



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Vaasan yliopisto
Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö



SUOMALAISEN BIOKAASUTUOTANNON JA BIOKAASUN JAKELUINFRASTRUKTUURIN BENCHMARKKAUS

BIOKAASUN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET POHJANMAALLA –HANKE

WP3 T7

Kesäkuu 2021



Österbottens förbund
Pohjanmaan liitto

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kiitokset

Tämä selvitys on laadittu osana Vaasan yliopiston Biokaasun hyödyntämismahdollisuu-
det Pohjanmaalla –hanketta. Tutkimusta ovat rahoittaneet Euroopan aluekehitysra-
hasto (EAKR), Pohjanmaan liitto, Wärtsilä Finland Oy, Westenergy Oy Ab, Ab Stormos-
sen Oy ja Wasaline / NLC Ferry Ab Oy.



Regional Council
of Ostrobothnia

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



European Union
European Regional
Development Fund



WÄRTSILÄ



WESTENERGY

wasaline



STORMOSSEN

Kiitokset rahoittajille ja yhteistyökumppaneille työn mahdollistamisesta.

Kirsi Spoof-Tuomi

kirsi.spoof-tuomi@uwasa.fi

Simo Välimäki

simo.valimaki@uwasa.fi

Sisällys

1	Johdanto	4
2	Biokaasutuotannon nykytila Suomessa	6
	2.1 Yhteiskäsittelylaitokset	8
	2.2 Lietemädättämöt ja kaatopaikkakaasua keräävät yksiköt	10
	2.3 Teollisuuden biokaasulaitokset	10
	2.4 Maatilakohtaiset biokaasulaitokset	11
	2.5 Suunnitteilla olevia biokaasulaitoksia	12
3	Uudet teknologiat biokaasutuotannossa	15
	3.1 Synteettisen biometaanin tuotanto	15
	3.2 Vetyteknologiaan perustuva konversio biometaaniksi	15
4	Biokaasun jakelu Suomessa	18
	4.1 Gasum	18
	4.2 Valtakunnallinen kaasuverkkojakelu	18
	4.3 Biokaasun tankkausverkosto tieliikenteelle	20
	4.4 Biometaanin jakelu teollisuudelle ja energiatuotantoon	21
5	Esimerkkejä biokaasuekosysteemeistä	23
	5.1 Teolliset symbioosit – Case Honkajoki	23
	5.2 Kunnalliset toimijat – Case Kiertokaari Oy	24
	5.3 Maatilatoimijat	26
	5.3.1 Case Palopuron Biokaasu Oy	26
	5.3.2 HABITUS-hanke	26
6	Pohdinta ja yhteenveto	29
	Lähteet	31

1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseen tähtäävien toimenpiteiden myötä uusiutuvien energianlähteiden ympärillä tapahtuu paljon. Euroopassa biokaasuliiketoiminnan kasvu on ollut voimakasta etenkin 2000-luvulla useissa valtioissa käytössä olleiden suotuisten tukijärjestelmien myötä. Erityisesti biometaanin käyttö liikenteen polttoaineena on lisääntynyt merkittävästi muutamassa vuodessa ja tämän suuntauksen ennakoidaan jatkuvan (Scarlat ja muut 2018).

Myös Suomessa kiinnostus biokaasuun puhtaana ja kotimaisena energialähteenä teollisuuden, liikennesektorin ja maatalouden käyttöön on kasvussa ja uusia biokaasun tuotanto- ja käsittelylaitoksia on perustettu vuosittain. Suurempi kasvuloikka on kuitenkin vielä ottamatta (Virolainen-Hynnä 2020). Vuonna 2019 Suomen biokaasuntuotanto oli noin 1 TWh, kun teknistaloudelliseksi potentiaaliksi on arvioitu yli 10 TWh (Marttinen ja muut 2015). Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n tammikuussa 2020 tekemän selvityksen mukaan realistinen biokaasun tuotantotavoite Suomelle olisi 4 TWh vuoteen 2030 mennessä (Biokierto 2020). Tältä tasolta olisi hyvä edetä kohti kymmentä terawattituntia Suomen hiilineutraalisuusponnisteluiden imussa (Virolainen-Hynnä 2020). 3 TWh:n tuotannon lisäys pohjautuisi erityisesti maatalouspohjaisten sivuvirtojen hyödyntämiseen, mutta tulevaisuudessa tarvitaan myös uusia syötteitä ja uusia teknologioita mädätystekniikan rinnalle.

Biokaasun tuotannon nähdään tulevaisuudessa integroituvan ennen kaikkea kasvaan kiertotalouteen, jolloin mm. jätevirtojen tehokas hyödyntäminen, ravinteiden hyötykäyttö ja uusiutuvan biokaasun käyttö sähkön ja lämmön tuotannossa ja liikennepolttoaineena kasvavat voimakkaasti. Kiertotalouteen integroitumisen lisäksi Suomen biokaasutuotannon kehitykseen voi vaikuttaa myös Suomen kaasumarkkinoiden avautuminen Viroon ja Baltiaan vuonna 2019 avautuneen Balticconnector kaasuputken kautta. (Sipilä ja muut 2020.)

Merkittävä askel biokaasun liikennekäytön edistämiseksi tehtiin huhtikuussa 2021, kun hallitus antoi lakiesityksen liikennepolttoaineiden kansallisen jakeluelvoitteen laajentamisesta biokaasuun. Laki on tarkoitettu tulemaan voimaan 30.6.2021. Jakeluelvoitelain siirtymäsäännösten mukaisesti biokaasu lisättäisiin jakeluelvoitteeseen vuoden 2022 alusta. Jakeluelvoitteen odotetaan laajentavan biokaasun tankkausinfrastruktuuria, lisäävän kaasujoneuvokantaa ja kaasun kysyntää sekä parantavan biometaanin tuotannon kannattavuutta.

Tämän selvityksen tarkoituksena on esittää suomalaisen biokaasualan nykytila sekä nostaa esiin Suomessa hyvin toimiviksi osoittautuneita käytäntöjä ja esimerkkejä olemassa

olevista biokaasuekosysteemeistä. Työssä tehdään katsaus Suomessa toiminnassa oleviin biokaasun tuotantolaitoksiin, niiden raaka-aineisiin ja käsittelykapasiteetteihin, jalostusmahdollisuuksiin ja kaasun jakeluvaihtoehtoihin. Myös olemassa oleva sekä suunnitteilla oleva liikennebiokaasun tankkausverkosto kartoitetaan. Raportissa esitellään myös jo käyttöön otettuja tai suunnitteilla olevia uusia innovatiivisia toimintatapoja ja teknisiä ratkaisuja, jotka edistävät biokaasun tuotantoa ja tuotannon kustannustehokkuutta.

2 Biokaasutuotannon nykytila Suomessa

Suomessa biokaasua tuotetaan kaupunkien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamojen biokaasulaitoksilla, eri kokoisilla yhteiskäsittelylaitoksilla sekä maatilojen biokaasulaitoksilla. Lisäksi biokaasua kerätään kaatopaikoilta biokaasupumppaamoilla (Biokierto 2021). Biokaasun tuotanto vuonna 2019 oli noin 900 GWh (Tilastokeskus 2021a).

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty biokaasun tuotanto laitostyypeittäin sekä laitospohtaisesti tuotetun biokaasun kulutus vuosina 2017–2020. Tuotannon ja kulutuksen erotukseksi jäävä osuus on tilastoitu soihdupoltolla hävitetyksi biokaasuksi.

Taulukko 1. Biokaasun tuotanto vuosina 2017–2020 (Tilastokeskus 2021a).

	2017	2018	2019	2020*
Jätevesilaitokset (GWh)	232	235	247	236
Kaatopaikkakeräämöt (GWh)	325	274	221	191
Yhteiskäsittelylaitokset (GWh)	388	409	400	411
Maatilalaitokset (GWh)	8	15	15	20
Yhteensä	953	933	883	858

*ennakkotieto

Taulukko 2. Biokaasun kulutus vuosina 2017–2020 (Tilastokeskus 2021a).

	2017	2018	2019	2020*
Jätevesilaitokset (GWh)	201	203	207	
Kaatopaikkakeräämöt (GWh)	243	209	181	
Yhteiskäsittelylaitokset (GWh)	344	364	338	
Maatilalaitokset (GWh)	8	15	15	
Yhteensä	796	791	741	720

*ennakkotieto

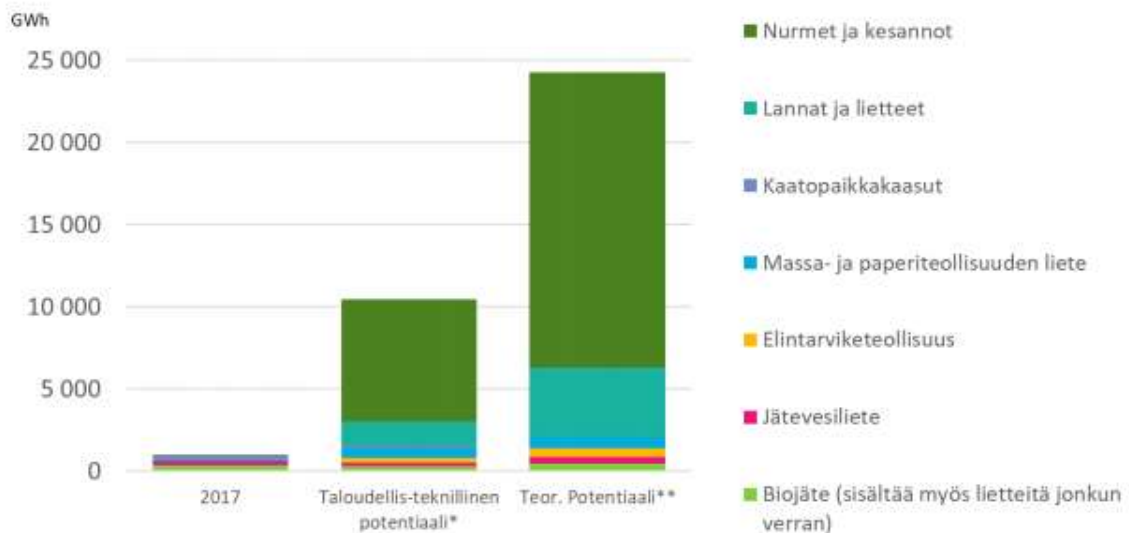
Suurimman määrän biokaasua tuottavat vuosittain mm. erilliskerättyä biojätettä ja teollisuuden sivuvirtoja hyödyntävät yhteiskäsittelylaitokset. Lisäksi merkittävän osuuden tuottavat jätevesilaitosten yhteydessä olevat lietemädättämöt. Kaatopaikkakeräämöiden tuotanto on viime vuosina ollut laskussa johtuen kaatopaikkapumppaamoiden vanhentumisesta, jolloin kaatopaikkakohtaisesti biokaasua ei enää ole saatavissa samassa määrin. Biojätettä ei myöskään nykydirektiivien mukaan saa sijoittaa kaatopaikoille. Maatalouden biokaasulaitokset tuottavat murto-osan Suomen kokonaistuotannosta.

Soihdutettavan biokaasun määrä on ollut vuosittain noin 16 % kaikesta tuotetusta biokaasusta. Suurimmat tuotetun biokaasun soihduttajat ovat kaatopaikkakaasun keräämöt sekä jätevesilietteen mädättämöt, jotka hyödyntävät biokaasua pääsääntöisesti ainostaan omissa prosesseissaan ja ylimääräiselle kaasulle ei ole vaihtoehtoisia hyödyntämiskohdetta. Maatilakohtaiset laitokset eivät tilastollisesti ole soihduttaneet lainkaan

tuottamaansa biokaasua. Nämä laitokset ovat mittaluokaltaan pieniä, ja tuotettu biokaasu kattaa monissa tapauksissa vain osan tilakohtaisesta energiatarpeesta, jolloin ylimääräistä kaasua ei tule tuotettua.

