

Onni Havunen

BIOKAASUN LIIKENNEKÄYTTÖ

Teknispoliittinen tarkastelu biokaasun potentiaalista
tulevaisuuden liikennekäytössä

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Jukka Rintala
5/2022

TIIVISTELMÄ

Onni Havunen: Biokaasun liikennekäyttö
Biogas utilization as a traffic fuel
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden TkK-tutkinto-ohjelma, ympäristö- ja energiatekniikka
Toukokuu 2022

Tässä kirjallisuusselvityksessä tarkastellaan biokaasun asemaa liikennekäytössä teknispoliittisella lähestymistavalla Euroopan Unionin ja Suomen konteksteissa. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten EU:n ja Suomen poliittisen ohjauksen tavoitteet eroavat toisistaan, miten maailmanpolitiikka vaikuttaa poliittisen ohjauksen suuntautumiseen ja mikä on biokaasun sekä biometaanin tulevaisuuspotentiaali liikenteen polttoaineena sekä energiantuotannossa.

Euroopan Unionin kunnianhimoisen ilmastopolitiikan seurauksena paine vähentää liikenteen päästöjä on merkittävä. Orgaanisen aineksen anaerobisen hajoamisen seurauksena syntyvää biokaasua voidaan jalostaa biometaaniksi, joka on eräs vaihtoehdoista pohdittaessa liikenteen tulevaisuuden energianlähteitä. Vähäpäästöisenä ja uusiutuvana energianlähteenä sen tuotanto biokaasulaitoksissa edistää myös kiertotaloutta, sillä sen raaka-aineena hyödynnetään usein yhteiskunnan jätteitä, sekä maatalouden tai teollisuuden sivuvirtoja. Suomessa eri sektoreiden hyödyntämättömiä orgaanisen aineksen sivuvirtoja on vielä mittavasti, mutta Euroopan mittakaavassa alan merkittävä kasvaminen vaatisi myös muiden kuin sivuvirtojen hyödyntämistä raaka-aineena. Energiakasvien viljelyn tukeminen lainsäädännössä onkin Euroopan biokaasuyhdistyksen EBA:n mukaan tarpeellista, jos alasta halutaan korvaajaa fossiilisille polttoaineille.

Suomen ja EU:n poliittisessa ohjauksessa nousi esiin ristiriita vuonna 2021, kun Unioni osana Fit for 55-lakipaketia ehdotti uusien polttomoottoriautojen valmistuksen kieltä vuodesta 2035 lähtien. Suomen kansallinen tavoite vuodelle 2030 on ollut 130 000 kaasuautoa, joten uusien kaasuautojen kieltä voisi vaikuttaa merkittävästi kaasuautoilun infrastruktuurin kannattavuuteen. Hajanaista biokaasualaa kokoavan lainsäädännön puuttuminen voi johtaa myös esimerkiksi maatalousyrittäjien näkökulmasta heikentyneeseen taloudelliseen tilanteeseen, vaikka sekä Suomen että EU:n tavoitteena on yrittäjien tukeminen.

Toisaalta myös biokaasualan hajanaisuuden seurauksena biokaasuteknologian kehittyminen on hidasta ilman merkittävää investointiohjelmaa. Tekniikoista erityisesti nestemäisen biometaanin tuotanto kryogeeniteknologialla, eli lämpötilaeroihin perustuvalla tekniikalla, voi Suomen mittakaavassa olla yksi potentiaalisimmista kehittyvistä innovaatioista. Maakaasun korvaamisen tarve energiajärjestelmässä voi siirtää biometaanialan painopistettä liikenteestä energiasektorille.

Liikenteessä on nähtävissä biometaanin potentiaalın siirtymää henkilöautoista raskaampaan liikenteeseen. Sähköautojen yleistyessä samanlaista kehitystä ei esimerkiksi rahtiliikenteessä ole vielä nähtävissä. Arvioiden mukaan Suomessa raskaasta liikenteestä puolet voisi kulkea biometaanilla vuoteen 2030 mennessä. Tällä kehityksellä voi olla erityisesti nestemäisen biometaanin tuotantoon mittavat vaikutukset.

Avainsanat: Biokaasu, biometaanı, liikenne, politiikka, maakaasu.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. BIOKAASUN YMPÄRISTÖPOTENTIALIAALI, TUOTANTO JA TEKNISET SOVELLUTUKSET	2
2.1 Ympäristöpotentiaali.....	2
2.2 Tuotannon kehittyminen Suomessa	3
2.3 Tekniset sovellutukset biokaasulle	7
2.3.1 Lämmön ja sähkön tuotanto	7
2.3.2 Biometaanina liikennepolttoaineeksi tai maakaasuverkkoon	8
2.3.3 Vedyn tuottaminen biokaasusta	10
2.3.4 Lämmön, sähkön ja kemikaalien yhteistuotanto	11
3. BIOMETAANIN TUOTANNON JA KÄYTÖN POLIITTINEN OHJAUS EUROOPAN UNIONISSA SEKÄ SUOMESSA	13
3.1 Lainsäädäntö	13
3.2 Poliittiset ohjelmat	16
3.2.1 Euroopan vihreän kehityksen ohjelma Green Deal.....	16
3.2.2 Fit for 55	17
3.2.3 Biokaasun tuotannon ja kaasautoilun tukijärjestelmä	18
3.3 Biokaasun poliittisen ohjauksen tulevaisuuskuva	19
4. TARKASTELU POLIITTISEN OHJAUKSEN VAIKUTUKSISTA	22
4.1 Poliittisen ohjauksen vaikutuksen arviointia biokaasuteknologioihin SNM- ja MLP-mallien avulla.....	22
4.2 Poliittisen ohjauksen reaali maailmalliset vaikutukset biometaanin tuotantoon ja kaasuliikenteeseen.....	25
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	28
LÄHTEET	30

1. JOHDANTO

Euroopan energiajärjestelmään on viime vuosina kohdistunut merkittävää uudistumisen painetta. Ilmastokriisin lisäksi Euroopassa tuotetun päästöttömän ja uusiutuvan energian käyttöön kannustaa myös EU:n hiljattain asettama tavoite vähentää riippuvuutta venäläisestä fossiilisesta energiasta. EU on vastannut uudistumisen paineeseen ilmasto-ohjelmalla, jonka keskeisenä tavoitteena on muuttaa Unioni hiilineutraaliksi vuoteen 2050 mennessä laaja-alaisen talouden rakenteen uudistamisen avulla. Yksittäisistä sektoreista merkittävimpiä on liikenne.

Maa- ja metsätalouden tähteistä tuotettavaa uusiutuvaa biokaasua ja siitä jalostettavaa liikennepolttoainetta biometaania on alan järjestöissä uumoiltu merkittäväksi tekijäksi hiilineutraalissa liikenteessä. Liikennekäytössä biometaanin tuotantoketjun päästöjen on arvioitu olevan 60 % pienemmät fossiiliseen dieseliin verrattuna (Sinkko ym. 2012). Kuitenkin vuonna 2021 esitellyn Unionin ilmastolakipaketin kärkisijaa liikenteen osalta pitää erityisesti sähköinen liikenne. Nykyisellään kalliina pidetyn sähköauton lähes absoluuttinen suosiminen henkilöliikenteessä suhteessa polttomootoriautoihin onkin herättänyt ihmetystä kaasuautoilua ja sen vaatiman infrastruktuurin kehittymistä tukeneessa Suomessa (Vaara 2021).

Työn tavoitteena on vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin: miten Suomen ja EU:n poliittiset tavoitteet biokaasun liikennekäytön suhteen eroavat, miten maailmanpoliittiset ilmiöt voivat heijastua biometaania koskevan lainsäädännön suuntautumiseen ja mikä on biometaanin tulevaisuuspotentiaali liikenteessä ja energiantuotannossa?

Luvussa 2 tarkastellaan biokaasun ympäristöpotentiaalia, tuotannon kehittymistä erityisesti Suomen kontekstissa sekä eri teknisiä käyttökohteita. Luvun 3 Suomen ja EU:n poliittisten ohjauskeinojen sekä asiaan vaikuttavien maailmanpoliittisten ilmiöiden analysoinnin jälkeen luvussa 4 pyritään arvioimaan esimerkkitapausten kautta biometaanin käyttöä erityisesti liikenteen osalta. Lisäksi tavoitteena on kartoittaa yleisemmin biokaasun tärkeimmät potentiaaliset käyttökohteet sekä mahdollisten poliittisten muutosten seuraukset biokaasun asemaan.

2. BIOKAASUN YMPÄRISTÖPOTENTIAALI, TUOTANTO JA TEKNISET SOVELLUTUKSET

Koska biokaasun tuotanto voi olla yhdyskunnan sekä maatalouden jäte- ja sivuvirtojen hyödyntämisen lisäksi primääriraaka-ainetta käyttävää, on tuotannon ympäristöpotentiaalia tarkasteltaessa tärkeää raaka-aineen alkuperän huomiointi. Erityisesti jäte- ja sivuvirtoja hyödyntävänä prosessina biokaasun legitimitettiin energianlähteenä voidaan nähdä ilmastotavoitteiden ja kiertotalousajattelun näkökulmasta vahvana. Biokaasun käyttökohteen valintaan vaikuttavat politiikan lisäksi teknisten sovellutusten saatavuus. Käyttökohteenä voi olla esimerkiksi yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto CHP (Combined Heat and Power) tai liikennepolttoaineeksi sopivaksi biometaaniksi jalostaminen (Winqvist ym. 2021, 2).

2.1 Ympäristöpotentiaali

Biokaasun ympäristöpotentiaali kytkeytyy raaka-aineiden riittävyyteen ja lähteisiin. Esimerkiksi Saksaan verrattuna biokaasun tuotantoon sopivien sivuvirtojen, kuten lannan, hyödyntäminen on Suomessa vielä matalalla tasolla (Winqvist ym. 2021, 7). Taulukossa 1 on vertailtu biometaanin tuotannon potentiaaleja Saksassa, Alankomaissa ja Suomessa. Taulukosta nähdään, että biometaanin potentiaalisen ja todellisen tuotannon ero Suomessa on yli kymmenkertainen.

Taulukko 1: Biometaanin tuotantopotentiaalain vertailua Saksan, Alankomaiden ja Suomen välillä. Perustuu lähteeseen: (Winqvist ym. 2021, 4)

	Saksa	Alankomaat	Suomi
Biokaasun tuotanto asukaslukuun suhteutettuna (kWh)	587	243	135
Biometaanin tuotanto asukaslukuun suhteutettuna (kWh)	124	91	19
Biometaanin tuotanto (GWh)	10292	1574	105
Lantamateriaalin potentiaali biometaanin tuotantoon (GWh)	22130	9620	1250

Biojätteenkäsittely Suomessa perustuu pääasiassa aerobiseen kompostointiin, jonka tuotteena olevaa vihermultaa ei kuitenkaan juurikaan voida hyödyntää viherrakentamisen ja maantäytön lisäksi (Pirkkamaa 2022). Tämä johtuu esimerkiksi biojätteeseen päätyvistä muista jakeista, kuten esimerkiksi lasista tai metallista (Pirkanmaan Jätehuolto Oy 2022a). Myös biojätteen tavoin käsiteltävän jätevedenpuhdistamoilta peräisin olevan

lietteen ihmisperäisyydestä johtuvat hygieniaongelmat voivat estää hyödyntämisen ruokakasvien alustana. Tämä tarkoittaa sitä, ettei mullan ravinteita saada tehokkaasti hyötykasvien käyttöön. Anaerobisessa mädätysprosessissa orgaanisen hajoamisen seurauksena kompostoitavan aineksen määrä vähenee tarjoten tähän ongelmaan ratkaisun.

Eri tarkoituksiin soveltuvana polttoaineena biokaasulla voi olla merkittäväkin potentiaalia tavanomaisten fossiiliperäisten polttoaineiden korvaajana. Fossiilisten energianlähteiden ja päästöjen vähentämiseen tähtäävä vihreä siirtymä ei tältä osin vaadi valtavia ajatusmallin muutoksia. Esimerkiksi Suomessa suositulla yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannolla eli CHP:lla biokaasua voidaan samoin tavoin polttaa, mutta käytännössä nollapäästöin. Tämä johtuu siitä, että biokaasun orgaanisten raaka-aineiden sisältämä hiili on alun perin pääasiassa ilmakehän hiilidioksidista peräisin. Tällöin biokaasun palaessa ei vapaudu maaperästä ”uutta” hiilidioksidia ilmakehään, toisin kuin fossiilisia polttoaineita käytettäessä. (Furtado Amaral ym. 2020, 3)

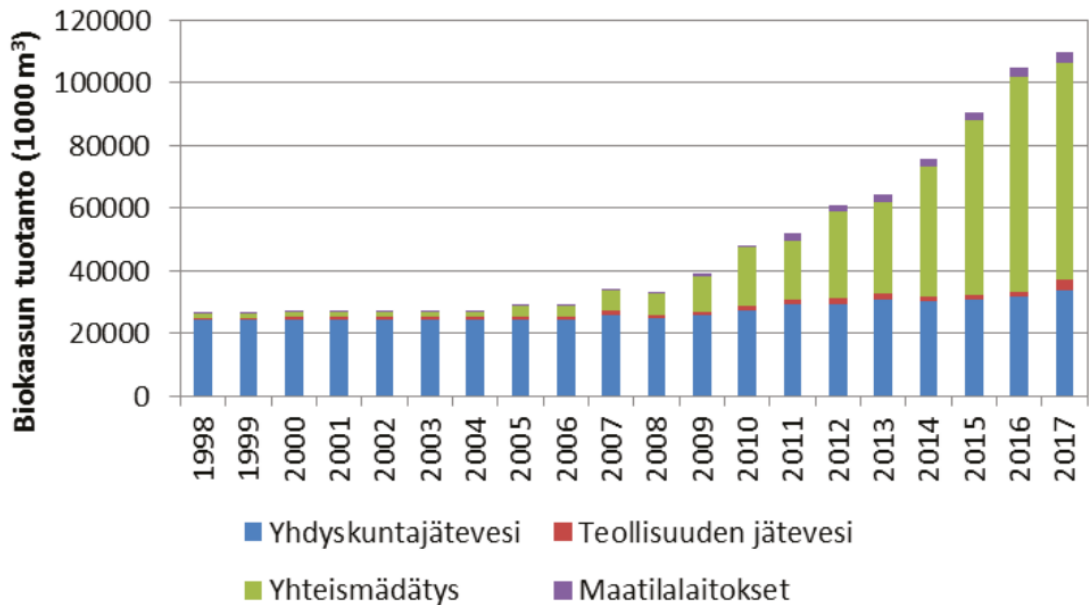
Metaania 60 % sisältävän biokaasun lämpöarvo on 20–25 MJ/m³. Tämä vastaa noin puolta litraa dieselöljyä. (Vico & Artemio 2017, 270) Koska yhden diesellitran päästöt ovat 2660 g CO₂ (Motiva Oy 2022), on 1 m³ biokaasun näennäinen päästövähennys noin 1300 g CO₂ olettaen, että biokaasu voidaan laskea päästöttömäksi. Vaikka kaasua varastointiolosuhteissa paineistetaan pienempään tilavuuteen, yhdeksi suurimmaksi biokaasun heikkoudeksi voidaan nähdä varastoinnin haasteellisuus suhteessa kiinteisiin tai nestemäisiin polttoaineisiin. Varastoinnin haasteisiin eräs ratkaisu on biometaanin tuotanto ja sen injektointi maakaasuverkkoon.

