



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**BIOKAASUN PUHDISTUSPROSESSIT
SUOMALAISISSA YRITYKSISSÄ TUOTETTAESSA
BIOMETAANIA LIIKENTEEN POLTTOAINEEKSI**

Joonas Purtanen

PROSESSITEKNIikka

Kandidaatintyö

Marraskuu 2019



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**BIOKAASUN PUHDISTUSPROSESSIT
SUOMALAISISSA YRITYKSISSÄ TUOTETTAESSA
BIOMETAANIA LIIKENTEEN POLTTOAINEEKSI**

Joonas Purtanen

Ohjaaja: Jani Kangas

PROSESSITEKNIikka

Kandidaatintyö

Marraskuu 2019

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma Prosessiteknikan koulutusohjelma		Pääaineopintojen ala -	
Tekijä Purtanen, Joonas		Työn ohjaaja yliopistolla Kangas J, tutkijatohtori	
Työn nimi Biokaasun puhdistusprosessit suomalaisissa yrityksissä tuottaessa biometaanina liikenteen polttoaineeksi			
Opintosuunta -	Työn laji Kandidaatintyö	Aika Marraskuu 2019	Sivumäärä 37 s.
Tiivistelmä <p>Työssä haluttiin selvittää biokaasun tuotannon tekniseen ja taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä tällä hetkellä Suomessa etenkin biokaasun puhdistamisen ja liikenteen polttoainekäytön kannalta. Siten keskiössä oli se, mitä biokaasun puhdistusprosesseja yritykset käyttävät tällä hetkellä biokaasun tuotannossa. Selvitykseen lähdettiin perehtymällä tuotannon ja puhdistusprosessien teoriaan ja alan tilanteeseen alan kirjallisuuden pohjalta. Kirjallisuusselvityksessä huomattiin biokaasun bioprosessin olevan nelivaiheinen houkutteleva anaerobinen prosessi. Biokaasusta täytyy jalostaessa puhdistaa CO₂, H₂O, H₂S, typen yhdisteet ja siloksaanit. Tällä hetkellä käytetyimmät erotusmenetelmät ovat PSA-tekniikka, vesipesu, aktiivivihiilisuodatus ja amiinipesu. Näille erotusmenetelmille löytyy kuitenkin myös monia muita vaihtoehtoja.</p> <p>Kirjallisuusselvitys toimi pohjana työssä tehdyille kyselytutkimukselle. Kyselytutkimus toteutettiin lähettämällä suomalaisiin biometaanina tuottaviin yrityksiin sähköpostitse kysymyslomake. Yhteen yritykseen oltiin myös puhelimitse yhteydessä.</p> <p>Tehty kysely osoitti, että alan kannattavuus on hyvin riippuvainen poliittisista päätöksistä ja siten sopivasti toteutuilla poliittisilla päätöksillä pystyttäisiin parantamaan alan kannattavuutta. Itse puhdistusprosessit ovat jo kehittyneellä tasolla useiden vaihtoehtojen osalta, mutta ilmeisimmin kustannussyistä puhtaudessa ei olla vielä päästy aivan niihin tavoitteisiin, joihin pyritään. Itse tutkimuksen tuloksien kannalta epävarmuutta aiheuttaa suhteellisen pieni otanta. Ennen tutkimusta perehdyttiin alan kirjallisuuteen, joka kuitenkin tuki tutkimuksen tuloksia. Tämän työn tietoja ja tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää tietämyksen levittämiseen alasta, millä voi olla positiivisia vaikutuksia alan kehityksen suhteen.</p>			
Muita tietoja			

ALKUSANAT

Tämän työn päätarkoitus oli perehtyä tarkemmin biokaasun tuotantoon, pääpainotteena biokaasun puhdistusprosessit ja selvittää alan tilannetta Suomessa. Työ oli osa tutkijatohtori Jani Kankaan projektia biokaasun tuotannon tehostamiseen. Tällä työllä halutaan myös lisätä tietoisuutta alasta ja tietoa biokaasun käytöstä polttoaineena.

Tutkijatohtori Jani Kangas toimi työn ohjaajana inspiroivasti ja täsmällisesti. Työ sisälsi myös kyselytutkimuksen, jonka luomiseen neuvoja saatiin Luonnonvarakeskukselta Erika Winqvistilta.

Työn tekeminen ja aihe olivat erityisen kiintoisia, aiheen ollessa erittäin tärkeä nykypäivänä ilmaston muutoksen takia ja vaihtoehtoisten energialähteiden etsimisessä.

Kiitän työni ohjaajaa Jani Kangasta täsmällisestä ohjaamisesta, innostamisesta ja tarkkaavaisuudessa työn lomassa.

Oulussa, 01.11.2019

Joonas Purtanen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ALKUSANAT

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 JOHDANTO	7
2 BIOKAASUN TUOTANTO	8
2.1 Biokaasu ja sen ominaisuudet	8
2.2 Biokaasun tuotantoprosessi	8
2.3 Biokaasu Suomessa nyt	11
3 BIOKAASUN PUHDISTUSMENETELMÄT	15
3.1 CO ₂ :n erotusmenetelmät	17
3.2 H ₂ S:n erotusmenetelmät	22
3.3 Veden erotusmenetelmät	24
3.4 Siloksaani-erotusmenetelmät	24
3.5 Typen erotusmenetelmät	25
4 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN	27
4.1 Kyselyn toteutus	27
4.2 Kyselyn tulokset	28
4.2.1 Alan tilanne, haasteet ja tulevaisuus	28
4.2.2 Erotusmenetelmät	29
4.2.3 Raaka-aineet	29
4.2.4 Prosessilaitteisto	29
4.2.5 Määdtejäätteen hyötykäyttö	29
4.2.6 Biokaasun koostumus	30
4.2.7 Käyttökohteet	30
4.2.8 Tuotantomäärät	31
4.2.9 Kehitys ja haasteet tuotannon alussa ja rakentaessa	31
5 TULOSTEN TARKASTELU JA SUOSITUKSET	32
6 YHTEENVETO	35
LÄHDELUETTELO	36

MERKINNÄT JA LYHENTEET

AC activated carbon, aktiivihiili

CMS carbon molecular sieve, hiilestä valmistettu molekyyliseula

MSP membrane separation processes, kalvoerotusprosessit

PSA pressure swing adsorption, paineen vaihteluun perustuva fysikaalinen adsorptio

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen yhtenä isona syynä ovat uusiutumattomien fossiilisten polttoaineiden poltosta syntyvät päästöt. Tähän ongelmaan on pyritty keksimään ratkaisuja ja niistä eräs on biokaasu. Biokaasun etuna on se, että se valmistetaan bioprosessin avulla hiilineutraalisti ja tuotteena saatava biokaasu on maakaasun tapaista biopolttoainetta. Biokaasulla voidaan korvata maakaasua monissa eri käyttökohteissa. Fossiilisia polttoaineita käytettäessä ollaan lisäksi riippuvaisia fossiilisten polttoaineiden tuottajista ja tuottajamaista, kun taas biokaasua voidaan valmistaa lähes missä tahansa riippumatta ulkomaisista raaka-ainelähteistä. Biokaasun käyttö parantaisi siis myös energiaomavaraisuutta.

Biokaasu ei sellaisenaan kuitenkaan kelpaa ainakaan liikenteen polttoaineeksi, se vaatii ensiksi erilaisten haitallisten komponenttien puhdistuksen. Jalostuksessa käytettävässä tekniikassa ja kannattavuudessa on vielä haasteita, joihin on kehitettävä erilaisia ratkaisuja. Tällä hetkellä liikennekäyttöön soveltuvaa biokaasua tuottaa Suomessa useita pieniä toimijoita ja alan suurimpana yrityksenä Gasum Oy.

Tässä työssä toteutettiin kyselytutkimus alan suomalaisille tuottajayrityksille, jotta saataisiin kuva alan tilanteesta ja haasteista. Kyselyn toteutuksen pohjustukseksi työn aluksi aihealuetta tarkasteltiin alan kirjallisuuden pohjalta sekä biokaasun tuotantoprosessin että biokaasun ei-toivottujen komponenttien erotusprosessin kannalta.