Vuosina 2020 ja 2021 on kuitenkin jo käynnistetty tai ollaan käynnistämässä uusia biokaasun tuotantolaitoksia sekä näiden laajennuksia, joten tuotannon uskotaan tulevina vuosina kasvavan.

On arvioitu, että Suomen biokaasutuotannon teoreettinen raaka-ainepohjainen potentiaali voisi olla yhteensä jopa yli 20 TWh, josta teknistaloudellisesti on hyödynnettävissä 10 TWh (kuva 1). Esimerkiksi peltomassojen ja lantojen potentiaali on lähes täysin hyödynnettävää. Nykyisen biokaasun tuotannon ja käytön ollessa noin 1 TWh kasvun varaa on runsaasti.



Kuva 1. Biokaasun tuotanto vuonna 2017 sekä teknistaloudellinen ja teoreettinen biokaasupotentiaali Suomessa (Virolainen-Hynnä 2020).

Seuraavissa kappaleissa tehdään katsaus biokaasun tuotantolaitoksiin Suomessa. Tiedot perustuvat ensisijaisesti Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n verkkosivuillaan ylläpitämään karttaan, johon on koottu kaikki Suomessa toimivat biokaasulaitokset. Kartta ja tämän sisältämät tiedot kattavat Suomen yhteiskäsitteilylaitokset, kaatopaikkakaasua keräävät laitokset, jätevesilaitokset sekä maatilojen ja teollisuuden biokaasulaitokset. Karttakokonaisuus on päivitetty huhtikuussa 2021.

2.1 Yhteiskäsittelylaitokset

Suurin määrä biokaasua Suomessa tuotetaan biojätteiden yhteiskäsittelylaitoksilla. Yhteiskäsittelylaitoksella tarkoitetaan biohajoavien massojen yhteismädätyslaitosta, jossa voidaan käsitellä useamman tyyppisiä syötteitä. Useat Suomessa toimivat yhteiskäsittelylaitokset käsittelevät esimerkiksi erilliskerättyä kotitalouksien biojätettä, jätevesilietettä tai elintarviketeollisuuden sivuvirtoja.

Taulukoon 3 on koottu Suomessa toimivat biokaasua tuottavat yhteiskäsittelylaitokset. Taulukosta on luettavissa laitoksen sijaintikunta ja laitostyyppi (kuiva- tai märkämädätys), biohajoavien jätteiden vuosittainen käsittelykapasiteetti sekä biokaasun vuosituotantokapasiteetti. Biokaasun jalostusmahdollisuuden omaavat laitokset on korostettu harmaalla taustalla. Laitokset on jaettu kahteen luokkaan: suuriin, 20 000 MWh tai enemmän vuodessa tuottaviin laitoksiin sekä pienempiin, alle 20 000 MWh/v tuottaviin laitoksiin.

Yhteiskäsittelylaitoksia on Suomessa yhteensä 30 laitosta, joiden yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti on 675 GWh. Suuren kapasiteetin laitoksia ($\geq 20\,000$ MWh/v) on 16 ja näiden yhteenlaskettu tuotannon kapasiteetti on 555 GWh. Suuren kapasiteetin yhteiskäsittelylaitoksilla onkin merkittävä osuus Suomen biokaasutuotannossa, joka nykyisin on alle 1 TWh vuodessa.

Noin puolet biokaasua tuottavista yhteiskäsittelylaitoksista myös jalostaa tuotetun biokaasun biometaaniksi. Yhteensä biometaanin jalostukseen kykeneviä yhteiskäsittelylaitoksia on 18 kappaletta, ja näiden yhteenlaskettu biokaasupotentiaali on noin 460 GWh vuodessa. Vaikka suuri osa yhteiskäsittelylaitoksista jalostaa kaiken tuottamansa biokaasun joko suoraan ajoneuvokäyttöön tai syötettäväksi kansalliseen kaasuverkkoon, käyttää osa laitoksista tuottamaansa kaasua myös omiin ja lähistöllä olevien toimijoiden prosesseihin ja lämmitykseen.

Turun biokaasulaitos on tällä hetkellä ainoa biokaasulaitos Suomessa, joka myös nesteyttää jalostamansa biometaanin. Laitos tuottaa vuosittain nesteytettyä biometaania 60 GWh.

Taulukko 3. Biokaasua Suomessa tuottavat yhteiskäsittelylaitokset. Vuosittainen biokaasun tuotantokapasiteetti (a) 20 000 MWh tai enemmän ja (b) alle 20 000 MWh (Biokierto 2021).

(a) Biokaasun tuotanto \geq 20 000 MWh/v				
Toimija/Sijainti	Laitostyyppi	Jätteenkäsittely-kapasiteetti [t/a]	Tuotanto [MWh]	Jalostus
Gasum/Turku	Märkä	130 000	61 000	Kyllä
Jepuan Biokaasu Oy/Jepua	Kuiva- ja märkä	130 000	30 000	Kyllä
Envor Group Oy/Forssa	Märkä	84 000	39 000	Kyllä
Labio Oy/Lahti	Kuiva	80 000	50 000	Kyllä
Gasum/Riihimäki	Märkä	75 000	45 000	Kyllä
Gasum/Lohja	Märkä	60 000	40 000	Kyllä
Gasum/Oulu, Rusko	Märkä	60 000	35 000	Kyllä
Stormossen/Mustasaari	Märkä	60 000	20 000	Kyllä
Biomyllly - Pirkanmaan Jätehuolto Oy/Nokia	Kuiva- ja märkä	24 000 + 10 000	25 000	Kyllä
Luotsinmäen biokaasulaitos/Pori	Märkä	30 000	20 000	Kyllä
Gasum/Vehmaa	Märkä	90 000	30 000	Ei
Gasum/Honkajoki	Märkä	60 000	35 000	Ei
Gasum/Huittinen	Märkä	60 000	35 000	Ei
Gasum/Kuopio	Märkä	60 000	35 000	Ei
Lakeuden Etappi Oy/Ilmajoki	Märkä	55 000	25 000	Ei
HSY:n Ämmässuon biokaasulaitos/Espoo	Kuiva	60 000	30 000	Ei
		1 128 000	555 000	
(b) Biokaasun tuotanto < 20 000 MWh/v				
Sijainti	Laitostyyppi	Jätteenkäsittely-kapasiteetti [t/a]	Tuotanto [MWh]	Jalostus
Mäntsälän Biovoima Oy/Mäntsälä	Märkä	20 000	18 000	Kyllä
VSS Biopower Oy/Säkylä	Kuiva	20 000	19 900	Kyllä
Gasum/Kouvola	Märkä	20 000	10 000	Kyllä
Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy/Lappeenranta	Kuiva	19 000	12 300	Kyllä
Mustankorkea Oy/Jyväskylä	Kuiva	19 000	15 000	Kyllä
Biohauki Oy/Mikkeli	Kuiva	14 000	5 000	Kyllä
BioSairila Oy/Mikkeli	-	-	16 500	Kyllä
Joutsan Ekokaasu Oy/Joutsa	Märkä	5 000	2 000	Kyllä
BioKymppi Oy/Kitee	Märkä	35 000	16 000	Ei
BioLinja Oy/Uusikaupunki	Märkä	18 000	-	Ei
Emomyllly Oy/Huittinen	Märkä	-	-	Ei
Juvan Bioson Oy/Juva	Märkä	20 000	3 500	Ei
Kymenlaakson Jäte Oy/Kouvola	Kuiva	5000	2 500	Ei
Laihian kunnan biokaasulaitos/Laihia	Märkä	3 000	-	Ei
		198 000	120 700	

Suurten yhteiskäsittelylaitosten ohella biokaasua tuotetaan Suomessa myös muilla keinoin. Biokaasulaitoksia voidaan toteuttaa pienissä mittakaavoissa esimerkiksi teollisuuden tai maatilakohtaisten sivuvirtojen hyödyntämiseksi, tai sitä voidaan kerätä kaatopaikoilta. Myös jätevesilaitosten yhteydessä tuotetaan lieteperäistä biokaasua.

2.2 Lietemädättämöt ja kaatopaikkakaasua keräävät yksiköt

Suomessa jätevedenpuhdistamoilla muodostuvasta lietteestä käsitellään nykyisin jo yli 80 prosenttia. Jätevedenpuhdistamoiden yhteydessä toimivia biokaasulaitoksia Suomessa on 17. Vuonna 2019 nämä tuottivat yhteensä 247 GWh energiaa vastaavan määrän biokaasua eli runsaan neljänneksen kokonaistuotannosta (Tilastokeskus 2021a). Uusia laitoksia on suunnitteilla esimerkiksi Tampereen Sulkavuoreen. Laitoksessa tullaan käsittelemään Tampereen keskuspuhdistamon lietteitä noin 550 000 tonnia vuodessa. Tuotettava biokaasu hyödynnetään polttoaineena keskuspuhdistamon omassa sähkön- ja lämmöntuotannossa.

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n laitostietojen mukaan Suomessa toimivat jätevedenkäsittelylaitosten yhteydessä olevat biokaasulaitokset eivät jalosta tuotettua biokaasua, vaan tuotettu kaasu hyödynnetään ainoastaan lämpönä ja sähkönä. Poikkeuksena kuitenkin HSY:n Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamo, jonka tuottama biokaasu jatkojalostetaan ja syötetään kaasuverkkoon Gasumin toimesta.

Kaatopaikkakaasua kerääviä biokaasulaitoksia on yhteensä 33. Kaatopaikkakaasun keräyslaitoksista ei ole laitoskohtaisesti saatavissa kattavia tietoja, mutta näiden tuottama energia biokaasuna vastaa noin neljännestä kaikesta Suomessa tuotetusta biokaasusta. Kaatopaikkakeräämöiden vuosittaiset tuotantomäärät ovat kuitenkin olleet viime vuosina laskussa.

2.3 Teollisuuden biokaasulaitokset

Teollisuuden käytössä olevat biokaasulaitokset ovat pääosin tuotantolaitoskohtaisia järjestelmiä, ja ne tuottavat omista sivutuotteistaan pääosin omiin tarkoituksiinsa sähköä ja lämpöä. Taulukkoon 4 on koottu Suomessa toimivien teollisuuslaitosten yhteydessä toimivia biokaasulaitoksia. Tietoa biokaasun tuotantomääristä ei ollut saatavilla, sillä laitokset hyödyntävät tuotettua biokaasua pääasiassa vain omiin prosesseihinsa.

Taulukko 4. Suomen teollisuuden hyödyntämiä biokaasulaitoksia (Biokierto 2021).