2.2 Tuotannon kehittyminen Suomessa

Vaikka Suomen ensimmäiset biokaasureaktorit rakennettiin jätevedenpuhdistamoiden yhteyteen jo 1930-luvulla, ja liikennepolttoaineenakin biokaasua käytettiin kannattavasti toisen maailmansodan aikana (Lampinen 2012), tuotanto on ottanut ensimmäiset teollisen tason harppauksensa vasta 2000-luvulla. Ensimmäinen yhdyskuntajätteen mädätykseen tarkoitettu tuotantoyksikkö, eli yhteiskäyttölaitos, nousi Stormosseniin vuonna 1990, ja maatalouden biokaasulaitos Kalmariin vuonna 1998. (Winqvist, Rikkonen & Varho 2018, 6) Alkuinnostuksesta huolimatta biokaasuala on pitkään Suomessa nähty kannattamattomana, eikä suuria muutoksia tuotannossa tapahtunut ennen 2000-luvun vaihdetta.

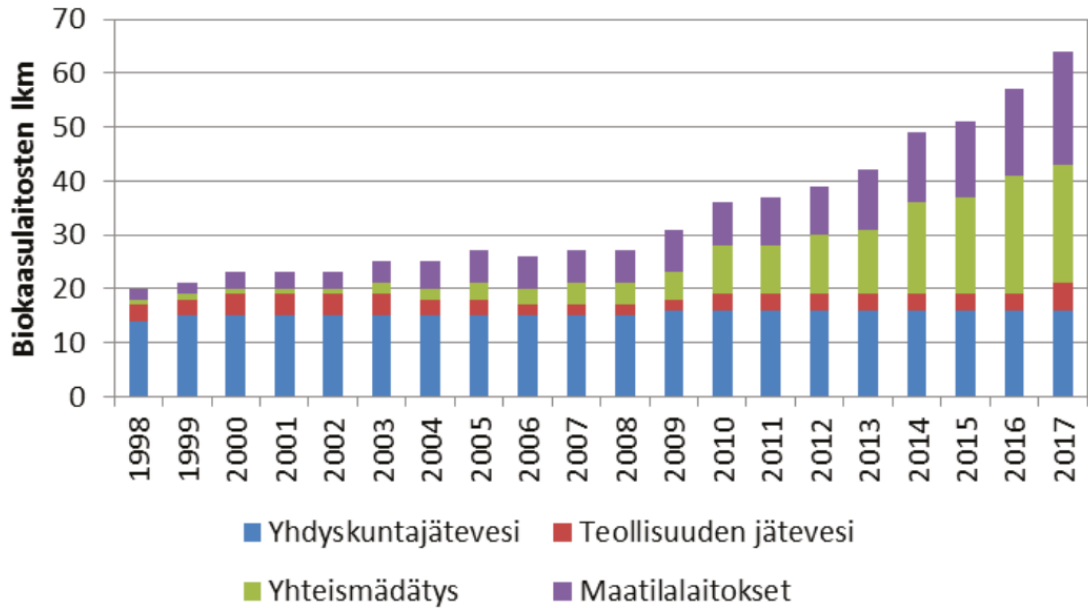
Kuvassa 1 on esitetty biokaasun tuotantomäärien kehittymistä Suomessa 2000-luvulla. Erityisesti yhteismädätyksessä nähtävä nousu 2010-luvulla selittyy työ- ja elinkeinomi-

nisteriön (TEM) vuonna 2011 voimaantulleella syöttötariffilla. Tällä tariffilla tuettiin biokaasulaitosten sähköntuotantoa tarjoamalla valtion preemioita paikkaamaan matalaa sähkön markkinahintaa. (Reskola 2022) Tuki kohdistui kuitenkin selektiivisesti vain osaan CHP (Combined Heat and Power) -tyyppisistä biokaasulaitoksista, joten kasvu heijastui erityisesti biometaania jalostamattomiin laitoksiin. Syöttötariffin lisäksi TEM tarjosi investointitukea biokaasuenergiaa kaupalliseen tarkoitukseen tuottaville laitoksille. Investointituen taso vaihteli 8–30 % välillä. (Åkerlund 2022)



Kuva 1: Biokaasun tuotantokapasiteetti vuosina 1998-2017 (Winqvist ym. 2018, 8).

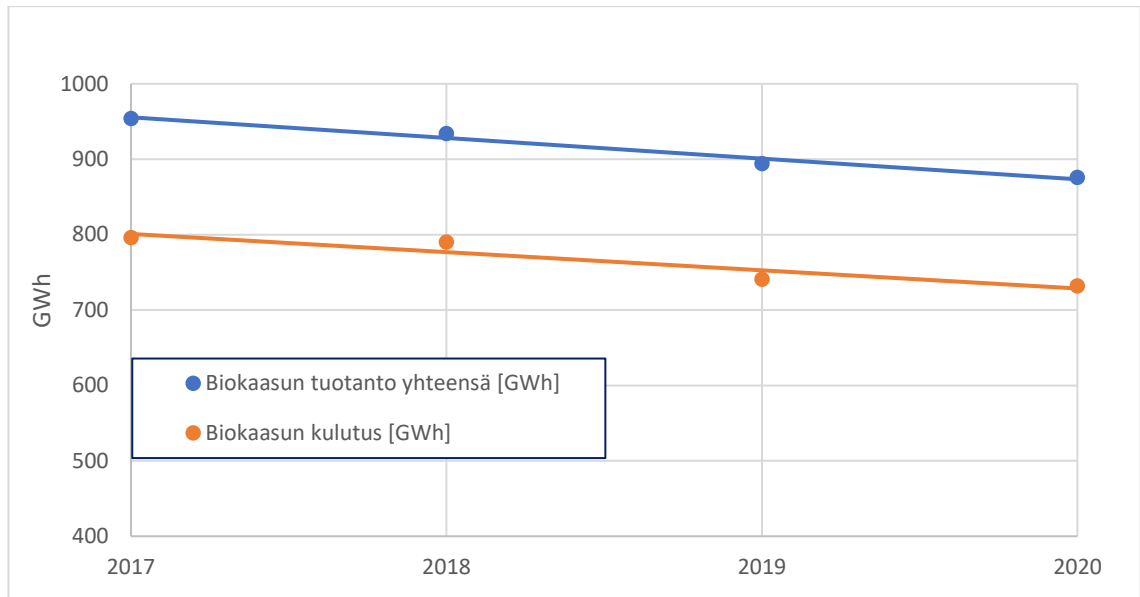
Vaikka maatilalaitosten tuottama biokaasun määrä (kuva 1) on Suomen tuotannosta murto-osallinen, on tilanne laitosten lukumäärällisesti hyvin erilainen. Kuvassa 2 on esitetty biokaasulaitosten lukumäärän kehittyminen laitostyypeittäin vuosina 1998–2017. Huomioitavaa on, että maatilalaitosten määrässä on tapahtunut huomattavaa kasvua vuodesta 2011 eteenpäin. Tästä voidaan päätellä, että maatalouden yhteyteen rakennetut biokaasulaitokset ovat tyypillisesti hyvin pieniä kapasiteetiltaan. Eräänä syynä voinee olla alan epävarmuus, joka heijastuu varovaisuuteen maatilayrittäjien investoinneissa, ja toisaalta myös maatilojen pieni koko.



Kuva 2: Vuoden 2017 lopussa toiminnassa olleet biokaasulaitokset Suomessa (Winquist ym. 2018, 8).

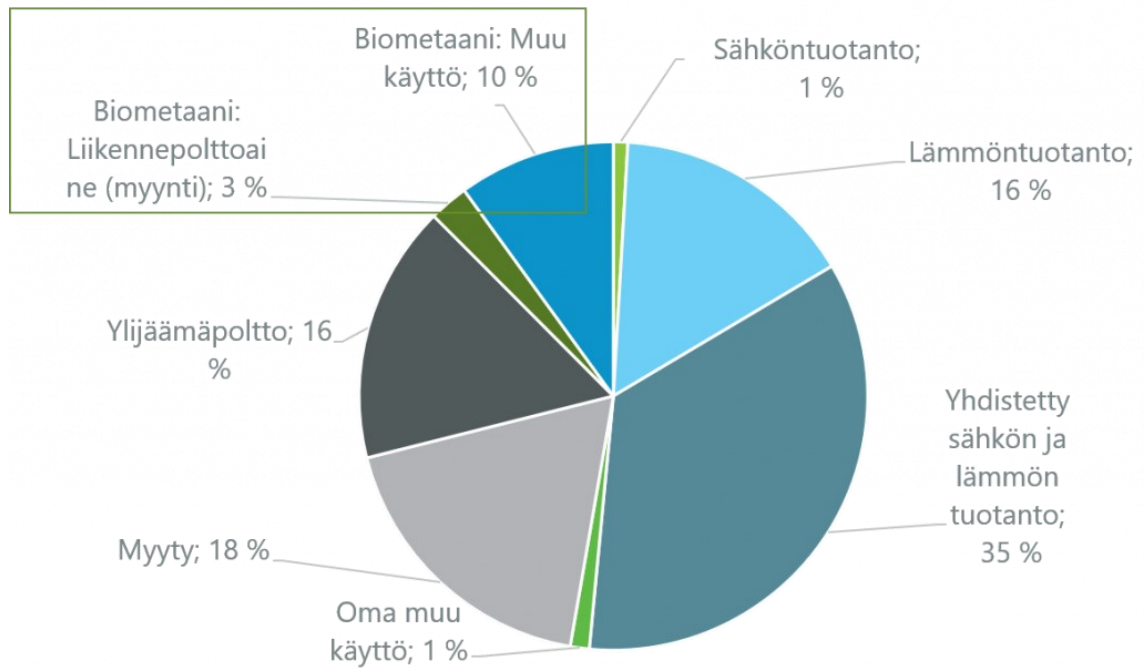
Uusien biokaasulaitosten osalta syöttötariffi poistui käytöstä Suomessa vuoden 2019 alussa. Kuten kuvasta 3 näkyy, biokaasun tuotannon kehitys vuosina 2017–2020 on ollut laskeva. Syöttötariffin hyödyntäminen ei kuitenkaan sen voimassaoloaikanaan ollut erityisen suosittua. Toisaalta tariffista hyötyvien laitosten lukumäärä ei ole vielä merkittävästi laskenut, sillä vuosina 2018 ja 2022 tariffista hyötyi sama määrä, eli 4 voimalaitosta (Energiavirasto 2022a). Kaasun tuotannon lasku selittyy erityisesti kaatopaikkakaasujen vähentymisellä (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2022). Kaatopaikoilta kerätyn biokaasun määrään voidaan odottaa yhä vähenevän lähitulevaisuudessa, sillä vuodesta 2016 astui voimaan orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto (Pirkanmaan Jätehuolto Oy 2022b). Anaerobisen hajoamisen myötä orgaanisen aineen vähentyminen kaatopaikoilla johtaa ajan myötä myös vapautuneen metaanimäärän vähenemiseen.

Kuvan 3 perusteella biokaasun tuotannon ja kulutuksen ero on ollut jokseenkin vakio viime vuosina. Tämä tarkoittaa, että osa tuotetusta biokaasusta jää hyödyntämättä, eli käytännössä se poltetaan soihdussa. Ylijäävän kaasun energia on noin 150 GWh, tarkoittaen luvussa 2.1 esitetyn kuutiokohtaisen lämpöarvon perusteella noin 27 miljoonaa kuutiota biokaasua.



Kuva 3: Biokaasun kokonaistuotanto ja kulutus Suomessa vuosina 2017–2020. Perustuu lähteeseen: (Tilastokeskus 2022a)

Valtionyhtiö Gasumin johdolla 2010-luvun loppupuolella biometaanin liikennekäytön ja-
keluinfraan on panostettu mittavasti (Winqvist ym. 2018, 12). Kuten kuvasta 4 voidaan
todeta, on biokaasun loppukäytössä silti suurin rooli 2010-luvulla ollut joko sähkön- tai
lämmöntuotannossa. Matala sähkön markkinahinta on ohjannut kuitenkin etsimään bio-
kaasulle muita potentiaalisia käyttökohteita. Tämä näkyy biometaanin tuotannon kasvun
korostumisessa, sillä biokaasun kokonaistuotannon laskiessa biometaanin tuotantomää-
rät ovat kasvaneet vuodesta 2017 eteenpäin (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2022).