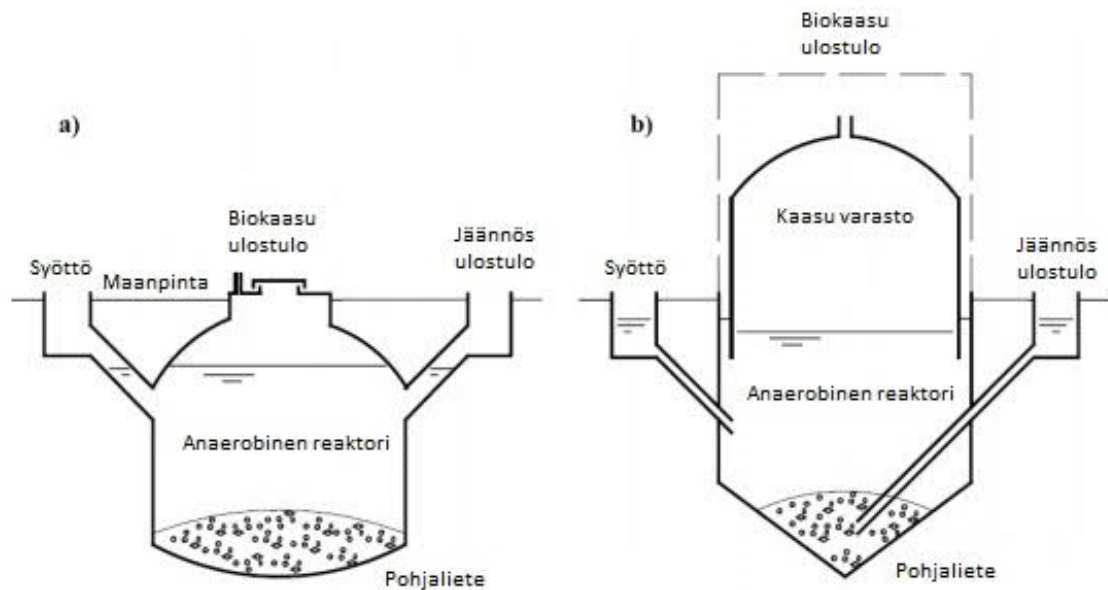
2 BIOKAASUN TUOTANTO

2.1 Biokaasu ja sen ominaisuudet

Tarkastellaan ensin mitä itse biokaasu on. Biokaasun pääkomponentit ja niiden osuudet ovat metaani (CH₄) 50-75 % ja hiilidioksidi (CO₂) 25-50 %.(Wellinger et al., 2013, s.2) Biokaasu sisältää myös monia muita komponentteja ja pääosan niistä muodostavat vesi (H₂O), happi (O₂), divetyysulfidi eli rikkivety (H₂S), ammoniakki, merkaptaanit eli tiolit, siloksaanit ja halogenisoidut hiilivedyt. Yhteensä näitä muita komponentteja biokaasussa esiintyy 2-8 %. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s.51; Wellinger et al., 2013, s.2) Puhdistusprosessissa pyritään poistamaan hiilidioksidi ja muut epäpuhtaudet ennen sen käyttöä energian tuotannon raaka-aineena tai liikennepolttoaineena. Hiilidioksidi ja muut epäpuhtaudet vaikuttavat biokaasun palamiseen negatiivisesti, tehden sen syttymisestä haastavampaa ja toisaalta biokaasun energiatiheys samalla laskee. Metaanipitoisuuden noustessa 98 %:iin, biometaanin ominaisuuksien voidaan sanoa olevan riittävän samanlaiset maakaasun vastaavien kanssa. Tarkemmassa puhdistuksessa keskitytään rikin poistoon ja kuivaamiseen. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s.92; Wellinger et al., 2013, s.329)

2.2 Biokaasun tuotantoprosessi

Biokaasun tuotanto perustuu bioprosessiin, joka tapahtuu anaerobisella fermentoinnilla. Anaerobisessa fermentoinnissa käytetään metanogeenisiä bakteereja metaanin tuottamiseen ja prosessi vaatii hyvin tarkasti säädellyt olosuhteet. Prosessi toteutetaan olosuhteissa, joissa happea ei ole läsnä ja samaan aikaan vaaditaan sopiva lämpötila, optimaalinen ravinteiden saanti sekä sopiva pH. Kuvassa 1 on esitetty rakenteet tyypillisille biokaasun tuotannon reaktortyypeille.



Kuva 1. Biokaasun valmistuksen reaktorin päätyypit a) upotettu kupoli -tyyppinen ja b) kelluva kupoli -tyyppinen. (Muokattu alkuperäisestä lähteestä Al Seadi et al., 2008).

Kuten kuvasta 1 nähdään, biokaasureaktori sijaitsee molemmissa vaihtoehdoissa maanpinnan alapuolella ja biokaasu kerätään reaktorin päältä. Molemmissa reaktorityypeissä on sekä biomassan syöttöaukko että mädätejäännökselle poistoaukko. Reaktorit ovat kovin samanlaiset, erona vain kelluva kupoli -reaktorissa on kaasuväkä ja liete poistetaan pohjasta käsin. (Al Seadi et al., 2008, s.31-32)

Usein prosessissa käytetään raaka-aineena elintarviketeollisuuden biojätteitä, asumisesta syntyvää biojätettä tai maatalouden biojätteitä. Raaka-aineeksi käyvät hyvin monenlaiset orgaaniset aineet ja jopa biokaasun tuotantoa varten kasvatetut energian tuotantoon tarkoitetut kasvit. Itse metaanin tuotanto voi tapahtua 0-75 °C, mutta yleisimmin prosessi tapahtuu mesofiilisesti (32-42 °C) tai termofiilisesti (45-57 °C). Prosessissa ensimmäinen vaihe alkaa mesofiilisesti. Ensimmäinen vaihe tuottaa lämpöä, millä saavutetaan termofiiliset olosuhteet, jonka myöhemmät prosessivaiheet vaativatkin. Prosessin rakenteeseen ja säätöihin vaikuttavat käytettävä substraatti ja haluttu viipymäaika. Usein pH pyritään pitämään 6,8-7,2 arvossa kaikissa vaiheissa. Varsinainen biokaasun tuotantoprosessi voidaan jakaa neljään vaiheeseen. Tuotantoprosessin vaiheet tapahtumajärjestyksessä ovat hydrolysointi, asidogeneesi, asetogeneesi ja metanogeneesi. Ennen varsinaista biokaasun tuotantoprosessia toteutetaan yleensä substraatin

mekaaninen ja/tai kemiallinen käsittely. Toisaalta biokaasu tulee puhdistaa tuotantoprosessin jälkeen. (Wellinger et al., 2013, s.3, s.20-22; Cvetkovski & Litonjua, 2012, s.68)

Substraatit ovat yleensä prosessin alussa fyysisesti ja kemialliselta rakenteeltaan liian suuria, joten niitä täytyy hajottaa bakteereille hyötykäyttävään muotoon. Ensin raaka-aineiden partikkelikokoa täytyy pienentää mekaanisella hajottamisella, jotta voimme aloittaa hydrolysoinnin eli varsinaisen biokaasun tuotantoprosessin ensimmäisessä vaiheessa. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s.8; Wellinger et al., 2013, s.85)

Mekaanisen hajottamisen jälkeen prosessin raaka-aineita hajotetaan hydrolysoinnissa yleensä bakteerien ja entsyymien tai pelkästään entsyymien toimesta, tämä riippuu valituista substraateista. Raaka-aineena oleva biomassa sisältää proteiineja, rasvoja ja polysakkarideja, joten hydrolysointi voidaan toteuttaa lisäämällä bioreaktoriin sellulaasia, lipaasia, amylaasia ja proteaasia. Usein tämä vaihe tapahtuu mesofiilisesti (32-42 °C). Hydrolyysiä pidetään rajoittavana tekijänä raaka-aineiden hyötykäytölle. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s.52-53; Wellinger et al., 2013, s.106; Al Seadi et al., 2008, s.22)

Toisessa vaiheessa eli asidogeneesissä bakteerit hajottavat polymeerejä edelleen hienompiin molekyyliin, jotta niitä saadaan paremmin hyötykäytettyä. Tämä vaihe on ensimmäinen energiaa tuottava prosessivaihe. Asidogeneesissä polymeerit hajoavat haihtuviksi rasvahapoiksi, ammoniakiksi, divetyksulfidiksi, hiilidioksidiksi ja muiksi sivutuotteiksi. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s.52-53; Wellinger et al., 2013, s.106-107; Al Seadi et al., 2008, s.22)

Asetogeneesissä syntyy metanogeneettisten bakteerien hyödynnettävissä olevat substraatit. Nimensä mukaisesti tässä vaiheessa asetogeeniset bakteerit tuottavat aikaisempien vaiheiden tuotteista asetaattia, jota on syntynyt myös hydrolysoinnissa, sekä vetyä ja hiilidioksidia. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s.52-53; Wellinger et al., 2013, s.107; Al Seadi et al., 2008, s.22-23)

Metanogeneesissä tapahtuu itse metaanin tuotanto. Tässä vaiheessa metanogeeniset bakteerit tuottavat metaania ja hiilidioksidia aiemmissa vaiheissa syntyneestä asetaatista sekä vedystä. Metanogeenisiä bakteereja on kahdenlaisia, asetaattia käyttäviä ja vetyä käyttäviä. Asetaattia käyttävät bakteerit hajottavat asetaatin metaaniksi ja vetyä käyttävät bakteerit toiminnallaan siirtävät yhden elektronin vedystä hiilidioksidille, mitä kautta saadaan reaktioiden tuottamaa metaania. Noin 70 % metaanista tuotetaan asetaatista ja 30 % vedystä ja hiilidioksidista. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s.52-53; Wellinger et al., 2013, s.107; Al Seadi et al., 2008, s.23)

2.3 Biokaasu Suomessa nyt

Biokaasun potentiaali monissa sovelluksissa on huomattu Suomessa ja biokaasua tuottaakin Suomessa useat yritykset. Ala on alati kasvava ja investointeja tehdään koko ajan. Biokaasu tarjoaa ympäristöystävällisen vaihtoehdon liikenteeseen, kiinteistöjen lämmitykseen ja energianlähteen. Suomessa tavoitteena on kasvattaa tieliikenteen biopolttoaineiden käyttö 30 %:iin kaikista polttoaineista vuoteen 2030 mennessä. Päästöt olisivat tällöin hallituksen teettämän arvion mukaan 85 % alhaisemmat kuin bensiinillä (HE 199/2018). Biokaasun laaja tuotanto sisältää ympäristöön liittyviä kysymyksiä, poliittisia kysymyksiä, sekä taloudellisia kysymyksiä. Suomi on riippuvainen fossiilisista polttoaineista vielä tällä hetkellä ja biokaasun tuotannon avulla tätä riippuvuutta voitaisiin vähentää. Energiariippumattomuus on valtiolle tärkeä poliittinen asia. Biokaasun hinta ei ole niin herkkä globaaleille tapahtumille. Biokaasu energialähteenä luokitellaan uusiutuvaksi, mikä tekee siitä myös varteenotettavan vaihtoehdon fossiilisille energianlähteille.

