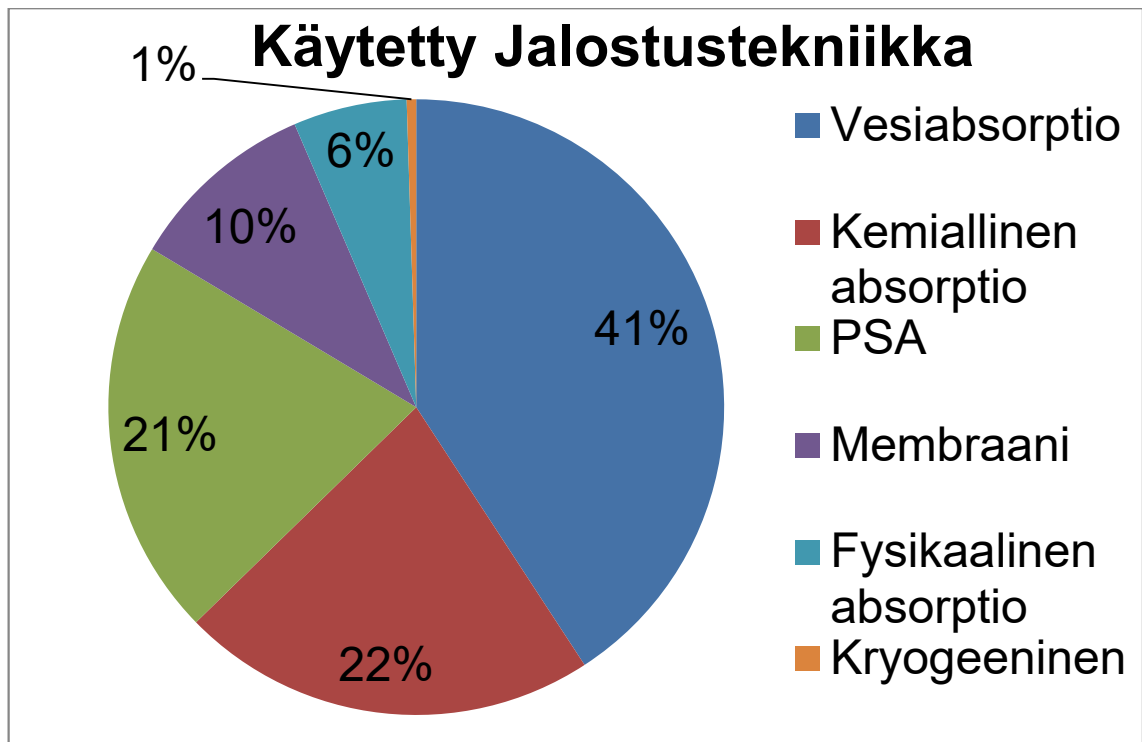
### 3.4 Investointituet

Maatilakoon biokaasulaitokseen on tällä hetkellä mahdollista saada käytettäväksi kolme eri perustein myönnettävää investointitukea. Kaikkia vaihtoehtoja ei ole kuitenkaan mahdollista saada samaan aikaan ja tukien myöntäminen riippuu pitkälti siitä, mihin tuotettua biokaasua käytetään. Biokaasutukia voi suomessa saada energiainstituutiolta syöttötariffin muodossa, työ- ja elinkeinoministeriöltä investointitukena sekä maa ja- metsätalousministeriöltä maatalon rakennusinvestointitukena. [24]

Biokaasua hyödynnettäessä liikennekäyttöön on mahdollisesti ainoa käytettävissä oleva investointituki työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä investointituki eli energiatuki. Sitä ei kuitenkaan myönnetä mautiloilla rakennettaviin biokaasulaitoksiin tai näihin liittyville laitoksille. Maatalon biokaasulaitokset joiden tavoite on tuottaa ja samalla myydä biokaasua liikennekäyttöön, jäävät siis investointitukien ulkopuolelle. Mautilojen biokaasulaitoksilla ei siis välttämättä ole keinoja kannattavasti ylläpitää toimintaa, jossa biokaasua myydään liikennekäyttöön. Energiatukea myönnetään biokaasulaitoksille kattamaan 20-40 % investointikuluista, joihin lasketaan biokaasureaktori, biokaasukattila, moottori tai turbiini, jotka tuottavat lämpöä tai alle 100 kW:n verran sähköä sekä biokaasun liikennekäyttöön tuottamiseksi tarvittava laitteisto. [20] [24]

## 4 BIOKAASUN LIIKENNEKÄYTTÖÖN JALOSTAMINEN

Kuten opinnäytetyössä on aiemmin mainittu, ennen kuin biokaasua voidaan hyödyntää liikennekäytössä, tulee siitä erottaa epäpuhtaudet ja rikastaa kaasu biometaaniksi, jonka metaanipitoisuus on  $\geq 95$  %. Metaanipitoisuuden rikastamisen jälkeen kaasu paineistetaan, jotta sen tarvitsema säilytystila saadaan pienemmäksi. Käytettävissä on useita eri kaupallisia tekniikoita biokaasun jalostamiseksi. Tässä opinnäytetyössä perehdytään yleisimpiin käytössä oleviin tekniikoihin, mutta täytyy kuitenkin muistaa, että jokaiselle biokaasun jalostusta suunnittelevalle biokaasulaitokselle tulee selvittää paras kyseiselle laitokselle sopiva ratkaisu.



Kuva 3. Euroopassa käytettyjen jalostustekniikoiden osuudet vuonna 2014 [18]

### 4.1 Biokaasun puhdistaminen

Metaanin sekä hiilidioksidin lisäksi biokaasu voi sisältää vettä, rikkivetyä, typpeä, happea, ammoniakkia, siloksaaneja, halogenoituja hiilivetyjä sekä pienhiukkasia. Näiden epäpuhtauksien määrä riippuu, siitä minkälaista syötettä biokaasun tuotannossa on käytetty. Jotkin jalostustekniikat, kuten vesiabsorptio puhdistavat

kaasusta myös rikkivetyä hiilidioksidin lisäksi, mutta toiset jalostustekniikat taas eivät pysty siihen. Käytettävän jalostustekniikan mukaan tulee siis ottaa huomioon, millä tavoin kaasu tulee puhdistaa ennen sen jalostamista. Biokaasua puhdistetaan epäpuhtauksista, jotta kaasulle saataisiin korkeampi lämpöarvo sekä että epäpuhtaudet eivät aiheuttaisi kulumista tai muita vahinkoja myöhemmin prosessissa käytettävissä laitteissa ja lopputuotteen käytössä, kuten ajoneuvojen polttomoottoreissa. Esimerkiksi happea ei saa päätyä kaasun mukana ajoneuvojen polttomoottoreihin. Maatilojen biokaasulaitoksissa käytettävistä syötteistä ei yleensä muodostu siloksaaneja tai rikkivetyä, mutta muiden epäpuhtauksien syntyminen on mahdollista. [13] [22]