Kuva 4: Biokaasun jakautuminen käyttökohteittain Suomessa vuosien 2010–2020 aikana. (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2022)

2.3 Tekniset sovellutukset biokaasulle

Jotta biokaasun asemaa ja tulevaisuutta liikennepolttoaineena voidaan arvioida, on tarkasteltava myös sen vaihtoehtoisia käyttökohteita. Noteerattavimpia vaihtoehtoja ovat CHP-tuotanto, biometaaniksi puhdistaminen liikennekäyttöä tai maakaasuverkkoa varten, uusiutuvan vedyn tuottaminen tai kemikaalien jalostaminen. Yhteistä biokaasun sovelluskohteille kuitenkin on, että ne usein vaativat taloudellista tukea yhteiskunnalta kyetäkseen kilpailemaan Euroopan kokoluokan energia- ja liikennejärjestelmässä.

2.3.1 Lämmön ja sähkön tuotanto

Itsenäisissä polttomoottoreissa kaasun polttaminen on käytännöllinen vaihtoehto harvaan asutuille alueille, joilla esimerkiksi sähköverkon toimintavarmuus on heikko. Lämmöntuotanto on erityisen käytännöllistä yksittäisten maatilojen biokaasuyksiköissä (Vico & Artemio 2017, 185). Kaukolämpöverkkoa maatalousalueilla ei useimmiten ole, joten maatiloilla on tarve lämmittää tilojansa itsenäisesti. Toisaalta kotieläintiloille biokaasun tuotanto tarjoaa hyvän mahdollisuuden käsitellä myös eläinten lantajätettä. (Winqvist ym. 2018, 11) Lämmön lisäksi biokaasulla voidaan tuottaa kattilassa myös höyryä, tehden lämmöntuotannosta houkuttelevan vaihtoehdon teollisuudelle (Ullah Khan ym. 2017, 288).

Toisaalta useimmiten mautiloilla, joilla biokaasua käytetään lämmöntuotantoon, lämpöä on ylimäärin tilan omiin tarpeisiin. Jatkuvan biokaasutuotannon seurauksena lämmöntuotantokin voi olla epäkäytännöllistä lämpimien kesien vuoksi. Lämmölle voi kuitenkin pyrkiä keksimään myös muita käyttökohteita. Sen voi käyttää esimerkiksi puutavaran kuivaukseen. Käyttökohteiden puutteen vuoksi monet maatilat ovat kuitenkin siirtyneet tuottamaan lämmön lisäksi myös verkkoon syötettävää sähköä CHP -tuotannolla (Motiva Oy 2013)

Biokaasun raakapolttamisessa suurimpia etuja on se, ettei tällöin biokaasun biometaaniksi jalostamiseen tarvittavaan infrastruktuuriin mene investointikuluja, tehden puhdistamattomana polttamisesta taloudellisesti riskittömämmän vaihtoehdon. Yleisesti ottaen tämä tekijä on johtanut CHP-tuotannon vahvaan asemaan Euroopassa (Vico & Artemio 2017, 133). Kaasua voidaan polttaa esimerkiksi Stirling-moottoreissa, polttokennoissa, kaasuturbiineissa tai tavanomaisissa polttomoottoreissa (Ullah Khan ym. 2017, 288).

Maatilatuotannon asemaa erityisesti CHP tuotannon osalta korostaa se, että mautilojen biokaasun tuotanto on kaksinkertaistunut vuosina 2017–2020. Toisaalta kasvanut tuotanto ei ole lisännyt soihtupoltetun biokaasun määrää, vaan mautilatasolla käytännössä kaikki biokaasu hyödynnetään. (Tilastokeskus 2022a) Koko Euroopan tasolla biokaasukäyttöisten CHP-laitosten määrä on 2000 -luvulla kasvanut, näytellen pääosaa Euroopan biokaasun hyödyntämisessä (Furtado Amaral ym. 2020, 1).

CHP-tuotannon haasteena on erityisesti korkeat käyttökustannukset ja huono hyötysuhde sähköntuotantoon (Winqvist ym. 2018, 14). Kansainvälisesti mikroturbiinit kasvativat 2010-luvun vaihteessa suosiotaan suhteessa perinteisiin CHP-moottoreihin. Koska turbiinit vaativat vähemmän huoltoa esimerkiksi öljyn lisäyksen suhteen, eivät jatkuvat kustannukset ole yhtä suuria. Modulaarisina yksiköinä turbiinien mitoittaminen muuttuvan kapasiteetin mukaan on käytännöllistä, tehden niistä otollisen matalan kynnyksen CHP-sovellutuksen. (Greer 2012)

2.3.2 Biometaania liikennepolttoaineeksi tai maakaasuverkkoon

Jotta biokaasusta voitaisiin tehdä fyysikaalisilta ominaisuuksiltaan fossiilista maakaasua muistuttavaa biometaania, on sitä puhdistettava ennen liikennekäyttöä tai maakaasuverkkoon injektioimista. Tämä lisää kustannuksia, jolloin lopputuotteen kasvanut hinta voi tehdä siitä epäkannattavan suhteessa esimerkiksi maakaasuun. (Vico & Artemio 2017,

133) Jalosteen korkea hinta on ohjannut viime vuosikymmeninä biokaasun käyttöä sähkön- ja lämmöntuotantoon.

Puhdistamattomassa biokaasussa voi olla paljon erilaisia haitta-aineita, muun muassa rikkivetyä, metyyliiloksaaneja, ammoniakkaa, häkää ja hiilivetyjä. Tämä tarkoittaa sitä, että biokaasua puhdistettaessa myös sen palamisesta syntyvien haitta-aineiden määrä vähenee. (Vico & Artemio 2017, 128) Tärkeimmät komponentit ovat kuitenkin metaani ja hiilidioksidi (Ullah Khan ym. 2017, 1).

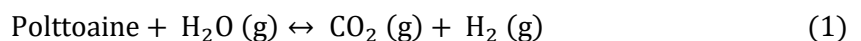
Biometaanin tuotantoprosessi biokaasusta koostuu kahdesta päävaiheesta. Ensin kaasusta puhdistetaan haitta-aineita, kuten edellä mainittua häkää ja rikkivetyä. Tämän jälkeen kaasusta jalostetaan pois hiilidioksidi, jolloin tuotteena saadaan hyvin metaanipitoista kaasua, biometaania. (Vico & Artemio 2017, 135) Tärkeimmät biokaasun puhdistus- ja jalostustekniikat pohjautuvat absorptioon, adsorptioon sekä lämpötila- tai membraanierotteluun (Koonaphapdeelert, Aggarangsi & Moran 2020, 47). Näiden tekniikoiden vahvuuksia ja heikkouksia on eritelty taulukossa 2.

Taulukko 2: Yleisimmät biometaanin jalostustekniikat. Perustuu lähteeseen: (Vico & Artemio 2017).

Menetelmä	Mihin ilmiöön pohjautuu	Vahvuudet	Heikkoudet
Amiinipesuri	Kemiallinen absorptio	Pienet käyttökustannukset, korkea metaanisaanto	Isot investointikustannukset ja prosessienergian kulutus
Vesipesuri	Fysikaalinen absorptio	Yksinkertaisin ja halvin tekniikka, käytännössä rajaton ja halpa absorbantti	Saavutettavissa vain noin 90 % CO ₂ -poistotaso, prosessi haavoittuvainen paljon N ₂ ja O ₂ sisältävälle kaasulle
Orgaaninen liuotinpesuri	Fysikaalinen absorptio	Absorbantti vähän korrosoiva	Korkeat investointi- ja käyttökustannukset, iso energiankulutus
Kryogeeninen erottaminen	Adsorptio	Erittäin korkea metaanin puhtausaste, biometaanin nestemäisessä muodossa	Korkeat kustannukset
Membraanierottelu	Suodatus membraanikalvon läpi	Pienet käyttökustannukset, skaalattavuus, yksinkertainen operointi, yhdistettävyyden muihin menetelmiin	Esimerkiksi amiinipesuria heikompi CO ₂ -poistotaso

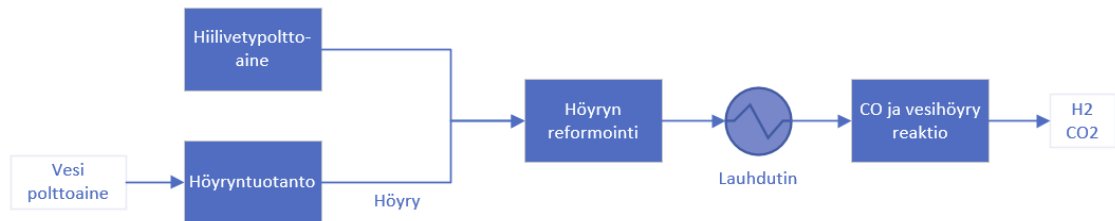
2.3.3 Vedyn tuottaminen biokaasusta

Yksi uudempi innovoitu biokaasun sovelluskohde on biovedyn tuotanto. Höyryreformointiprosessissa vesihöyry ja polttoaineena käytettävä hiilivetymolekyylireagoivat tuottaen vetyä ja hiilidioksidia kaavan (1) mukaisesti. (Springer International Publishing 2017, 6) Koko reformointiprosessi on esitetty kuvassa 5.



Yleisimmin polttoaineena höyryreformointipohjaisessa vetytuotannossa käytetään fossiilista maakaasua. Tämä voidaan kuitenkin tehokkaasti korvata biokaasulla. (Springer International Publishing 2017, 15) Ala on kehittynyt voimakkaasti viime vuosina Euroopan etsiessä ratkaisuja uudistuvaan energiajärjestelmäänsä. Teollisen mittakaavan tuotantomalli biopolttoainepohjaisen korkean puhtausasteisen vedyn tuotantoon on jo kehitetty

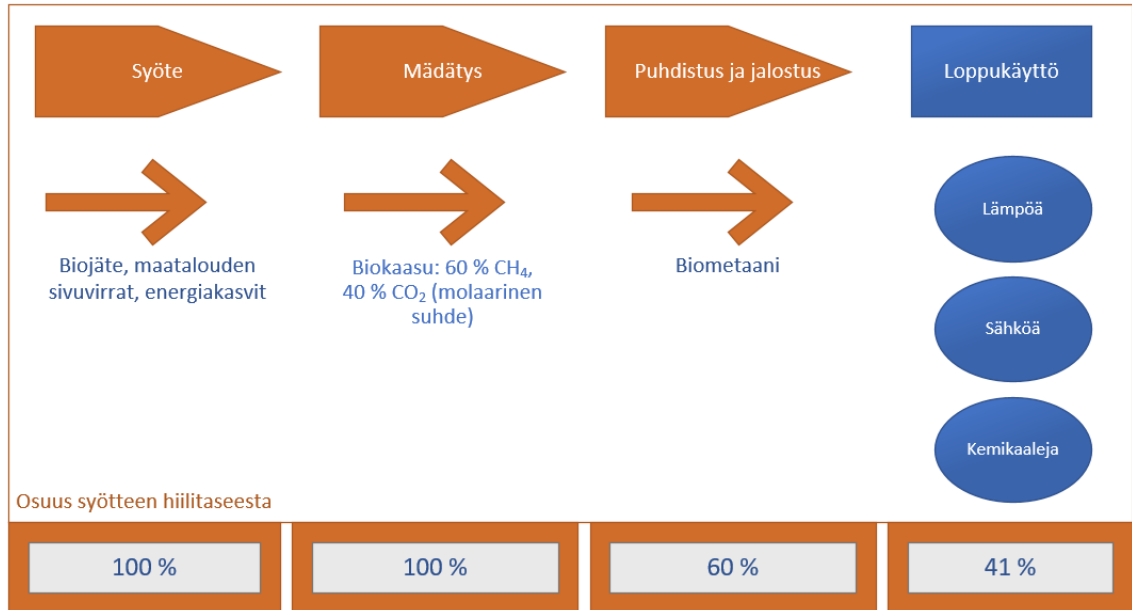
Itävallassa, jossa suljetussa kierrossa raudan hapetus-pelkistysreaktioita hyödynnetään vetytuotannossa (Pixabay 2022). Haja-asutusalueelle soveltuvaa vetytuotannon soveltusta on kehitetty Italian Torinossa. Kehitetyn biokaasuprosessorin kuvataan olevan haja-asutuskäyttöön soveltuva ja kustannustehokas. (European Commission 2022a) Biokaasusta reformointimenetelmällä tuottaessa vetyä kustannusten on arvioitu asettuvan suhteellisen kilpailukykyisiksi verrattuna esimerkiksi elektrolyysitekniikkaan (Pixabay 2022).



Kuva 5: Reformointiprosessi vedyn tuotantoon. Polttoaineena voidaan käyttää myös biokaasua. Perustuu lähteeseen: (Springer International Publishing 2017, 6)

2.3.4 Lämmön, sähkön ja kemikaalien yhteistuotanto

HPC-konseptin (Heat, Power & Chemicals) tavoitteena on tuottaa biokaasusta korkeamman jalostusarvon kemikaaleja muun muassa teollisuuden sovellutusten raaka-aineiksi. Konseptiin yhdistyy myös aiemmin esitelty CHP-tuotanto sekä biometaanin tuotanto kuvan 6 mukaisesti. Tuotettavia kemikaaleja voivat olla esimerkiksi metanoli, dimetyylieetteri tai etikkahappo. Orgaanisten molekyylien syntetisoinnin mahdollisuudet ovat HPC-menetelmällä hyvin laajat, mahdollistaen hyödyntämisen monipuolisesti eri teollisuuden aloilla. (Furtado Amaral ym. 2020, 3)



Kuva 6: Tyypillinen HPC -prosessi. Prosenttiluku kuvaa prosessin vaiheen hiiliosuutta alkuperäisestä hiilen määrästä. Perustuu lähteeseen: (Furtado Amaral ym. 2020, 4)

Käytännössä HPC-prosessi on modifioitu yhdistelmä biokaasusta biometaania puhdistavista prosesseista sekä CHP-laitoksista. Biometaanin puhdistuksessa eroteltuja metaanin ja hiilidioksidin virtoja yhdistelemällä tuotetaan synteetikaasua, jota jatkojalostetaan esimerkiksi metanoliksi. Prosessin eri kohdissa reagoimatta jäänyt kaasuvirta ohjataan polttamalla tuottamaan prosessilämpöä tai sekä sähköä että lämpöä. (Furtado Amaral ym. 2020, 5)

Kiinteiden tuotteiden, esimerkiksi tekstiilien, valmistuksessa käytettynä biokaasuperäisillä kemikaaleilla voitaisiin saavuttaa jopa negatiivisia hiilitaseita. Tämä johtuu siitä, että biokaasuun sitoutunut ilmakehän hiilidioksidi voisi varastoitua jopa useiksi vuosiksi kiinteään tuotteeseen, vaikkapa kankaaseen. (Furtado Amaral ym. 2020, 3) Tekniikan heikoudeksi voidaan kuitenkin argumentoida rinnakkaisen kemikaalien jalostusprosessin ja CHP-tuotannon nostamaa investointi- ja käyttökustannushintaa.