Suomesta löytyy monia yksittäisiä toimijoita alalta ja useat kunnat, esimerkiksi Helsinki ja Espoo, tuottavat biokaasua jätevesien puhdistuksen yhteydessä. Lähes kaikki jätevesiliete käytetään hyödyksi biokaasua tuottamalla. Teollisuuden jätevesilietteiden käsittelyssä löytyy vielä potentiaalia biokaasun tuotantoon. Maatalouden yhteydessä oleva biokaasun tuotanto on vähäisempää kuin muissa tuotantopaikoissa, maatalous kattaa vain 3 % biokaasun tuotannosta. Suurin alan toimija on Gasum Oy, jolla on tuotantolaitoksia ja toimintaa myös muualla Pohjoismaissa. Muita toimijoita on noin 40 ja näistä suurimpia tuotannoltaan on Envor Biotech Oy, LABIO Oy ja HSY Ämmässuo

Oy. Tuotantoa tapahtuu teollisuuden ja yhdyskuntien jätevesien puhdistamoissa, mädätyslaitoksissa, sekä maatalouden yhteydessä olevissa biokaasulaitoksissa. Jätevesien käsittelyssä biokaasun tuotanto ei ole kasvanut merkittävästi viime aikoina, mutta yhteismädätyslaitosten tuotanto on ollut kasvussa vuodesta 2009 lähtien. Maataloudessa syntyvien jätteiden hyödyntämiseen tarkoitettujen mädätyslaitoksien määrä on kuitenkin suurin. Suomessa toimii myös Biokaasuyhdistys, joka pyrkii edistämään biokaasuun liittyvää tutkimusta, tuotekehitystä ja tuotantoa. Yhdistys pyrkii siis auttamaan jäseniään ja tuomaan biokaasun täyden potentiaalin hyötykäyttöön. (Biokierto 2019) Luonnonvarakeskuksen (Winqvist et al., 2018) tekemän tutkimuksen mukaan vuonna 2017 biokaasua tuotettiin lämmitykseen 520 GWh, sähköksi 178 GWh ja liikenteeseen 30 GWh. Liikenteen osuus biokaasun käyttötavoista on noussut merkittävästi vuoden 2011 arvosta, joka oli noin 1 GWh. Luonnonvarakeskuksen tutkimus kuitenkin toteaa, että tuotantopotentiaali biokaasulle olisi 10200 GWh, eli määrää voitaisiin lisätä vielä erittäin paljon. (Winqvist et al., 2018)

Biokaasun tuotannon lisääntymisnopeuteen Suomessa on vaikuttanut monia tekijöitä. Lainsäädännössä tapahtuneet muutokset ympäristöystävällisempään suuntaan jätteiden käsittelyssä on kasvattanut biokaasun tuotantoa. Tästä yksi esimerkki on se, ettei biohajoavaa jätettä saa enää viedä sekajätteen mukana kaatopaikalle. Biokaasun tuotantolaitoksella on valitettavasti pitkä takaisinmaksuaika, joten tuotannon kannattavuus on yksi haasteellisista tekijöistä. Osittain tämän takia kannattava toiminta vaatii suuren tuotantokapasiteetin. Biokaasun tuotannon kannattavuuden kannalta on tuotetun sähkön hinta tärkeässä asemassa. Tällä hetkellä sähkön hinta on alhainen verrattuna tuotantokustannuksiin. Tästä seuraten biokaasun tuotannon kannattavuus on huono. Biokaasun hyödyntäminen liikennepolttoaineena parantaa tuotannon kannattavuutta, koska liikennepolttoaineeksi puhdistettuna sen arvo on selvästi korkeampi ja siten takaisinmaksuaika voi lyhentyä. Kasvava biokaasun käyttö liikenteen polttoaineena luokin alalle lisää houkuttelevuutta. Yritystuet ovat alalla vielä kehitysvaiheessa ja niistä tärkein on syöttötariffi. Tukipolitiikan keskeneräisyyttä kuvaa hyvin se, että syöttötariffin piiriin kuuluu vain 4 laitosta, joka on vain noin 10 % kaikista Suomessa toimivista laitoksista. (Winqvist et al., 2018)

Gasum Oy aloitti vuonna 2015 käyttämään biokaasu merkintää, jolla asiakas voi todentaa puhtaan energian käytön. Tällä merkinnällä on pystytty nostamaan biokaasun hintaa. Biokaasun puhdistaminen biometaaniksi nostaa tuotteen arvoa ja tämä onkin kannattavin valinta, vaikka puhdistusprosessit nostavatkin tuotannon kustannuksia. Tämä fakta nostaa biokaasun käyttöpotentiaalia liikenteessä entisestään. (Winqvist et al., 2018)

Biokaasun käyttö liikenteessä on myös riippuvaista biometaania käyttävien ajoneuvojen lukumäärästä Suomen teillä. Teknisesti ongelmaa biometaanin käytölle ei ole, koska maakaasulla toimiva polttomoottoritekniikka on jo olemassa liikennekäytössä. Polttomoottorin muuttaminen kaasua hyötykäyttäväksi on myös mahdollista muitakin polttoaineita hyödyntävien polttomoottorien tapauksessa, mikä lisää biokaasun potentiaalia liikenteen polttoaineena. Sähkömoottorit ovat biokaasulle varteenotettavin kilpailija, tosin sähkömoottorit eivät ole yhtä ympäristöystävällisiä koko elinkaarta tarkastellessa. Lisäksi sähkömoottoreiden raaka-ainehankinnassa on tällä hetkellä nähtävissä tiettyjä eettisiä ongelmia, suurin osa tuotannosta löytyy Afrikasta, jossa käytetään paljon lapsityövoimaa. Raskaassa liikenteessä sähkömoottoreita ei tämän hetkisen tilanteen mukaan tulla vähään aikaan soveltamaan, raskas liikenne vaatii vääntövoimaa ja tämä tuo kokoluokkaan liittyviä haasteita sähkömoottoreille. Raskaassa liikenteessä biokaasu olisi varteenotettava vaihtoehto, mutta biokaasun hinnan halpuus perustuu tällä hetkellä verottomuuteen. Tämä tekijä on riski logistiikkayritykselle. (Winqvist et al., 2018)

Itse biokaasun tuotannossa on vielä lisäksi muutama haasteellinen tekijä. Biomassaa ei saada vielä tällä hetkellä tarpeeksi hyötykäytettyä, biojätteen konversio biokaasuksi on siis pienempi mitä se voisi olla. Näiden haasteiden ratkaisemiseksi parhaillaan useat eri yritykset tutkivat erilaisia vaihtoehtoja. Toisaalta tuotannosta jäljelle jäävän orgaanisen jätteen eli mädätysjäännöksen hyödyntäminen on vaikeaa. Aiemmat tutkimukset ovat kyllä osoittaneet (Marttinen et al., 2014), että orgaaninen jäte ei ole haitallista ympäristölle. Lisäksi tätä orgaanista jätettä voidaan edelleen käyttää maataloudessa lannoitteena. Esimerkiksi Gasum Oy myykin myös lannoitteita biokaasun tuotannon yhteydessä. (Winqvist et al., 2018)

Kokonaisuutena voidaan todeta, että biokaasun ominaisuuksia ja sen potentiaalia esimerkiksi liikenteen polttoaineena ei tällä hetkellä vielä tunneta, mikä osaltaan myös hidastaa kehitystä. Tukipolitiikkaan pystyisi tekemään huomattavia lisäyksiä. Kaasun jakeluverkko on tällä hetkellä vielä vajavainen, mikä rajoittaa tuotantoa. Polttoainejakeluasemille biokaasun myynti on vielä suhteellisen kallista johtuen lakisääteisestä koostumusanalyysistä. Kyseinen laki (419/2019) siis määrää, että myytävän biokaasun koostumuksen tulee olla täsmällisesti aina tiedossa. (Winqvist et al., 2018)

3 BIOKAASUN PUHDISTUSMENETELMÄT

Biokaasu siis sisältää metaania 50-75 % metaania riippuen siitä mitä raaka-aineita käytetään. Loppu biokaasusta koostuu pääosin hiilidioksidista ja vedestä, lisäksi läsnä on myös pieniä määriä erilaisia hiilivetyjä. Nämä muut komponentit aiheuttavat sen, että biokaasu ei tällöin ole varteenotettava energian lähde. Muut komponentit ovat usein korrodoivia, heikentävät biokaasun energiatiheyttä ja huonontavat syttymisominaisuuksia. Biokaasun tuotannon jälkeen täytyy käyttää useita erotusmenetelmiä, jotta veden, hiilidioksidin ja muiden komponenttien pitoisuudet saadaan minimoitua.

Itse hiilidioksidin erotus ei ole haastavin osuus erotuksessa, tähän tarkoitukseen on teknologiaa jo ollut hyödynnettävissä pidemmän aikaa teollisessa käytössä. Haasteellisimmat komponentit ovat rikkiä sisältävät komponentit, vesi, siloksaanit ja muut hiilivedyt. Haastavaa näiden aineiden erotuksessa on myös niiden pitoisuuksien merkittävä vaihtelu, mikä riippuu pääasiallisesti raaka-aineista. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 91-92)

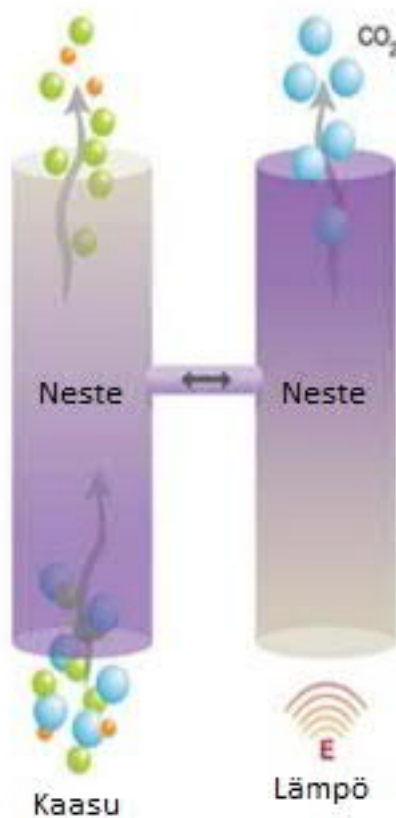
Taulukko 1. Yleisimmät puhdistusprosessit eri biokaasun epäpuhtauksille (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 93).

Erotettava komponentti	Erotusmenetelmä	Erotuksen aikaan saava aine (väliaine, liuotin tai muu kemikaali)
CO ₂	absorptio	Vesipesu, polyetyleeniglykoli-pesu
	adsorptio	Aktiivihiilisuodatus (CMS, carbon molecular sieve), adsorptio hyödyntäen paineen muutoksia (PSA, pressure-swing adsorption)
	kalvoerotus	kaasupermeaatio, kaasu-neste kalvoabsorptio (engl. membrane absorption)
H ₂ S	biologinen rikin poisto	rautakloridin, ilman tai hapen annostus mädätykseen
	adsorptio	rautaoksidi, kyllästetty aktiivihiilisuodatus (engl. impregnated activated carbon)
	absorptio	vesipesu, aminipesu, NaOH-pesu
Siloksaanit	absorptio	Absorptio hiilivetyjen seokseen

Kuten taulukosta 1 voidaan nähdä, kaikkia epäpuhtauksia voidaan periaatteessa poistaa käyttämällä absorptiota erilaisiin liuoksiin. Erotusprosessien valintaan vaikuttaa kuitenkin niiden tekninen ja taloudellinen toteutettavuus.

