

Uusi biokaasun tankkausasema ja sen logistiikka

Ilkka Marttinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015

Logistiikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Marttinen, Ilkka	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 30.04.2015
	Sivumäärä 54	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Uusi biokaasun tankkausasema ja sen logistiikka		
Koulutusohjelma Logistiikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Viitala, Jaakko		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tutkittiin biokaasun tankkausaseman sijoittamista Jyväskylään sekä siihen liittyvää logistiikkaa. Työ on osa Jyväskylän ammattikorkeakoulun hanketta, jossa muutetaan 60 tonnin kuorma-autoja käyttämään dieselin lisäksi biokaasua. Näiden kuorma-autojen päästöluokitus on välillä Euro 3 – 6. Taustalla on Euroopan Unionin ilmasto- ja energiapolitiikka, jonka tavoitteena on nostaa uusiutuvien energialähteiden osuutta liikenteessä. Suomen tavoitteena on, että kaikista energialähteistä uusiutuvien osuus olisi 20 % vuoteen 2020 mennessä.</p> <p>Teorettisessa osassa tarkastellaan metaanikaasujen ominaisuuksia, ympäristövaikutuksia sekä niiden tuotantoa ja hankintaa. Lisäksi tarkastellaan metaanikaasuautoilun tilaa Suomessa sekä muissa Pohjoismaissa. Teoriapohjassa esitellään myös biokaasun tankkausaseman perustamisen edellytykset ja mahdollisia edistämiskeinoja. Tutkimusaineisto perustuu muihin alan tutkimuksiin.</p> <p>Tuloksista selvisi, että Jyväskylän seudulla on kasvava biokaasuautoilukanta, ja myös yritysten taholta on kiinnostusta biokaasuautoiluun siirtymiseen. Jyväskylässä on tarve biokaasun tankkausasemalle, mutta tämän sijoittaminen edellyttäisi ehdottomasti sidosryhmien mukaan liittymistä. Tarvittava biokaasu olisi mahdollista tuoda tankkausasemalle maantiekuljetuksin muista kohteista. Jyväskylän seudun tuotantolaitosten tuotantomäärät ovat riittävät, joten niille olisi mahdollista rakentaa jalostuslaitos. Tässä tapauksessa biokaasu voitaisiin esimerkiksi kuljettaa tankkausasemalle putkistoa pitkin. Biokaasun käyttö on merkittävä keino vähentää kasvihuonekaasu- ja liikennepäästöjä, ja sen käytön edistämiseen tarvitaan valtiolta tukitoimia, helpotuksia sekä muutoksia lainsäädäntöön.</p>		
Avainsanat (asiasanat) biokaasu, maakaasu, nesteytetty kaasu, kaasuautoilu, metaani, tankkausasema, päästöt		
Muut tiedot		



Author(s) Marttinen, Ilkka	Type of publication Bachelor's thesis	Date 30.04.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 54	Permission for web publication: x
Title of publication A new biogas filling station and it's logistics		
Degree programme Degree Programme in Logistics		
Tutor(s) Viitala, Jaakko		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences		
Abstract <p>The thesis studies the placing of a biogas filling station and it's logistics. The thesis is a part of a project, which turns 60-ton trucks with emission rating of Euro 3 – 6 into using bio gas in addition to diesel. This project is led by JAMK University of Applied Sciences. The project is based on the European Union's climate and energy policy, which aims to increase the amount of renewable energy sources in transport. Finland's goal is to achieve 20 % share by the year 2020.</p> <p>In the theoretical part the focus is on the attributes and climate impacts of methane gas as well as production, purchasing and methane gas motoring in Finland and the other Nordic countries. The theoretical part also introduces the preconditions for founding a biogas filling station and possible ways to promoting it. The research data is based on other studies in the field.</p> <p>The results indicate that the amount of biogas-operated motoring is increasing. Also companies seem to be interested in switching into biogas-operated motoring. There is a demand for a biogas filling station in Jyväskylä, but this would require the companies taking part in this process. It is possible to transport the biogas needed to the filling station by road transport from other destinations. The amount of biogas production in Jyväskylä is sufficient, so it would be possible to build a processing facility for the factories in Jyväskylä. In this case for example, biogas could be transported to the filling station via a pipeline. Using biogas is a significant way to reduce greenhouse and transport emissions. To increase the use of biogas, support from the government and changes in legislation are required.</p>		
Keywords/tags (subjects) biogas, natural gas, liquid gas, gas-operated motoring, methane, filling station, emissions		
Miscellaneous		