#### 4.2 Vesiabsorptio

Vesiabsorptiossa paineistettua vettä sekä lämpötilan muutoksia käytetään absorboimaan biokaasusta hiilidioksidia, ammoniakkia sekä rikkivetyä pienissä määrissä. Hiilidioksidilla on huomattavasti suurempi liukoisuus veteen kuin metaanilla etenkin alhaisissa lämpötiloissa. Vesi sekä pienhiukkaset tulee erottaa kaasusta ennen kuin vesiabsorptiota käytetään. Kaasu voidaan kierrättää absorptiopylvään läpi useamman kerran. Biokaasu pumpataan pylvään alaosaan ja vesi puolestaan pumpataan sen yläosaan, mikä saa aikaiseksi vasta-virtauksen ja näin parantaa absorption tehokkuutta. Pylväs on pakattu materiaalilla, jonka tehtävä on kasvattaa pinta-alaa minkä välityksellä biokaasu ja vesi ovat vuorovaikutuksessa. Vesi pumpataan pylvään läpi kulkeutumisen jälkeen säiliöön, jossa paineen muutos saa veteen absorboituneet kaasut vapautumaan ja näin vapautuneet kaasut voidaan syöttää absorptiopylvään läpi uudelleen. Vesi voidaan uudelleen kierrättää regeneroimalla se desorptiopylväessä, jolloin siihen lienneet kaasut saadaan siirtymään pylväaseen pumpattavaan ilmaan. Vesiabsorptio on yleisin käytössä oleva jalostustekniikka, minkä ansiosta useita kaupallisia laitteita on saatavilla eri kapasiteeteilla usealta toimittajalta. [13] [22]

#### 4.3 Kemiallinen absorptio

Kemiallisessa absorptiossa lämpötilaa sekä painetta säätelemällä saadaan ei-toivottuja kaasuja absorboitumaan jalostustekniikassa käytettyyn kemikaaliin. Koska hiilidioksidi



reagoi kemiallisesti käytettävän absorptiokemikaalin kanssa, saadaan metaani kerättyä melkein täysin talteen. Koska käytettävä kemikaali, joka on usein joko etanoliamiinia tai dimetyylietanoliamiinia, on kallista, se regeneroidaan aina käytön jälkeen lämmittämällä. Osa kemikaalista haihtuu prosessin aikana, joten se korvataan uudella. Jos syötekaasussa on mukana rikkivetyä, se absorboituu käytettävään kemikaaliin vahvemmin, kuin hiilidioksidi mikä puolestaan vaatii korkeamman lämpötilan käyttöä regeneroinnissa. Tästä syystä rikkivety on hyvä puhdistaa ennen kemiallisen absorption käyttämistä. [13] [22]

#### 4.4 Paineenvaihteluadsorptio (PSA)

Paineenvaihteluadsorptiota käyttävät jalostustekniikat perustuvat kaasujen ominaisuuteen läpäistä tiettyä materiaalia paineistettuna ja näin erottaa toisistaan eri läpäisykyvyn omaavia kaasuja tai nesteitä. PSA:ta käytettäessä biokaasu tulee puhdistaa rikkivedystä ennen sen käyttöä toisin kuin vesiabsorptiossa. Adsorptiopylväissä käytettävää adsorptiomateriaali regeneroidaan laskemalla pylväessä olevaa painetta asteittain jolloin se vapauttaa adsorboimansa kaasut asteittain. PSA-tekniikkaa käyttävissä jalostuslaitteistoissa on tavallisesti neljä, kuusi tai yhdeksän rinnakkaista adsorptiopylvästä. Kun yhdessä pylväessä oleva adsorptiomateriaali on kyllästynyt, siirtyy kaasuvirtaus seuraavaan pylväeseen, jossa on regeneroitunutta adsorptiomateriaalia. Regeneroinnissa vapautuva kaasu voidaan palauttaa syötteeseen, jos se sisältää metaania, jota on mahdollisesti myös adsorboitunut materiaaliin. Rikkivety adsorboituu PSA:ssa käytettävään adsorptiomateriaaliin niin hyvin, että sitä ei saada regeneroitua materiaalista. Tämän takia rikkivety tulee poistaa biokaasusta ennen PSA:n käyttöä. Myös vesi vahingoittaa adsorptiomateriaalin rakennetta, joten se tulee poistaa syötekaasusta. [13] [22]

#### 4.5 Membraanisuodataus

Membrania hyödyntävää jalostustekniikkaa voidaan käyttää joko kuivissa tai kosteissa olosuhteissa riippuen siitä, mitä kaasua erotetaan. Biokaasussa olevaa metaania jalostettaessa käytetään kuivia membraaneja, jotka on tehty materiaalista jota hiilidioksidi, vesi ja ammoniakki läpäisevät. Rikkivety ja happi pystyvät läpäisemään membraanin jossakin määrin, kun taas metaani sekä typpi eivät juuri läpäise sitä.

Diffuusionopeus riippuu osapaineesta, käytettävän membraanin paksuudesta sekä erotettavan kaasun liukoisuudesta. Yleensä membraanit on tehty ohuista sekä ontoista säikeistä, jotka on paketoitu tiivisti yhteen. Ennen kuin kaasu syötetään membraanin läpi, se on puhdistettu rikkivedystä ja siitä suodatetaan vesi sekä muut aerosolit parantamaan membraanin suorituskykyä. Kun membraanisuodatusta on käytetty suuressa paineessa, on sen huomattu aiheuttavan metaanin saannon laskemista. Tästä syystä uudemmissa tekniikoissa on käytetty pienempää painetta, kuten 8 bar:a. [13] [22]

#### 4.6 Fysikaalinen absorptio

Fysikaalinen absorptio toimii samalla periaatteella kuin vesiabsorptio sillä erotuksella, että veden sijasta absorbointimateriaalina toimii orgaaninen liuotin. Orgaanisena liuottimena käytetään usein polyetyleeniglykolia mihin hiilidioksidi liukenee paremmin kuin veteen. Pienemmän koon orgaanista liuotinta käyttävillä jalostuslaitteilla saadaan yhtä hyviä puhdistustuloksia, kuin suuremman koko luokan vesiabsorptio laitteistoilla tiettyyn rajaan asti. Polyetyleeniglykoliliuoksen regeneroimiseksi käytetään lämmitystä sekä paineen laskemista. Rikkivetyä, vettä, happea sekä typpeä voidaan myös erottaa hiilidioksidin kanssa, mutta suorituskyvyn kannalta on ne hyvä puhdistaa ennen jalostusta. [13] [22]

#### 4.7 Kryogeeninen jalostus

Kryogeenisessä jalostuksessa käytetään hyödyksi kaasujen eri kiehumis- sekä sublimaatiopisteitä etenkin metaanin ja hiilidioksidin erottamisessa. Biokaasun lämpötilaa lasketaan niin, että hiilidioksidi alkaa nesteytyä metaanin jäädessä kaasufaasiin. Vesi sekä siloksaanit poistuvat myös lämpötilaa laskettaessa. Koska biokaasu on kaasuseos, hiilidioksidi ei nesteydy sen normaalissa sublimaatiopisteessä vaan tarvitaan alempia lämpötiloja tai korkeampaa painetta. Lämpötilan laskeminen tehdään usein useassa vaiheessa eri kaasujen erottamiseksi sekä optimoimaan energian talteenottoa. [13] [22]