3. BIOMETAANIN TUOTANNON JA KÄYTÖN POLIITTINEN OHJAUS EUROOPAN UNIONISSA SEKÄ SUOMESSA

Muuttuvana ja toisaalta taloudellisesti vielä epävarmana alana biokaasun tuotantorakenteen muodostumiseen vaikuttaa erityisesti poliittinen ohjaus. Poliittisella ohjauksella voidaan pyrkiä hillitsemään, vahvistamaan tai selektiivisesti ohjaamaan alan kasvua haluttuun suuntaan. Uusiutuvana energiana biokaasun tuotantoa pyritään kasvattamaan päästöjen vähentämiseksi, mutta sen rooli esimerkiksi lainsäädännössä on suhteellisen vaatimaton. Maailmanpoliittiset ilmiöt voivat kuitenkin muokata käynnissäkin olevia poliittisia ohjelmia biokaasun tuotantoa suosivammiksi.

3.1 Lainsäädäntö

Euroopan Unionin lainsäädännön tasolla biopolttoaineiden liikennekäytön tukeminen aloitettiin 2000-luvun alussa. Näihin polttoaineisiin luettiin mukaan biokaasun lisäksi muun muassa bioetanoli ja biodiesel. Vuoden 2003 biopolttoainedirektiivi määritteli tavoitteet biopolttoaineiden osuuksille liikennepolttoaineista vuosille 2005 (2 %) ja 2010 (5,75 %). (Directive 2003/30/EC)

Vuonna 2009 merkittäviä biokaasua koskevia aloitteita EU-tasolta olivat uusiutuvan energian direktiivi, eli RED (Renewable Energy Directive), sekä polttoaineen laatudirektiivi FQD (Fuel Quality Directive). REDissä määriteltiin vuoden 2020 liikenteen uusiutuvan energian käytön tavoitteeksi 10 % (Directive 2009/28/EC). FQD määräsi tieliikenteen polttoaineiden hiili-intensiivisyyden 6 % pienemmäksi suhteessa fossiiliseen dieseliin (Directive 2009/30/EC).

Koska RED toimii tärkeänä uusiutuvan energian lainsäädännöllisenä runkorakenteena, on sitä myös päivitetty useita kertoja vuoden 2009 jälkeen (European Commission 2022b). Vuoden 2015 päivityksessä täsmennettiin liikenteen uusiutuvan energian lähteitä ja näiden painoarvoa. Aikanaan debattia käytiin siitä, voiko 10 % energianlähdeosuuden kattaa biopolttoaineita varten kasvatetulla biomassalla, eli niin sanotuilla energiakasveilla (European Technology and Innovation Platform 2022a). Vaarana olivat kasvihuonekaasupäästöt epäsuoran maankäytön muutoksen kautta, tarkoittaen siis esimerkiksi hiilinieluna toimivan metsän raivaamista energiakasvien viljelyyn biopolttoaineita varten (Directive (EU) 2015/1513). Tästä juontaa myös direktiivin kutsumanimi iLUC, eli indirect Land Use Directive (European Technology and Innovation Platform 2022a).

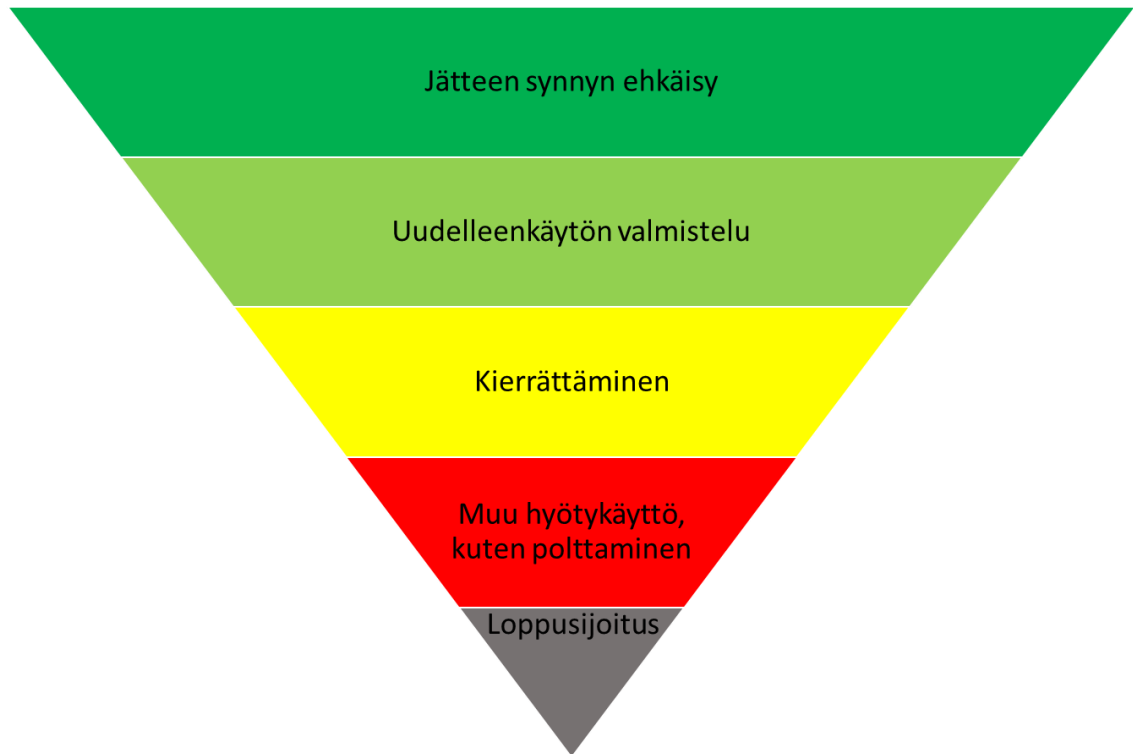
Vuoden 2015 päivityksessä energiakasvien käytölle asetettiin ylärajaksi 7 %, eli jäljelle jäävä 3 % osuus oli saavutettava erilaisia jätejakeita tai uusiutuvaa sähköä liikenteessä käyttämällä (Directive (EU) 2015/1513). Myös erilaisia uusiutuvia energianlähteitä painotettiin eri tavoin. Kuten taulukossa 3 esitetään, on sähkön painotuskerroin liikenteessä huomattava, ja niin kutsutut kehittyneet biopolttoaineet nostettiin erilleen energiakasvi-pohjaisista polttoaineista (European Technology and Innovation Platform 2022a). Kehittyneillä biopolttoaineilla tarkoitetaan toisen sukupolven biopolttoaineita, joiden iLUC on pieni ja potentiaalinen kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen suuri (European Technology and Innovation Platform 2022b).

Taulukko 3: Liikenteen käyttövoimien energiasisältöjen kertoimet huomioita-essa niiden osuutta REDin tavoitteissa. (European Technology and Innovation Platform 2022a)

Energianlähde	Painoarvo
Biopolttoaineet käytetystä paistorasvasta ja eläinrasvoista	2
Uusiutuva sähköenergia raideliikenteessä	2,5
Uusiutuva sähköenergia ajoneuvoissa	5
Kehittyneet biopolttoaineet	2

Unionin jäsenmaita sitovat uusiutuvan energian tavoitteet vuodelle 2030 asetettiin vuoden 2018 uusiutuvan energian direktiivin lisäyksessä, eli niin kutsutussa REDII-direktiivissä. Direktiivi 2018/2001/EU velvoittaa jäsenmaita kollektiivisesti saavuttamaan 32 % uusiutuvan energian osuuden niiden sähkönkulutuksen, lämmitys- ja viiennyssektoreiden kuin liikenteenkin osalta. (Directive (EU) 2018/2001, 7 artikla 3 kohta)

Biokaasun tuotannon kannalta oleellinen direktiivi on vuoden 2008 jätteiden käsittelyä ja kierrätystä koskeva direktiivi 2008/98/EC. Jätelainsäädännön runkorakenteena toimivassa direktiivissä esiteltiin jätehierarkia, ja olennaista onkin jätteiden käsittelytapojen erottelu hierarkian eri tasoille. Hierarkia on esitetty kuvassa 7. Hierarkia kertoo prioriteettijärjestyksen jätteen käsittelyssä ja jätelainsäädäntöä tehdessä (Directive 2008/98/EC, 4 artikla 1 kohta).



Kuva 7: Euroopan Unionin jätehierarchy, joka kertoo prioriteettijärjestyksen jätteen käsittelyn ja ehkäisyn lainsäädännössä. Perustuu lähteeseen: (Directive 2008/98/EC, 4 artikla).

Direktiivissä määrättiin myös konkreettiset tavoitteet yhdyskunta- ja rakennusjätteen kierrätyksen toteutumiselle. Biokaasun kannalta oleelliselle yhdyskuntajätteelle kierrätyksen tavoitteeksi vuodelle 2020 asetettiin 50 % (Directive 2008/98/EC, 11 artikla). Vuonna 2011 komission päätöksessä 2011/753/EU tarkennettiin biokaasun tuotannon lainsäädännöllistä asemaa laskettaessa kierrätetyn jätteen määrää. Komission päätöksen mukaan biokaasua tuotettaessa prosessin raaka-aineena käytetty biojäte voidaan luokitella kierrätetyksi vain, jos prosessissa tuotetaan myös lannoitteita tai kompostia maatalouden tai maanrakennuksen hyödynnettäväksi. (European Commission 2011, 2 artikla)

Suomen lainsäädäntöön vaikuttavat erityisesti edellä esitellyt EU:n direktiivit, jotka usein toimivat tarkemman kansallisen lainsäädännön pohjana. Merkittäviä kansallisia lakeja biometaanin kannalta on erityisesti vuoden 2007 laki uusiutuvien polttoaineiden, ja vuoden 2021 laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä. Biometaanin kannattavuuteen positiivisesti vaikuttava jakelovelvoite tuli voimaan vuoden 2022 alussa, ja se hyväksyttiin edellä mainitussa vuoden 2021 biopolttoainelaisissa. Kansallisen lainsäädännön jakelovelvoite on huomattavasti EU:n jakeluelvoitetta korkeampi. Tämä ilmenee taulukon 4 vertailusta jakeluelvoitteiden välillä.

EU:n direktiivit toimivat usein lainsäädännöllisenä pohjarakenteena Suomen kansalliselle lainsäädännölle, josta oleellisimpia biometaanin kannalta ovat vuoden 2007 laki uusiutuvien polttoaineiden, ja vuoden 2021 laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä. Kuitenkin kansallisen ja Unionin lainsäädännön välillä on myös eroja. Kuten taulukossa 4 on esitetty, esimerkiksi edistyneiden biopolttoaineiden jakeluvuorituksen osalta Suomen tavoite on korkeampi.

Taulukko 4: Suomen kansallisen edistyneiden biopolttoaineiden jakeluvuorituksen vertailua Euroopan komission jakeluvuorite-ehdotukseen. [1]: (European Commission 2021a) [2]: (Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta 603/2021, § 5)

Komission ehdotus 2023 ^[1]						
Edistyneiden biopolttoaineiden osuus liikenteen käyttöön toimitetusta energiasta						
	2022	2025	2030			
	0,20 %	0,50 %	2,20 %			
Biopolttoaineiden edistäminen liikenteessä 2021 ^[2]						
Edistyneiden biopolttoaineiden jakeluvuorite						
	2021	2024	2026	2028	2029	2030
	2 %	4 %	6 %	8 %	9 %	10 %

3.2 Poliittiset ohjelmat

3.2.1 Euroopan vihreän kehityksen ohjelma Green Deal

Green Deal:in on määrä vastata ilmastonmuutokseen ja luontokatoon uudistamalla Euroopan Unionin taloutta ja yhteiskuntaa (European Commission 2021b). Ohjelma on osa EU:n poliittista strategiaa ja sen päätavoitteena on Unionin hiilineutraalisuus vuonna 2050, kytkien talouden irti resurssien käytöstä ja huolehtien samalla siitä, ettei yhteiskunnallista eriytymistä talouden rakenteen muutoksen myötä pääse syntymään (Euroopan komissio 2022). Green Deal on myös osa Euroopan covid-19-pandemiasta elpymistä. 600 miljardia euroa NextGeneration EU -elpymispaketista käytetään Green Dealin rahoitukseen. (Euroopan komissio 2022)

Käytännön lainsäädäntö Green Dealin tavoitteiden saavuttamiseksi keskipitkällä aikavälillä on Fit for 55 lainsäädännöllisessä kokonaisuudessa. Fit for 55 asettaa vuodelle 2030 nimensä mukaisesti 55 % unioninlaajuisen päästövähennystavoitteen, sekä montaa eri

sektoria koskevaa tarkempaa lainsäädäntöä (European Council 2022). Biokaasun tuotannon ja liikenteellisen käytön näkökulmasta tätä kokonaisuutta käsitellään luvussa 3.2.1.

3.2.2 Fit for 55

Fit for 55-lakipaketti toimii käytännössä Green Dealin toteuttavana tekijänä. Vuoden 2021 kesällä komissio antoi ehdotuksen uusien henkilöautojen päästörajoista. Tavoitteena on, että vuonna 2035 uusien autojen kasvihuonekaasupäästöt ovat 0 g/km. (European Commission 2021c, 19) Koska päästöjen määrittely tapahtuu auton käytöstä vapautuvan CO₂ -määrän perusteella, käytännössä tämä säädös sulkisi polttomoottoriautot, mukaan lukien biokaasulla toimivat, pois uusien autojen markkinoilta.