Sisältö

Lyhenneluettelo	4
1 Johdanto	5
1.1 Syyt biokaasuautoilun siirtymiselle	5
2 Ilmansaasteet ja EU:n päästötavoitteet	6
3 Metaanikaasuautoilu	10
3.1 Biokaasuautoilu Suomessa ja sen tulevaisuus	10
3.2 Biokaasuautoilu muissa Pohjoismaissa	13
3.3 Kaasuautoilun ympäristövaikutukset.....	15
3.4 Biokaasuautoilun muut hyödyt	16
3.5 Metaanikaasujen kustannukset	17
4 Metaanikaasujen tuotanto	19
4.1 Metaanikaasun ominaisuudet.....	19
4.2 Biokaasuntuotanto Suomessa.....	20
4.2.1 Biokaasun synty	21
4.2.2 Biokaasun jalostus liikennekäyttöön.....	24
4.3 Maakaasun hankinta	27
4.4 Maakaasun käyttö Suomessa	28
4.5 Bio- ja maakaasun siirto	29

5	Tankkausaseman sijoituksen edellytykset	31
5.1	Kaasusäädökset (TUKES).....	31
5.2	Turvallisuussäädökset	32
6	Tutkimus	33
6.1	Biokaasun tankkausaseman sijoittaminen Jyväskylään	33
6.2	Biokaasun tankkausaseman sijainti ja investoinnit	34
6.3	Bio- ja maakaasun hankinta sekä logistiikka.....	37
6.4	Oma biokaasun jalostusasema	38
7	Biokaasuautoilun edistäminen	41
7.1	Lainsäädäntö	41
7.2	Valtion tukitoimet.....	42
7.3	Edistämiskeinot	43
8	Yhteenveto	45
	Lähteet	47

Kuviot

Kuvio 1.	Suomen kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain v. 2013	7
Kuvio 2.	Kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöt 1990 – 2013.	8
Kuvio 3.	Bio- ja maakaasutankkausverkosto Suomessa	11
Kuvio 4.	Paineistetun biokaasun ja bensiinin hinnan kehitys Suomessa. Biokaasun hinta suhteessa bensiinin hintaan, eli bensiiniekvivalenttina.	18

Kuvio 5. Biokaasuntuotanto Suomessa laitostyypeittäin vuonna 2013	21
Kuvio 6. Kaatopaikkalaitosten toimintaperiaate	23
Kuvio 7. Biokaasun jalostus liikennekäyttöön.	25
Kuvio 8. Suomen biokaasujalostamot	26
Kuvio 9. Suomen kaasuverkosto	27
Kuvio 10. Energian kokonaiskulutus	28
Kuvio 11. Kaasun siirtomenetelmien vertailu.....	30
Kuvio 12. Tuotantolaitosten sijainnit	35
Kuvio 13. Biokaasun tankkausaseman kokoonpano	36

Taulukot

Taulukko 1. Biokaasua käyttävien ajoneuvojen päästövähennyksiä ajokilometriä kohti verrattuna dieselbusseihin ja bensiiniautoihin kaupunkiliikenteessä.	16
Taulukko 2. Polttoaineiden hintavertailu.....	18
Taulukko 3. Tankkausaseman investoinnit eriteltynä.....	37
Taulukko 4. Eri puhdistusteknologioiden investointikustannusarviot	40
Taulukko 5. Jalostusmenetelmien vertailu	40