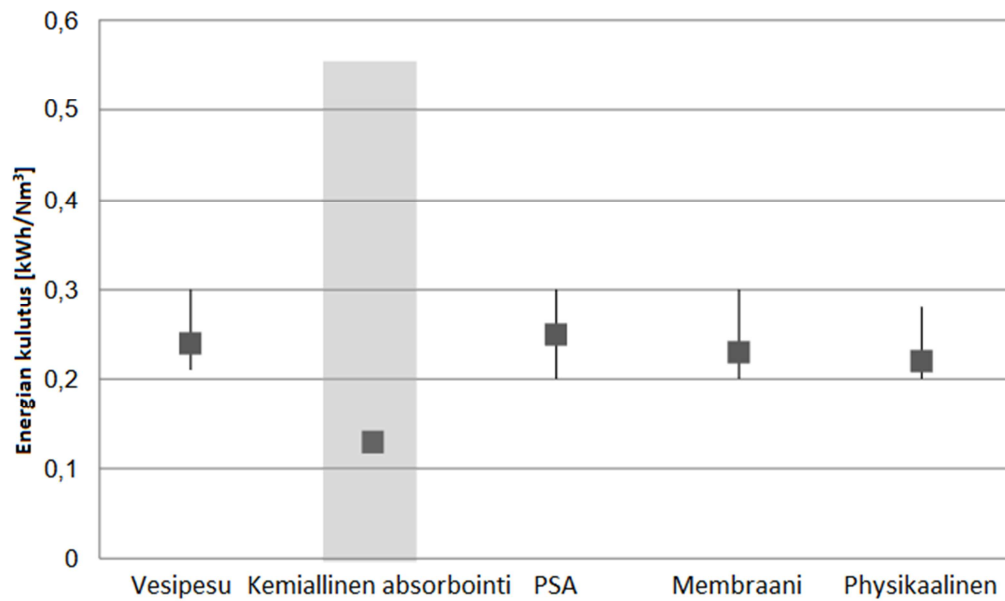
#### 4.8 Kustannusvertailu

Taloudellinen kannattavuus on teollisuudessa tärkeimpiä ajavia voimia ja yrityksen toiminnan jatkuvuuden kannalta on elintärkeää, että yritys tuottaa toiminnallaan voittoa. Biokaasun jalostuksen hintaan eniten vaikuttava tekijä on jalostukseen käytettävän laitteiston mittakaava. Muut tekijät, kuten käytetty jalostustekniikka, vaikuttavat myös kannattavuuteen, mutta selkeästi tärkein tekijä on jalostuslaitteiston puhdistuskapasiteetti. Investointikustannukset jalostuslaitokselle, jonka kapasiteetti on 500 Nm<sup>3</sup> biokaasua/h ovat keskiarvolta noin miljoonan euron luokkaa ja 2000 Nm<sup>3</sup>/h laitokselle ne ovat kolmen miljoonan euron luokkaa. Pienemmän kapasiteetin laitokselle, kuten 10 Nm<sup>3</sup>/h laitokselle investointikustannukset alkavat noin sadastatuhannesta eurosta ja 100 Nm<sup>3</sup>/h laitokselle ne ovat noin kolmensadantuhannen euron luokkaa. 500 Nm<sup>3</sup>/h laitokselle kaasun puhdistuksen hinta on keskiarvolta noin 2,3 €/Nm<sup>3</sup> ja 2000 Nm<sup>3</sup>/h laitokselle se on noin 1,5 €/Nm<sup>3</sup>. Osa luvuista perustuvat vuoden 2009 tilastoihin, joten ne ovat todennäköisesti vanhentuneet ja tekniikoiden kehittyessä sekä yleistyessä hinnat yleensä laskevat. Niistä nähdään kuitenkin yleinen trendi eli, isojen jalostuslaitoksien käyttökustannukset ovat halvempia kuin pienempien, mutta alkuinvestointi on suurempi. [12] [22]

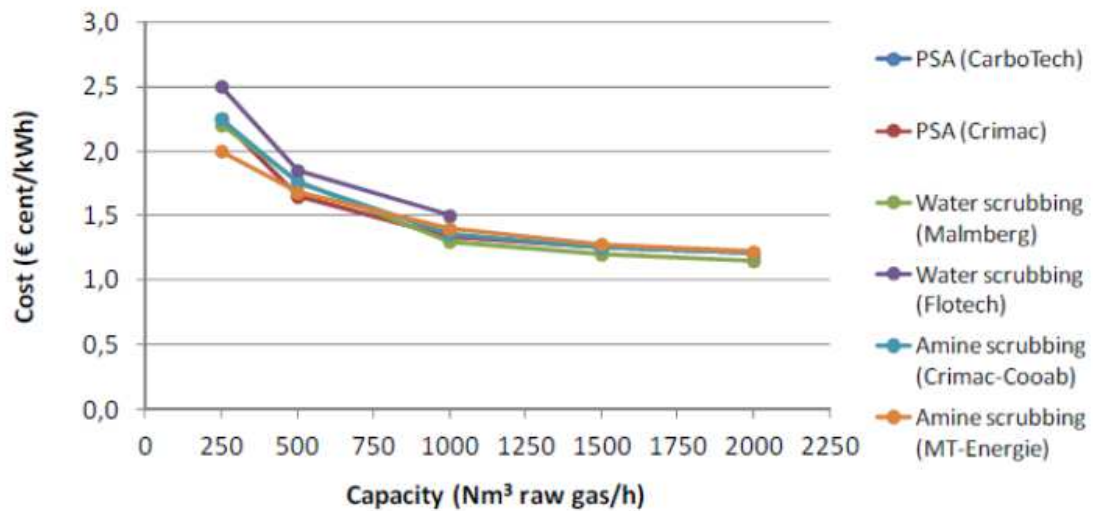
Biokaasun jalostuksen käyttökustannukset koostuvat pitkälti kolmesta tekijästä; vedestä, sähköstä sekä käytettävistä kemikaaleista. Kemiallisessa absorboinnissa kuluihin kuuluu myös lämmitys, jota käytetään regeneroimaan absorbointiin käytettävää kemikaaliliuosta. [19]

Taulukosta 4 nähdään, että sähkönkulutuksessa ei viiden eri yleisimmän jalostustekniikan välillä ole suuria eroja ja erot samoja tekniikoita vertailtaessa johtuvat pääosin eri kokoisten laitosten sähkönkulutuksesta. Kemiallinen absorbointi on sähkönkulutuksen kannalta edullisin jalostustekniikka, mutta pitää muistaa, että kyseisellä tekniikalla on lämmitysvaatimus mitä taulukko 4:n harmaa tausta kuvaa. [19]

Taulukko 4. Viiden yleisimmän jalostustekniikan energian kulutus asteikkona [19]



Kuvasta 4 nähdään biokaasun jalostuksen hinta kWh:a kohti verrattuna laitoksen kaasun puhdistuskapasiteettiin tunnin aikana. Vertailussa käytettiin kolmea jalostustekniikkaa, joista kustakin valittiin kahden eri kaupallisen valmistajan tarjoamaa vaihtoehtoa vertailuun. Suurempaan kapasiteettiin siirryttäessä jalostustekniikoiden ja valmistajien väliset hintaerot alkavat pieneneään, sekä puhdistetun kaasun hinta kWh:a kohti laskee. Kokonaiskustannusten kannalta on parasta, jos biokaasua tuotetaan tarpeeksi, jotta suuremman kapasiteetin laitteistoon kannattaa investoida. Kustannukset ovat isommilla laitoksilla pieniä laitoksia suuremmat jalostettavan kaasun määrän takia, mutta jalostuksen kustannushinnan hyöty on parempi. [13]