Osana pakettia esiteltiin myös uuden päästökauppamarkkinan avaamista tieliikenteelle. Tavoitteena on käynnistää päästökauppa vuonna 2026. Päästökaupan kuluttajiin kohdistamia taloudellisia vaikutuksia komissio pyrkii ehkäisemään ilmastotoimia koskevalla sosiaalirahastolla. (European Commission 2022c)

Unionin uusia työkaluja ilmastotavoitteisiin pääsyyn on kritisoitu erityisesti sähköisen liikenteen suosimisesta muihin uusiutuviin energianlähteisiin nähden. Vaikutukset heijastuvat autoteollisuuden toimijoihin, joiden arvellaan siirtyvän valmistamaan polttomoottorien sijaan kuluttajalle hinnaltaan kalliimpia sähköautoja. (Heima 2021) Toisaalta myös biokaasualan yhdistykset ovat argumentoineet, että biokaasun ja -metaanin tuotannolla voitaisiin paikata maatilojen metaanivuotoa sekä tukea Euroopan sisäistä polttoainetuotantoa (Niederbacher 2021). Tarkemmin politiikan vaikutuksia pohditaan luvussa 4.

REDII -direktiiviin uudelleentarkastelu osana Fit for 55-pakettia pyrkii nostamaan uusiutuvan energian osuutta koskevan 32 % sitovan tavoitteen 38-40 %:iin vuodelle 2030 (European Commission 2021a). Uusiutuvien liikennepolttoaineiden alkuperäisiä ja päivitettyjä tavoitteita on esitetty taulukossa 5. Kiinnostavaa päivityksessä on, että sillä ehdotetaan edistyneiden biopolttoaineiden osuuden laskemista, mutta ei-biologisten uusiutuvien polttoaineiden osuuden nostamista. Tämä merkinnee vetypolttoaineen nostamista mukaan polttoainejakelun tavoitteisiin. Kuitenkin verrattuna alkuperäiseen REDII-direktiiviin, edistyneiden biopolttoaineiden ja ei-biologisten uusiutuvien polttoaineiden tavoitteiden summa on 37 % suurempi, tukien vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelua.

Taulukko 5: EU:n uudet tavoitteet uusiutuvan energian osuuksiin REDII ja sen uudelleentarkastelun myötä. [1]: (Directive (EU) 2018/2001, 25 artikla), [2]: (European Commission 2021a)

		2022	2025	2030
REDII ^[1]	Edistyneiden biopolttoaineiden osuus liikenteen energiankäytöstä	0,20 %	1 %	3,50 %
Päivitys				
RED II (2030) ^[2]	Edistyneiden biopolttoaineiden osuus liikenteen käyttöön toimitetusta energiasta	0,20 %	0,50 %	2,20 %
	Ei-biologisten uusiutuvien polttoaineiden osuus liikenteelle käyttöön toimitetusta energiasta	-	-	2,60 %

Osana Fit for 55-pakettia Komissio esitti myös uudistusta LULUCF-lainsäädäntöön, joka sitoo jäsenmaita kompensoimaan maankäytön muutoksesta syntyviä päästöjä. Uudistuksessa vuodesta 2025 eteenpäin hiilinielutavoitetta esitetään tiukennettavaksi. (European Commission 2022d) Hiilinielutavoitteen tiukentamisen seurauksena biomassan saatavuus biokaasun tuotantoon voi heikentyä, asettaen alaa tuottajan näkökulmasta epävarmempaan asemaan.

3.2.3 Biokaasun tuotannon ja kaasuautoilun tukijärjestelmä

Biokaasun tuotannon ja kaasuautoilun tueksi on tarjolla rahoitusta Euroopan Unionin sekä erityisesti Suomen valtion tasolta. Kansallisella tasolla on Euroopan laajuisesti olennainen merkitys, sillä suurin osa biokaasun tuotannon tuista kanavoidaan valtioiden kautta. Tämä onkin johtanut maittain hyvin erilaisiin tukitapoihin, joita kuitenkin pyritään harmonisoimaan REDII -direktiivillä (European Biogas Association 2020a).

Energiavirasto jakaa biometaanin tankkausasemien rakennuttamiseen valtion infrastruktuuritukea. Tukea jaetaan vuosina 2022–2025. (Energiavirasto 2022b) Tuen tavoitteena on erityisesti biokaasun jakeluverkoston laajentaminen (Energiavirasto 2022c). Toinen kaasuliikenteen kasvattamiseksi annettava tuki on bensiiniauton kaasukäyttöiseksi muuttamisen tuki. Tuen jakaa Traficom ja sen suuruus on 1000 €. (Liikenne- ja viestintävirasto 2022)

Biokaasun tuotantoa tuetaan maataloudessa Maa- ja metsätalousministeriön investointituella biokaasun tuotantoon, joka nousi EU:n tukemana 10 %:a 50 %:iin vuosille 2021–2022 (Ruokavirasto 2022). Tällä tuella pyritään puuttumaan maatalousyrittäjiä vaivaaneeseen kannattavuusongelmaan. Tuen aiemmalla voimassaolokaudella vuosina 2019–2020 maatalouden biokaasun tuotanto lähti kasvuun (Kyytsönen 2021).

3.3 Biokaasun poliittisen ohjauksen tulevaisuuskuva

Poliittisen ohjauksen suuntautumista pohdittaessa merkittävää osaa näyttelee helmikuussa 2022 alkanut Ukrainan sota ja osin sen seurauksena EU:n asettama uusi tavoite irtautua kokonaan riippuvuudesta venäläiseen fossiiliseen energiaan vuoteen 2030 mennessä (European Commission 2022e). Lopulta, biometaanin tuotanto voi nostaa asemaansa poliittisessa ohjauksessa, ja lainsäätäjillä voi olla edessään kysymys biodiversiteetin arvottamisesta.

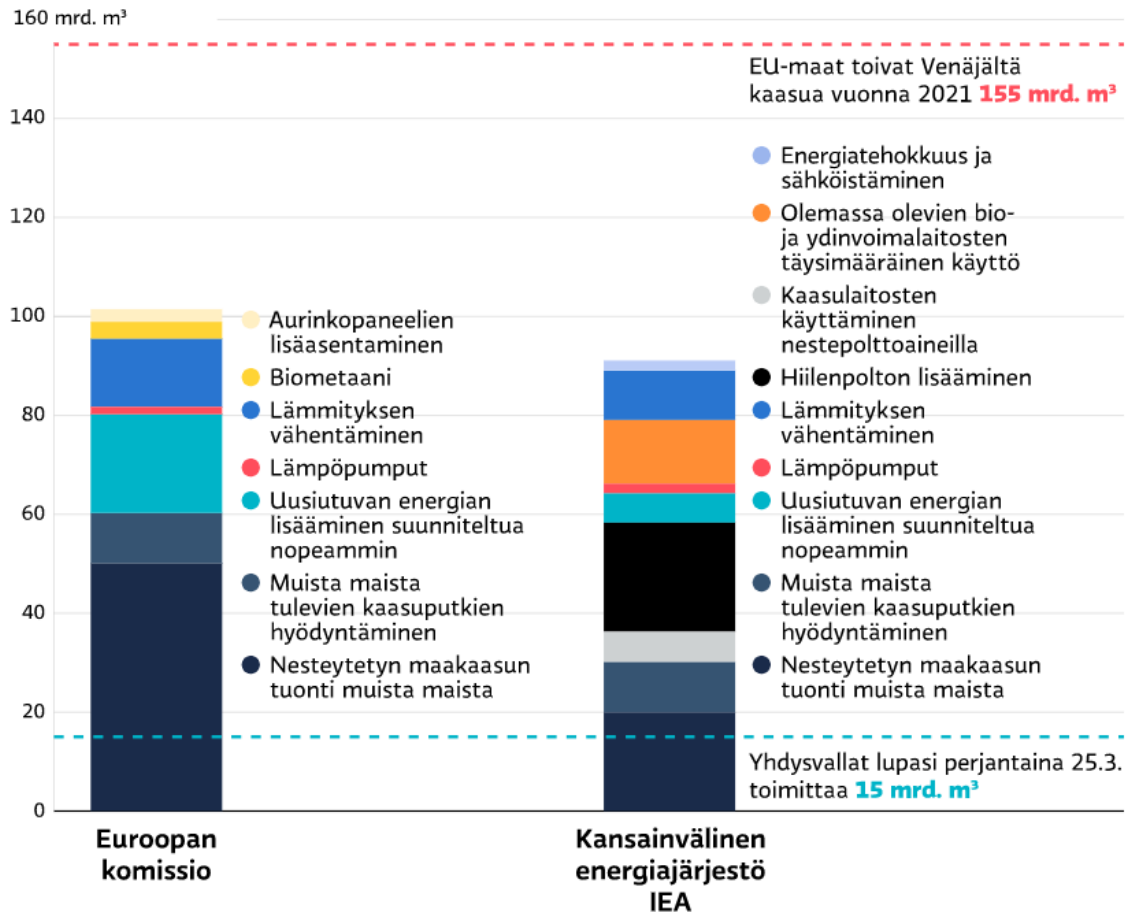
Viime vuosina Venäjän osuus Eurooppaan tuodusta maakaasusta on ollut noin 40 % (Eurostat 2022). Ukrainan sodan myötä komissio ja useat jäsenmaat ovat ehdottaneet venäläisestä energiasta pikaista irtautumista. Tämä on näkynyt komission toimesta REPowerEU -aloitteena, jossa keskeisiä toimia ovat uusien maakaasun tuontivaltioiden etsiminen, uusiutuvan kaasun tuotannon kasvun vauhdittaminen sekä kaasun korvaaminen muilla energianlähteillä sähkön ja lämmön tuotannossa. Aloitteessa biometaanin osalta tavoitteeksi esitetään tuotannon tuplaamista 35 miljardiin kuutiometriin. (European Commission 2022e)

Saksassa jopa puolet kotitalouksista käyttivät lämmitykseen maakaasua vuonna 2020 (Sönnichsen 2021), ja vuonna 2019 maakaasun kokonaiskulutus oli päivässä noin 240 miljoonaa kuutiometriä (EIA 2020). Maakaasun käytössä tilanteet eri puolilla Eurooppaa voivat olla hyvinkin erilaisia, kuten taulukosta 6 ilmenee. Saksassa suunnitelma venäläisestä maakaasusta irtautumiseen tähtää vuoden 2024 puoliväliin (Kurmayer 2022).

Taulukko 6: Maakaasun roolin vertailua Saksan ja Suomen energiamarkkinoilla. [1]: (Appunn, Haas & Wettengel 2015), [2]: (Tilastokeskus 2022b), [3]: (ACER 2022)

	Saksa	Suomi
Maakaasun osuus energiankäytöstä 2021	26,70 % ^[1]	5,40 % ^[2]
Venäjän osuus maakaasun tuonnista Saksassa 2019 ja Suomessa 2020 ^[3]	49 %	94 %

Koska maakaasulla voi olla Unionin jäsenmaissa erilainen rooli, voi yksittäisen valtion vaikea tilanne heijastua koko EU:n tavoitteisiin. Komission REPowerEU -aloitteen lisäksi merkittävä askelkartta on Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n raportti mahdollisuuksista venäläisestä maakaasusta irtautumiseen (IEA 2022). IEA:n raportista voidaan havaita erilaisia lähestymistapoja kaasun korvaamiseen kuin komissiolta, kuten YLE:n koostamasta vertailusta kuvassa 8 selviää. Kumpikaan ehdotus ei kuitenkaan tarjoa ratkaisuja kaikesta tuodusta kaasusta irtautumiseen.



Kuva 8: Euroopan komission ja IEA:n ehdotukset venäläisen kaasun korvaamiseen (Karismo 2022).

Kuvan 8 vertailussa esiin nousee erityisesti IEA:n painotus hiilivoiman lisäämisestä ja ydinvoiman kapasiteetin nostosta. Komission ehdotuksessa merkittävämpi osuus on lämmityksen vähentämisellä, uusiutuvan energian lisäämisellä sekä nesteytetyn maakaasun eli LNG:n tuonnin kasvattamisella. Uusiutuvan energian lisääminen kytkeytyisi positiivisesti myös vihreään siirtymään, mutta LNG:n tuonnin mittava kasvattaminen vaatisi paljon investointeja nesteytetyn maakaasun vaatimaan terminaali-infrastruktuuriin (Keating 2022). Ympäristöjärjestöt ja tutkimuslaitokset, esimerkiksi BIOS-tutkimusyksikkö, ovat ilmaisseet huoltaan tähän kehitykseen. Vaikka LNG-investointien yhteydessä panostettaisiin myös uusiutuvaan energiaan, polkuriippuvuuden myötä mahdollisuus fossiilisesta kaasusta irtautumiseen saatettaisiin menettää. Pakotteiden lopulta päättyessä LNG-infrastruktuuri voi olla liian arvokas, jotta siitä voitaisiin luopua ja siirtyä uusiutuviin energianlähteisiin. (BIOS 2022)

Komission esittämä 35 miljardin m³ biometaanin tuotannon lisäys vuoteen 2030 mennessä on Euroopan biokaasujärjestön EBA:n mielestä realistinen tavoite, jonka investointien suuruusluokaksi on arvioitu noin 80 miljardia €, kohdentuen sekä uusiin biome-

taanin tuotantolaitoksiin, että myös biometaanin jalostusprosessin integroimiseen puhdistamatonta biokaasua tuottavissa laitoksissa. (European Biogas Association 2022) Toisaalta biometaanin tuotantoon vaadittavan biomassan saatavuus voi heikentyä pakotteiden myötä. Raakapuun tuonti Venäjältä on käytännössä vuoden 2022 kevään aikana loppunut (Kallunki 2022), joten myös biokaasutuotantoon on vähemmän haketta tarjolla. Tällöin paine esimerkiksi energiakasvien viljelyn lisäämiseen voi kasvaa, aiheuttaen mahdollisesti ilmaston ja biodiversiteetin kannalta negatiivisia vaikutuksia maankäytön muutoksen välityksellä. Biometaanin tuotanto vaatii lisää biomassaa, ja EBA onkin ehdottanut energiakasvien viljelyn lisäämistä ja irrottamista kilpailusta ruoantuotannon kanssa (European Biogas Association 2022).