Lyhenneluettelo

Metaani	CH ₄
CBG	Compressed Biogas, paineistettu biokaasu
CNG	Compressed Natural Gas, paineistettu maakaasu
LBG	Liquefied Biogas, nesteytetty biokaasu
LNG	Liquefied Natural Gas, nesteytetty maakaasu
CBG100	100 % biokaasua
Monofuel	Vain yhtä polttoainetta käyttävä ajoneuvo
Bi-Fuel	Nestemäistä polttoainetta ja metaanikaasua käyttävä moottori
Dual-Fuel	Dieseliä ja metaanikaasua käyttävä moottori
LCNG-asema	CNG-tankkausasema, jonka kaasuväaraosto on LNG:nä
GWh	Gigawattitunti
TWh	Terawattitunti
Nm ³ /h	Normikuutiometriä tunnissa

1 Johdanto

Opinnäytetyön tutkimuksen tavoitteena on tutkia biokaasun tankkausaseman sijoittamista Jyväskylän alueelle ottaen huomioon siihen liittyvän logistiikan. Tarkoituksena on koota yhteenveto aikaisempien tutkimuksien pohjalta ja tutkia näiden avulla biokaasun tankkausasemaan liittyviä keskeisiä toimenpiteitä kuten sijaintia, kaasun hankintaa, logistiikkaa sekä mahdollista Jyväskylän omaa biokaasun puhdistusasemaa. Tutkimusmenetelmänä on käytetty niin sanottua työpöytä tutkimusta, jossa hyödynnetään aiemmin tehtyjä tutkimuksia aiheesta. Työ on osa Jyväskylän ammattikorkeakoulun logistiikan koulutusohjelman suunnittelemaa hanketta, jossa muutetaan 60 tonnin kuorma-autoja käyttämään dieselin lisäksi myös biokaasua. Näiden kuorma-autojen päästöluokitus on välillä Euro 3 – 6.

1.1 Syyt biokaasuautoilun siirtymiselle

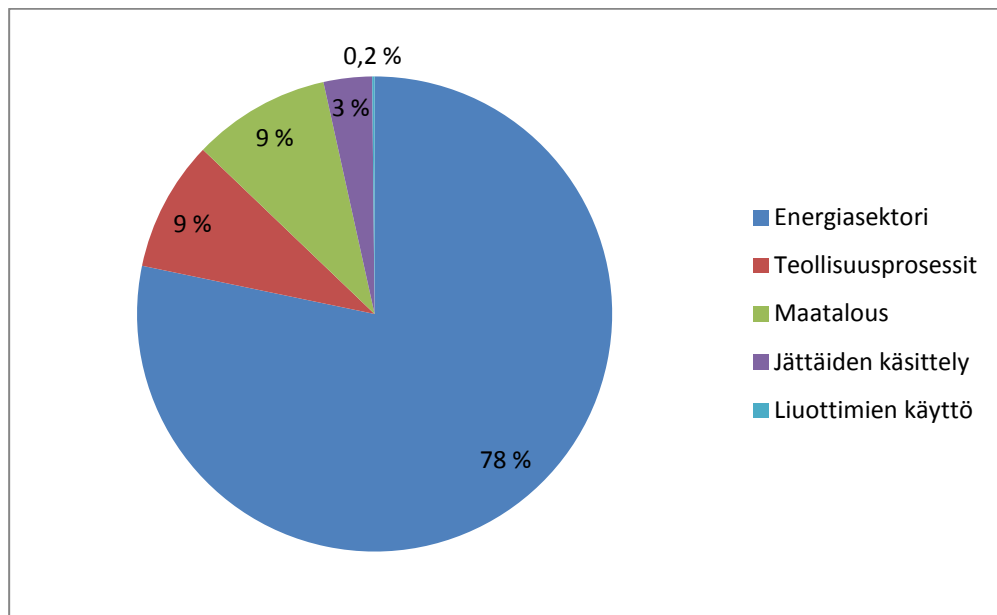
Liikenteen päästöt aiheuttavat huomattavia haittavaikutuksia ihmiselle ja ympäristölle. Maailmanlaajuisesti suurin vaikutus on ilmastonmuutos, johon liikenteen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt vaikuttavat. Liikenteen osuus koko maailman hiilidioksidipäästöistä on kolmannes, ja Suomessa osuus on noin viidesosa. Muita liikenteen aiheuttamia vaikutuksia ovat ilmanlaadun heikkeneminen, joka aiheuttaa muuan muassa hengitysteiden oireita ihmisille, ja ympäristön happamoituminen. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden vääjäämätön loppuminen tulevaisuudessa antaa aihetta vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön lisäämiselle. (Vaikutukset ihmiseen ja ympäristöön 2015).

Kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat kasvaneet nopeasti viimeisen sadan vuoden aikana pääasiassa ihmisen toiminnan seurauksena. Kasvihuonekaasut estävät aurinгон lämpösäteilyn pääsyn avaruuteen ja näin ollen lämmittävät ilmastoa. Lisääntyvän lämmön aiheuttamat vaikutukset ovat merenpinnan tason nouseminen, kuivuus,

ekosysteemien muutokset sekä äärimmäisten sääilmiöiden yleistyminen. Tällaisia ilmiöitä ovat esimerkiksi myrskyt, tulvat ja metsäpalot. (Maapallon ilmasto tulevaisuudessa n.d.).

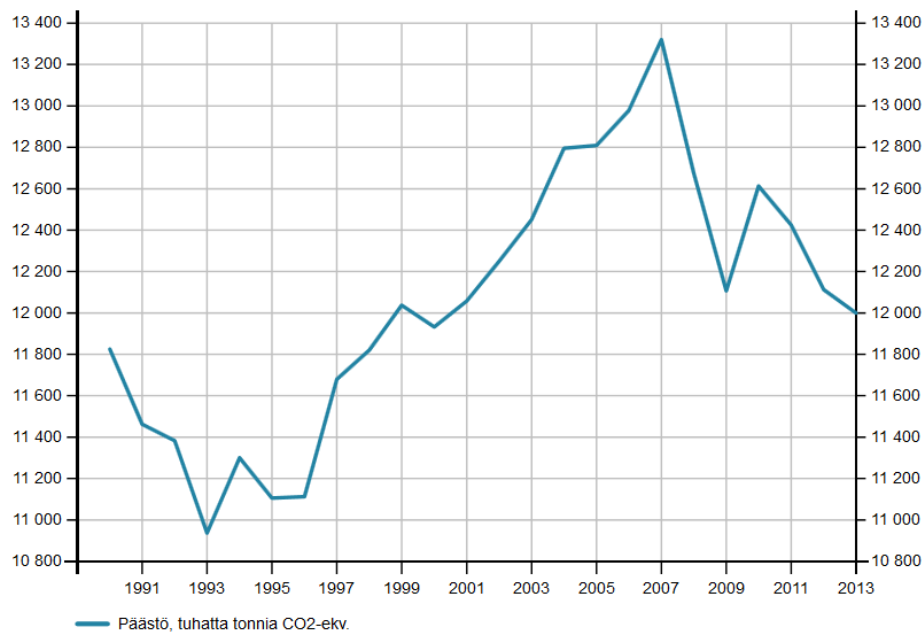
2 Ilmansaasteet ja EU:n päästötavoitteet

Euroopan Unionin ilmasto- ja energiapolitiikan tavoitteena on nostaa uusiutuvien energialähteiden osuutta liikenteessä. Vuonna 2008 asetetut tavoitteet velvoittavat kasvattamaan uusiutuvien energialähteiden osuutta liikenteessä kymmeneen prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. Suomi on asettanut kansalliseksi tavoitteeksi 20 %. (Liikenteen biopolttoaineet 2014). Tavoitteiden toteutuminen on varmistettu lainsäädännöllä, jolla on annettu polttonesteiden myyjille biopolttoaineiden jakelovelvoite. Tämä velvoite pakottaa vuositasolla täyttämään uusiutuvan energian velvoitteet. (Kansallinen energia- ja ilmastostrategia 2013, 12).



Kuvio 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain v. 2013 (Tilastokeskus 2014 mukaillen).