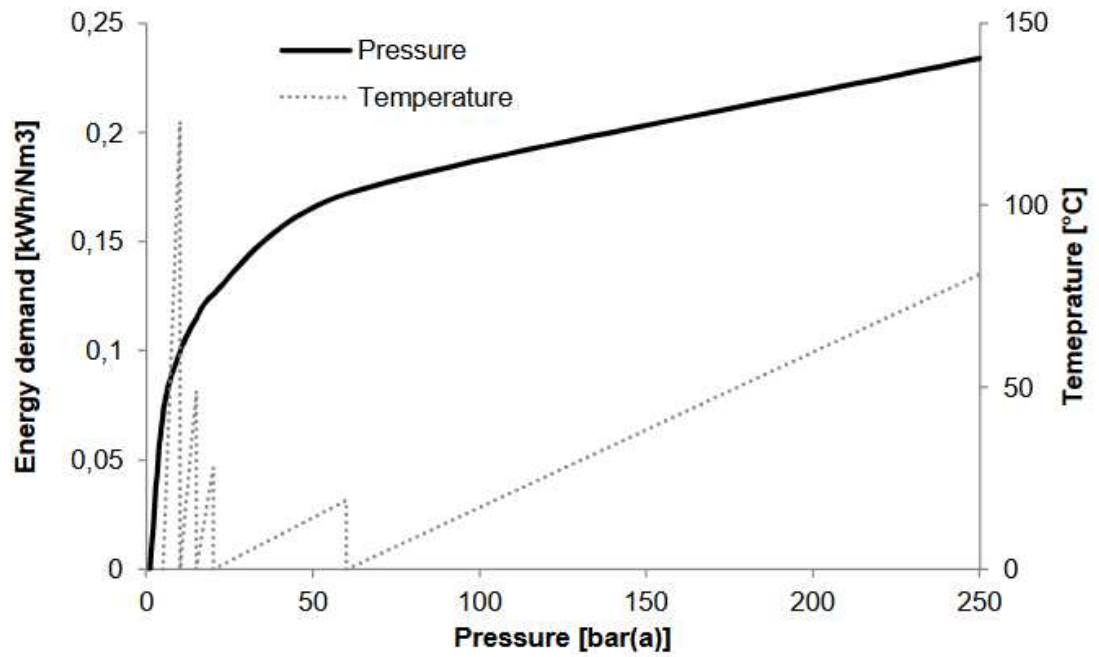
Kuva 4. Biokaasun jalostuksen hinta verrattuna laitoksen kapasiteettiin [13]

#### 4.9 Puhdistetun kaasun paineistus

Puhdistettua biometaania voidaan hyödyntää eri menetelmissä, jotka vaativat kaasun paineistamista. Liikennekäytössä hyödynnettävä biometaani tulee paineistaa 200 bar:iin tai korkeammaksi, riippuen siitä mihin ajoneuvoon sitä tankataan. Jalostustekniikat toimivat eri paineissa, joten suoraa vertailua paineistuksen energiankulutuksen välillä on vaikea tehdä. Paineistettaessa kaasua 1 bar:sta 10 baariin kuluu yhtä paljon energiaa kuin paineistettaessa kaasua 10 bar:sta 100 baariin. Energiantarve kaasun paineistuksessa riippuu paineistettavan kaasun määrästä, kompressoriin syötettävän kaasun lämpötilasta, kaasun lämpökapasiteettien suhteesta, tulo- ja poistoventtiilin paineesta sekä kompressorin tehokkuudesta. Lämpökapasiteetit ( $c_p/c_v$ ) ovat Metaanilla ( $c_p/c_v = 1,307$ ) ja hiilidioksidilla ( $c_p/c_v = 1,304$ ) lähellä toisiaan. Biometaani koostuu pitkälti metaanista ( $\geq 95\%$ ), joten lämpökapasiteettien suhde ei vaikuta merkittävästi paineistukseen tarvittavan energian määrään. Kompressorin tehokkuus on yleensä melko tasainen eri kuormituksissa sekä vaihtelut tuloventtiilin paineessa ja lämpötilassa ovat usein pieniä, joten ne eivät vaikuta paineistuksen energiankulutukseen merkittävästi. [19]

Kuvasta 4 nähdään, kuinka paineistuksen energiankulutus vaihtelee eri paineiden välillä. Kompressoriin syötetyn kaasun lämpötila on 0 °C, mikä vaihtelee paineistuksen aikana. Kuviosta nähdään myös, että paineistuksen suurin energiankulutus on

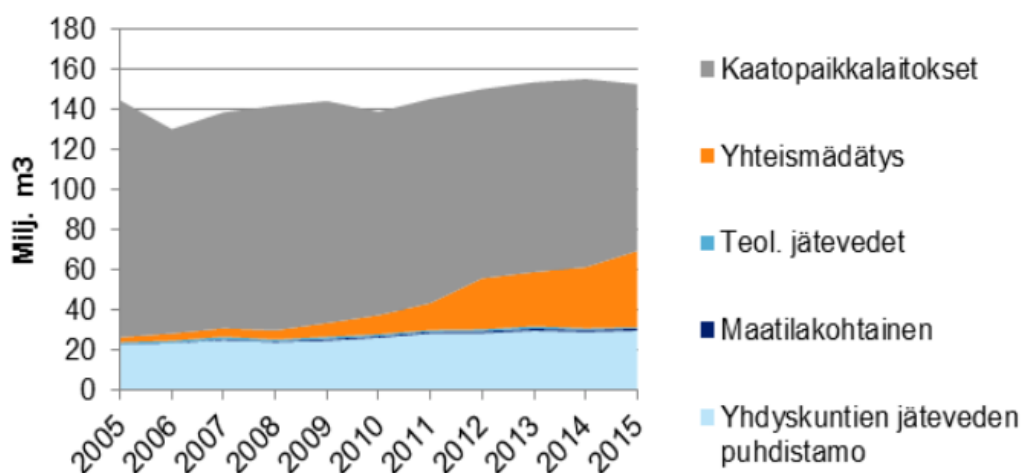
siirtyminen 1 bar:sta 10 bar:iin ja 50 bar:iin paineen saavuttamisen jälkeen energiankulutus tasoittuu. [19]



Kuva 5. Biometaanin paineistuksen energiankulutus [19]