Keväällä 2022 EU:n ja Suomen tason poliittisen ohjauksen tulevaisuutta on epävarmaa tarkasti arvioida, sillä ulkoiset vaikutukset energiapolitiikkaan muuttuvat jatkuvasti. Toisaalta kehityssuunta EU:lla vuoden 2022 keväällä on ollut venäläisestä energiasta irtautuminen, joten tulevaisuuden poliittinen ohjaus keskittyneekin irtautumisen seurauksiin vastaamiseen. Toisaalta jos Unioni ei kykene vihreällä siirtymällä ja vaihtoehtoisella energiantuonnilla korvaamaan venäläistä kaasua, voi tavoite irtautumisesta siirtyä.

EU:n etsiessä vaihtoehtoja maakaasulle, on esimerkiksi EBA:lla paljon sanottavaa alan toimintamahdollisuuksien parantamiseksi (European Biogas Association 2022). Jos energiakasvien viljelyn asemaa uusiutuvan energian direktiivissä parannetaan, voi osittaishyötynä saatu päästöjen vähentyminen heikentää biodiversiteettiä. Tällöin EU:n poliittisen ohjauksen painopiste voi siirtyä askeleen luonnon monipuolisuuden suojelemisesta ilmastopolitiikkaan.

4. TARKASTELU POLIITTISEN OHJAUKSEN VAIKUTUKSISTA

Poliittisen ohjauksen vaikutusten tarkastelu ei ole yksiselitteistä. Aktiivisen ohjaamisen lisäksi tavoitteen saavuttamiseen voi vaikuttaa muun muassa ympäröivän yhteiskunnan arvot ja toimijoiden motivaatio. Poliitiikan vaikutuksia biokaasuteknologioihin pyritään arvioimaan luvussa 4.1 ja reaalipoliittisia vaikutuksia sidosryhmiin luvussa 4.2.

4.1 Poliittisen ohjauksen vaikutuksen arviointia biokaasuteknologioihin SNM- ja MLP-mallien avulla

Biokaasuun liittyvien innovaatioiden, kuten biometaaniksi puhdistamisen ja kaasuverkoon injektioimisen, tietä kohti laajamittaista hyödyntämistä yhteiskunnassa voidaan tarkastella Strategic Niche Management (SNM) ja Multi-Level Perspective (MLP) mallien avulla. Näillä malleilla arvioidaan poliittisen ohjauksen tarvetta ja vaikutusta innovaatioiden kehittymiseen vallitsevaa järjestelmää muuttaviksi valtavirran tuotteiksi. Tämän luvun tarkoituksena on arvioida biokaasuteknologioiden kehittymisen kypsyyttä ja tulevaisuutta suhteessa innovaatiopolitiikkaan.

MLP-mallin mukaan innovaation kehittymiseen vaikuttaa kolme päätasoa: nichet, sosiotekniset regiimit ja sosiotekninen maisema. Nichet ovat mallin alin taso. Ne ovat kehoja uusien innovaatioiden kehittymiselle, eli esimerkiksi T&K-yksiköitä ja tekniikkaa pilotoivia laitoksia. Sosiotekniset regiimit edustavat valtavirtaa, eli tarkasteltavan alan stabiilia rakennetta, omaksuttuja ja yleisesti hyödynnettäviä sovellutuksia. Sosiotekninen maisema edustaa laajempaa kontekstia, esimerkiksi yhteiskunnassa vallitsevia arvoja ja ideologioita. Muutokset maisemassa vaikuttavat sosioteknisiin regiimeihin sekä nicheihin, avaten aika ajoin mahdollisuuksia potentiaalisille innovaatioille saada momenttia valtavirran sovellutukseksi nousemiseen. (Geels 2011)

Strategic Niche Management tarttuu niche-tason innovaatioiden kehittymiseen ja niiden vaatiman poliittisen ohjauksen arvioimiseen. Sen tavoitteena on arvioida lainsäädännön muutoksen ja teknisen kehityksen tarvetta innovaation taloudellistamisen mahdollistamiseksi. Periaatteena on, että jotta niche voi kehittyä kilpailukykyiseksi tuotteeksi, tarvitsee se poliittisen ohjauksen suoja esimerkiksi tukirahoituksen tai markkinan kilpailukentän suhteellisen tasaamisen muodossa. (Loorbach & Raak 2006)

Biokaasun tuotantoyksiköitä voidaan jakaa raaka-ainelähteittäin useampaan nicheen. Jätevedenpuhdistuslietteen ja biojätteen, lannan, sekä maatalouden ja teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen tapahtuu usein hyvinkin eri skaaloissa omine tavoitteineen. Näiden nichejen ansaintalogiikka, yleistyneet tekniset sovellutukset ja arvot biokaasun tuotannossa tai biometaanin valmistuksessa eroavat osittain toisistaan. (Lazarevic & Valve 2020) Näitä eroja on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7: Biokaasun tuotantoon liittyvien nichejen ominaisuuksia. Perustuu lähteeseen: (Lazarevic & Valve 2020, 53)

Pääasiallinen raaka-aine	Tavoite tai syy biokaasun tuotantoon	Mihin kannattavuus perustuu	Tukeminen poliittisella ohjauksella
Lanta karjataloudesta	Lannan käsittely jätteenä	Porttimaksut, biometaanin tuotanto, lannoitteet	Investointituki, orgaanisen jätteen kaatopaikkauskielto
Maatilan ylijäämälanta	Maatilan omavaraisuuden parantaminen	Lämpö- ja sähkökulojen pienentäminen	Investointituki
Biojäte ja jätevedenpuhdistusliete	Orgaanisen jätteen kaatopaikkauskielto	Porttimaksut	Investointituki, syöttötariffi, orgaanisen jätteen kaatopaikkauskielto
Maatalouden ja ruokateollisuuden sivuvirrat (ml. energiakasvit)	Sivuvirtojen hyödyntäminen	Biometaanin tuotanto	Investointituki

Pohdittaessa tekniikan kehitystä tietyssä biokaasualan nichessä huomionarvoinen asia on ansaintalogiikka, sillä se voi vaikuttaa tekijöiden haluun kehittää teknologiaa. Yhteiskäyttölaitokset saavat valtaosan tuloistaan porttimaksuina, eli orgaanisen jätteen vastaanottamisesta ja asiallisesta prosessoinnista. Koska biojätettä ja sen myötä porttimaksuja syntyy jatkossakin kaatopaikkakiellon ansiosta, on alan kritisoitu olevan passiivinen kehittymään. Toisaalta jätevedenpuhdistuslietteen käyttäminen raaka-aineena on johtanut siihen, ettei ravintorikasta lannoitetta olla innokkaita käyttämään maataloudessa hygieniasyistä. (Lazarevic & Valve 2020, 52) Syöttötariffista sivutuloa saava yhteiskäyttölaitosten osa-ala pyrkiikin pysymään toiminnaltaan suhteellisen stabiilina, eikä se välttämättä edes halua lähteä haastamaan fossiilisten liikennepolttoaineiden hallitsevaa regimiä, tehden nichestä kehitykseltään kypsän.

Samankaltainen tilanne voidaan havaita yksittäisten maatilojen ylijäämälannan biokaasun CHP-tuotannossa. Maatilan lämmitys- ja sähkökulujen vähentämiseen tähtäävä lämmön ja sähkön tuotanto kustannustehokkailla yksiköillä pienemmistä määristä raaka-ainetta ei välttämättä innosta yksittäistä maatalousyrittäjää investoimaan esimerkiksi biometaanin jalostusjärjestelmään. Investointituki on kasvattanut maatilakohtaisten yksiköiden määrää, mutta se tuskin vaikuttaa CHP-tekniikan kehittymiseen.

Ruoka- ja maatalouden sivuvirtojen hyödyntäminen yhdessä energiakasvien kanssa, on Suomessa vielä suhteellisen matalalla kapasiteetilla (Lazarevic & Valve 2020, 53). Tässä nichessä poliittisen ohjauksen, eli tekniikan kehittymisen suojaamisen, voidaan nähdä olevan puutteellista. Energiakasvien viljelyyn, esimerkiksi vuoroviljelyssä ruokakasvien kanssa, ei ole kattavaa ja kannustavaa lainsäädäntöä (European Biogas Association 2020b, 4). Viljelyn tukeminen voisi mahdollistaa suuremman mittaluokan keskitettyjä biometaanin tuotantojärjestelmiä, jotka vastavuoroisesti tuottaisivat lannoitteita raaka-ainetta tuottaville viljelijöille. Mittaluokan suurentuessa hintakilpailu hallitsevaa regiimiä vastaan polttoaineiden osalta voisi helpottua.

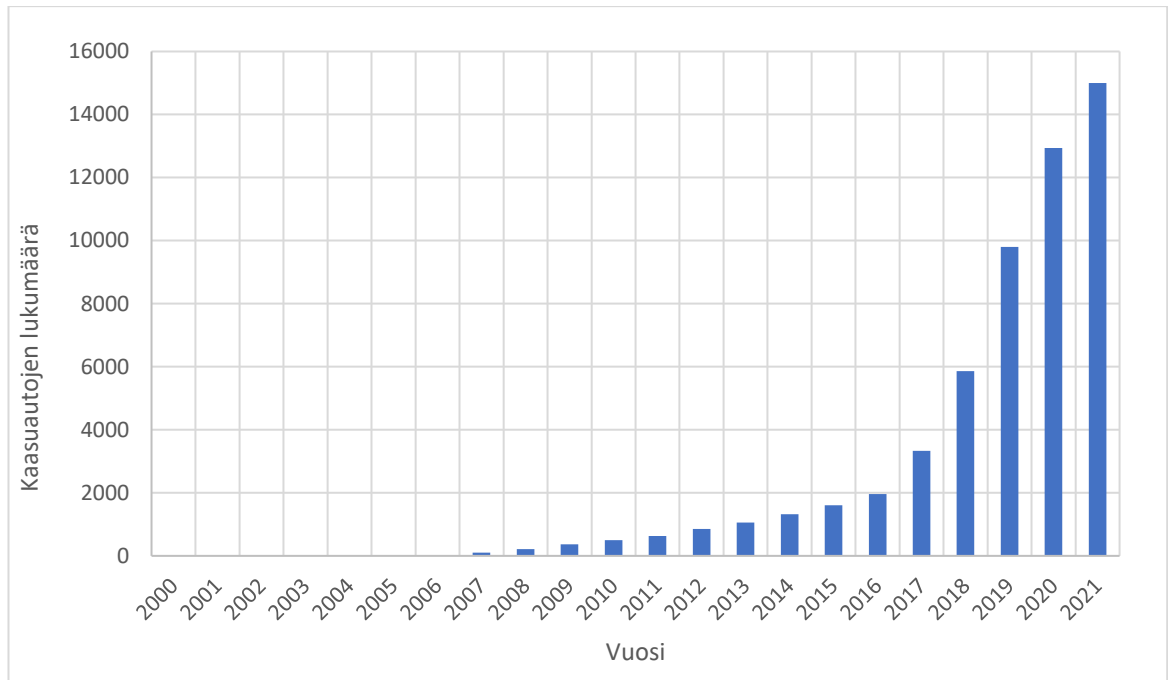
Kuten luvun 2.1 taulukossa 1 todettiin, karjataloudesta peräisin olevan lannan käytöllä on potentiaalia biometaanin tuotantoon Suomessa. Jos biometaania tuotetaan isoissa laitoksissa maatalousalueilla, voi ongelmaksi muodostua se, että kaasulle ei ole paikallisesti kysyntää. Toisaalta myös kuljetusmatkan pituus maatilalta biometaanin tuotantolaitokseen voi osoittautua ongelmaksi, sillä maatilat ovat suhteellisen pieniä Suomessa (Ruokatieto 2022). Tällöin tämän nichen kehitystä rajoittaa maantieteellinen sijainti. Kryogeeninen biokaasun jalostus nestemäiseksi biometaaniksi voi osoittautua lantatalouden biokaasutuotantoa nostavaksi tekijäksi, jos tekniikka saa poliittista tukea kypsyäkseen pilotointilaitosten avulla.

Sosiotekninen maisema on liikkunut useaan otteeseen 2020-luvulla. Ilmastokriisiin, talouden COVID-19 pandemiasta elpymiseen ja energijärjestelmän uudistamiseen tähtäävä EU:n Green Deal aiheutti jo vuonna 2021 merkittävää painetta vallitsevaan fossiilitalouden regiimiin. Vielä merkittävämmäksi biokaasun kannalta osoittautunee kuitenkin EU:n tavoite venäläisestä maakaasusta irtautumiseen, sillä se voi käytännössä hajottaa maakaasun regiimiä Euroopassa. Kuten taulukossa 6 esitettiin, on Venäjällä merkittävä rooli maakaasun tuonnissa Suomeen, ja koska kotitalouksilla on sen käytössä suhteellisen pieni merkitys, voi biometaanin kysyntä teollisuudessa kasvaa. Maiseman heilahtelu onkin siis synnyttänyt potentiaalista momenttia biometaanin tuotannon ja kysynnän kasvulle.