Toimija/Sijainti	Teollisuuden ala	Laitostyyppi	Jätteenkäsittely-kapasiteetti [t/a]	Jalostus
Metsä Fibre/Äänekoski	Metsä - sellu	Märkämädätys	10 000 - 30 000	Kyllä
Apetit Oyj/Säkylä	Elintarvike	Jätevesireaktori	10 000 - 30 000	Ei
Orkla Confectionery & Snacks Finland Ab/Ahvenanmaa	Elintarvike	Jätevesireaktori	10 000 - 30 000	Ei
Ålandsmejeriet/Ahvenanmaa	Elintarvike	Märkämädätys	10 000 - 30 000	Ei
St1 Oy/Hämeenlinna	Energia - bioetanoli	Märkämädätys	17 000	Ei
Stora Enso/Heinola	Metsä - sellu, kartonki	Jätevesireaktori	16 000	Ei
Suupohjan Perunalaakso Oy/Karjoki	Elintarvike	Märkä-kiinto-prosessi	< 10 000	Ei

2.4 Maatilakohtaiset biokaasulaitokset

Maatilakohtaisia biokaasulaitoksia Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n rekisteristä löytyy 23 laitosta (taulukko 5). Osa maatilakohtaisista biokaasulaitoksista on opetus- tai tutkimuskäytössä, mutta pääasiassa ne tuottavat biokaasua omaan sähkön- ja lämmöntarpeeseen. Osassa maatilakohtaisia laitoksia on myös biokaasun jalostusmahdollisuus. Tarkkaa tietoa tuotetun biokaasun määrästä ei ollut saatavilla.

Maatilakohtaiset laitokset perustuvat usein ainoastaan tilakohtaisesti muodostuviin syötteisiin ja tästä johtuen laitosten kapasiteetit ovat pieniä. Tilastokeskuksen tietojen mukaan maatilakohtaisilla biokaasulaitoksilla tuotettiin vuonna 2020 arviolta 20 GWh energiaa vastaava määrä biokaasua, joka on aikaisempia vuosia hieman suurempi (Tilastokeskus 2021a). Määrä vastaa noin kahta prosenttia kokonaistuotannosta. Huomion arvoista kuitenkin on, että maatalousperäiset biomassat, kuten lannat ja nurmikasvit, kattavat merkittävimmän osuuden Suomen biokaasupotentiaalista. Näihin pohjautuvien laitosten heikko kannattavuus on kuitenkin vaikeuttanut laitosten kehittymistä.

Taulukko 5. Suomessa toimivien maatilakohtaisten biokaasulaitosten tietoja (Biokierto 2021).

Toimija/Sijainti	Laitostyyppi	Syötteiden käsittelykapasiteetti [t/a]	Jalostus
Biopir Oy/Vehmaa	Märkämädätys	20 000	Ei
Jahotec Oy/Liminka	Märkämädätys	10 000	Kyllä
Hietakorven tila/Vimpeli	Märkämädätys	7 000	Ei
Maatila Lassi Kähkönen/Valtimo	-	6 000	-
Kotimäki/Halsua	Märkämädätys	5 000	Ei
Palopuron Biokaasu Oy/Hyvinkää	Kuivämädätys	4 200	Kyllä
Ammattiopisto Livia/Kaarina	Märkämädätys	< 10 000	Ei
Ammattiopisto Lappia/Tervola	Märkämädätys	< 10 000	Ei
Lähteen tila/Haapavesi	Kuivämädätys	< 10 000	-
Vuorenmaan tila/Haapavesi	Kuivämädätys	< 10 000	Kyllä
Haapajärven ammattiopisto/Haapajärvi	Märkämädätys	< 10 000	Kyllä
Heusalan tila/Nivala	Märkämädätys	< 10 000	Ei
Juntulan tila/Suomussalmi	Märkämädätys	< 10 000	Ei
Ilpo Wenström/Toholampi	-	< 10 000	Ei
Huutolan tila/Suomussalmi	Märkämädätys	< 10 000	Ei
Kalmarin tila/Leppävesi	Märkä- ja kuivämädätys	< 10 000	Kyllä
Koivunen/Virrat	Märkämädätys	< 10 000	Ei
Luke tutkimusmaatila/Maaninka	Märkämädätys	< 10 000	Ei
Maitoparrat Oy/Utajärvi	-	< 10 000	-
Mty Lähteenmäki/Rusko	Märkämädätys	< 10 000	Ei
Qvidja Gård/Parainen	-	< 10 000	Kyllä
Uusitalo Group/Kannus	Märkämädätys	-	-
Jokimaan tila/Askola	-	-	-

2.5 Suunnitteilla olevia biokaasulaitoksia

Suomeen on suunnitteilla useita uusia biokaasulaitoksia eri puolille maata. Eri medialähteiden pohjalta keväällä 2021 oli löydettävissä yli kymmenen eri vaiheessa olevaa biokaasulaitoshanketta. Taulukoon 6 on poimittu muutamia suurimpia biokaasulaitoshankkeita. Osalle hankkeista on jo myönnetty työ- ja elinkeinoministeriön investointitukia.

Taulukko 6. Suunnitteilla olevia biokaasulaitoksia (Gasum 2020; Paavola 2020; TEM 2020).

Toimija/Sijainti	Tuotanto [MWh/a]	Jalostus	Nesteytys
Nurmon Bioenergia Oy/Nurmo	100 000	Kyllä	Kyllä
Gasum/Oulu, Laanila	40 000	Kyllä	Kyllä
Gasum/Oulu, Rusko	20 000	Kyllä	Kyllä*
BioGPaimio/Paimio	30 000	Kyllä	Ei
Envor Group Oy/Pori	20 000	Kyllä	Ei

*nesteytys Laanilan laitoksella

Taulukossa esitettyjen laitosten biokaasuntuotantopotentiaali on merkittävä. Vaikka laitoksia on taulukossa ainoastaan viisi, vastaa niiden kapasiteetti noin puolta tällä hetkellä toiminnassa olevien yhteiskäsittelylaitosten nykytuotannosta.

Nurmon Bioenergia Oy

Toteutuessaan Nurmon Bioenergia Oy:n laitoskonsepti on ensimmäinen alkutuotannon massavirtoja, pääasiassa lantoja, nesteytetyksi biometaaniksi (LBG) ja kierrätysravinteiksi jalostava laitos Suomessa (Paavola 2020). Täydellä kapasiteetilla toimiessaan laitos tuottaa vuodessa noin 10 miljoonaa kuutiota metaania, mikä vastaa 100 GWh energiaa. Osa tuotetusta biokaasusta käytetään lämmön ja sähkön tuotantoon (CHP) ja osa puhdistetaan ja paineistetaan tai nesteytetään liikennepolttoaineeksi. Laitos on jo saanut ympäristöluvan ja rakennusluvan. Lisäksi hankkeelle on myönnetty mittava, yli 9 miljoonan euron valtion investointituki. Rakennustyöt käynnistetään, kun LBG:n myynnin esisopimukset saadaan kasaan. Investointituen ehtona on, että rakentaminen on aloitettava viimeistään keväällä 2021. Arvioiden mukaan valmista on aikaisintaan loppuvuodesta 2022.

Gasum, Oulu, Laanila

Oulun Energian Laanilan ekovoimalaitoksen yhteyteen on suunnitteilla Suomessa täysin uudentyypinen biokaasulaitos. Laitoksen materiaali pohjaksi kaavaillaan yhdyskuntien sekajätteen joukossa olevaa biohajoavaa materiaalia. Oulun Energian ja Gasumin yhteishankkeessa Oulun energia investoi jätteenkäsittelylaitteistoon, jolla 130 000 tonnin vuotuisesta kotitalouksien sekajättemäärästä erotellaan noin 45 000 tonnia biojätettä. Gasum puolestaan vastaa biohajoavan jätteen prosessoinnista biokaasuksi ja jalostamisesta liikennepolttoaineeksi. Laanilan biokaasulaitokseen tulee myös nesteytysmahdollisuus. Valmistuessaan biokaasulaitos tuottaa noin 40 GWh nesteytettyä biokaasua vuodessa. (Gasum 2020.) Hankkeelle on myönnetty valtion investointitukea lähes 8 miljoonaa euroa (TEM 2020).

Uuden biokaasulaitoksen lisäksi Gasum suunnittelee myös olemassa olevan Oulun Ruskon biokaasulaitoksen laajennusta. Laajennuksen jälkeen laitoksen biokaasun tuotantokapasiteetti kasvaisi 20 GWh vuodessa. Lisätuotanto toimitetaan Laanilaan nesteytettäväksi. Nesteytetyn biokaasun vuosittainen tuotantomäärä Oulun seudulla olisi tällöin yhteensä 60 GWh. (Gasum 2020.)

BioGPaimio

BioGPaimio Oy rakentaa maatalouden biomassoja hyödyntävän teollisen kokoluokan biokaasulaitoksen Paimioon. Kaasu käytetään pääasiassa liikennekaasuna. Hankkeessa otetaan käyttöön uudenlaista reaktoritekniikka, minkä ansiosta laitos voi käsitellä tavallista kuivempia raaka-ainetta, mikä tehostaa tuotantoa ja alentaa kuljetuskustannuksia (TEM 2020.). Hanke eteni merkittävän harppauksen syksyllä 2020, kun työ- ja elinkeinoministeriö myönsi sille 2,4 miljoonan investointituen. BioGPaimion seuraavat askeleet ovat ympäristöselvitysten laatiminen ja omistuspohjan laajentaminen. Rakentaminen alkaa 2022-2023 aikaikkunassa. BioGPaimion takana ovat Envor Group Oy, Paimion Kehitys Oy ja Erpe Oy.

Envor Pori

Envor Pori laajentaa keväällä 2021 Poriin valmistuvaa yhdyskuntalietteitä hyödyntävää biokaasulaitosta rakentamalla sen yhteyteen uuden biokaasureaktorin, jossa voidaan käsitellä erilliskerättyä biojätettä, elintarviketeollisuuden biolietteitä sekä maatalouspohjaisia biomassoja. Laajennus tuottaa vuodessa noin 20 GWh biometaania liikennekäyttöön. Investoinnin uutuusarvo liittyy mahdollisuuteen käsitellä laadultaan erilaisia syötteitä samassa laitospohjaisuudessa mutta eri linjastoilla, mikä edistää mädätejäännösten hyötykäyttömahdollisuuksia. Investointiin on myönnetty valtion tukea 2,58 miljoonaa euroa. (TEM 2020.)

Mikäli taulukossa 6 listatut laitokset toteutuvat suunnitellusti, kasvaa nesteytetyn biometaanin tuotanto nykyisestä 60 GWh:sta jopa 220 GWh:iin, eli yli kolminkertaiseksi.

3 Uudet teknologiat biokaasutuotannossa

Tulevaisuudessa biokaasua ja biometaanina voidaan tuottaa myös muulla tavoin kuin mädättämällä, esimerkiksi metanoimalla biomassan kaasutuksessa syntyvää synteettistä kaasua tai jatkokäsittämällä uusiutuvalla energialla tuotettua vetyä biometaaniksi.

3.1 Synteettisen biometaanin tuotanto

Synteettisen biokaasun (SBG) valmistus pohjautuu puun tai muun biomassan termiseen kaasutukseen ja sitä seuraavaan metaanisynteesiin. Teknologia otettiin demonstraatiokäyttöön ensimmäisen kerran Itävallassa vuonna 2009. Kaupalliseen käyttöön SBG-teknologia otettiin ensimmäisenä Ruotsissa vuonna 2014. (Lampinen 2015.)

Suomessa biomassan kaasutukseen perustuvaa biometaanin tuotantoa ei vielä ole. Viime vuosikymmenen alussa Gasum Oy, Helsingin Energia ja Metsä Fibre Oy suunnittelivat SBG:tä tuottavan biojalostamon rakentamista Lappeenrantaan Metsä Fibren Joutsenon sellutehtaan alueelle. Jalostamo olisi tuottanut sellutehtaan sivuvirroista, pääasiassa metsähakkeesta ja kuoresta, puupohjaista biokaasua maakaasuverkkoon syötettäväksi 1,6 TWh vuodessa. Teknisesti hanke olisi ollut toteutettavissa, mutta haasteeksi muodostuivat taloudelliset kysymykset, eikä hanke edennyt toteutusvaiheeseen.