## 5 BIOKAASUN LIIKENNEKÄYTTÖ SUOMESSA

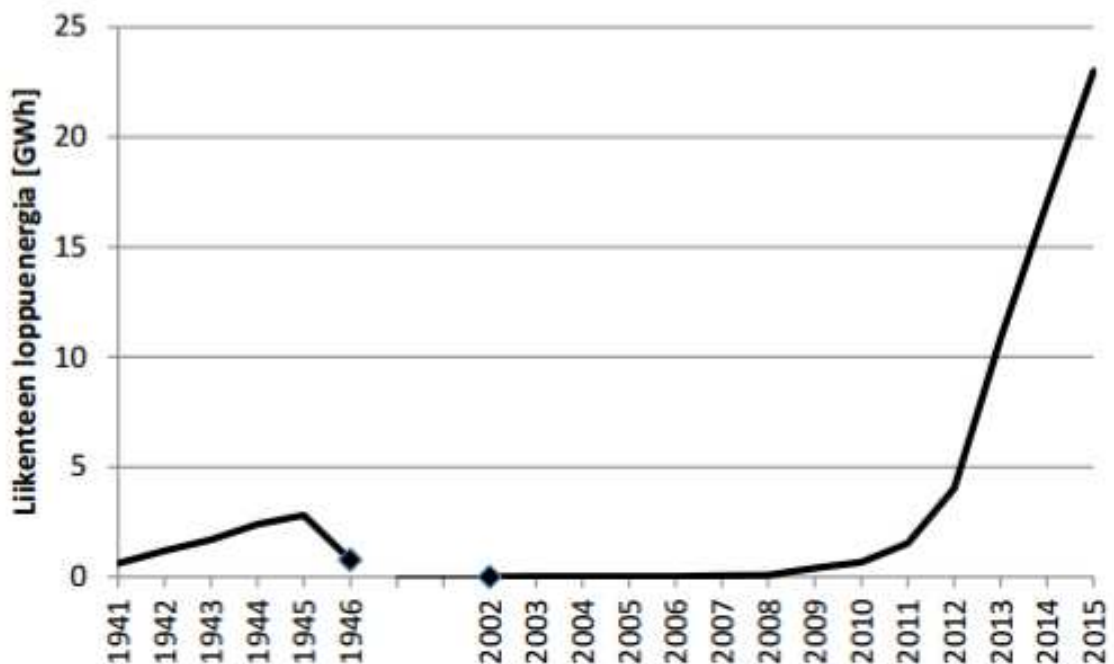
Suomessa liikennekäyttöön tuotettavan biokaasun tuotanto on kasvanut viime vuosina, mutta muihin polttoaineisiin verrattuna sen tuotanto on vielä vähäistä. Vuonna 2015 liikennekäyttöön tuotettu biokaasu vastasi energiasisällöltään noin 4 % kaikesta biokaasun tuotannosta Suomessa (Kuva 6). Vuonna 2030 maatalojen teoreettinen tuotantopotentiaali on 5,6 TWh:a vuodessa, jos kaikki käytössä oleva lanta kaasutetaan ja lisäsyötteenä käytetään 10 % nurmirehua. Teknistaloudellisessa tarkastelussa vastaava luku on kuitenkin 2,4 TWh:a vuodessa, kun syötteenä käytetään lantaa sekä nurmea. Tarkastelussa on otettu huomioon todennäköinen lannan saatavuus sekä nurmen keskimääräiset vuosittaiset ylimäärä- ja sivuvirtaosuudet sadosta. Maatiloilla on paljon biokaasun tuotantoon soveltuvia biomassoja, mutta kustannusvertailujen jälkeen niiden on todettu olevan kannattamattomia biokaasun tuotannossa. Yksittäisten maatilojen yhteydessä toimivia biokaasulaitoksia ei ole vielä kovin montaa, sillä kalliille laitoksille ei ole löytynyt kannattavaa konseptia. Yhteislaitokset, missä käsitellään monelta maatilalta saatavia biomassoja, ovat osoittautuneet tärkeäksi kasvusuunnaksi. Etenkin pienten ja keskiuurten maatilojen biomassojen käsittelyn yhdistäminen nähdään toimivana konseptina. Yhteislaitosten etuihin kuuluvat esimerkiksi riskien jakaminen ja turvatumpi raaka-aineiden saanti. Kuviosta 4 nähdään biokaasun tuotannon osuus Suomessa kullekin laitostyypille. Yhteismädätyslaitosten kehitys on selvästi näkyvillä ja niiden osuus on alkanut korvaamaan kaatopaikkojen yhteydessä toimivien laitoksien tuotantoa. [7]



Kuva 6. Suomessa tuotettu biokaasu laitostyypeittäin [7]

Paineistetun kaasun tankkausasemia oli vuoden 2016 lopulla 24 kappaletta, jotka olivat Gasumin omistuksessa ja mistä suurin osa oli liitettyä maakaasuverkkoon. Näiltä kaikilta tankkausasemilta on saatavilla biometaania polttoaineeksi. Tankkausasemien määrää suunnitellaan lisättäväksi vuoteen 2020 mennessä 55:en asemaan. Liikennekaasun jakeluverkkoa voidaan täydentää maatalojen, biokaasulaitosten tai valtaväylien yhteyteen perustettavilla kevyillä jakeluasemilla, joita oli vuoden 2016 lopulla 15 kappaletta. Vuoden 2016 syksyllä avautui myös kaksi raskaalle liikenteelle tarkoitettua nesteytetyn kaasun tankkausasemaa Turkuun ja Helsinkiin. [7] [9] [14] [15]

Suomessa oli vuoden 2016 alussa yhteensä noin 2200 paineistettua kaasua käyttävää ajoneuvoa ja myös ensimmäiset nesteytettyä kaasua käyttävää ajoneuvoa oli otettu käyttöön. VTT:n laatimassa autokannan ennusteessa kaasuautoja on vuonna 2020 noin 3600 ja vuonna 2030 yli 13000 kappaletta. Energia- ja ilmastostrategian tavoitteeksi on vuoteen 2030 mennessä asetettu vähintään 50000 kaasuautoa. Tavoitteen saavuttaminen vuoteen 2030 mennessä saavuttaminen on VTT:n ennusteen mukaan siis hyvin epätodennäköistä. [7]



Kuva 7. Liikennekäyttöön tuotetun biokaasun energiasisältö Suomessa [15]

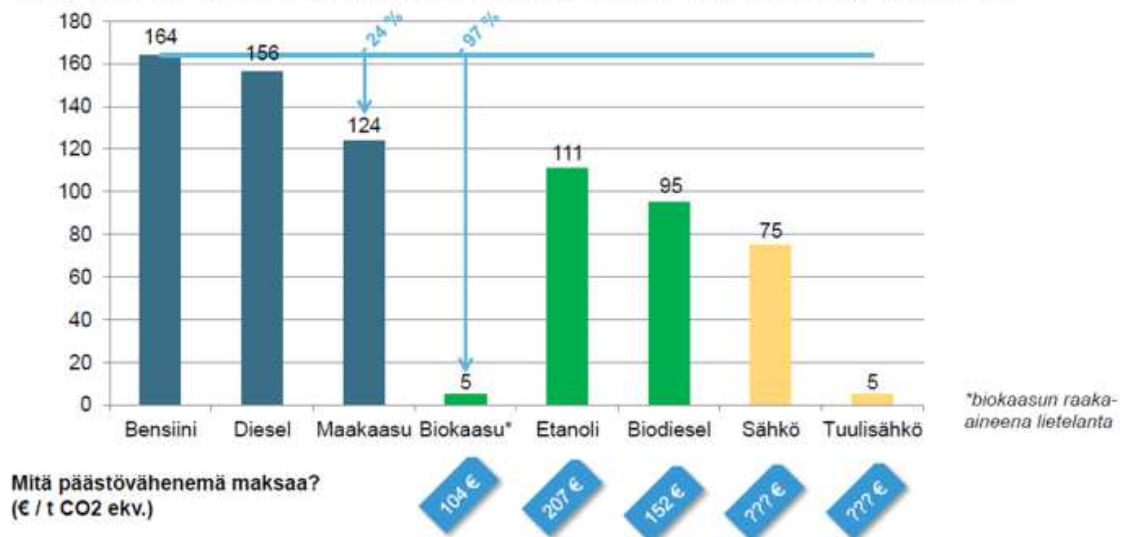
Liikennekäyttöön voidaan tuottaa biokaasua kannattavasti nykyiset tuet huomioon ottaen. Tuotannon kannattavuuden rajoitteena on tällä hetkellä biokaasuautojen vähäinen määrä. Vuonna 2015 biometaania käytettiin liikenteessä 23 GWh:n edestä,



kun 20000 tonnia syötettä vuodessa käsittelevällä yhteismädätyslaitoksella pystyttäisiin tuottamaan noin 17 GWh:n edestä biometaanä liikennepolttoaineeksi. Biokaasun kysynnän määrä liikennekäyttöön on liian pieni, joten isompien tuotantolaitosten perustamista kannattaa vielä harkita. Energia- ja ilmastostrategian asettama 50000 kaasuauton tavoite vuoteen 2030 mennessä tarkoittaisi 212 GWh:n energiankulutusta, josta nykyinen tuotantotaso olisi noin 11 %. Henkilöautoissa erityisesti sähköautojen suosio ja kehitys on heikentänyt kiinnostusta kaasulla toimiviin autoihin mutta raskaassa liikenteessä biokaasulla on paremmat näkymät. Vuoden 2016 alussa kaasuautojen osuus koko henkilöautokannasta oli noin 0,05 %. Liikennekäyttöön tarvittavan biokaasun tarve jää kuitenkin todennäköisesti muutaman sadan GWh:n tasolle, vaikka kaasuautojen määrä kasvaisikin merkittävästi tulevaisuudessa. [14] [15]