Vuonna 2013 Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt olivat 60,6 miljoonaa hiilidioksiditonnia vastaava määrä (t CO₂-ekv). Energiasektori on Suomen suurin kasvihuonekaasupäästöjen lähde 47,5 miljoonan hiilidioksiditonnin määrällä. Energiasektorilla tarkoitetaan kaikkea polttoaineiden energiakäyttöä sekä polttoaineiden tuotantoon, jakeluun ja kulutukseen liittyviä haihtuma- ja karkauspäästöjä (ks. Kuvio 1.). (Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2013). Kotimaan liikenteen osuus kasvihuonekaasupäästöistä on noin 20 % ja noin 40 % ei-päästökauppasektorin päästöistä. Noin 90 % kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöistä syntyy tieliikenteestä ja siitä 60 % henkilöautoista. Kasvihuonekaasupäästöt kasvoivat 90-luvun laman jälkeen vuoteen 2008 asti, jonka jälkeen ne ovat vähentyneet. Poikkeuksena on nousu vuonna 2010 (ks. Kuvio 2). Päästöt vähenivät taantuman ja polttoaineiden bio-osuuden vaikutuksesta. (Liikenteen päästöt ilmaan 2014).



Kuvio 2. Kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöt 1990 – 2013 (Tilastokeskus 2015)

Hiilidioksidin lisäksi liikenne aiheuttaa myös muita haitallisia päästöjä, jotka heikentävät ilmanlaatua ja ovat terveydelle haitallisia. 1980-luvulla päästöt olivat kasvussa, mutta päästöjen määriä on onnistuttu pienentämään muuan muassa katalysaattoreilla ja tekniikkaa kehittämällä.

Hiilimonoksidi (CO) eli häkä on kaasu, joka muodostuu polttoaineen hiilen palaessa heikoissa palamisolosuhteissa, kuten polttomoottoreissa. Hiilimonoksidi on hajuton, väritön ja myrkyllinen kaasu. Hiilimonoksidi vereen päästyään heikentää elimistön kykyä kuljettaa happea ja aiheuttaa suurina annoksina sydänoireita. Hiilimonoksidipäästöt ovat laskeneet katalysaattorien tultua markkinoille 1990-luvun alussa. (Liikenteen muut päästöt ilmaan 2013).

Hiilivedyt (HC) syntyvät, kun osa polttoaineesta kulkeutuu palamattomana moottorin läpi ja jää pakokaasuihin. Osalla hiilivedyistä on suoria myrkyvaikutuksia, ja useat hiilivetypäästöistä tavatut orgaaniset yhdisteet kuuluvat syöpää aiheuttavien ryhmään. Osa hiilivedyistä edistää myös maanläheisen otsonin syntyä. (VTT Liisa 2012).

Typen oksidit (NO_x) syntyvät polttomoottoreissa ilman typen sitoutuessa happeen. Typen oksidit happamoittavat luontoa ja maaperää. Suurin osa pakokaasujen typen oksideista vapautuu typpimonoksidina, joka ilmassa hapettuu typpidioksidiksi ja muiksi typpiyhdisteiksi. Typpidioksidi on typen oksideista haitallisin. Typpidioksidi ärsyttää hengitysteitä ja on merkittävä ilmansaaste. (Liikenteen muut päästöt ilmaan 2013).

Hiukkaspäästöt (PM) syntyvät palamisprosessin tuotteina. Hiukkaset ovat pienikokoisia, ja mitä pienempiä ne ovat, sitä syvemmälle ne pääsevät hengityselimiin ja ovat terveydelle erittäin vaarallisia. Hiukkaset muodostuvat hiilestä, johon haitalliset yhdisteet tarttuvat. Pienhiukkasilla on arvioitu olevan suurin negatiivinen vaikutus terveyteen kaikista ilmansaasteista. (VTT Liisa 2012). Hiukkaspäästöt ovat olleet etenkin dieselajoneuvojen ongelma, mutta päästöt ovat vähentyneet viime vuosina pakoputkistoon asennettavan hiukkassuodattimen ansiosta (Dieselautojen hiukkaspäästöt ovat vähentyneet 2015).