Suomalaisittain merkittävät biomassat ovat puuhake sekä sellu- ja paperiteollisuudessa muodostuva mustalipeä. Kelavuoren (2017) mukaan suurin biometaanituotannon potentiaali Suomessa liittyy sellutehtaissa muodostuvan mustalipeän kaasutukseen; mikäli 15 % tuotetusta mustalipeästä kaasutettaisiin ja jatkokäsitteläisiin biometaaniksi, voitaisiin sillä tuottaa jopa 6 TWh biometaanina vuodessa.

3.2 Vetyteknologiaan perustuva konversio biometaaniksi

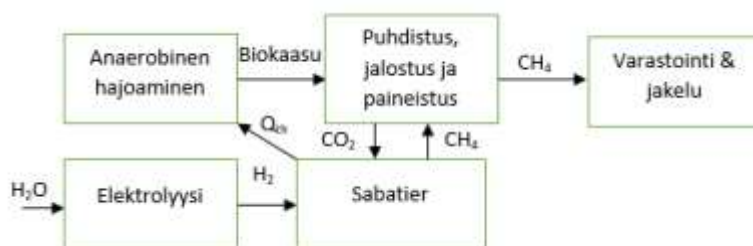
Biometaanina voidaan tuottaa myös Power-to-Gas (PtG) teknologiassa uusiutuvilla energianlähteillä tuotettu sähköenergia pilkkoo vettä hapeksi ja vedyksi elektrolyysin avulla. Tuotettu vety jatkojalostetaan sitten ilmasta tai muusta lähteestä saatavan hiilidioksidin avulla metaaniksi ns. Sabatier-reaktiolla:



Vedyn turvallisen ja käytännöllisen varastoinnin ongelmien vuoksi sen jatkokäsittely metaaniksi tarjoaa hyvän vaihtoehdon sähkön ylituotannon varastointiin (Kelavuori

2017). Uusiutuva metaani voi siten toimia keskiössä kehityksen kulkiessa kohti uusiutuvaa energiataloutta (Lampinen 2015).

Liitettäessä vetyteknologiaan perustuva biometaanin tuotanto biokaasulaitoksen muihin prosesseihin, toimivat prosessit toisiaan täydentävästi (kuva 2).



Kuva 2. Elektrolyysin hyödyntäminen biometaanin tuotannossa (Kelavuori 2017).

Hiilidioksidi ja vety muuntuvat korkean lämpötilan ja katalyytin vaikutuksesta metaaniksi ja vedeksi Sabatier-reaktorissa. CO₂:n lähteenä voidaan käyttää biokaasun jalostusprosessissa talteen otettua hiilidioksidia. Eksotermisestä metanointireaktiosta saatava lämpö voidaan puolestaan hyödyntää biokaasureaktorissa, mikä vähentää prosessienergian tarvetta. Lisäksi tuotettua vetyä voidaan hyödyntää myös biokaasulaitoksen muissa prosesseissa, esimerkiksi jalostuksessa. Sabatier-reaktorista saatavan synteetikaasun metaanipitoisuus on 80–90 %, joten siinä tuotettu kaasu täytyy vielä jalostaa riittävään metaanipitoisuuteen (Kelavuori 2017). Menetelmä nostaa biokaasulaitoksessa tuotetun biometaanin määrää ilman mitään muutoksia anaerobiseen mädätysprosessiin.

Gasum, Kemira ja Lappeenrannan kaupunki selvittivät keväällä 2017 uusiutuvaa metaania tuottavan, 20 MW tuotantotehoisen metanointilaitoksen teknistaloudellista kannattavuutta. Ajatuksena oli tuottaa uusiutuvaa metaania Kemiran Joutsenon tehtaalla sivutuotteena syntyvästä vedystä ja paikallisten teollisuuslaitosten savukaasuista eritellystä hiilidioksidista. Toimijat päätyivät kuitenkin pysäyttämään hankkeen jatkosuunnittelun sen taloudellisen kannattamattomuuden vuoksi, eikä hanketta tulla toteuttamaan lähitulevaisuudessa. Teknistaloudellisen toteutettavuusselvityksen perusteella Joutsenon metanointilaitos olisi kuitenkin ollut teknisesti toteutettavissa. Metanointilaitos olisi toteutuessaan ollut maailman ylivoimaisesti suurin vedystä ja hiilidioksidista uusiutuvaa metaania tuottava laitos. Hanke voidaan tulevaisuudessa ottaa uudelleen tarkasteluun, jos teknologia ja uusiutuvan kaasun markkinat jatkavat kehitystään. (Gasum 2017.)

Edellä kuvaillun metallikatalyyttiin perustuvan kemiallisen metanointiprosessin lisäksi reaktiota voidaan katalysoida biologisesti. Biologinen metanointiprosessi sietää hyvin syötekaasujen epäpuhtauksia, ja hiilenlähteenä voidaan käyttää jopa käsittelemätöntä

biokaasua. Esimerkiksi suomalainen Q Power on kehittänyt patentoidun, mikrobipohjaisen tavan käsitellä vaikeita hiilipohjaisia jäte- ja sivuvirtoja energiaksi (kuva 3).



Kuva 3. Q Powerin metanointiyksikkö (Q Power 2021a).

Vuonna 2019 Q Power ja energiayhtiö St1 toteuttivat onnistuneen pilotin, jossa metanoitiin St1:n Vantaan jalostamon bioetanoliuotannossa syntyvää CO₂-sivuvirtaa. Pienet syötekaasujen etanolipitoisuudet eivät häirinneet metanointia. Vuonna 2020 Q Power toteutti yhdessä Lounais-Suomen Jätehuollon ja Lounavoiman kanssa onnistuneen kaatopaikkakaasun metanointipilotin Salossa Korvenmäen jätekeskuksessa; jopa heikkolaatuinen kaatopaikkakaasu soveltui metanoitavaksi Q Powerin reaktorissa. (Q Power 2021b.) Q Powerin modulaarinen metanointiteknologia skaalautuu pienistä 50 kW ratkaisuista aina 20+ MW kokoluokkaan saakka (Q Power 2021a).

4 Biokaasun jakelu Suomessa

Biokaasua voidaan kuljettaa tuotantolaitoksilta käyttöön monin eri keinoin. Riippuen tuotetun kaasun sijainnista ja käytettävissä olevista vaihtoehdoista, puhdistettua ja jalostettua biometaania voidaan kuljettaa säiliöihin paineistettuna tai nesteytettynä maanteitse, rautateitse tai vesiteitse, tai syöttää valtakunnalliseen kaasuverkkoon. Tuotantolaitoksen ja lähiseudun käyttäjien välille on myös mahdollista toteuttaa paikallinen biokaasuverkko, jossa käyttäjille jaetaan joko puhdistettua biokaasua tai biometaania. Oikein optimoituina kaikilla siirtokeinoilla on oma roolinsa biometaanin hyödyntämisen maksimipotentiaalia tavoiteltaessa (Baxter ja muut 2013).

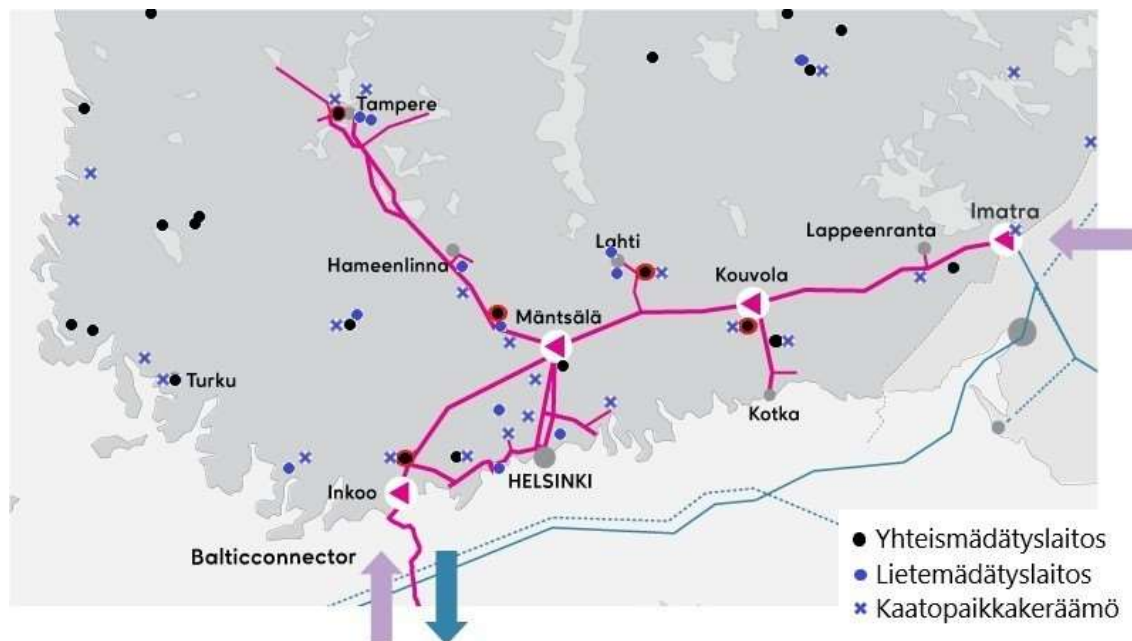
4.1 Gasum

Biokaasun jakelun suurin toimija Suomessa on täysin valtion omistama Gasum. Alun perin Gasum perustettiin maakaasutoiminnan varaan, mutta 2010-luvulta lähtien yhtiö on panostanut vahvasti myös biokaasuun, jota myydään mm. maantie- ja meriliikenteen sekä teollisuuden käyttöön. Gasum onkin nykyisin Pohjoismaiden johtava biokaasun tuottaja ja biohajoavien jätejakeiden käsittelijä. Gasum omistaa Suomessa kymmenen biokaasulaitosta, Ruotsissa Gasumilla on seitsemän laitosta. Näiden lisäksi yhtiöllä on useita laitoshankkeita käynnissä niin Suomessa kuin Ruotsissa, tavoitteenaan tuottaa Suomen markkinoille vuoteen 2024 mennessä 4 terawattitunnin edestä biokaasua sekä omasta että eurooppalaisesta tuotannosta. (Gasum 2021a.)

4.2 Valtakunnallinen kaasuverkkojakelu

Suomessa on käytössä maakaasun jakeluun rakennettu siirtoputkisto, johon voidaan syöttää myös biometaania. 1150 kilometriä pitkistä korkeapaineisesta ja 60 km pitkistä matalapaineisesta verkosta koostuva siirtoputkisto kattaa nykyisin ainoastaan Etelä-Suomen, mikä osaltaan hidastaa sekä maakaasun että biokaasun hyödyntämisen laajentumista. Verkoston avulla Suomeen on tuotu maakaasua Venäjältä. Lisäksi vuoden 2020 alussa avattu Balticconnector –kaasuyhteys Viroon on avannut Suomen kaasumarkkinat ja mahdollistaa nykyisin sekä maakaasun että biometaanin tuonnin ja viennin Eurooppaan. (Baltic Connector 2019; Gasgrid Finland 2021.) Kaasun siirtoverkonhaltijana toimii Gasgrid Finland Oy.

Kuvassa 4 on esitetty kaasun valtakunnallinen siirtoverkosto. Karttaan on lisätty myös eteläisen Suomen biokaasun tuotantolaitokset. Valtakunnalliseen kaasuverkkoon yhdistetyt biokaasulaitokset on kehystetty punaisella.