Biokaasu on koko tuotantoketju huomioon otettuna yksi vähiten hiilidioksidipäästöjä aiheuttava liikennepolttoaine. Tästä huolimatta biokaasu ei ole vielä saanut valtiolta merkittävää tukea sen käytön lisäämiseksi liikennepolttoaineena. Biokaasun avulla tuotetulla sähköllä päästään tuulisähkön kanssa samalle päästötasolle, kun sitä hyödynnetään sähköautoissa. Kaupunkikäytössä biokaasu on myös ympäristöystävällisin, sillä sen palamisesta ei synny pienhiukkasia jotka heikentävät kaupunkien ilmanlaatua. [21]

Liikennepolttoaineiden hiilidioksidipäästöt koko arvoketju huomioiden (Well to Wheel), CO<sub>2</sub> ekv. / km



Kuva 8. Liikennepolttoaineiden hiilidioksidipäästöt [21]

Taulukko 5. Metaanin ja bensiinin energiasisältö [8]

	Tilavuudessa *)		Painoyksikköä kohti	
	kWh/m <sup>3</sup>	MJ/m <sup>3</sup>	kWh/kg	MJ/kg
CH <sub>4</sub>	10	36	13,9	50
Bensiini	8900	32000	11,7	42

\*) metaanilla arvo normaalitilassa NTP, 0 °C, 101,3 kPa, 16,4 g/mol, 0,72 kg/m<sup>3</sup>  
 bensiinillä tiheydessä 750 kg/m<sup>3</sup>

Yhden normaalitilassa olevan metaanikuution tehollinen lämpöarvo vastaa noin 1,1 litraa bensiiniä. Metaanin energiatiheys kasvaa, kun se paineistetaan tai nesteytetään polttoainekäyttöön. Bensiinin energiasisältö kiloa kohti on pienempi kuin metaanin pienemmän vetypitoisuuden takia. Biometaani ei ole puhdasta metaania, joten sen energiapitoisuus saadaan kertomalla biometaanin metaanipitoisuus puhtaan metaanin energiasisällöllä. 96 % metaania sisältävän biometaanin energiasisältö on laskettuna

$$13,9 \frac{kWh}{kg} * 96 \% = 13,344 \frac{kWh}{kg}$$

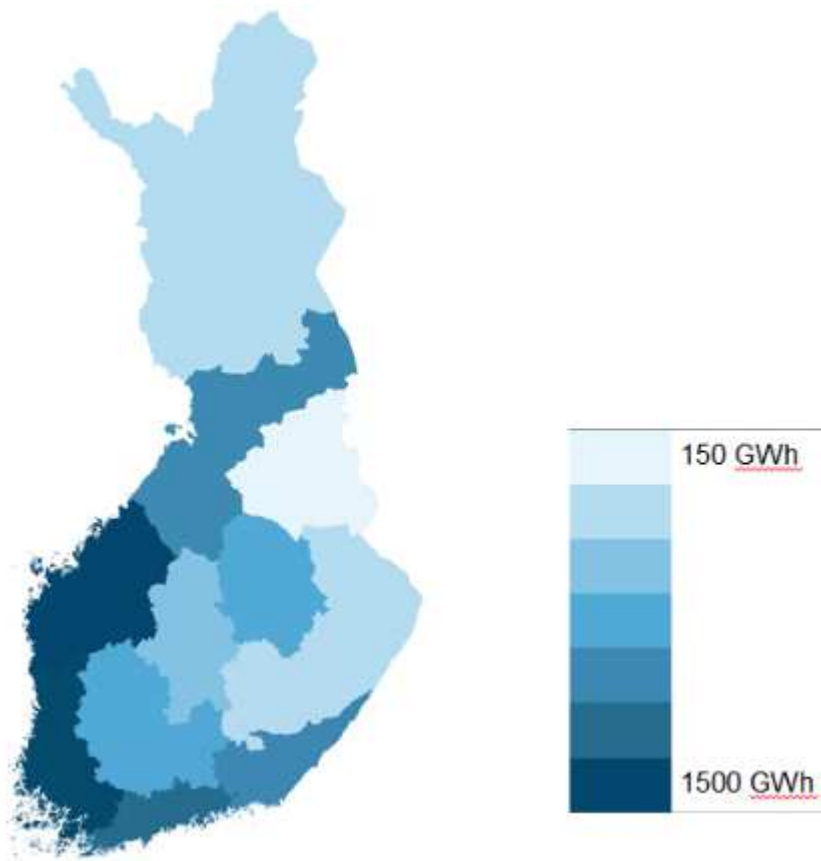
Metaanin hinta liikennepolttoaineena ilmoitetaan usein kiloja kohti tai bensiiniekvivalenttina. Metaanin bensiiniekvivalentti saadaan laskettua kertomalla metaania sisältävän polttoaineen kilohinta 0,64 kertoimella, mikä on määritetty EU:n direktiivissä 2009/33/EY sekä Suomen energiaverotuksessa (HE 147/2010). Gasum on asettanut biometaanille kilohinnaksi 1,45 €/kg, joka bensiinin litrahinnaksi muutettuna on 0,928 €/l. Litra metaania liikennepolttoaineena sisältää siis suunnilleen saman verran energiaa kuin bensiini, eli noin 8,8 - 9,0 kWh/l ja se on huomattavasti halvempaa. [4] [8]

Biometaanille saattaa olla potentiaalia myös meriliikenteen käytössä, missä kansainväliset rikki- ja typpirajoitukset ovat vauhdittaneet siirtymistä nesteytetyn metaanin käyttöön alusten polttoaineena. Suomen rannikkoalueille, Pohjanlahdelle ja Suomenlahdelle ollaan lähivuosina rakentamassa kohtuullisen kattava verkko nesteytetyn maakaasun(LNG) terminaaleja. Suomen ensimmäinen LNG-terminaali avattiin vuoden 2016 syyskuussa Poriin ja rakenteilla on kolme muuta terminaalia Tornioon, Haminaan sekä Raumalle. Uudet terminaalit on rakennettu palvelemaan erilaisia alueellisia tarpeita, mutta säiliöautojen, junien sekä bunkraus aluksien avulla ne voivat palvella teollisuutta, energialaitoksia ja laivoja jopa 300–500 kilometrin säteellä. Biometaania nesteyttämällä sitä on mahdollista tulevaisuudessa käyttää kansainvälisen vesiliikenteen tarpeisiin. [7] [9]

Biokaasun tuotantoa ja asemaa voidaan helpottaa parantamalla nykyisiä biokaasun tuotantoon tarkoitettujen tukien ehtoja, kuten maatilojen investointituen myöntämisehtoja. Osa nykyisten tukien ehdoista kieltävät tai rajoittavat biokaasun myyntiä tilan ulkopuolelle lämpönä, sähkönä tai liikennepolttoaineena, mikä puolestaan vähentää biokaasulaitosten rakentamisen kannattavuutta. Myös lupien, rajoitusten sekä verotuksen selvittäminen, keventäminen ja tarvittavan byrokratian vähentäminen helpottaa biokaasun asemaa biopolttoaineena sekä energianlähteenä Suomessa. [7]  
[8]