Ongelmana voidaan nähdä kuitenkin biokaasun ja -metaanin tuotannon nichejen erilaiset ansaintalogiikat, jotka usein ovat yksinäänkin juuri ja juuri kannattavia. Kokonaisuutena monimutkainen biokaasuala kytkeytyy moneen sektoriin: maatalouteen, teollisuuteen, liikenteeseen, energiasektoriin sekä jätehuoltoon ja jätevedenpuhdistukseen. Bio-metaanialan kannattavuuden näkökulmasta näiden sektoreiden kytkeminen yhteen bio-metaanin välityksellä voisi mahdollistaa biometaanin sovellutusten taloudellisen kannattavuuden. Poliittinen ohjaus ei ole Suomessa kuitenkaan vielä kyennyt yhdistämään näitä sektoreita efektiivisesti. (Pääkkönen, Aro, Aalto, Konttinen & Kojo 2019, 12)

4.2 Poliittisen ohjauksen reaali maailmalliset vaikutukset bio-metaanin tuotantoon ja kaasuliikenteeseen

Kaasuliikenteen poliittisen ohjauksen voidaan nähdä aktivoituneen 2010-luvulla. Vaikka biokaasun tuotantoa tuettiin taloudellisesti jo 2000-luvulla, mahdollisti tuotannon kiihtyminen 2010-luvun alusta lähtien realistisen kaasuautoilun. Sipilän hallitus asetti toimikautenaan 50 000 kaasuauton tavoitteen vuodelle 2030 (Runsas 2020). Tämän jälkeen Marinin hallitus päivitti tavoitteen 130 000 kaasuautoon (Liikenne- ja viestintäministeriö 2021, 22). Kuten kuvasta 9 voidaan todeta, on kaasukäyttöisten autojen määrä erityisesti 2010-luvulla lähtenyt kasvuun ja vuonna 2021 oli noin 15 000 kaasukäyttöistä autoa. Vuonna 2018 biokaasun tuottajan näkökulmasta kannattavinta toimintaa keskitetylle kaasulaitokselle oli tuottaa CHP-menetelmällä sähköä verkkoon syöttötariffien avulla (Winqvist ym. 2018, 14).



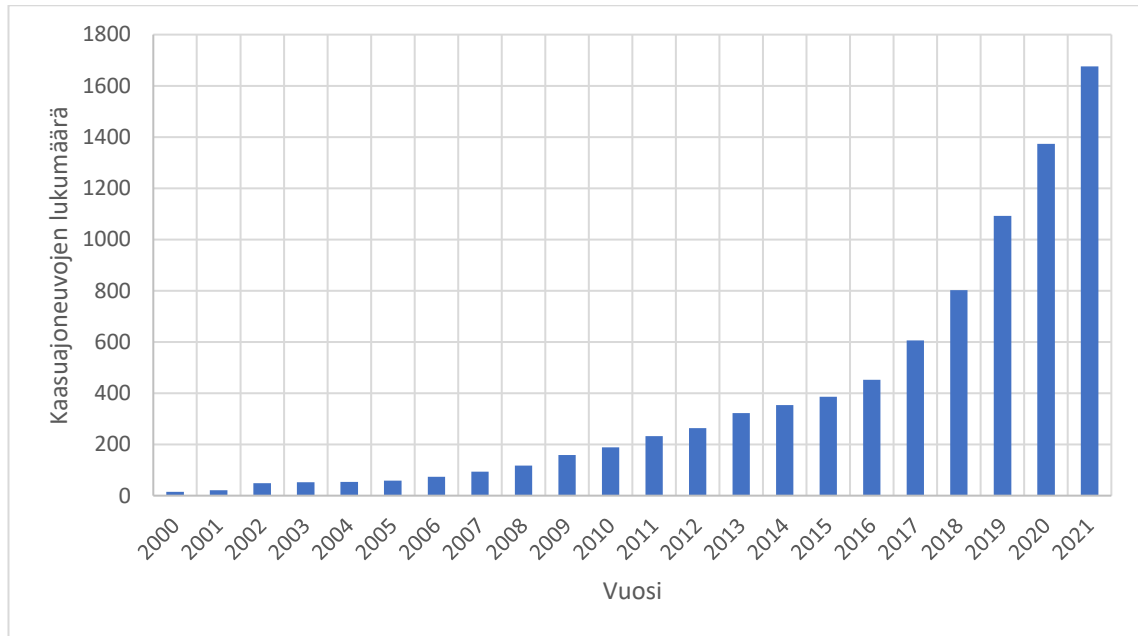
Kuva 9: Rekisterissä olevien kaasukäyttöisten henkilöautojen lukumäärä vuosina 2000–2021. Perustuu lähteeseen: (Tilastokeskus 2022c)

Kaasuautojen tuottajat, erityisesti maatalousyrittäjät, ovat viime vuosina investointitukien innostamina ryhtyneet perustamaan biometaania tuottavia usean maatalon yhteisyrityksiä (Ala-Renko 2022). Biokaasuinfrastruktuuri on samalla laajentunut yrittäjien yksityistenkin tankkausasemien myötä. Yrittäjien investointeja turvallisemmiksi lienee tehnyt myös hallituksen tavoitteet kaasuautojen kasvattamisesta, varmistaen biometaanin tuottajalle ja jakelijalle asiakkaita.

Poliittisella ohjauksella on myös aiheutettu kriittisen sidosryhmän ohjautuminen eri suuntaan kaasun tuottajien kanssa. Euroopan Unionin tasolla suunniteltu uusien polttomoottorillisten henkilöautojen, mukaan lukien kaasuautojen, valmistamisen kieltäminen on heijastunut autonvalmistajiin, kiihdyttäen näiden irtautumista myös uusista kaasuautoista (Heima 2021). Toisaalta myös 130 000 henkilöautolle kaasuinfrastruktuurin rakentaminen vaatii mittavia investointeja, mutta jos vuonna 2035 uusia kaasuautoja ei enää valmisteta, voi infrastruktuuri jäädä lyhytikäiseksi. Unionin suunnitelmat nostavatkin biometaaniin ja sen jakeluinfrastruktuuriin tehtävän investoinnin riskiä.

Biokaasun ja biometaanin tuotannon kasvaessa myös raskaamman liikenteen kaasukäyttöisten ajoneuvojen lukumäärät ovat kasvaneet. Kuten kuvasta 10 nähdään, on pakettiautojen ja sitä raskaampien ajoneuvojen määrä vuosina 2018–2021 tuplaantunut. Liikenteen sähköistyminen ei tällä sektorilla aiheuta yhtä suuria ristiriitoja kaasuliikenteen yleistymiseen. Sähköisten raskaiden ajoneuvojen akkujen tulisi olla suuria, tehden niistä investointihinnaltaan kalliita suhteessa polttomoottoreihin (Arar 2020). Toisaalta myös

raskaassa liikenteessä akkujen lataus voisi kestää liian kauan ja vaatia merkittävää kestävyyttä syrjäseutujen sähköverkolta. Erityisesti nestemäinen biometaani on esimerkiksi Ruotsissa kasvattanut suosiotaan raskaan liikenteen polttoaineena (Ammenberg ym. 2021, 66), mahdollistaen pidemmän ajomatkan kuin kompressoitu biometaani.



Kuva 10: Rekisterissä olevien henkilöautoa raskaampien kaasukäyttöisten ajoneuvojen lukumäärä vuosina 2000–2021. Perustuu lähteeseen: (Tilastokeskus 2022c)

Arvioiden mukaan Suomessa raskaasta liikenteestä noin puolet voisi kulkea biometaanilla vuonna 2030, kilpaillen taloudellisesti suhteessa muihin polttomootoreihin (Pääkkönen ym. 2019, 1). Vuonna 2021 kuorma-autoja rekisterissä oli yhteensä noin 170 000, ja linja-autoja 20 000 (Tilastokeskus 2022c). Kuitenkin Marinin hallituksen tavoitteena vuodelle 2030 on vain 6200 biometaanikäyttöistä kuorma- ja linja-autoa (Liikenne- ja viestintäministeriö 2021). Poliittisten tavoitteiden vähäinen määrä ja sen myötä kannustavan lainsäädännön puute vaikuttaa raskaan liikenteen markkinoihin investointiepävarmuutena (Pääkkönen ym. 2019, 11). Vaikka poliittinen ohjaus on keskittynyt erityisesti henkilöautoihin, on se luonut välillisesti potentiaalia myös kaasukäyttöisille raskaille ajoneuvoille.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä pyrittiin vastaamaan kolmeen tutkimuskysymykseen: miten Suomen ja EU:n tavoitteet biokaasun liikennekäytön suhteen eroavat, miten maailmanpoliittiset ilmiöt voivat heijastua biometaania koskevan poliittisen ohjauksen suuntautumiseen sekä mikä on biometaanin potentiaali liikenteessä ja energiantuotannossa.

Suomen ja EU:n poliittisissa tavoitteissa biokaasun liikennekäytön osalta on ollut viime aikoina nähtävissä ristiriitaa. Tähän on erityisesti vaikuttanut Green Deal ja sen toteuttamiseksi muodostettu Fit for 55-lakipaketti. Kehittyvän alan näkökulmasta Unionin aloitteen luoma epävarmuus biokaasualalle voi olla vahingollista, ohjaten autoteollisuutta vähentämään kaasuautojen valmistusta. Laajat investoinnit hallitsevaa fossiilisten polttoaineregiimiä haastavalle kypsymättömälle tekniikalle ovat elinehto tässä vaiheessa sen elinkaarta. Suorien, käytönaikaisten päästöjen asettaminen etusijalle henkilöliikenteen päästölaskennassa heikentää kaasuautoilun asemaa lainsäädännössä, jättämällä toisaalta biokaasun hiilineutraaliuden ja kiertotalousaspektin, mutta myös sähkön alkuperän huomiotta.

Unionin ja valtion tavoitteiden eroaminen voi asettaa myös maatalousyrittäjät kiusalliseen asemaan. Vaikka sekä EU että Suomi pyrkivät kehittämään maataloutta, voivat siihen osoitetut rahat aiheuttaa tuottamattoman biometaani-infrastruktuurin jäämisen yrittäjien taakaksi. Tilanteessa, jossa kaasuliikenteen kasvu jää pieneksi, investointeihin kannustaminen voisi jopa heikentää maatalousyrittäjien taloutta.

Poliittinen maisema on vuoden 2022 alkupuolen aikana liikahtellut, avaten biometaanille uusia mahdollisuuksia, ja toisaalta myös vahvistaen jo olemassa olevia. Merkittävin tähän vaikuttava tekijä on tavoite venäläisestä maakaasusta irtautumiseen. Tarve korvata tuotua maakaasua muilla vaihtoehdoilla on kasvattanut tuotannon potentiaalia biokaasualalla, joka voikin kohdata yhden historiansa suurimmista investointialloista liikennekäytön lisäksi esimerkiksi maakaasuverkkoon injektointiin. Käytännön lainsäädäntöön pakotepolitiikan vaikutukset heijastunevat viiveellä, mutta muutokset esimerkiksi Fit for 55-paketin suhtautumiseen biometaaniin liikenteessä ja energijärjestelmässä ovat mahdollisia.

Biokaasualan monipuolisuus tuotantomuotojen osalta voi vaikuttaa myös tuottajien motiiveihin kehittää biometaanin tuotantoa ja siihen liittyvää tekniikkaa. Ansaintalogiikat esimerkiksi yhteiskäyttölaitoksen ja usean maatilan ylijäämälantaa hyödyntävän biokaasulaitoksen välillä voivat olla merkittäviä. Tämä heijastuu eroihin investointimotivaatiossa

harkittaessa biometaanin jalostuksen ja jakelun kehittämistä. Eri sektoreita kytkevää lainsäädäntöä on kritisoitu olevan puutteellisesti, aiheuttaen hajaannusta biokaasualan sisällä. Toisaalta paljon riippuu siitä, kuinka pitkälle Unioni on valmis menemään korvattaessa fossiilista maakaasua. Biokaasuprosessin raaka-aineeksi tarkoitettavien energiakasvien viljelyn tukeminen voisi muuttaa biokaasun tuotantoa astetta tehokkaammaksi ja laajamittaisemmaksi, mutta se voi myös heikentää alan asemaa kiertotalouden edistäjänä.

Biometaanin liikennekäytön merkittävimmän tulevaisuuspotentiaalain painopiste vaikuttaa siirtyvän henkilöautoista kohti raskaampaa liikennettä. Yhteiskunnan sähköistyminen vaikuttaa raskaampien ajoneuvojen kohdalla olevan toteuttamiseltaan vaikeampaa, jolloin biometaanille saattaisi tältä sektorilta löytyä potentiaalia kasvaa. Poliittisen ohjauksen kannusteet raskaalle liikenteelle vielä kuitenkin puuttuvat. Biokaasun kryogeeninen jalostaminen nestemäiseksi biometaaniksi on osoittanut suosiotaan raskaassa liikenteessä jo Ruotsissa, ja tämä tekniikka voikin näytellä merkittävää osaa biokaasun jalostusprosesseissa Suomessakin.

Venäläisestä maakaasusta irtautumisen myötä maakaasuverkkoon injektoitavan biometaanin määrän voidaan suhteellisen varmasti todeta kasvavan. Kasvun määrää, kuten biokaasun tuotantoa muutenkin, on poliittisesti nopeasti muuttuvassa tilanteessa hyvin vaikeaa arvioida. Kuitenkin vaikuttaa siltä, että biokaasualalla ja biometaanin tuotannossa voidaan lähitulevaisuudessa kohdata merkittäviä murroksia.

LÄHTEET

ACER 2022. Data Item Details. URL: <https://aegis.acer.europa.eu/chest/dataitems/214/view>. Luettu: 3.5.2022.

Ala-Renko, K. 2022. Pohjalaisviljelijät perustavat oman biokaasuaseman valtion tuella – ympäristöystävällisen harrastuksen uskotaan vielä muuttuvan bisnekseksi. URL: <https://yle.fi/uutiset/3-12351226>. Luettu: 22.4.2022.

Ammenberg, J., Gustafsson, M., Eklund, M., O’Shea, R., Gray, N., Murphy, J.D., Centre, M. & Lyng, K.-A. 2021. Perspectives on biomethane as a transport fuel within a circular economy, energy, and environmental system. IEA Bioenergy, s. 90.

Appunn, K., Haas, Y. & Wettengel, J. 2015. Germany’s energy consumption and power mix in charts. URL: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>. Luettu: 3.5.2022.

Arar, S. 2020. What are the Challenges of Electric Heavy-Duty Vehicles? URL: <https://www.al-aboutcircuits.com/news/challenges-electric-heavy-duty-vehicles/>. Luettu: 9.5.2022.