Kuva 4. Kaasun siirtoverkosto sekä eteläisen Suomen biokaasulaitokset. Muokattu alkuperäisestä lähteestä. (Gasgrid Finland 2021)

Siirtoputkeen syötettävälle biometaanille sovelletaan maakaasun laatuvaatimuksia. Suomessa biometaania siirtoverkkoon syöttävät yhteiskäsittelylaitokset sijaitsevat Kouvossa, Lahdessa, Lohjalla ja Riihimäellä. Myös vuoden 2021 aikana toimintansa aloittava Nokian biokaasulaitos tulee syöttämään valtaosan tuottamastaan kaasusta verkkoon. Lisäksi Gasum jalostaa ja syöttää verkkoon Espoon Suomenojan lietemädättämöllä tuotettua biokaasua. Jakeluverkkoon biometaania syötetään Mäntsälässä (Energiavirasto 2020). Maakaasun siirtoverkkoon syötetyn biokaasun määrä vuonna 2019 oli 95,4 GWh eli vain 0,4 prosenttia kaasun kulutuksesta (Energiavirasto 2020).

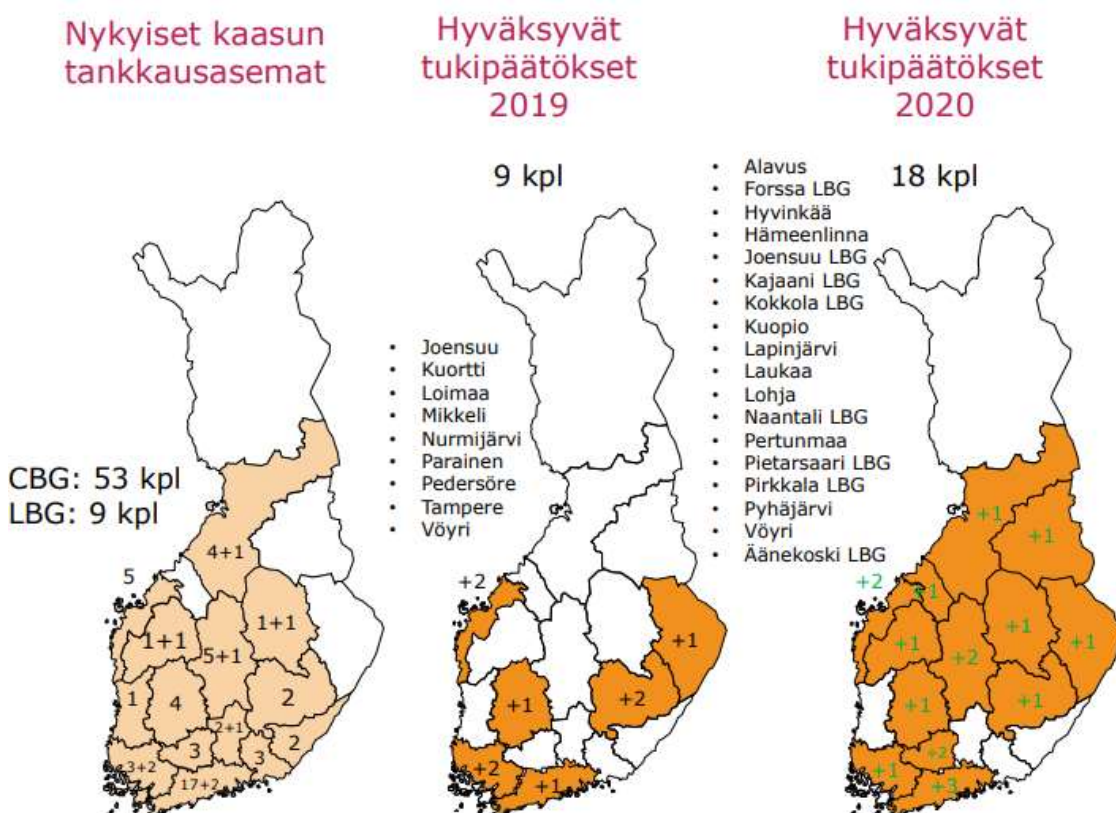
Edellä mainittujen siirto- tai jakeluverkkoon liitettyjen laitosten lisäksi kaasuverkon läheisyydessä sijaitsee kolme yhteiskäsittelylaitosta: HSY:n Ämmässuon biokaasulaitos Espoossa (30 GWh/a), Kymenlaakson Jäte Oy:n laitos Kouvossa (2,5 GWh/a) sekä Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy:n laitos Lappeenrannassa (12,3 GWh/a). Näistä biokaasun jalostus on nykyisin mahdollista vain viimeksi mainitussa.

Toistaiseksi suurin osa, noin kaksi kolmannesta, maamme yhteiskäsittelylaitoksista sijaitsee valtakunnallisen kaasuverkon ulottumattomissa. Nykyiseen kaasuverkkoon ei siis ole nykyisten laitosten sijaintien pohjalta siirrettävissä merkittävää määrää biokaasua. Kaasuverkon ulottumattomissa olevien laitosten kohdalla kaasun toimitukset teollisuudelle ja tankkausasemille toteutetaan paineistamalla kaasu siirtokontteihin tai nesteyttämällä kaasu kuljetusta ja varastointia varten.

4.3 Biokaasun tankkausverkosto tieliikenteelle

Biometaanin käyttö liikennepolttoaineena on ollut viime vuosina kasvussa kaasuauto-kannan kasvun ja jakeluinfrastruktuurin kehittymisen myötä. Vuonna 2019 biometaan-ia käytettiin liikenteessä 79 GWh (Tilastokeskus 2021b). Määrä yli kaksinkertaistui vuodesta 2017. Tulevina vuosina kaasun käytön ennustetaan lisääntyvän erityisesti kuorma-autokalustossa (Sipilä ja muut 2020).

Kuvassa 5 nähdään nykyisten biokaasun tankkausasemien sijoittuminen maakunnit-tain. Henkilöautojen tankkausasemista 60 prosenttia on Gasumin ja loput muiden toi-mijoiden omistamia. Raskaan liikenteen tankkausasemista kaikki yhdeksän nesteytet-tyä kaasua tarjoavaa asemaa ovat Gasumin operoimia.



Kuva 5. Biokaasun tankkausasemien sijoittuminen maakunnittain (Energiavirasto 2021).

Energiavirasto järjesti huhtikuussa 2021 neljännen sähköisen liikenteen ja biokaasun liikennekäytön infrastruktuurituen huutokaupan. Biokaasun tankkauspisteille saapui ennätysmäärä tukihakemuksia, yhteensä 39 hakemusta. Edelliseen huutokauppaan verrattuna tankkausasemia koskeissa hakemuksissa oli merkittävästi enemmän hakemuksia, joissa on nesteytetyn kaasun tankkausmahdollisuus. Energiavirasto ennako- i, että LBG-asemille tullaan antamaan runsaasti tukipäätöksiä (Energiavirasto 2021).

4.4 Biometaanin jakelu teollisuudelle ja energiatuotantoon

Biokaasua voidaan käyttää energiantuotannon lisäksi monissa teollisuuden valmistusprosesseissa, kuten kuumennuksessa tai kuivauksessa. Esimerkiksi Paulig paahtaa kaiken kahvinsa Suomessa puhtaasti biokaasulla. Biokaasulla korvataan yleisimmin polttoöljyä tai neste- tai maakaasua. Tuotettu biokaasu voidaan toimittaa käyttökohteeseensa kaasuverkostossa, paineistettuna konttikuljetuksina tai nesteytettynä säiliöautoilla. (Mutiainen ja muut 2016.)

Jakelu nesteytettynä

LNG-jakeluverkoston kehittyminen on avannut uusia mahdollisuuksia myös nesteytetylle biokaasulle. Sama jakeluketju soveltuu LBG:n jakeluun, eivätkä LBG-toimitukset vaadi toimitusketjuun uusia investointeja. LBG on myös täysin sekoituskelpoinen LNG:n kanssa; niitä voidaan sekoittaa keskenään millä tahansa sekoitussuhteella ja käyttää yhtä aikaa tai vuorotellen samassa käyttökohteessa.

Suomen ensimmäinen LNG-tuontiterminaali otettiin käyttöön Porin Tahkoluodossa vuonna 2016. Terminaalista kaasua jaetaan teollisuuden käyttöön kiinteällä kaasuputkella Kaanaan teollisuusalueelle ja nestemäisenä LNG-rekoilla mm. Harjavallan teollisuuspuistoon. Laivojen LNG-bunkraus onnistuu suoraan terminaalista Tahkoluodon satamassa, muissa satamissa bunkraus tehdään säiliöautosta. (Prizztech 2018.) Toinen LNG-terminaali avattiin vuonna 2018 Tornion Røyttässä. Røyttän alueelle on rakennettu myös putkisto kaasun jakelua varten sekä lastaustermiinali LNG-säiliöautoille. Terminaalista toimitetaan nesteytettyä maakaasua myös polttoaineeksi laivoille. Kolmas LNG-terminaali on rakenteilla Haminan satamaan. Haminan terminaali on Suomen ensimmäinen kansalliseen maakaasun siirtoverkkoon liitettävä LNG-terminaali.

Vaasan alueella nesteytettyä maakaasua on jatkossa saatavilla Gasumin asiakasterminaalista Vaskiluodosta, josta Gasum toimittaa LNG:tä laivayhtiö NLC Ferry Ab Oy:n (Wasaline) uuteen LNG-käyttöiseen Aurora Botnia-alukseen sekä Wärtsilän Smart Technology Hub –tutkimus-, tuotekehitys- ja tuotantokeskukseen. LNG toimitetaan asiakaskohteisiin säiliöautolla. Terminaalin kautta Gasum voi palvella myös muita asiakkaita. Vaasan terminaalin tavoiteltu valmistuminen on vuoden 2021 aikana.

Nesteytettyä biometaanina on Suomessa ollut saatavilla loppuvuodesta 2020 lähtien. Kotimainen LBG tuotetaan Turussa Gasumin Topinojan biokaasulaitoksella. Gasum on solminut sopimuksen LBG-toimituksista mm. cleantech-yhtiö Forchem Oy:n kanssa. Forchem hyödyntää LBG:tä mäntyöljytislaamonsa tuotantoprosessissa Raumalla. Huh-

tikuussa 2021 uutisoitiin, että Gasum on aloittanut LBG:n testitoimitukset Rajavartiolaitoksen ulkovartioalue Turvalle. Lisäksi LBG:tä toimitetaan raskaan liikenteen käyttöön.

Jakelu kaasumaisessa muodossa

Nesteytetyn biokaasun lisäksi Gasumin Turun laitos tuottaa paineistettua biometaanina, jota voidaan käyttää energiantuotantoon teollisuudessa.

Biometaanin paineistus siirtokonttiin on mahdollista myös molemmissa jalostusmahdollisuuden omaavissa Pohjanmaan biokaasulaitoksissa, Jepualla ja Mustasaassa. Jepuan Biokaasu toimittaa kaasua siirrettävissä konteissa mm. Snellman Oy:lle, joka korvaa biokaasulla öljyä lämmityksessä ja prosessihöyryn tuotannossa. Lisäksi puhdistettua biokaasua toimitetaan Jepualta KWH Mirka Oy:n käyttöön. KWH Mirka saa kaasunsa putkea pitkin neljän kilometrin päähän, ja samaa runkoputkea käyttää myös Jepuan Peruna. Mustasaassa Stormossen tuottaa paineistettua biometaania liikennekäyttöön. Lisäksi Mustasaassa sijaitseva Botniahalli ja kolme kiinteistöä Lintuvuoren teollisuusalueella lämmitetään Stormossenilta saadulla biokaasulla.