## 6 VARSINAIS-SUOMEN BIOKAASUPOTENTIAALI

Varsinais-Suomessa on korkea biokaasun tuottopotentiaali, mikä on pääasiassa maatalouden kasvi- sekä eläintuotannon ansiota. Kuvassa 8 on yhdistetty Varsinais-Suomen, Satakunnan, Etelä-Pohjanmaan, Pohjanmaan sekä Keski-Pohjanmaan raaka-aineiden saatavuuteen perustuva biokaasun tuotantopotentiaali ja sitä on verrattu muun Suomen potentiaaliin. Kyseisellä alueella on siis Suomen paras biokaasun tuottopotentiaali raaka-aineiden saatavuuden perusteella, johon yhdyskunta- ja teollisuusjätteet on otettu maatalouden lisäksi huomioon. Varsinais-Suomessa tuotetaan Suomen muihin maakuntiin verrattuna eniten sianlihaa sekä kananmunantuotannossa munivien kanojen määrästä noin 65 % sijoittuu samalle alueelle. [2] [15]

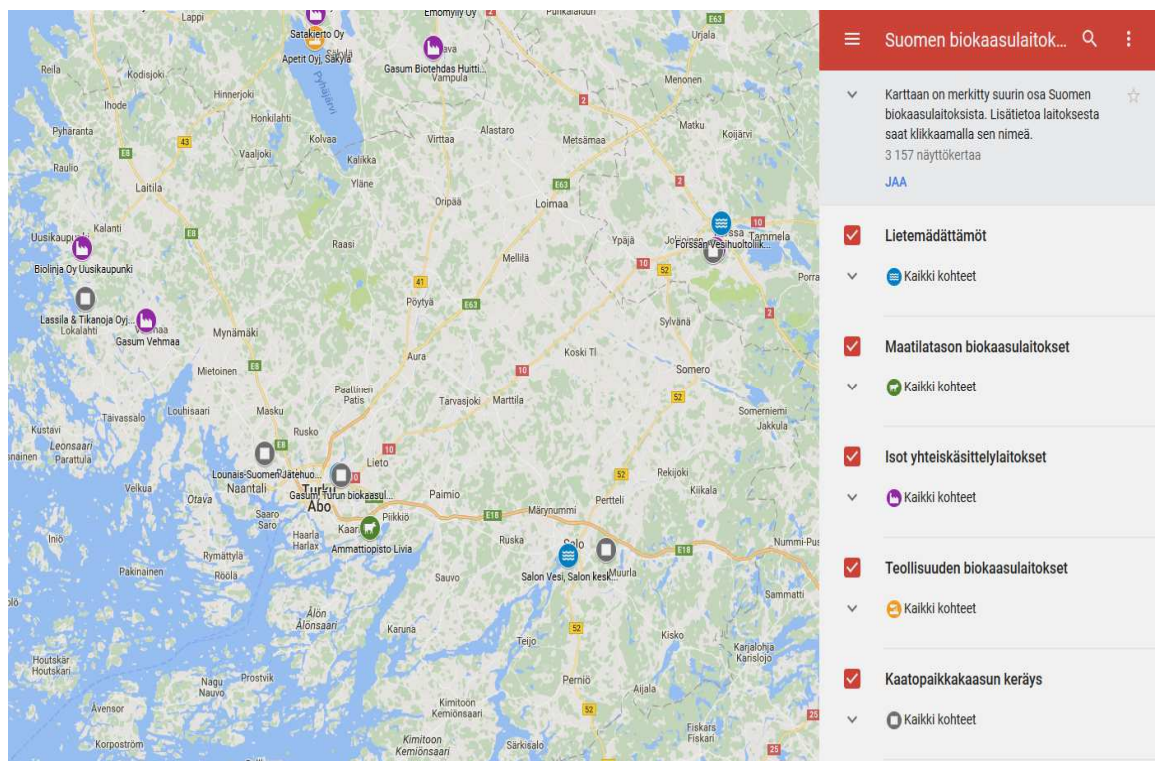


Kuva 9. Biokaasun tuotantopotentiaali maakunnittain [15]

Varsinais-Suomessa on siis potentiaalisia raaka-aineita käytettäväksi syötteenä, mutta mikä on biokaasun tuotannon kannalta kannattava tuotanto- sekä hyödyntämistapa.

Maatiloilla biokaasun kannattavin tuotantomuoto on useissa eri selvityksissä todettu olevan sähkön- ja lämmöntuotanto CHP-tekniikan avulla tilan omaan kulutukseen. Maatiloilla suurin biokaasulaitoksiin investointi on kallista sekä riskialtista, varsinkin jos tukien saaminen ei ole mahdollista. Maatiloista suurin osa ei ole liitettävissä maakaasun jakeluverkkoon niiden sijainnin takia, joten biometaanille täytyy järjestää erillinen varastointi ja kuljetus. Useampien tukien asettamat rajoitukset ja ehdot epäävät investointituet maatilojen biokaasulaitoksilta, jotka haluaisivat tuottaa biometania liikennekäyttöön. Investointitukea saadaksesen on siis kannattavaa perustaa erillinen maaseutuyritys, jonka tavoite on uusiutuvan energian tuottaminen ja rakennettava laitos ei sijaitse maatilalla. Tämän tapaiselta yhteiskäsittelylaitokselta voidaan periä laitokselle tuotavasta biojätteestä tai lietelannasta porttimaksua, mikä on tärkeä osa laitoksen tuloista. Paremman kannattavuuden takaamiseksi on biokaasua myös hyvä liikennekäyttöön jalostamisen lisäksi hyödyntää sähkön- tai lämmöntuotannossa. Kannattavuuteen vaikuttaa huomattavasti se, voidaanko kaikki tuotettu lämpö, sähkö sekä biometani hyödyntää tai myydä. Maatilojen biokaasulaitoksilla tuotetulle lämmölle on oman käytön lisäksi vaikea löytää potentiaalisia ostajia, kun taas biometaaninjalostuksessa ei ole samaa ongelmaa, mutta biometaanin kysyntä rajoittaa sen tuotannon määrää. [8] [15] [23]

Kuva 10. Varsinais-Suomen biokaasulaitokset [17]



Varsinais-Suomessa ei ole tällä hetkellä yhtäkään biokaasulaitosta, joka jalostaa biokaasusta biometaania liikennekäyttöön tai syötettäväksi maakaasuverkkoon mutta tämä tulee lähiaikoina muuttumaan. Jakeluverkoston sekä autokannan puutteiden vuoksi investointia biometaanin jalostukseen ei ole pidetty tarpeeksi kannattavana. Turussa on tällä hetkellä yksi tankkausasema, josta on saatavilla LNG:tä ja LBG:tä tai kompressoitua maakaasua sekä biokaasua. Tankkausasemaa ei ole kuitenkaan vielä yhdistetty maakaasun siirtoverkkoon, koska sitä ei ole vielä rakennettu Turkuun asti. Gasum on saanut vuoden 2017 keväällä valtiolta 7,97 miljoonan euron edestä investointitukea Topinojalla sijaitsevan Turun biokaasulaitoksen laajentamiseen sekä biokaasun jalostus- ja nesteyttämislaitteiston rakentamiseen laitoksen yhteyteen. Koko investoinnin arvoksi on arvioitu 25 miljoonaa euroa ja investointiin kuuluu myös kahden uuden tankkausaseman rakentaminen Turun alueelle. Hankkeella on valmistuessaan merkittävä vaikutus lisäämään kaasuautokantaa sekä biokaasun saatavuutta liikennepolttoaineena Varsinais-Suomen alueella. [4] [17] [21]