3.1 CO₂:n erotusmenetelmät

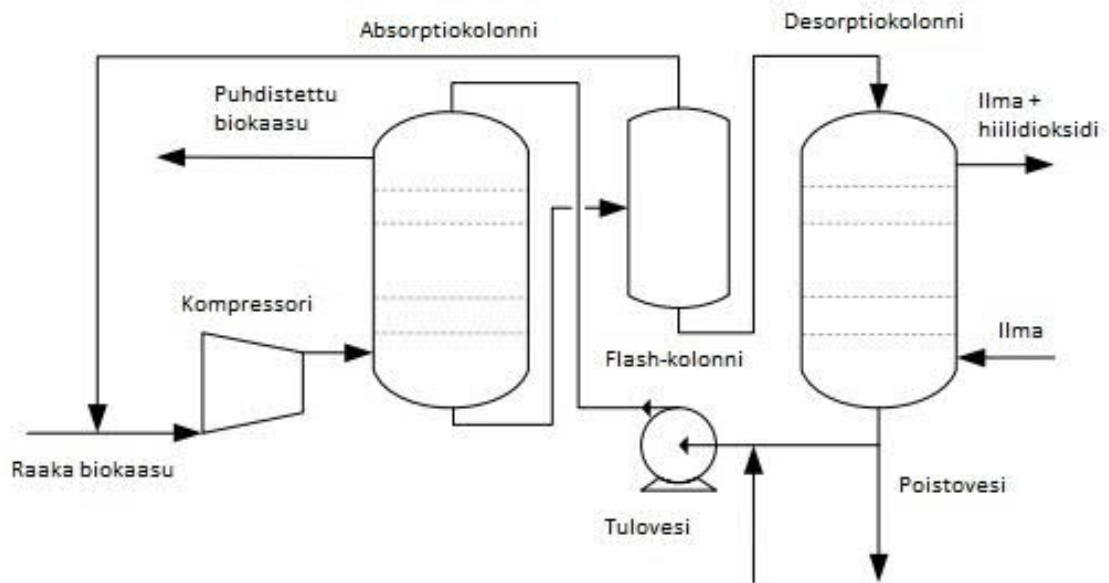
Hiilidioksidin erotusmenetelmiä on kehitetty laajalti ja niitä on hyötykäytetty teollisessa mittakaavassa pitkän aikaa, kuitenkin vain absorptio ja adsorptio ovat käytössä laajassa mittakaavassa. Yksinkertaisin erotusmenetelmä hiilidioksidille on vesipesu, jota on myös tutkittu laajimmin. Kuvassa 2 on esitetty periaate absorptioon hyödyntämiselle CO₂ erotuksessa.



Kuva 2. Biokaasun puhdistus vesipesulla (Muokattu alkuperäisestä lähteestä Turkki, 2011).

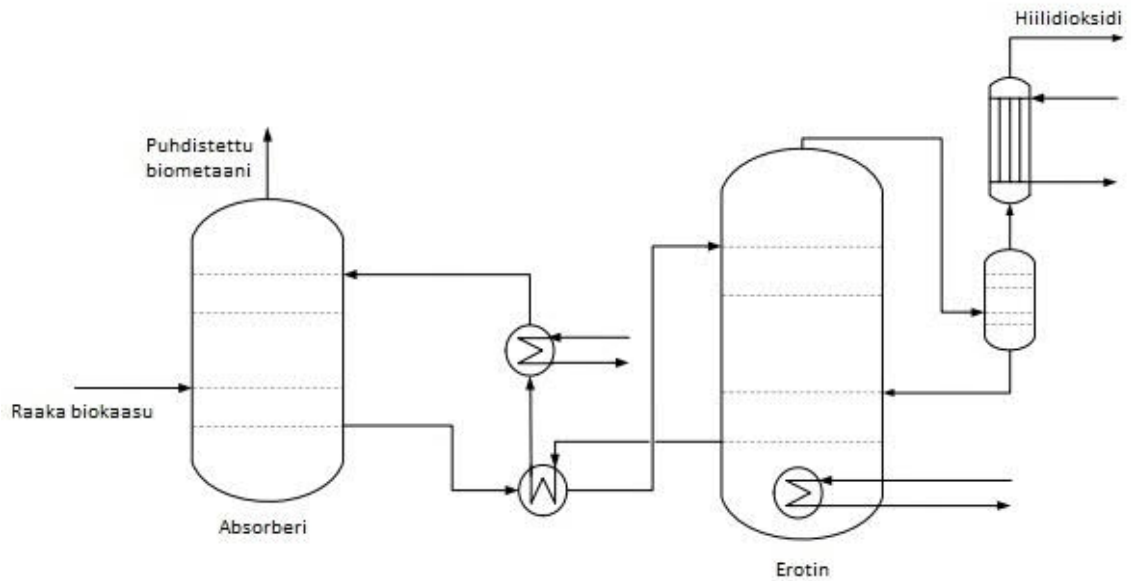
Vesipesussa paineistettu (6-10 bar) biokaasu syötetään pakattuun absorptiokolonniin, jossa vesi ja biokaasu virtaavat vastavirtaisesti. Tällöin hiilidioksidi liukenee selektiivisesti veteen metaanin jäädessä biokaasuun. Hyvänä puolena tällä erotusmenetelmällä on se, että myös osa rikkipitoisista yhdisteistä saadaan samanaikaisesti erotettua. Vedelle vaihtohtona vastaavassa erotusmenetelmässä on

käytetty myös polyetyleeniglykolia. Polyetyleeniglykolilla onnistutaan paremmin myös puhdistamaan rikkipitoiset yhdisteet. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 94-95; Wellinger et al., 2013, s.353-356; Bauer et al., 2013, s.34, s.37) Kuvassa 3 voimme nähdä tyypillisen vesipesua hyödyntävän prosessin biokaasun puhdistukseen.



Kuva 3. Prosessiesitys vesipesulle (Muokattu alkuperäisestä lähteestä Bauer et al., 2013).

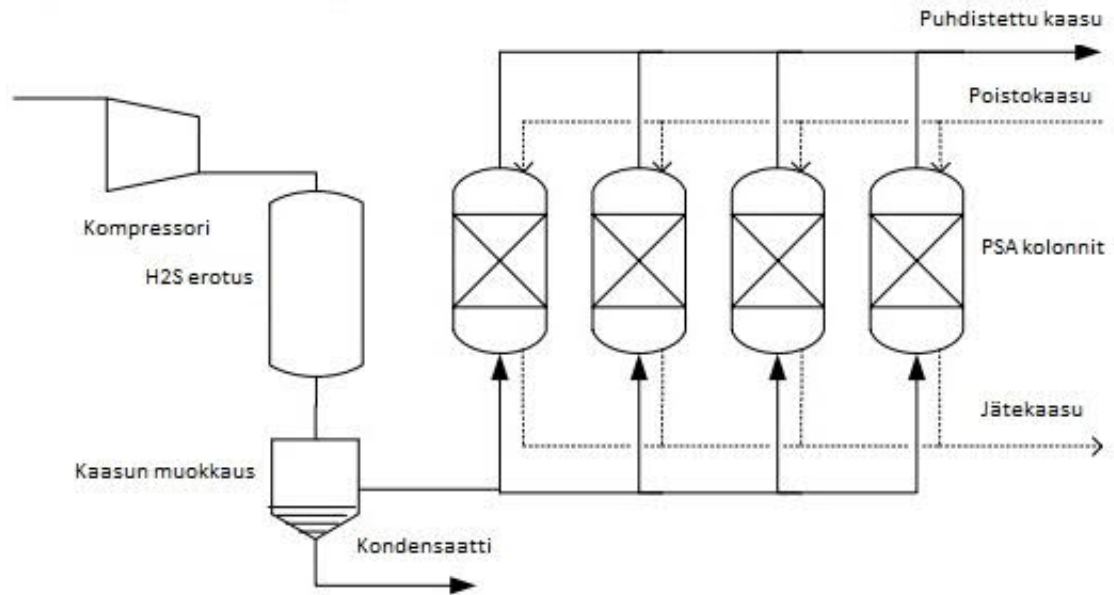
Hiilidioksidin erotus voidaan tehdä myös kemiallisesti niin sanotulla amiinipesulla. Tämä menetelmä ei ole kuitenkaan kovin yleisessä käytössä. Hiilidioksidin erotus kemiallisesti perustuu siihen, että liuotin reagoi epäpuhtautena olevan hiilidioksidin kanssa sitoen sen itseensä. Tätä vaihtoehtoa käyttämällä hiilidioksidi voidaan erottaa biokaasusta hyvin selektiivisesti, mutta se vaatii paljon energiaa, sillä reagoanut liuotin täytyy regeneroida, jos se halutaan uudelleen käyttää prosessissa. Kemiallisessa erotuksessa voidaan käyttää esimerkiksi kalkkia tai 2-aminoetanolia. 2-aminoetanolia syntyy itse prosessissa, kun taas kalkki pitää hankkia prosessin ulkopuolelta. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 95-96; Wellinger et al., 2013, s.359-360; Bauer et al., 2013, s.16-18) Kuvassa 4 voimme nähdä tyypillisen amiinipesua hyödyntävän prosessin biokaasun puhdistukseen.



Kuva 4. Prosessiesitys amiinipesulle (Muokattu alkuperäisestä lähteestä Bauer et al., 2013).