Envor Groupin Forssan biokaasulaitoksesta saatavaa biokaasua hyödynnetään yrityksen lämmityksessä ja sähköntuotannossa. Lisäksi kaasua johdetaan putkea pitkin Saint Gobain Oy Forssan (Isover) tehtaalle, jossa biokaasulla korvataan suoraan fossiilista butaania. Forssassa onnistuu myös biometaanin pakkaaminen konttiin, jonka avulla biokaasua voidaan siirtää teollisuuden käyttöön. Porissa Luotsinmäen laitokselta biokaasu johdetaan kaasuputkella tankkausasemalle puhdistettavaksi ja paineistettavaksi. Mikäli biokaasun tuotanto ylittää Luotsinmäen tankkausaseman kysynnän, voidaan paineistettu biokaasu kuljettaa kontilla esimerkiksi alueen teollisille käyttäjille.

Myös Gasumin Oulun biokaasulaitoksella biometaania paineistetaan kaasukontteihin teollisuuden käyttöön. Vaihtoehtoisesti CBG voidaan kuljettaa Lahteen syötettäväksi maakaasuverkkoon. Riihimäen, Lahden ja Lohjan laitosten biokaasu jalostetaan ja paineistetaan valtakunnalliseen kaasuverkkoon, josta se on jaeltavissa koko verkoston alueelle eri käyttötarkoituksiin. Myös Mäntsälässä liikennekaasuasemalta ylijäävä biokaasu syötetään maakaasuverkkoon käytettäväksi kaukolämmön tuotannossa ja teollisuudessa.

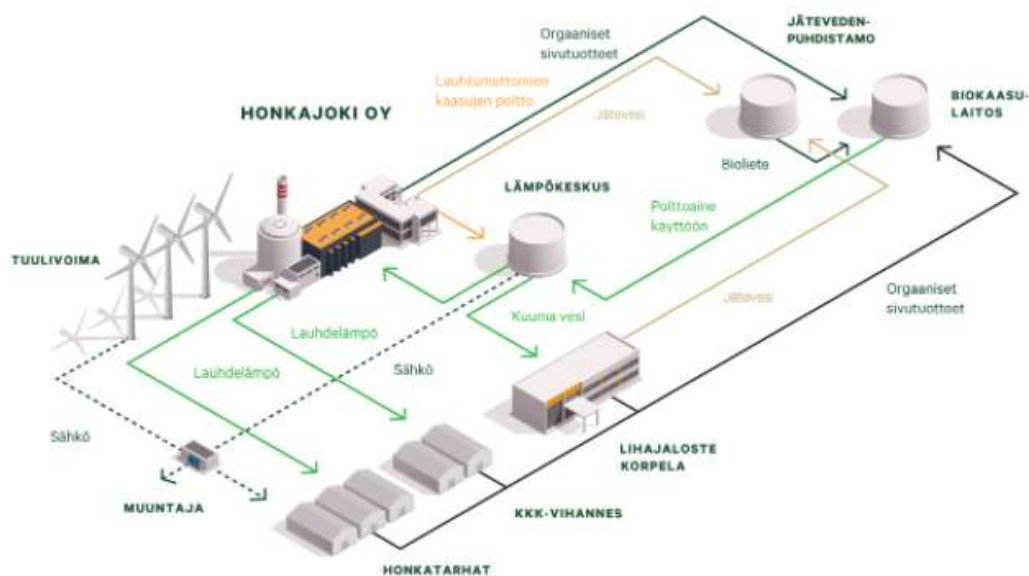
5 Esimerkkejä biokaasuekosysteemeistä

Tässä luvussa esitellään valikoituja esimerkkejä jo toimivista tai demonstraatiovaiheessa olevista biokaasualan ekosysteemeistä Suomessa. Toimijat jaetaan teollisiin, kunnallisiin ja maataloimijoihin.

5.1 Teolliset symbioosit – Case Honkajoki

Teollisissa symbiooseissa yritykset tuottavat toisilleen lisäarvoa hyödyntämällä tehokkaasti toistensa sivuvirtoja, teknologiaa, osaamista tai palveluja. Näin toisen toimijan sivuvirta tai jäte muuttuu naapuriryhtyksen hyötyresurssiksi.

Satakunnassa Honkajoella sijaitsevan Kirkkokallion yritykset tuottavat yhdessä bioenergiaa (kuva 6); kaikki hyödynnettävissä oleva käytetään tavalla tai toisella ennen kuin ne päätyvät jätteeksi. Alueen kiertotalouspioneereihin kuuluvat Honkajoki Oy, KKK-Vihannes Oy, Lihajaloste Korpela Oy, Honkatarhat Oy, Hevikolmio Oy, Honkajoen tuulipuisto, Gasum Oy ja Vatajankoski.



Kuva 6. Kirkkokallion energiapuisto Honkajoella (Honkajoki 2021).

Gasum Oy:n biokaasulaitos Honkajoella käsittelee vuodessa 60 miljoonaa kiloa jätettä. Kirkkokallion alueelta syötteenä saadaan mm. elintarviketeollisuuden sivutuotteita, jätevedenpuhdistamon lietteitä ja kasvihuoneiden kasvijätettä. Lisäksi alueen ulkopuolelta kerätään yhdyskuntien biojätettä. Laitoksessa tuotetaan vuoden aikana noin 30 GWh biokaasua, joka johdetaan maassa kulkevan putken kautta Vatajankosken

moottorivoimalaan. Moottorivoimalassa biokaasusta jalostetaan sähköä, höyryä ja lämpöenergiaa. Voimalan kokonaisteho on 3,6 MW. Osa lämpöenergiasta palaa biokaasulaitokseen mädätysprosessissa käytettäväksi. Moottorivoimalan höyry puolestaan päätyy kokonaisuudessaan Honkajoki Oy:n hyödyksi. Honkajoki Oy:n prosesseissa syntyvä lauhdelämpö taas jaetaan lämpöverkkoa pitkin alueen muihin yrityksiin. Gasumin prosessissa syntyvä mädätysjäännös käytetään seutukunnan maataloilla orgaanisena lannoitteena. (Vatajankoski 2021.)

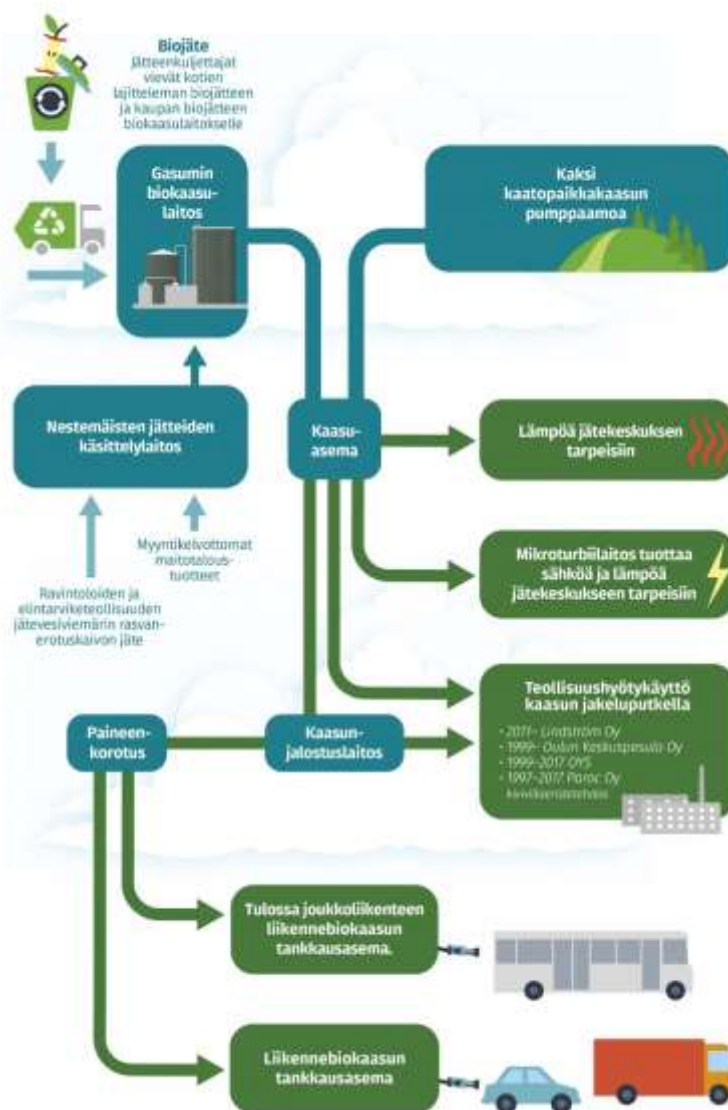
5.2 Kunnalliset toimijat – Case Kiertokaari Oy

Kunnallisilla toimijoilla biokaasuun käytettävä raaka-aine kerätään pääsääntöisesti laajemmalta alueelta. Myös käyttäjät ovat usein levittäytyneet laajemmalle alueelle.

Kiertokaari Oy on Oulun seudulla toimiva kunnallinen jäteyhtiö. Omistajakuntia ovat Hailuoto, Ii, Kempele, Lumijoki, Oulu, Pudasjärvi, Raahe ja Siikajoki. Myös Simon kunta kuuluu palveluiden piiriin, mutta se ei omista Kiertokaaren osakkeita. Kiertokaaren päätoimipaikka on Ruskon kiertotalouskeskus (kuva 7).

Kiertokaaren pääyhteistyökumppanit Ruskon kiertotalouskeskuksessa ovat Gasum ja Oulun Energia. Biokaasun tuotannosta vastaa Gasum. Gasumin Oulun biokaasulaitoksella käsitellään puhdistamolietteitä, elintarviketeollisuuden sivuvirtoja ja yhdyskuntien biojätteitä, yhteensä noin 60 miljoonaa kiloa vuodessa. Laitos tuottaa noin 35 GWh biokaasua vuodessa. Kiertokaari Oy ostaa Gasumilta biojätteen käsittelypalvelun sekä biojätteen käsittelyssä syntyvää raakabiokaasua.

Vuonna 2020 Kiertokaari osti mädätyslaitokselta raakabiokaasua 0,8 miljoonaa kuutiota, minkä lisäksi se pumppasi suljetulta Ruskotunturi-kaatopaikalta ja aktiiviselta loppusijoitusalueelta Ruskon jätekeskuksessa yhteensä 1,9 miljoonaa kuutiota biokaasua käsiteltäväksi omassa puhdistuslaitoksessaan. Kiertokaari tuottaa tarvitsemansa sähkön ja lämmön jätekeskuksen yhteydessä olevalla mikroturbiinilaitoksella. Lisäksi Kiertokaari myy puhdistettua kaasua teollisille käyttäjille, mm. Oulun Keskuspesulaan ja Lindströmin pesulaan, jakeluputken kautta. Jakeluputki on luotu alun perin omavaraisesti. Kiertokaari toimittaa jalostamaansa biokaasua myös liikennepolttoaineeksi. Uusin investointi biokaasun hyötykäyttöön on hidastankkausaseman rakentaminen Oulun joukkoliikenteen kaasubusseille. Kiertokaari tankkaa myös yhtiön omat kaasut itse jalostamallaan liikennebiokaasulla. (Kiertokaari 2020.)



Kuva 7. Ruskon kiertotalouskeskus (Kiertokaari 2020).