BIOS 2022. Ukrainan sota, energiamurros ja ilmastonmuutos. URL: <https://bios.fi/ukrainan-sota-energiaturros-ja-ilmastonmuutos/>. Luettu: 2.5.2022.

Directive 2003/30/EC 2003. URL: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/directive-2003-30-ec-use>. Luettu: 19.3.2022.

Directive 2008/98/EC 2008. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng>. Luettu: 22.3.2022.

Directive 2009/28/EC 2009. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj/eng>. Luettu: 19.3.2022.

Directive 2009/30/EC 2009. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/30/oj/eng>. Luettu: 19.3.2022.

Directive (EU) 2015/1513 2015. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/1513/oj/eng>. Luettu: 21.3.2022.

Directive (EU) 2018/2001 2018. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj/eng>. Luettu: 26.3.2022.

EIA 2020. International. URL: <https://www.eia.gov/international/analysis/country/DEU>. Luettu: 3.5.2022.

Energiavirasto 2022a. Syöttötariffijärjestelmään hyväksytyjen voimalaitoksien tietoja. URL: <https://tuotantotuki.emvi.fi/Installations>. Luettu: 1.3.2022.

Energiavirasto 2022b. Liikenteen infratuki. URL: <https://energiavirasto.fi/liikenteen-infratuki>. Luettu: 24.4.2022.

Energiavirasto 2022c. Sähköisen liikenteen, biokaasun ja uusiutuvan vedyn liikennekäytön infrastruktuurituki. URL: <https://www.suomi.fi/palvelut/sahkoisen-liikenteen-biokaasun-ja-uusiutuvan-vedyn-liikennekayton-infrastruktuurituki-energiavirasto/9e392db3-3f24-4af0-b6fb-0ad83ea97afa>. Luettu: 24.4.2022.

Euroopan komissio 2022. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fi. Luettu: 8.4.2022.

European Biogas Association 2020a. Mapping the state of play of biomethane in Europe. URL: <https://www.europeanbiogas.eu/mapping-the-state-of-play-of-biomethane-in-europe/>. Luettu: 24.4.2022.

European Biogas Association 2022. Commission announces groundbreaking biomethane target: 'REPowerEU to cut dependence on Russian gas'. URL: <https://www.europeanbiogas.eu/commission-announces-groundbreaking-biomethane-target-repowereu-to-cut-dependence-on-russian-gas/>. Luettu: 4.5.2022.

European Biogas Association 2020b. Biogas: a powerful and safe enabler of decarbonisation & complementing the zero-pollution ambition of the Green Deal. URL: https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2020/06/FINAL-position-paper_agriculture.pdf. Luettu: 18.5.2022.

European Commission 2022a. Using renewable biogas to produce green hydrogen. URL: <https://cordis.europa.eu/article/id/435357-using-renewable-biogas-to-produce-green-hydrogen>. Luettu: 1.3.2022.

European Commission 2022b. Renewable energy directive. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en. Luettu: 21.3.2022.

European Commission 2011. Commission Decision of 18 November 2011 establishing rules and calculation methods for verifying compliance with the targets set in Article 11(2) of Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council. URL: <http://data.europa.eu/eli/dec/2011/753/oj/eng>. Luettu: 22.3.2022.

European Commission 2021a. Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council amending Directive (EU) 2018/2001. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0557>. Luettu: 26.3.2022.

European Commission 2021b. EU economy and society to meet climate ambitions. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541. Luettu: 8.4.2022.

European Commission 2021c. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2019/631 as regards strengthening the CO2 emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles in line with the Union's increased climate ambition. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:870b365e-eecc-11eb-a71c-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1&format=PDF. Luettu: 23.4.2022.

European Commission 2022c. Increasing the ambition of EU emissions trading. URL: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/increasing-ambition-eu-emissions-trading_en. Luettu: 23.4.2022.

European Commission 2022d. Land Use, Forestry and Agriculture. URL: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/land-use-forestry-and-agriculture_fi. Luettu: 24.4.2022.

European Commission 2022e. Joint European action for more affordable, secure energy. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_1511. Luettu: 2.5.2022.

European Council 2022. Fit for 55. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>. Luettu: 8.4.2022.

European Technology and Innovation Platform 2022a. RED and its amendments, etipbioenergy. URL: <https://www.etipbioenergy.eu/markets-policies/biofuels-policy-legislation/red-and-its-amendments>. Luettu: 21.3.2022.

European Technology and Innovation Platform 2022b. Advanced bioenergy. URL: <https://www.etipbioenergy.eu/advanced-biofuels-overview>. Luettu: 21.3.2022.

Eurostat 2022. EU imports of energy products - recent developments. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_imports_of_energy_products_-_recent_developments. Luettu: 3.5.2022.

Furtado Amaral, A., Previtali, D., Bassani, A., Italiano, C., Palella, A., Pino, L., Vita, A., Bozzano, G., Pirola, C. & Manenti, F. 2020. Biogas beyond CHP: The HPC (heat, power & chemicals) process. *Energy*, 203, s. 117820. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117820>.

Geels, F.W. 2011. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1, 1, s. 24–40. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>.

Greer, D. 2012. Microturbines Fill Biogas Utilization Niche. URL: <https://www.biocycle.net/micro-turbines-fill-biogas-utilization-niche/>. Luettu: 25.2.2022.

Heima, T.-P. 2021. Uusien polttomoottoriautojen myynnin loppu lähestyy – Autoala odottaa uusia, kovia päästölinjauksia EU-komissiolta pian. URL: <https://yle.fi/uutiset/3-12014259>. Luettu: 22.4.2022.

IEA 2022. A 10-Point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas – Analysis. URL: <https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-reduce-the-european-unions-reliance-on-russian-natural-gas>. Luettu: 2.5.2022.

Kallunki, E. 2022. EU:n uudet pakotteet lopettavat puun ja puutavaran tuonnin Venäjältä – Metsäteollisuus: ”Katse kiinnittyy harvennushakkuisiin ja Itämeren alueelle”. URL: <https://yle.fi/uutiset/3-12398303>. Luettu: 4.5.2022.

Karismo, A. 2022. Analyysi: Eurooppa voi päästä eroon Venäjän energiasta jo tänä vuonna, mutta se vaatii entistä hurjemman vihreän siirtymän – näin se saataisiin aikaan. URL: <https://yle.fi/uutiset/3-12375791>. Luettu: 3.5.2022.

Keating, D. 2022. Europe's rush for energy security through LNG risks fossil fuel lock-in. URL: <https://www.energymonitor.ai/tech/decarbonising-gas/europes-rush-for-energy-security-through-lng-risks-fossil-fuel-lock-in>. Luettu: 3.5.2022.

Koonaphapdeelert, S., Aggarangsi, P. & Moran, J. 2020. Biomethane: Production and Applications. Springer. URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8307-6>. Luettu: 18.4.2022.

Kurmayer, N.J. 2022. Germany's Habeck: "We have to try the unrealistic" to break free from Russian gas. URL: <https://www.euractiv.com/section/energy/news/germanys-habeck-we-have-to-try-the-unrealistic-to-break-free-from-russian-gas/>. Luettu: 4.5.2022.

Kyytsönen, J. 2021. Biokaasu nousussa, tänä vuonna suunnitelmissa kymmeniä uusia laitoksia – tuen nosto 50 prosenttiin lisää kiinnostusta entisestään. URL: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/uutiset/528ba933-ebbc-5a5a-87d6-e2a1c1ece7b3>. Luettu: 24.4.2022.

Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta 603/2021. URL: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210603>. Luettu: 5.4.2022.

Lampinen, A. 2012. Liikennebiokaasun käyttöönotto Suomessa. Tekniikan Waiheita. URL: <https://journal.fi/tekniikanwaiheita/article/view/64019>. Luettu: 14.4.2022.

Lazarevic, D. & Valve, H. 2020. Niche politics: Biogas, technological flexibility and the economisation of resource recovery. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 35, s. 45–59. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.01.016>.

Liikenne- ja viestintäministeriö 2021. Fossiilittoman liikenteen tiekartta. s. 56.

Liikenne- ja viestintävirasto 2022. Hae muuntotukea 1.1.2022 alkaen. URL: <https://www.trafi.com.fi/fi/asioi-kanssamme/hae-muuntotukea-112022-alkaen>. Luettu: 24.4.2022.

Loorbach, D. & Raak, R. 2006. Strategic Niche Management and Transition Management: different but complementary approaches.

Motiva Oy 2022. Diesel. URL: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/va-litse_auto_viisaasti/energialahteet/diesel. Luettu: 15.4.2022.

Motiva Oy 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. URL: https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf. Luettu: 22.2.2022.

Niederbacher, M. 2021. Fit for 55: How do biogas and biomethane fit into this new challenge? URL: <https://www.biogashannel.com/en/video/market-and-policy/29/fit-55-how-do-biogas-and-biomethane-fit-new-challe/1846/>. Luettu: 23.4.2022.

Pirkanmaan Jätehuolto Oy 2022a. Tuoteseloste. URL: https://pjhoy.fi/wp-content/uploads/2022/03/VihermultaEraKj2022_1.pdf. Luettu: 14.4.2022.

Pirkanmaan Jätehuolto Oy 2022b. Kaatopaikkakaasut hyötykäyttöön. URL: <https://pjhoy.fi/kaato-paikkakaasut/>. Luettu: 27.2.2022.

Pirkkamaa, J. 2022. Orgaanisen jätteen keräys ja käsittely Suomessa. Biolaitosyhdistys. URL: https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2019/06/Orgaanisen_jatteen_kerays_ja_kasittely_Suomessa.pdf. Luettu: 14.4.2022.

Pixabay 2022. High-Purity Hydrogen Obtained Directly From Biogas for First Time. URL: <http://www.technologynetworks.com/analysis/news/high-purity-hydrogen-obtained-directly-from-biogas-for-first-time-355257>. Luettu: 1.3.2022.

Pääkkönen, A., Aro, K., Aalto, P., Konttinen, J. & Kojo, M. 2019. The Potential of Biomethane in Replacing Fossil Fuels in Heavy Transport: A Case Study on Finland. Sustainability. URL: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/117306>. Luettu: 5.5.2022.

Reskola, V.-P. 2022. Miten valtio tukee biokaasulaitoksia? URL: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BDBE5D60F-6754-4739-B218-73DBF35563C8%7D/55786>. Luettu: 22.2.2022.

Runsas, J. 2020. Lisää kaasua liikenteeseen! URL: <https://tampereenkauppamarilehti.fi/fi-fi/article/kauppamarilehti/lisaa-kaasua-liikenteeseen/799/>. Luettu: 8.5.2022.

Ruokatieto 2022. Suomalainen maatila Euroopassa. URL: <https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/maatilalla-kasvatetaan-ruokaa/maatalous-suomessa-perustuu-perheviljelmiin/suomalainen-maatila>. Luettu: 18.5.2022.

Ruokavirasto 2022. Maatalouden investointituet. URL: <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/maatalouden-investointituet/>. Luettu: 24.4.2022.

Sinkko, T., Manninen, K. & Rasi, S. 2012. Biokaasuketjun kasvihuonekaasupäästöt. Suomen Maataloustieteellinen Seura. URL: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/479429>. Luettu: 24.4.2022.

Springer International Publishing 2017. Sustainable Hydrogen Production Processes: Energy, Economic and Ecological Issues. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41616-8>. Luettu: 1.3.2022.

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2022. Tilastot. URL: <https://biokierto.fi/tilastot/>. Luettu: 22.2.2022.

Sönnichsen 2021. Germany: household heating sources 2020. URL: <https://www.statista.com/statistics/1189752/household-heating-sources-germany/>. Luettu: 3.5.2022.

Tilastokeskus 2022a. Biokaasun tuotanto ja kulutus laitosyypeittäin. URL: https://pxnet2.stat.fi:443/PXWebPXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/stat-fin_ehk_pxt_127t.px/. Luettu: 23.2.2022.

Tilastokeskus 2022b. Energian hankinta ja kulutus. URL: <https://www.stat.fi/tilasto/ehk>. Luettu: 3.5.2022.

Tilastokeskus 2022c. Autot käyttövoiman mukaan. URL: https://pxweb2.stat.fi:443/PxWebPxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__mkan/stat-fin_mkan_pxt_11ie.px/. Luettu: 8.5.2022.

Ullah Khan, I., Hafiz Dzarfan Othman, M., Hashim, H., Matsuura, T., Ismail, A.F., Rezaei-DashtArzhandi, M. & Wan Azelee, I. 2017. Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage. *Energy Conversion and Management*, 150, s. 277–294. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.035>.

Vaara, K. 2021. Biokaasu olisi nopea keino hillitä liikennepäästöjä, mutta EU:ssa sille ei lämmitä – kaasutankkaukseen päästäneen lähivuosina myös Lapissa. URL: <https://yle.fi/uutiset/3-12180694>. Luettu: 17.5.2022.

Vico, A. & Artemio, N. 2017. *Biogas : Production, Applications and Global Developments*. Nova Science Publishers, Inc. URL: <http://libproxy.tuni.fi/login?url=https://search.ebsco-host.com/login.aspx?direct=true&AuthType=cookie,ip,uid&db=e000xww&AN=1652552&site=ehost-live&scope=site>. Luettu: 14.2.2022.

Winqvist, E., Rikkonen, P. & Varho, V. 2018. Suomen biokaasualan haasteet ja mahdollisuudet. Luonnonvarakeskus, s. 23.

Winqvist, E., Van Galen, M., Zielonka, S., Rikkonen, P., Oudendag, D., Zhou, L., Greijdanus, A. & Perea-Moreno, A.-J. 2021. Expert Views on the Future Development of Biogas Business Branch in Germany, The Netherlands, and Finland until 2030. *Sustainability*, 13, 3, s. 1148. URL: <https://doi.org/10.3390/su13031148>.

Åkerlund, F. 2022. Biokaasulaitosten tukijärjestelmät Suomessa. Motiva Oy, s. 18.