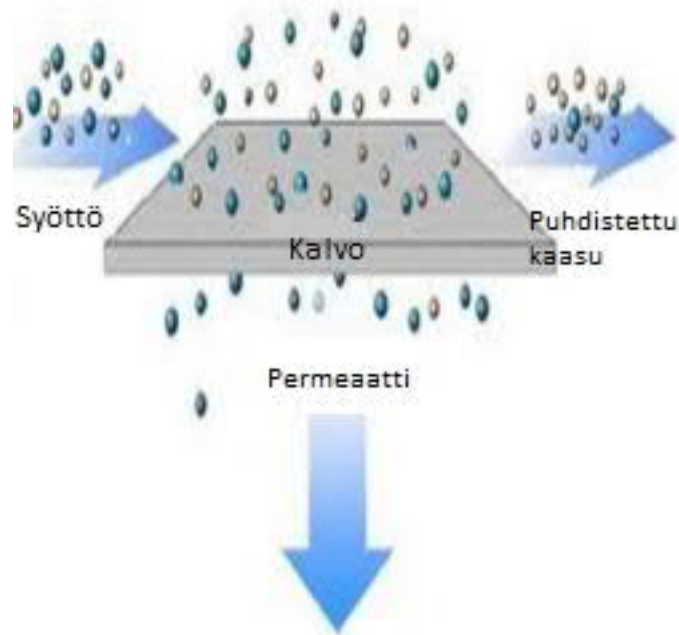
Kolmas vaihtoehto hiilidioksidin erotukselle on vähemmällä käytöllä ollut kryogeeninen erotus. Tässä menetelmässä kuivattu biokaasu jäädytetään lämpötilaltaan -50°C ja -65°C välille ja saatetaan 50 bar:n paineeseen. Näin saavutetaan hiilidioksidin jäähmettymispiste ja hiilidioksidi saadaan erotettua kiinteänä kaasumaisesta metaanista. Hiilidioksidi erotetaan biokaasusta, biokaasu ilmenee vielä tässä vaiheessa useassa faasissa, joissa on erilaiset pitoisuudet. Biokaasu paineistetaan ja jäädytetään kaksi kertaa kyseisessä puhdistusprosessissa ja jokaisen näiden kahden jälkeen tapahtuu erotus. Viimeinen lopullinen erotus tapahtuu Cryocell-erotuksella. Useammalla vaiheella saadaan faasien aiheuttamaa erotuksen haasteellisuutta vähennettyä. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 97; Hart & Gnadendran, 2009, s. 697-706; Wellinger et al., 2013, s.364-365)

Neljäs vaihtoehto hiilidioksidin erottamiselle on adsorptio hyödyntämällä paineen muutoksen vaikutuksia hiilidioksidin adsorboitumiskäyttäytymisessä (PSA). Kuvassa 5 voimme nähdä tyypillisen prosessin PSA-tekniikka käytettäessä puhdistukseen.



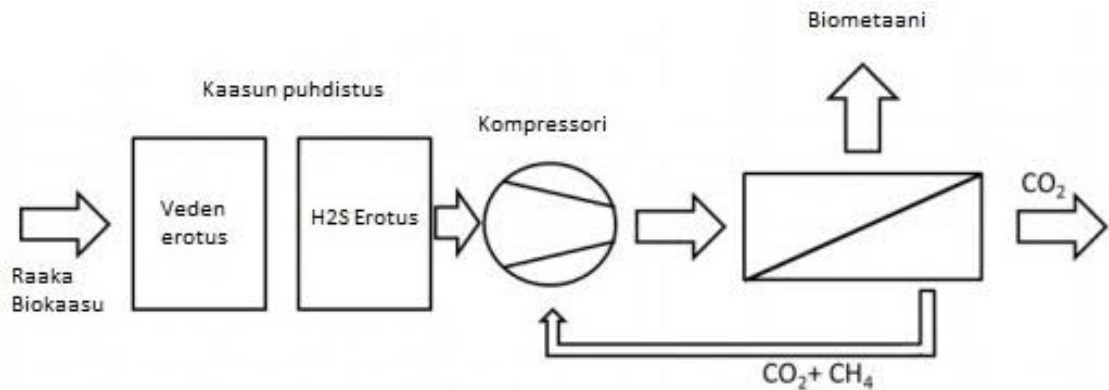
Kuva 5. Prosessiesitys PSA-tekniikalle (Muokattu alkuperäisestä lähteestä Bauer et al., 2013).

Kuten kuvasta 5 voi nähdä, tässä menetelmässä biokaasu paineistetaan ja valittu kiinteä materiaali adsorboi biokaasuvirtauksesta selektiivisesti hiilidioksidin. Hiilidioksidin adsorption jälkeen se desorboidaan kiinteän materiaalin pinnalta laskemalla painetta adsorberissa. Kiinteänä adsorbenttimateriaalina voidaan käyttää mm. aktiivihiiltä, erilaisia zeoliitteja, metalliatomien ja orgaanisten molekyylien muodostamia rakenteita (engl. metal-organic frameworks). (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 97-98; Wellinger et al., 2013, s.349-353; Bauer et al., 2013, s.23-25)



Kuva 6. Kalvoerotus (Muokattu alkuperäisestä lähteestä Turkki, 2011).

Tutkimusvaiheessa hiilidioksidin erottamiseksi biokaasusta on membraanierotus (MSP) eli kalvoerotus. Kuvassa 6 on esitetty kalvoerotuksen toimintaperiaate. Erotus perustuu aineiden erilaisiin permeabiliteettiin kalvon läpi. Kalvomateriaalina tässä voidaan käyttää polymeerisiä membraaneja tai nestemäisiä membraaneja. Teollisessa käytössä tämä vaihtoehto on vielä kallis, mutta tutkimukset ovat osoittaneet, että tämä menetelmä on yhtä tehokas kuin absorptio. Hybridi erotusmenetelmiä on myös testattu. Membraani-absorptio hybridierotus on osoittautunut tutkimuksissa yhtä tehokkaaksi kuin absorptio ja sen on havaittu samalla vähentävän kustannuksia ja energian kulutusta. Materiaalina kalvossa voidaan käyttää polyimidejä, kuljetusmembraaneja (engl. facilitated transport membranes), seosmatriisimembraaneja (engl. mixed matrix membranes), hiilestä koostuvia molekyyliseulia (engl. carbon molecular sieves, CMS) ja polyetylenioksidia. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 98-99; Wellinger et al., 2013, s.362-364; Bauer et al., 2013, s.28-31). Kuvassa 7 voimme vielä nähdä tyypillisen prosessin rakenteen, kun käytetään kalvoerotusta biokaasun puhdistuksessa.



Kuva 7. Prosessiesitys kalvoerotukselle (Muokattu alkuperäisestä lähteestä Bauer et al., 2013).

3.2 H₂S:n erotusmenetelmät

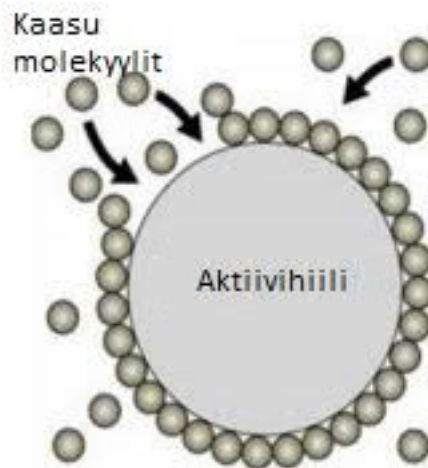
Rikkivety ja muut rikin yhdisteet pyritään erottamaan tehokkaasti biokaasusta, sillä rikin yhdisteet ovat happamia ja ne ovat erittäin reaktiivisia ja korrodoivia. Esimerkiksi syötettäessä rikin yhdisteitä biokaasua polttomoottoriin nämä yhdisteet voivat aiheuttaa vahinkoa moottorille, joten rikin yhdisteitä sisältävä biokaasu on epäkäytännöllinen polttoaine. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 102; Wellinger et al., 2013, s.346-347)

Rikkivedyn eli divetyksulfidin erottamiseen on myös monia menetelmiä ja näistä suosituin on divetyksulfidin hapetus rikiksi:



Tämä vaihtoehto on erittäin selektiivinen ja se tapahtuu rautakationien avulla kuten reaktiossa (1) on esitetty. Rautakationit vastaanottavat divetyksulfidilta elektroneja ja reaktion seurauksena syntyy rikkiä ja vetyioneja. Rautakationit, jotka aiemmin ovat vastaanottaneet elektroneja, saadaan muutettua aiempaan varaukseensa hapen ja veden avulla. Teollisessa käytössä tästä erotusmenetelmästä on kaksi patentoitua menetelmää, SulFerox ja LO-CAT. SulFerox-menetelmää voidaan soveltaa paineistetulle kaasulle tai poistokaasulle. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 102-103; Wellinger et al., 2013, s.347-348)

Adsorptio on myös yksi hyvin yleinen vaihtoehto erotukseen hapetuksen lisäksi. Tässä voidaan käyttää esimerkiksi rautasientä (engl. iron sponge), aktiivihiiltä tai liejusta muokattuja adsorbentteja (engl. sludge derived adsorbents). Adsorptio on useimmiten kuitenkin kalliimpaa kuin hapetus. Lisäksi adsorptio vaatii muiden tekijöiden huomioimista. Rautasientä käytettäessä erotus onnistuu tehokkaammin, kun biokaasu on liuotettu ensiksi veteen. Aktiivihiiliä käytettäessä taas tarvitaan kosteutta, jotta erotus on tarpeeksi tehokas. Liejusta muokatun adsorbentin toimintaperiaate perustuu tutkimuksien mukaan liejussa oleviin metallikationeihin. Liejusta muokatussa adsorbentissa hiilidioksidi ja divetyysulfidi kilpailevat adsorbentin pinnalle olevista adsorptiopaikoista, joka aiheuttaa toisen komponentin tehottomamman erotuksen kaasusta. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 103-104) Kuvassa 8 näemme kuvauksen aktiivihiilierotuksen periaatteeseen.



Kuva 8. Aktiivihiilierotus (Muokattu alkuperäisestä lähteestä Turkki, 2011).

Myös rikin yhdisteille voidaan käyttää membraanierotusta eli kalvoerotusta, kuitenkin tämä menetelmä ei ole yleisessä käytössä. Kyseiseen menetelmään on olemassa patentoitu menetelmä, jossa kalvon materiaalina käytetään polymeerisiä kalvoja. Materiaalina tässä käytetään dialkyylisiloksaaneja. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 105)

Biologinen erotus on myös mahdollinen. Menetelmässä käytetään bakteereja käsittelemään divetyysulfidia, muodostaen tästä rikkiä ja erilaisia happipitoisia anioneja.