Raporttia kootessa löydettiin myös muita uudenlaisia biokaasun tuotantoon liittyviä konsepteja. Esimerkiksi Gasumin Vantaalle loppuvuodesta 2020 perustana siirtokuorma-asema edustaa Suomessa uudentyyppistä biojätteiden keräilymenetelmää. Siirto-kuorma-aseman avulla pääkaupunkiseudun kaikki toimijat voivat kuljettaa biojätteet yhteen osoitteeseen, josta näiden käsittely ja siirto Lohjan biokaasulaitokselle on mahdollista taloudellisemmin suurempina kuormina. Vantaan siirtokuorma-asema kykenee vastaanottamaan vuosittain 34 000 tonnia sekä kiinteää että nestemäistä biojätettä (Gasum 2021b.) Tämänkaltaista lähestymistapaa voitaisiin hyödyntää myös muissa suurissa kaupungeissa tai asumiskeskitymissä.

5.3 Maatilatoimijat

Biokaasutuotannon suurin käyttämätön potentiaali on maataloustuotannon sivuvirroissa, kuten nurmessa ja oljessa sekä lannoissa (Airaksinen ja muut 2019). Maatalouden syötteiden hyödyntämisen haasteena on kuitenkin pienen mittakaavan tuotannon heikko kannattavuus. Suuret kokoluokat olisivat kustannustehokkaampia, mutta pitkien etäisyyksien takia syötteiden kuljetukseen liittyvät kustannukset kasvavat. Paikalliset energiayhtiöt helpottaisivat tilannetta, ja kehittyvän biokaasuliiketoiminnan mahdollisina yhteistyömalleina tuodaankin usein esille osuuskuntatoiminta ja laitosten yhteisomistus. Tällöin voidaan hyödyntää suurempia biokaasulaitoskokoluokkia, mutta kuljetusmatkat pysyvät kohtuullisina. Samalla investointeihin liittyvät riskit sekä osaamistarve voidaan jakaa. (Ojala ja muut 2020.)

5.3.1 Case Palopuron Biokaasu Oy

Paikallisia, osuuskuntamuotoisia biokaasun raaka-aineiden ja niiden toimittajien ympärille muodostuvia energiayhteisöjä löytyy Suomesta vielä vähän (Ojala ja muut 2020). Yksi esimerkki on kuitenkin Hyvinkäällä sijaitseva, usean toimijan yhteisesti omistama Palopuron Biokaasu Oy. Yhtiön osakkaita ovat Nivos Energia Oy, Metener Oy, sekä paikalliset Knehtilän ja Lehtokummun tilat. Biokaasulaitos käyttää raaka-aineenaan osakastiloilla luomutuotannon yhteydessä viljeltävää nurmea sekä lähialueelta hankittavaa hevosen- ja kananlantaa. Tuotetusta kaasusta valtaosa myydään liikennebiokaasuksi. Yli jäänyt osa hyödynnetään lämpöenergiana tiloilla viljan kuivauksessa ja tulevaisuudessa leipomossa. Biokaasuprosessista saatavaa mädätettä käytetään lähipeltojen lannoitukseen. Näin koko energia- ja ravinnekiertokulku nivoutuu yhteen. (Nivos Oy 2021.)

Osuuskunnan perustamisen vaihtoehtona esitetään toisinaan myös ns. Mankala-mallia, jossa useat yhtiöt yhdessä perustavat voittoa tuottamattoman osakeyhtiön yhteistä tarkoitusta varten. Energia-alalla Mankala-yhtiöitä on perustettu voimalaitosten rakentamista ja operointia varten (Ojala ja muut 2020).

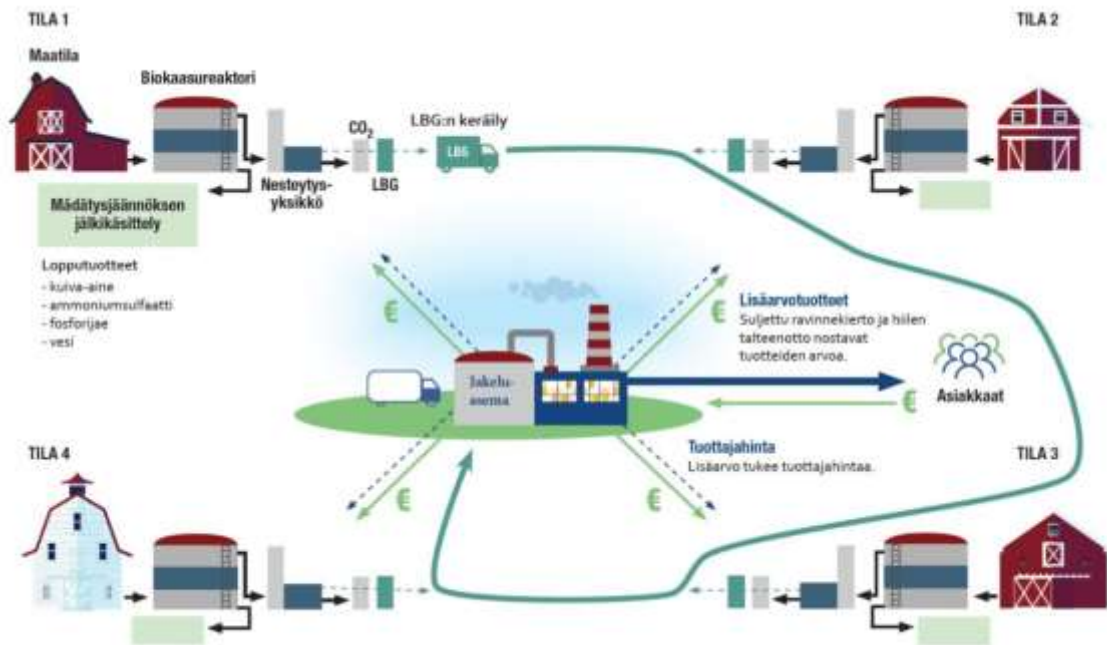
5.3.2 HABITUS-hanke

Centria-ammattikorkeakoululla on menossa mielenkiintoinen tutkimus- ja investointihanke HABITUS – Hajautettu biokaasun tuotanto ja nesteytys Suomessa. Hankkeen tavoitteena on luoda maatilakokoluokan toimintamalli, jossa lietelannan energia- ja ravinejakeet voidaan saada kannattavasti talteen. (Centria 2021.)

HABITUS-hankkeessa kehitettävä toimintamalli on esitetty kuvassa 8. Ideana on tuottaa ja nesteyttää biokaasua ekosysteemiin kuuluvilla tiloilla tilakohtaisesti. Tilalla tarkoitetaan tässä yhden tai useamman yksikön muodostamaa kokonaisuutta. Tiloilla tuotettu

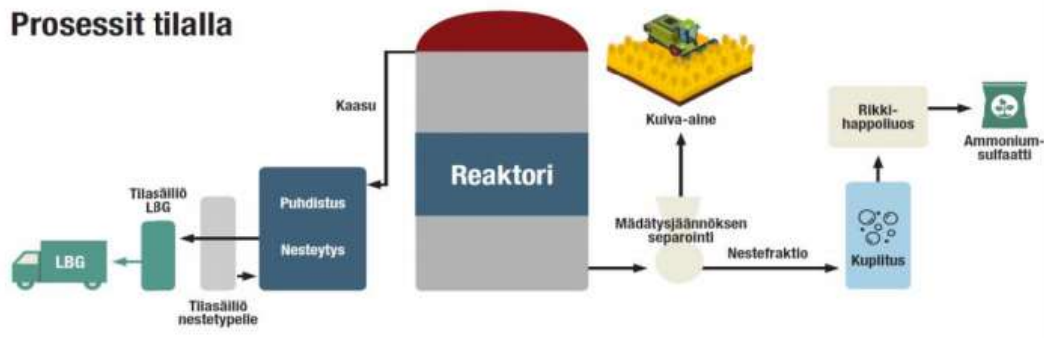
LBG kerätään sitten säiliöautolla kuljetettavaksi yhteiselle biokaasun jakeluasemalle. Biometaanin nesteyttäminen paikan päällä kasvattaa metaanin kuljetusetasuutta ja mahdollistaa suuremmat markkinat.

Hankkeessa suunnitellaan ja valmistetaan kustannustehokas maatilamittakaavaan soveltuva nestetyypen käyttöön perustuva biokaasun nesteytysyksikkö. Nesteytyksen lisäksi hankkeessa suunnitellaan biokaasun sisältämän hiilidioksidin talteenottojärjestelmä. Hiilidioksidista voitaisiin näin saada uusi myytävä tuote biometaanin rinnalle. Hiilidioksidia voidaan myös hyödyntää mm. kasvihuoneiden lannoitteena. Lisäksi hankkeessa etsitään ratkaisua maatilakokoluokan biokaasulaitoksessa syntyvän mädätysjäännöksen käsitteilyyn ja ravinteiden talteenottoon. Tilalla tapahtuvat prosessit on koottu kuvaan 9.



Kuva 8. Hajautettu biokaasun tuotanto ja nesteytys –pilotti Keski-Pohjanmaalla (Centria 2021).

Prosessit tilalla



Kuva 9. Prosessit tilalla (Centria i.a.).

Hankkeen kehitysuudessa luodaan alueella toimivista maatalousyrittäjistä muodostuva virtuaaliosuuskunta. Virtuaalienergiaosuuskunnan avulla pyritään löytämään optimaalinen toimintamalli hajautetulle biokaasutuotannolle sekä sen nesteytykselle ja jakelulle. Hanke alkoi vuoden 2020 alussa ja se valmistuu vuoden 2022 lopussa.

6 Pohdinta ja yhteenveto

Raportin alkuun kuvattiin biokaasutuotannon nykytila ja kartoitettiin Suomessa toimivat biokaasulaitokset. Lisäksi esiteltiin merkittävimmät suunnitteilla olevat uudet biokaasulaitoshankkeet. Kiinnostusta herättäväksi uudenaikaiseksi biokaasulaitostyyppiksi osoittautui esimerkiksi Ouluun suunnitteilla oleva biokaasulaitos, jonka materiaali pohjaksi kaavaillaan yhdyskuntien sekajätteen joukossa olevaa biohajoavaa materiaalia. Sekajätteestä biomassoja erottelevaa tekniikkaa olisi tarpeellista hyödyntää laajemminkin jätteenkäsittelyssä, sillä nykyisin jätteenpolttolaitoksiin kulkeutuu sekajätteen joukossa merkittävä määrä biojätettä. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla vuonna 2018 tehdyn lajittelututkimuksen mukaan kotitalouksien sekajätepusseissa sisälsivät edelleen jopa 40 % biohajoavaa jätettä (HSY 2018), joka nyt menee poltettavaksi, kun sen sisältämä energia voitaisiin hyvin käyttää biokaasuna.

Suomessa lyhyen tähtäimen tavoitteena on nostaa biokaasun tuotanto nykyisestä yhdestä terawattitunnista neljään terawattituntiin vuodessa vuoteen 2030 mennessä. Tältä tasolta olisi mahdollista edetä kohti teknisesti ja taloudellisesti hyödynnettävissä olevaa 10 TWh:n tuotantopotentiaalia vuoteen 2045 mennessä. Lyhyen tähtäimen kolmen terawattitunnin tuotannon lisäys pohjautuisi erityisesti maatalouspohjaisten sivuvirtojen hyödyntämiseen, mutta pidemmän tähtäimen tuotantotavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan niin uusia syötteitä kuin uusia teknologioita perinteisten mädätystekniikoiden rinnalle. Tulevaisuudessa biokaasua ja biometaaniamateriaalia voidaan tuottaa esimerkiksi metanoimalla biomassan kaasutuksessa syntyvää synteetikaasua tai jatkokäsittelmällä uusiutuvalla energialla tuotettua vetyä biometaaniksi. Raportissa kuvattiin näiden menetelmien tekniikkaa ja tulevaisuudennäkymiä.