Biometaanin tuotannon kasvaessa sekä kaasun jakelujärjestelmän laajentuessa myös biometaanin liikennekäytön määrä alkaa todennäköisesti kasvamaan. Yksittäiselle maatilalle on vaikea arvioida biometaanin jalostuksen kannattavuutta, sillä vaikka teoriassa biometaanista saa hyvän myyntihinnan, vaikuttaa useampi tekijä tuotannon kannattavuuteen. Suurempien tuotantolaitosten läheisyydessä ei välttämättä ole tarvetta tuottaa biometaania pienemmässä mittakaavassa, koska iso tuotantolaitos voi kattaa koko lähialueen biometaanin tarpeen. Isot tuotantolaitokset saattavat toimia myös yhteistyössä merkittävien kaasualan yritysten kanssa, mikä takaa niille valmiit jakelu- ja kuljetusinfrastruktuurit käyttöönsä. Biometaanin tuotannon kannattavuutta voidaan taata myös investoimalla kaasua polttoaineena käyttäviin autoihin ja työkoneisiin. Kaupungeissa on lisätty kaasukäyttöisten autojen määrää investoimalla joukkoliikenteen ja kuljetusautojen vaihtamiseen diesel-autoista kaasuautoihin. Ennen autokantaaan investoimista tulee kuitenkin taata kaasun tasainen saatavuus. [21]

## 7 YHTEENVETO

Yhteismädätyslaitoksella, joka on useamman maatilan omistuksessa, on useita hyviä ominaisuuksia biometaanin tuotantoon. Näitä ovat tasaisen raaka-aineen saannin takaaminen, mahdollisuus luoda oma laajempi kaasua polttoaineena käyttävä autokanta ja itsenäisen tankkausaseman perustaminen. Laitoksella tuotetun biometaanin lisäksi voidaan tuottaa lämpöä tai CHP:n avulla sähköä ja lämpöä maatilojen käyttöön sekä mädätysjäänös hyödyntää lannoitteena. Maatilan omistajien kannattaisi oman biokaasulaitoksen perustamisen mahdollisuuden selvittämisen lisäksi ottaa huomioon mahdollisuus useamman maatilan yhteislaitoksen perustamiseen. Varsinais-Suomessa kaikki biokaasulaitokset ovat sijoittuneet rannikon ja suurempien kaupunkien läheisyyteen. Varsinais-Suomen sisäosiin sijoittuva biokaasupotentiaali on jäänyt pitkälti hyödyntämättä ja maatilojen yhteismädätyslaitoksille saattaisi olla useampi hyvä sijainti tällä alueella. Yhteismädätyslaitokset ovat taloudellisesti turvallisempi ratkaisu verrattuna yksittäisen maatilan omistamiin laitoksiin. Erityisesti pienempien maatilojen todennäköisesti ainut kannattava tapa tuottaa biokaasua on investoida maatilojen yhteislaitokseen. [17]

Ennen biokaasulaitoksen rakentamista tulee tehdä tarvittavat laskelmat esimerkiksi saatavien syötteiden ja tuotetun biokaasun määrästä sekä biokaasun hyödyntämiseksi tarvittavan jalostuslaitteiston koosta. Biokaasulaitoksen kannattavuus perustuu pitkälti sen toimi- ja lähialueen kykyyn tukea tuotetun energian hyödyntämistä. Varsinais-Suomessa on paljon biokaasupotentiaalia sitoutuneena maatalouteen, mutta sitä ei ole juurikaan lähdetty hyödyntämään. Jos maatalousyrittäjät saisivat parempaa tukea biokaasun tuotantoon, saattaisi investointi biokaasuun muuttua houkuttelevammaksi. Yhteismädätyslaitosten on mahdollista kiertää maatilojen yhteyteen rakennetuille biokaasulaitoksille asetettuja tukien ehtoja. Perustettava laitos tulee rakentaa maatila alueen ulkopuolelle sekä laitoksen tulee olla erillisen maatilayrityksen omistuksessa, jossa omistusosuudet jaetaan sijoittajien kesken. Biokaasun tuotanto liikennekäyttöön ei ole usealle maatilakoon biokaasulaitoksille kannattavaa, mutta jokaiselle laitokselle tulisi tehdä erillinen selvitys biokaasun käyttömahdollisuuksista ja niiden kannattavuudesta.

## LÄHTEET

- [1] Al Seadi, Teodorita; Rutz, Dominik; Prassl, Heinz; Köttner, Michael; Finsterwalder, Tobias; Volk, Silke & Janssen, Rainer. 2008. Biogas Handbook. University of Southern Denmark Esbjerg.
- [2] Aro, Erkki. 2016. Varsinais-Suomen luomu ja maakuntien välistä vertailua. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
- [3] Ekin, Frederik & Luostarinen, Juha. 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Motiva Oy.
- [4] Gasum Oy kotisivut. viitattu 16.4.2017. <https://www.gasum.com/Yrityksille/>
- [5] Heikkinen, Mika. 2012. Maatilan biokaasulaitokseen tarvittavat luvat. Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
- [6] Heikkinen, Pekka. 2012. Biokaasulaitoksen huoltokirja. Hämeen Ammattikorkeakoulu.
- [7] Huttunen, Riku. 2017. Taustaraportti kansalliselle energia- ja ilmastostrategialle vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriö.
- [8] Hytönen, Jaana. 2013. Biokaasu liikennepolttoaineena. Jyväskylän Yliopisto.
- [9] Jakeluinfradirektiivin toimeenpanotyöryhmä. 2016. Työryhmän ehdotus liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon suunnitelmaksi. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- [10] Latvala, Markus. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristökeskus.
- [11] Lehtomäki, Annamari; Paavola, Teija; Luostarinen, Sari & Rintala, Jukka. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja tuotteet. Jyväskylän yliopisto.
- [12] Lätelä, Jussi. 2017. Biokaasun puhdistimet, Metener Oy. Sähköpostiviesti 12.5.2017. Vastaanottaja Jokela, Lauri. Tietoa Metener Oy:n biokaasun puhdistimien hintaluokista.
- [13] Petersson, Anneli & Wellinger, Arthur. 2009. Biogas upgrading technologies—developments and innovations. IEA Bioenergy.
- [14] Plugit Finland Oy, Vihreä Kaista kotisivut. Viitattu 6.2.2017. <http://vihreakaista.fi/fi-fi/>
- [15] Pöyry Management Consulting Oy. 2017. Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali, kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa. Valtioneuvoston kanslia.
- [16] Schnürer, Anna & Jarvis, Åsa. 2009. Microbiological Handbook for Biogas Plants. Avfall Sverige AB.
- [17] Suomen Biokaasuyhdistys kotisivut. Viitattu 6.2.2017. <http://www.biokaasuyhdistys.net/>
- [18] Tamm, Daniel. 2014. Biogas upgrading technologies. BioMil AB.
- [19] Tamm, Daniel; Persson, Tobias; Hultheberg, Christian & Bauer, Fredrick. 2013. Biogas upgrading – Review of commercial technologies. Svenskt Gastekniskt Center AB.
- [20] Tekes kotisivut. Viitattu 11.5.2017. <https://www.tekes.fi/rahoitus/pk-yritys/energiatuki/>
- [21] Työryhmä. 2013. Turun liikennebiokaasuhanketta valmisteleavan työryhmän raportti. Turun kaupunki.



[22] Warren, Katie. 2012. A techno-economic comparison of biogas upgrading technologies in Europe. Jyväskylän yliopisto.

[23] Winqvist, Erika; Luostarinen, Sari; Kässi, Pellervo; Pyykkönen, Ville & Regina, Kristiina. 2015. Maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus ja kasvihuonekaasujen päästövähennys. Luonnonvarakeskus (Luke).

[24] Åkerlund, Frederik. Viitattu 6.2.2017. Biokaasulaitosten tukijärjestelmät Suomessa. Motiva Oy.