Erotusmenetelmä perustuu joko fotoautotrooppisten tai kemotrooppisten bakteerien toimintaan. Fotoautotrooppisia bakteereja käytettäessä voidaan materiaali syöttää kaasuna panostoimiseen erotusreaktoriin, jatkuvatoimiseen reaktoriin tai fotoelektriseen reaktoriin. Kemotrooppisia bakteereja käytettäessä soveltuvat samat edellä mainitut vaihtoehdot, pois lukien fotoelektrinen menetelmä, joiden lisäksi voidaan käyttää biopesua ja erilaisia biosuodattimia. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 106; Wellinger et al., 2013, s.347-348)

3.3 Veden erotusmenetelmät

Biokaasu voi sisältää myös vesihöyryä. Vesi voi reagoida hiilidioksidin ja rikkivedyn (H_2S) kanssa muodostaen happoja, mikä ei tietenkään ole hyväksi biokaasua käytettäessä polttoaineena. Useimmiten ylimääräinen vesi saadaan erotettua kuitenkin muuttamalla olosuhteita sopivalla tavalla tai sen erotus voi tapahtua samanaikaisesti muita epäpuhtauksia erottaessa. Tästä esimerkki on veden adsorptio aktiivihiilen pinnalla samanaikaisesti H_2S :n kanssa, mutta tähän löytyy siis myös muita vaihtoehtoja. Vettä voidaan erottaa adsorboimalla kiinteällä materiaalilla, esimerkiksi aktiivihiili-suodattimella, silikageelillä tai Na_2SO_4 -kolonnilla. (Al Mamun & Torii, 2017) Toinen hyvä ja suositumpi vaihtoehto on seoksen jäähdytys, jolloin vesi lauhtuu muiden biokaasun komponenttien pysyessä kaasumaisina. Tämä menetelmä itsessään on tehokas ja yksinkertainen vaihtoehto veden poistamiseksi. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 110; Al Mamun & Torii, 2017; Wellinger et al., 2013, s.344-346)

3.4 Siloksaanien erotusmenetelmät

Siloksaanit ovat pääosin piistä ja hapesta muodostuneita yhdisteitä, joissa pii ja happi ovat sitoutuneet toisiinsa ketjuksi tai rengasmaiseen muotoon. Siloksaanien pii-atomiin on lisäksi sitoutuneena erilaisia hiilivetyjä. (Greve, K., et al., 2014, s. 6) Siloksaanit ovat toinen haitallinen yhdisteryhmä biokaasussa, sillä ne muodostavat kiteytyvää piidioksidia, joka olisi kuluttavaa polttomoottori käytössä polttomoottorin metalliosille. Siloksaaneja syntyy kuitenkin vain jätevesistä tuotetussa biokaasussa.

Erotusmenetelminä siloksaaneille on adsorptio, absorptio, kalvoerotus ja kryogeeninen erotus. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 106-109; Wellinger et al., 2013)

Adsorptio on yleisin erotusmenetelmä siloksaaneille. Tähän voidaan käyttää aktiivihiihtä, silika-geeliä, tai zeoliitteja. Tutkimusten perusteella silika-geelillä on kaikista suurin potentiaali, vaikka se ei vielä ole yleisin kaupallisessa käytössä oleva erotusmenetelmä. Kaupallisina menetelminä on useimmiten aktiivihiihellä tehty erotus ja leijupedillä tehtävä. Adsorptiolla saavutetaan noin 97 % erotus siloksaaneille. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 107)

Absorptiossa on käytetty rikkihappoa, ultraääni-katalysoitua polymerisointia, typpihappoa ja fysikaalista absorptiota. Rikkihapolla saadaan erotettua noin 97 % siloksaaneista, mutta rikkihappo on hyvin korrodoiva komponentti. Typpihapolla saadaan erotettua hiukan vähemmän, noin 95 %, mutta sillä ei ole korrodoivia vaikutuksia. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 108)

Kryogeeninen erotusmenetelmä perustuu erotettavan komponentin lauhtumiseen, tosin erotukseen vaikuttavat ilmiöt eivät ole täysin tunnettuja. Tämän menetelmän tehokkuus vaihtelee suuresti ollen 15-95 % riippuen olosuhteista. Tästä syystä kryogeenisen erotuksen käyttäminen on haasteellista. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 108)

Membraanierotusta on myös tutkittu hiukan. Membraanierotus on selektiivinen ja sitä voidaan käyttää muiden menetelmien kanssa yhdessä. Tämä menetelmä on kuitenkin vasta kokeiluvaiheessa, joten teolliseen käyttöön on vielä paljon tehtävää. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 109)

3.5 Typen erotusmenetelmät

Useimmiten biokaasu sisältää hyvin vähän typpeä ja typen yhdisteitä (< 1 %). Jos raaka-aineena käytetään kaatopaikkajätettä, voivat typen ja typen yhdisteiden määrät olla kuitenkin jopa 15 % kaasusta. Anaerobisessa prosessissa pyritään estää ilman sekoittuminen tuotteeseen ja suuri typpimäärä voikin indikoida vuotoa prosessilaitteistossa. Näistä syistä typelle ei useimmiten käytetä erikseen mitään

erotusmenetelmää. Biokaasun keräyksessä paineen avulla, voi kaasuun sekoittaa ilmaa, mutta tätä pystytään hyvin hallinnoimaan oikeilla prosessiparametreilla. (Rasi, 2009, s. 6, 46-47, 52)

Typen erotukseen voidaan kuitenkin käyttää absorptiota tai kalvoerotusta. Absorptioerotuksessa käytetään liuottimena usein laimennettua fosfaattia. Useimmiten tämän lisänä käytetään polymeeristä membraania ja siihen sisällytettyä tetraalkyyliammoniakki -suolaa. Tällä menetelmällä on korkea selektiivisyys. Myös monia muita menetelmiä on tutkittu kuten rikkihapon ja aktivoitun hiilen yhdistelmää. Rikkihapolla saadaan tutkimusten mukaan tehokkain erotus. Tutkittavana on myös ollut biomassan muuntaminen typen absorbentiksi. Tässä menetelmässä biomassaa käsitellään ensin rikkihapolla. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s.109)

Kalvoerotusta on tutkittu typen erotukselle, tosin tätä on tutkittu jätevesien puhdistukseen liittyen. Kalvoerotuksessa voidaan käyttää onttoja kuitumembraaneja. Kyseisellä menetelmällä saavutetaan 97% erotus, mikä tekee siitä varteenotettavan vaihtoehdon. Kalvoerotus on typelle kuitenkin vasta tutkimusvaiheessa. (Cvetkovski & Litonjua, 2012, s. 110)

4 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

4.1 Kyselyn toteutus

Tässä työssä tehtiin kyselytutkimus suomalaisille alan tuottajayrityksille liittyen alan tilanteeseen, heidän käyttämiin prosesseihin ja toimialan haasteisiin. Luonnonvarakeskus oli tehnyt vastaavan tyyppisen kyselyn vuonna 2018 [lähde viittaus] ja tässä työssä toteutetun kyselyn muokkaamisessa hyödynnettiin pohjana heidän kyselyänsä. Tämän lisäksi työn aikana oltiin suoraan yhteydessä heihin (Wilja Varho, Erika Winqvist) lisätietojen saamiseksi. LUKE:lta tiedusteltiin neuvoja ja kontakteja kyselyä varten. Lisäksi Biokaasuyhdistykseltä kysyttiin yhteystietoja alan yrityksiin. Näiden tiedustelujen pohjalta valittiin yritykset, joihin kysely lähetettiin.

Kysely toteutettiin sähköpostitse kyselylomakkeella ja lisäksi yksi toimija halusi vastata kyselyyn puhelimitse. Kysely lähetettiin kahdelletoista yritykselle, jotka olivat Gasum Oy, Jeppo Biogas, Mustankorkea Oy, BioSairila Oy, Stormossen Oy, Metener Oy, Envor Biotech Oy, Nivos Energia Oy, Qvidja Kraft Ab, Joutsan Ekokaasu Oy ja Biohauki Oy. Kyselyyn vastasi viisi yritystä, jotka olivat Metener Oy, Stormossen Oy, BioSairila Oy, Jeppo Biogas ja Mustankorkea Oy. Kyselylomake oli useimmille sama, poikkeuksena yritykset, joilla tuotanto ei ollut vielä alkanut tai oli parhaillaan keskeytyksissä. Metener Oy vastasi kyselyyn puhelimitse, muut sähköisessä muodossa.

Suurin osa kyselyyn otetuista yrityksistä on pieniä alan toimijoita. Suomessa alan isoin toimija on Gasum Oy, jolta ei valitettavasti saatu vastausta tämän työn kyselyyn. Vastanneet yritykset ovat siis paikallisia toimijoita, millä on vaikutusta kyselyn tuloksiin. Lisäksi BioSairila Oy:n laitos on vasta rakennusvaiheessa.

Kyselylomake sisälsi seuraavat kysymykset:

- Mikä mielestänne on alan tilanne tällä hetkellä? Mitkä ovat suurimmat haasteet? Miltä alan tulevaisuus vaikuttaa?
- Minkälaisia erotusmenetelmiä teillä on käytössä biokaasun puhdistuksessa metaaniksi?

- Mitä raaka-aineita käytätte ja mistä raaka-aineet saadaan? Mitä haasteita raaka-aineiden ominaisuuksien vaihtelu aiheuttaa prosessille?
- Mikä yritys on prosessilaitteistonne toimittaja, jos laitteisto ei ole teidän itse rakentama?
- Käytetäänkö prosesseissa syntyvää orgaanista mädätejäännöstä hyödyksi? Millä tavoin?
- Minkälainen koostumus on teidän tuottamallanne biokaasulla?
- Mihin käyttökohteisiin biokaasuanne myydään? Onko tästä tarkkaa prosentuaalista tietoa olemassa?
- Minkälaisia tuotantomääriä laitoksessanne syntyy biokaasua tyypillisesti?
- Mitä teknologisia asioita tulisi mielestänne erityisesti tällä hetkellä kehittää, jotta biometaanin tuotanto olisi kannattavampaa?