Lisäksi työssä kartoitettiin biokaasun nykyinen jakeluverkosto. Liikennebiokaasun tankkausverkoston lisäksi tarkasteltiin biokaasun toimituksia teollisuudelle, lähimerenkulkuun ja energiantuotantoon. Toistaiseksi suurin osa, noin kaksi kolmasosaa, biokaasua biometaaniksi jalostavista yhteiskäsittelylaitoksista sijaitsee valtakunnallisen kaasuverkon ulottumattomissa. Nykyiseen kaasuverkkoon ei näin ollen ole nykyisten laitosten sijaintien pohjalta siirrettävissä merkittävää määrää biokaasua. Kaasuverkon ulottumattomissa olevien laitosten kohdalla kaasun toimitukset teollisuudelle ja tankkausasemille toteutetaan paineistamalla kaasu siirtokontteihin tai nesteyttämällä kaasu kuljetusta ja varastointia varten.

Kysyntä puhtaammille logistiikkapalveluille kasvaa nopeasti. Nesteytetty maakaasu on raskaassa liikenteessä jo yleisesti käytössä, mutta nesteytetyn biokaasun käyttö on vielä vähäisempää. Nesteytettyä biometaaniamateriaalia tuotetaan tällä hetkellä ainoastaan Turun biokaasulaitoksella, josta Gasum toimittaa LBG:tä raskaan liikenteen tankkausasemilleen,

teollisuusasiakkailleen sekä merenkulkuun. Uusiin suunnitteilla oleviin laitoksiin nesteytysmahdollisuus on tulossa Ouluun ja Nurmoon. Mikäli mainitut laitokset toteutuvat suunnitellusti, kasvaa nesteytetyn biometaanin tuotanto nykyisestä 60 GWh:sta jopa 220 GWh:iin eli yli kolminkertaiseksi. Paineistetun biometaanin toimitukset konttikuljetuksina on mahdollista mm. Jepualta, Mustasaaresta ja Oulusta.

Tulevaisuudessa biokaasun tuotanto integroituu ennen kaikkea kasvavaan kiertotalouteen, jolloin jätevirtojen tehokas hyödyntäminen ja ravinteiden hyötykäyttö korostuvat. Raportin lopuksi esiteltiin valikoituja esimerkkejä jo toimivista tai vielä demonstraatiovaiheessa olevista biokaasualan ekosysteemeistä Suomessa. Teollisissa symbioosisissa yritykset tuottavat toisilleen lisäarvoa hyödyntämällä tehokkaasti toistensa sivuvirtoja, teknologiaa, osaamista tai palveluja. Näin toisen toimijan sivuvirta tai jäte muuttuu naapuriyrityksen hyötyresurssiksi. Kunnallisilla toimijoilla biokaasuun käytettävä raaka-aine kerätään pääsääntöisesti edellä mainittua laajemmalla alueella. Myös käyttäjät ovat usein levittäytyneet laajemmalle alueelle. Maataloudessa tilojen välinen yhteistoiminta voisi mahdollistaa biokaasun tuotantopotentiaalin nykyistä paremman hyödyntämisen.

Lähteet

- Airaksinen, J., Annala, S., Bröckl, M., Honkapuro, S., Lassila, J. ja muut (2019). Selvitys sähkön omatuotantoon, energiayhteisöihin ja energiahankkeiden lupamenettelyihin liittyvistä kysymyksistä. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:73. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161978/VNTEAS_2019_73.pdf
- Baltic Connector (2019). Balticconnector-kaasuputken käyttöönottoa juhliittiin Suomessa ja Virossa. Baltic Connector, 11/12/2019. <http://balticconnector.fi/fi/balticconnector-kaasuputken-kayttoonottoa-juhlittiin-suomessa-ja-virossa/>
- Baxter, D., Murphy, J. & Wellinger, A. (2013). The biogas handbook: Science, production and applications. Woodhead Publishing.
- Biokierto (2020). Kotimaisen biokaasun 2030 tavoitteeksi 4 TWh. Julkilausuma. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. <https://biokaasu2030.fi/>
- Biokierto (2021). Suomen biokaasulaitokset. Biokaasulaitokset kartalla 2021. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. <https://biokierto.fi/>
- Centria (2021). Centria-ammattikorkeakoulu. Hankkeet. HABITUS - Hajautettu biokaasun tuotanto ja nesteytys Suomessa. <https://tki.centria.fi/hanke/habitus/2296>
- Centria (i.a.). HABITUS. Hajautettu biokaasun tuotanto ja nesteytys Suomessa – kehityshanke ja investointihanke. Centria-ammattikorkeakoulu. https://www.oamk.fi/images/Hankkeet/BioKaMa/Anne-Riikka_Rautio_HABITUS_08102020.pdf
- Energiavirasto (2020). Kaasun toimitusvarmuus vuonna 2020. Energiavirasto 3.12.2020. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13026619/Kaasun+toimitusvarmuus+vuonna+2020.pdf/7ae54b3d-3584-5f82-8635-74f6a0833044/Kaasun+toimitusvarmuus+vuonna+2020.pdf?t=1606993677919>
- Energiavirasto (2021). Sähköisen liikenteen ja biokaasun liikennekäytön infrastruktuurituki. Informaatiotilaisuus 11.2.2021. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/51662408/Infran+tulosinfo+20210211+esityskalvot.pdf/251d1b6b-bcfa-b277-eb94-9aea3e259bc7/Infran+tulosinfo+20210211+esityskalvot.pdf?t=1613417995610>
- Gasgrid Finland (2021). Kaasun siirtoverkosto. Gasgrid Finland Oy. <https://gasgrid.fi/kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/>
- Gasum (2017). Joutsenon metanointilaitoksen investointi ei vielä ole kannattava. Gasum, uutinen 11.09.2017. <https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2017/joutsenon-metanointilaitoksen-investointi-ei-viela-ole-kannattava/>

- Gasum (2020). Gasum ja Oulun Energia suunnittelevat uuden biokaasulaitoksen rakentamista Ouluun – sekajätteen joukkoon päätyvä biohajoava jäte biokaasuksi. Gasum Oy. <https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2020/gasum-ja-oulun-energiasuunnittelevat-uuden-biokaasulaitoksen-rakentamista-ouluun--sekajatteenjoukkoon-paatyva-biohajoava-jate-biokaasuksi/>
- Gasum (2021a). Pidetään yhdessä maailma kierrossa. Gasum Oy. <https://www.gasum.com/Yrityksille/mukaan-kiertotalouteen/mukaan-kiertotalouteen/>
- Gasum (2021b). Gasumin biojätteen siirtokuormausasema Vantaalla on auennut – Edistää kiertotalouden toteutumista pääkaupunkiseudulla. Gasum Oy. <https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2020/gasumin-biojatteen-siirtokuormausaseman-kayttoonotto-vantaallaedistaa-kiertotalouden-toteutumista-paakaupunkiseudulla/>
- Honkajoki (2021). Vastuullisuus. Honkajoki Oy. <https://www.honkajokioy.fi/vastuullisuus/>
- HSY (2018). Pääkaupunkiseudun sekajätteen koostumus vuonna 2018. Kotitalouksien sekajätteen koostumustutkimus. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. https://kivo.fi/wp-content/uploads/Lajittelututkimus_HSY_2018.pdf
- Kelavuori, J. (2017). Biometaanin tuotanto ja käyttö Suomessa. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/24876/Kelavuori.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Kiertokaari (2020). Kiertokaari Oy. Kiertotalouden edistäminen ja hiilineutraali-teetti. <https://kiertokaari.fi/kiertokaari-oy/kiertotalouden-edistaminen-ja-hiilineutraliteetti/>
- Lampinen, A. (2015.) Biokaasun historia ja tulevaisuus. Teoksessa Kymäläinen M. ja Parkarinen O. (toim.), Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin e-julkaisuja, s. 190–198. ISBN 978-951-784-771-1. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Marttinen, S., Luostarinen, S., Winqvist, E. ja Timonen, K. (2015). Rural biogas: feasibility and role in Finnish energy system. BEST suitable Bioenergy Solutions for Tomorrow. Research Report no 1.1.3–4, <http://bestfinalreport.fi/files/Rural%20biogas%20-%20feasibility%20and%20role%20in%20the%20Finnish%20energy%20system.pdf>
- Mutikainen, M., Sormunen, K., Paavola, H., Haikonen, T. ja Väisänen, M. (2016). Biokaasusta kasvua – Biokaasuliiketoiminnan ekosysteemien mahdollisuudet. Sitran selvityksiä 111. Toukokuu 2016. Ramboll Finland. ISBN 978-951-563-961-5. <https://media.sitra.fi/2017/02/27175150/Selvityksia111-2.pdf>
- Nivos Oy (2021). Kaasu. Palopuron Biokaasu. <https://www.nivos.fi/kotiin/palopuron-biokaasu>

- Ojala, T., Aarras, N., Enwald, H., Miettinen, E., Hautala, J. ja Norrena, T. (2020). Pirkanmaan biokaasuekosysteemin konseptointi. Sweco. Raportti 2020-04-23 final. https://ekokumppanit.fi/wp-content/uploads/Raportti_Sweco_Biokaasuekosysteemi_FINAL.pdf
- Paavola, T. (2020). Keskitetty biokaasulaitos alueellisten ravinnehaasteiden ratkaisijana. Juttusarja biokaasulaitoksista: iso biokaasulaitos. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. <https://biokierto.fi/6018-2/>
- Prizztech Oy (2018). Satakunnan kaasutaloussuunnitelma 2025. https://www.prizz.fi/media/energiaratkaisut/energiaratkaisut-materiaalit/satakunnan-kaasutaloussuunnitelma-2025_final_lowres.pdf
- Q Power (2021a). Teknologia. Biokatalyyttinen metanointi. <https://qpower.fi/fi/teknologia/>
- Q Power (2021b). Ratkaisut. Refrenssit. <https://qpower.fi/fi/ratkaisut/>
- Scarlat, N., Dallemand, J-F. & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy* 129, Part A, 457–472, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Sipilä, E., Kiuru, H., Nylund, N-O. & Sipilä, K. (2020). Jakeluvaihteen laajentaminen. Työ- ja elinkeinoministeriö. https://tem.fi/documents/1410877/2132212/Jakeluvaihteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf/732b8c4d-c07d-b6cad4a7-8af1f2a00b37/Jakeluvaihteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf/Jakeluvaihteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf?t=1599738665281
- TEM (2020). Uusiutuvan energian suuret innovatiiviset demonstraatiohankkeet. Hankekuvaukset 17.11.2020 tuetuista hankkeista. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://tem.fi/documents/1410877/16402203/Uusiutuvan+energian+suuret+innovatiiviset+demonstraatiohankkeet.pdf/7600bfd9-8177-e568-4c28-314caedad337?t=1605597521247>
- Tilastokeskus (2021a). Biokaasun tuotanto ja kulutus laitostyypeittäin, 2017-2020*. https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/statfin__ehk__pxt_127t.px/
- Tilastokeskus (2021b). Liikenteen energiankulutus, 1990-2019. https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/statfin__ehk__pxt_12sz.px/table/tableViewLayout1/
- Vatajankoski (2021). Kirkko-kallion energia-puisto on kierto-talouden edellä-kävijä. <https://www.vatajankoski.fi/kirkkokallion-energiapuisto-kiertotalouden-edellakavija/>
- Virolainen-Hynnä, A. (2020). Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa 2030. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Helsinki. https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/06/Biokaasu2030_raportti_17062020.pdf