Mustankorkea Oy:ltä ja BioSairila Oy:ltä kysyttiin myös minkälaisia haasteita tuotannossa ja tuotannon rakentamisessa on ollut. Itse työssä haluttiin tarkemmin selvittää alan tilannetta pääpainotteena puhdistettu biokaasu ja erotusprosessit. Valituilla kysymyksillä alan tilannetta saatiin monipuolisesti selvitettyä ja saaduilla tiedoilla tuottajia pystyi hyvin vertailemaan keskenään.

4.2 Kyselyn tulokset

4.2.1 Alan tilanne, haasteet ja tulevaisuus

Kaikki kyselyyn vastanneet olivat positiivisia alan tulevaisuuden suhteen. Haasteita kuitenkin löytyy kannattavuudessa useammalla saralla. Isoimpina ongelmina ovat laitosten pienet koot, jakeluverkon puutteellisuus, kunnallisten ja yksityisten toimijoiden sekalainen kirjo ja tuotteista saatava hinta. Prosessilaitteiston koko ei ole suoraan verrannollinen kustannuksiin ja prosessilaitteisto yleensäkin on kallis. Pienten laitosten mädätejäännöksen prosessointi ei ole kannattavaa. Jakeluverkko ei ole Suomessa niin laaja, jotta tuotanto olisi toimivaa kaikkialla. Tuotanto on usein kunnallisten ja valtiollisten toimijoiden varassa, heiltä saadaan raaka-aineet tuotantoon. Kuitenkaan kulutus ei ole samassa suhteessa tuotantoon, jotta liikennekäyttöön biokaasun koko

potentiaali toteutuisi. Fossiiliset polttoaineet ovat vielä kokonaiskustannuksiltaan houkuttelevampi liikennepolttoaine. Tulevaisuuden asenteet ovat kuitenkin positiivisia ja tuottajat odottavat alan laajenemista ja kehitystä ongelmien saralla.

4.2.2 Erotusmenetelmät

Erotusmenetelmiä näyttäisi kyselyn perusteella olevan monenlaisia käytössä. Hiilidioksidin erotuksessa näyttäisi olevan käytössä kahdella toimijalla PSA-tekniikkaan perustuva suodatus, kahdella vesipesu ja kahdella aktiivihiihluodatus. Yhtä tiettyä suosittua erotusmenetelmää ei näyttäisi olevan.

4.2.3 Raaka-aineet

Monet toimijat saavat raaka-aineensa kunnallisilta toimijoilta. Raaka-aineet voivat olla kerättyä biojätettä, jätevesilietettä, lantaa, erilaiset kasvibiomassat ja erilaiset rasvat. Potentiaalisten raaka-aineiden kirjo on siis kovin laaja. Tuottajat kertoivat, että syötteen ominaisuuksien vaihtelu ei suuresti vaikuta isossa prosessissa. Muutokset voivat hetkellisesti vaikuttaa, mutta prosessi on hyvin hallittua, minkä johdosta muutoksia ei juurikaan tapahdu.

4.2.4 Prosessilaitteisto

Prosessilaitteisto näyttäisi olevan peräisin erittäin monelta eri toimittajalta. Laitteistoa voidaan hankkia ympäri Eurooppaa. Kuitenkin oman prosessilaitteiston ja etenkin biokaasulaitoksen rakentaminen itse on suosittua, kyselyyn vastanneista kaksi olivat itse rakentaneet tai suunnittelevat rakentavansa laitoksensa.

4.2.5 Määdtejäännöksen hyötykäyttö

Toimittajilla näyttää olevan kaikilla vastaava tapa hyötykäyttää syntynyt määdtejäännös, useimmiten määdte jaetaan viljelysten lannoitteeksi ja joskus tästä tuotetaan esimerkiksi nurmimultaa. Esimerkiksi Metener Oy kokeili määdtejäännöksen myyntiä kuluttajille nurmilannoitteena. Määdtejäännöksen hyötykäyttöä rajoittaa kuitenkin sen ravinteiden konsentraation vähäisyys ja lainsäädännölliset asiat. Tällä hetkellä määdtejäännöstä ei saa myydä lannoitetuotteena. Määdteen muuttaminen rakeiseen muotoon parantaisi

huomattavasti sen käyttöä lannoitteena, mutta rakeistaminen on kuitenkin tällä hetkellä liian kallis prosessi. Mädate useimmiten siis jaetaan lannoitteeksi maataloille, joista saadaan biokaasun tuotantoprosessiin raaka-aineita.

4.2.6 Biokaasun koostumus

Taulukkoon 2 on koottuna kyselyyn vastanneiden yritysten biokaasun koostumuksia.

Taulukko 2. Kyselyyn vastanneiden yritysten biokaasun komponenttien pitoisuudet.

	Yksikkö	Mustankorkea	Metener	Stormossen	BioSairila	Jeppo Biogas
CH ₄	til.-%	97	95-96	98-99	-	98
CO ₂	til.-%	< 2,5	2	-	-	-
N ₂ + O ₂	til.-%	< 2,5	-	-	-	-
O ₂	til.-%	< 1,0	2	-	-	-
H ₂ S	ppm	< 5	-	-	-	-
Rikki yhteensä	mg/Nm ³	< 5	-	-	-	-
Siloksaanit	mg/Nm ³	< 5	-	-	-	-

Kuten taulukosta 2 voidaan nähdä, kaikilla vastanneilla puhdistetun biokaasun metaanipitoisuus oli 95-99 %. Vaihtelevuutta siis löytyy pitoisuuksissa ja tavoitteena useimmiten onkin, että metaanipitoisuuden saisi yli 99 %. Jos metaanipitoisuus on alle 99 %, niin tällöin hiilidioksidin ja typen osuus on korkeampi. Stormossenin laitoksella metaanipitoisuus ilmoitettiin korkeimmaksi, 98-99 %, tämä voinee johtua laitoksen suuresta koosta ja suuremmista investoinneista.

4.2.7 Käyttökohteet

Yritykset useimmiten myyvät puhdistamattoman biokaasun sähkön tai lämmön tuotantoon teollisuuteen ja yhdyskunnille. Puhdistettu biokaasu myydään tankkausasemilla liikennekäyttöön tai muille kiinnostuneille tahoille. Prosentuaalista dataa yritykset kertoivat vähän ja niissäkin suurta vaihtelua, esimerkiksi Jeppo Biogas tuottaa 1 % tieliikennekäyttöön ja Metener Oy vastaavasti noin 60 %.

4.2.8 Tuotantomäärät

Yritykset ilmoittivat ylläolevan taulukon 1 mukaiset tuotantomäärät. Yritykset ilmoittivat määrät joko kiloissa, GW/h tai normaalikuutioina. Osa taulukossa olevista arvoista on laskettu yritysten ilmoittamien määrien mukaan.

Taulukko 1. Yritysten biokaasun tuotantomäärät ja vastaavat energiamäärät. 1 GWh vastaa 160 200 – 186 554 Nm³ biokaasua.

Yritys	Biokaasun tuotantomäärä (Nm ³ /a)	Biokaasun energiamäärä (GWh)
Stormossen Oy	2 563 200	16
Jeppo Biogas Oy	4 300 000	23 - 26,7
Metener Oy	256 320 - 326 469	1,6 - 1,75
Mustankorkea Oy	1 063 696	5,7 - 6,6
BioSairila Oy (suunniteltu)	2 220 000	11,9

4.2.9 Kehitys ja haasteet tuotannon alussa ja rakentaessa

Tuotantoyritykset ovat yhtä mieltä siitä, että investointeja pitäisi saada halvemmaksi. Nykyiset prosessilaitteistot ovat kalliita. Toisaalta tuotantolaitoksien koko pitäisi saada suuremmaksi, jotta tuotanto olisi kannattavampaa. Toisaalta laitokseen kasvattaminen johtaa suurempaan raaka-ainetarpeeseen, joka taas ei saisi johtaa liian pitkiin raaka-ainekuljetuksien etäisyyksiin. Erotusmenetelmiä pitäisi saada tehokkaammaksi, jotta metaanin osuus saataisiin yli 99 %, tätä pitoisuutta tavoitellaan, jotta biokaasu olisi laadukas polttoaine ja vastaisi ominaisuuksiltaan maakaasua. Määdetejäännöksen rakeistus pitäisi saada myös kannattavaksi, jotta sen myynti olisi tuottavaa ja itse tuote olisi paremmin hyötykäytettävissä. Mustankorkea Oy:ltä ja BioSairila Oy:ltä kysyttiin myös minkälaisia haasteita tuotannossa ja tuotannon rakentamisessa on ollut. Kaasun paineistus ja jakelulaitteisto ovat aiheuttaneet haasteita. Biometaani tulee varastointia ja kuljetusta varten korkeaan paineeseen (jopa 300 bar), joka asettaa haasteita käytettäville kompressoreille. Lisäksi haasteena on myös prosessilaitteistojen yhteensovittaminen.

5 TULOSTEN TARKASTELU JA SUOSITUKSET

Tarkastellaan ensin alan tilannetta, haasteita ja tulevaisuutta. Haasteina ovat siis laitosten pieni koko, jakeluverkko, toimijoiden sekalainen joukko ja myyntivoitot. Haasteet koostuvat fundamentaalisista puutteista ja kehityksen vaiheesta. Jakeluverkko ei ole vielä kehittynyt eikä kata riittävän laajalle levinnyt Suomessa. Tähän syitä ovat alan nuori ikä sekä kustannuksien ja kysynnän suhde. Tämä tietysti muuttuu koko ajan. Laitokset ovat useimmiten pieniä, mikä rajaa sijainniltaan raaka-ainelähteiden määrää. Lisäksi laitoksen pieni koko tekee mädätejäännöksen jalostamisesta kannattamatonta. Prosessilaitteiston koon, ja siten sen tuotantokapasiteetin, kasvaessa tuotannosta tulee suhteellisesti halvempaa. Kuitenkaan isoja laitoksia ei siltikään ole vielä montaa rakennettu Suomeen. Suurempia laitoksia ei ole vielä rakennettu luultavimmin johtuen biometaanin pienestä kysynnästä. Jalostetusta biokaasusta saa parhaan tuoton, mutta kustannukset edelleen ovat suhteellisen isot. Itse prosessi on myös haastava käyttää talvisaikaan, koska prosessi vaatii lämmitystä, jotta biokaasua tuottavat mikrobit toimisivat tehokkaasti. Osittain tästä syystä kesällä poltetaan biokaasun ylijäämää. Toimijoita alalla on erilaisia yksityisistä valtiollisiin, mikä aiheuttaa toimintatapojen eroavaisuuksia ja epätasa-arvoisuutta liiketoiminnassa.

Haasteet ovat siis fundamentaalisia, jotka johtuvat alan nuoresta iästä ja politiikasta. Ala kasvaa kuitenkin koko ajan ja viime vuosina olemme nähneet dramaattista kasvua alalla. Aika kasvattaa alaa ja politiikka on muuttuvaa. Näiden johdosta alan tulevaisuus näyttää hyvältä, kuten haastatteluun osallistuvat yrityksetkin mainitsivat.

Erotusmenetelmissä ei vastauksien perusteella löydy yhtä tai kahta selvää suosituinta menetelmää. Yrityksillä oli käytössä sekä PSA-erotusta, vesipesua, aktiivihiilisuodatusta että amiinipesuri. Joissain tapauksissa aktiivihiilisuodatusta käytettiin amiinipesurin tai PSA-tekniikan kanssa. Lisäksi prosessilaitteiston toimittajia on monia ja osa tekee tuotantolaitoksensa itse alihankkijoiden avulla. Alalla on siis monia toimittajia, mikä tulevaisuudessa mahdollisesti vaikuttaa positiivisesti hintakilpailuun ja prosessilaitteiston kehitykseen.

Raaka-aineet ovat selvästi monipuolisia. Esimerkiksi kunnilta ja maataloilta saadaan raaka-aineita monipuolisesti ja riittämiin. Raaka-aineiden monipuolisuus ei näytä vaikuttavan lopputuotteeseen ja prosessin operointiin. Tekniikka ja osaaminen tässä tuotannossa näyttää olevan siis hallussa.

Mädätejäännöksen tuotteistamisessa ja käytössä on myös haasteita, jotka pitäisi ylittää. Mädätejäännöksen konsentroinnin prosessit pitäisi saada kannattavammiksi ja tämän hetkinen poliittinen ohjaus sekä lainsäädäntö jarruttaa vielä myyntiä. Mädätejäännöksen lannoitekäytön vaikutuksista ei ole vielä tarkkaa tutkimustietoa, joten sitä ei ole vielä laillistettu myyntiin. Tämä luultavimmin tulee muuttumaan tiedon karttuessa ja lainsäädäntötyön edetessä. Mädätejäännöksen tuotteistamiseen liittyvät tekniset haasteet eivät olisi niin merkittäviä, jos tyypillisen biokaasulaitoksen kapasiteetti olisi isompi. Toisaalta riippumatta laitoksen koosta mädätejäännöksen kuljettaminen tuo taas lisää kustannuksia. Kuitenkin mädätejäännöksen suuresta ravinnepitoisuudesta johtuen, sen potentiaali on korkea kemiallisten lannoitteiden korvaajana.

Kyselyyn osallistuvat ilmoittivat puhdistetun biokaasun metaanipitoisuudeksi 95-99%. Numeerisesti muutos ei ole iso, mutta käytännössä ero voi olla siis kovin suuri. Tutkimuksessa ei selvinnyt erojen taustasyitä, mutta mahdollisesti laitoksien koko ja erotusmenetelmien kokoonpano vaikuttavat pitoisuuksiin. Mitä ilmeisemmin valitut erotusmenetelmät ja laitteiston valmistaja vaikuttavat saavutettaviin pitoisuuksiin.

Useimmiten biokaasua myydään vielä tällä hetkellä puhdistamattomana lämmön ja sähkön tuotantoon. Puhdistetun biokaasun kysyntä ja kannattavuus eivät ilmeisesti ole tätä kauttakään tarkastellessa tarpeeksi hyvällä tasolla. Tässä on kuitenkin merkittävää vaihtelua eri laitosten välillä.

Kuten alussa mainittiin, ongelmat ovat kovin fundamentaalisia ja niihin luultavasti ajan kanssa tulee muutosta. Biometaani on varteenotettava ympäristöystävällinen vaihtoehto fossiilisille liikenteen polttoaineille ja tämän vaihtoehdon eteenpäin menoa tukee globaalikehitys. Poliittisissa päätöksissä biometaani vaihtoehtona tulisikin huomioida paljon paremmin, esimerkiksi luomalla aluksi kysyntää biometaanille, jotta biokaasualalla toimivilla yrityksillä olisi rohkeutta investoida uusiin laitoksiin. Toisaalta

päätöksissä tulisi tukeutua saatavilla olevaan tutkimusaineistoon. Joka tapauksessa alalle kannattaa investoida ja sen näkymät ovat hyvät. Tutkimuksen luotettavuus on kuitenkin kyseenalainen vastaajien pienen määrän ja tyyppien takia. Kyselyyn vastasi viisi kahdestatoista kyselyn saaneista yrityksistä. Vastanneet yritykset olivat paikallisia toimijoita ja alan huomattavasti suurin toimija ei vastannut kyselyyn. Tämän vuoksi merkittävien johtopäätösten teko tutkimuksen tuloksista on jokseenkin hankalaa.

6 YHTEENVETO

Työssä tarkasteltiin biokaasun tuotannon ja erotusprosessien teoriaa. Lisäksi selvitettiin alan tilannetta Suomessa tutkimalla kirjallisuutta sekä toteuttamalla kysely alan yrityksille. Biokaasun tuotannossa on varsinkin biokaasun puhdistukseen saatavilla runsaasti vaihtoehtoja. Biokaasun tuotantoprosessi on houkutteleva ja helppokäyttöinen bioprosessi, mutta vuodenaikojen vaihteluun liittyvä lämpötilan vaihtelu aiheuttaa haasteita biokaasun ympärivuotisessa tuotannossa. Biokaasu polttoaineena on varsin potentiaalinen vaihtoehto korvaamaan osin fossiilisia polttoaineita. Nykyisellä tekniikalla siitä saadaan lähes yhtä puhdasta kuin maakaasusta. Puhdistuksessa keskitytään eniten veden ja hiilidioksidin poistamiseen kaasusta. Tekniset haasteet eivät ole ylitsempääsemättömiä ja muutkin haasteet mahdollisesti tulevat ratkeamaan kehityksen edetessä ja poliittisten muutoksien avulla. Monella saralla tuotannossa ja tuotantolaitoksen rakentamisessa kustannukset ovat korkeat ja investoinnille saatava tuotto on kohtuullisen alhainen. Tuotannossa syntyvä mädätejäännös voidaan käyttää periaatteessa lannoitteena, mutta sen potentiaalia ei valitettavasti tällä hetkellä saada hyötykäytettyä kokonaan. Rakeisena lannoitetuotteena siitä olisi kohtuullinen hyöty ja tuotto saatavissa. Suurin osa biokaasusta käytetään tällä hetkellä puhdistamattomana sähkön ja lämmön tuotantoon. Pieni osa käytetään vielä tällä hetkellä liikennepolttoaineena, vaikka siitä saatava hinta on parempi. Kysyntä ei ole vielä kehittynyt tarpeeksi, joten biokaasun puhdistamiseen vaadittaviin lisäinvestointeihin liittyvää riskiä vältetään.

Biokaasun käyttö polttoaineena liikenteessä on varsin varteenotettava vaihtoehto tällä hetkellä. Ala on kasvussa ja ympäristöystävällisenä vaihtoehtona se on lupaava. Luultavasti tulemme näkemään alan leviämisen laajemmin Suomessa ja i tulevaisuuden liikenteessä biometaani tulee olemaan yksi keskeisistä liikennepolttoainevaihtoehtoista.

LÄHDELUETTELO

- Al Mamun, M., Torii, S., 2017. Enhancement of Methane Concentration by Removing Contaminants from Biogas Mixtures Using Combined Method of Absorption and Adsorption, *International Journal of Chemical Engineering*. vol. 2017, Article ID 7906859, 9 s.
- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, A., Janssen, R., 2008. Biogas Handbook. University of Southern Denmark Esbjerg, 126 s. ISBN: 978-87-992962-0-0.
- Bauer, F., Hulteberg, C., Persson, T., Tamm, D., 2013. Biogas upgrading – Review of commercial technologies. Svenskt Gastekniskt Center AB. 2013:270. Saatavissa: <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC270.pdf> [Viitattu 31.10.2019] 84 s.
- Cvetkovski, I., Litonjua, R., 2012. Biogas: Production, Consumption and Applications. New York: Nova Science Publishers, 240 s. ISBN: 978-1-62100-023-5.
- Greve, K., Nielsen, E., Ladefoged, O., 2014. Siloxanes (D3, D4, D5, D6, HMDS). Denmark: The Danish Environmental Protection Agency, 84 s. ISBN: 978-87-93026-85-8.
- Hart, A., Gnadendran, N., 2009. Cryogenic CO₂ capture in natural gas, *Energy Procedia*, 1(1), 697-706.
- Marttinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T., Tampio, E., 2014. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden ja lääkaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjäännöksissä sekä niiden elintarvikeketjuun aiheuttaman vaaran arviointi. MTT. 89 s. ISBN: 978-952-487-519-6.
- Rasi, S., 2009. Biogas Composition and Upgrading to Biomethane. Jyväskylä: University Library of Jyväskylä, 79 s. ISBN: 978-951-39-3618-1.
- Suomen Biokierto ja Biokaasu ry, 2019. Yhdistys. Saatavilla: <https://biokierto.fi/yhdistys>. [Viitattu: 24.10.2019].
- Turkki, A., 2011. Biokaasun puhdistus. Oulun Yliopisto. Saatavissa: http://nortech oulu.fi/MicrE_files/Turkki.pdf [Viitattu 23.10.2019].

Wellinger, A., Murphy, J., Baxter, D., 2013. The biogas handbook: Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited, 475 s. ISBN: 978-0-85709-498-8.

Winqvist, E., Rikkonen, P., Varho, V., 2018. Suomen biokaasualan haasteet ja mahdollisuudet. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2018. Helsinki: Luonnonvarakeskus, 23 s. ISBN: 978-952-326-630-8.