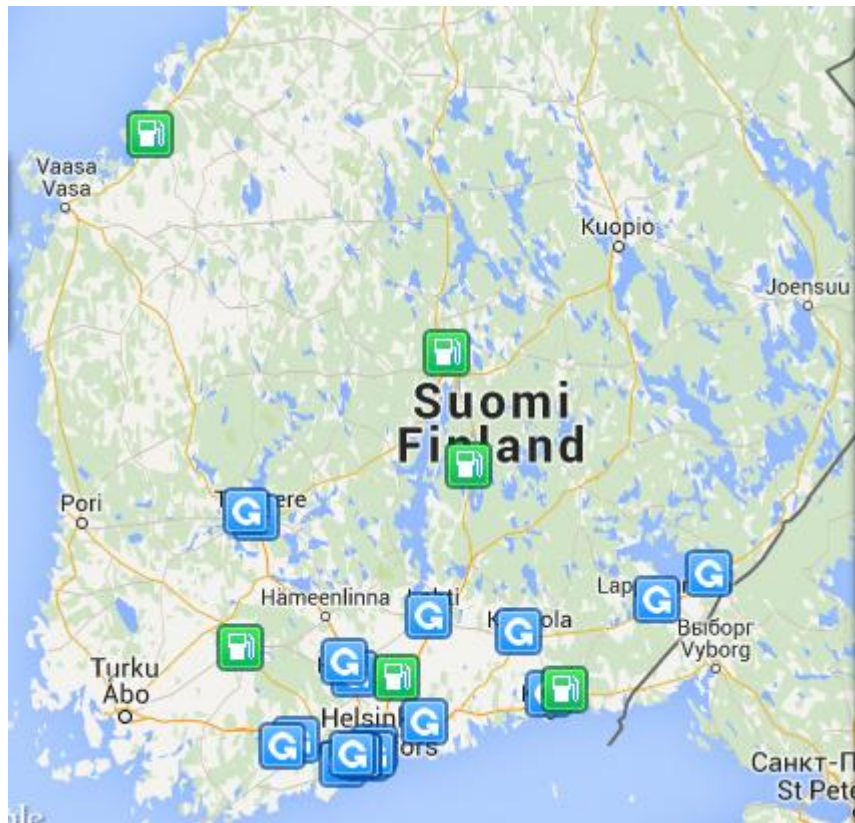
Rikkidioksidi (SO_2) on happamoittava kaasu, joka happamoittaa ja vaurioittaa luontoa. Rikin oksidit syntyvät, kun polttoaineessa epäpuhtautena esiintyvä rikki yhtyy palamistapahtumassa happeen. Rikin ja sen oksidien määrä on suhteessa polttoaineen rikin määrään, joten rikkipäästöjä voidaan laskea vähentämällä polttoaineessa olevan rikin määrää. Rikki heikentää katalysaattoreiden toimintaa, joten käyttämällä rikkittömiä polttoaineita rikkidioksidin määrä pienenee, ja katalysaattoreiden toimintateho paranee ajoneuvoissa. Tämän ansiosta rikkipäästöt ovat vähentyneet, ja tieliikenteen rikkidioksidi ei ole enää merkittävä päästölähde. (VTT Liisa 2012).

3 Metaanikaasuautoilu

3.1 Biokaasuautoilu Suomessa ja sen tulevaisuus

Biokaasun paras käyttökohde on liikenne, jossa sitä saadaan parhaiten hyödynnettyä. Liikennekäytössä hyötysuhde on lähes 100 %, kun sähköntuotannossa se on 35 % ja yhdistetyn lämmön ja sähkön tuotannossa 70 %. (Biokaasu liikenteessä 2010).

Liikennebiokaasua käytettiin Suomessa vuonna 2013 liikennepolttoaineena 10,8 GWh (gigawattitunti), joka vastaa noin 2 % osuutta biokaasun käytöstä. Liikennebiokaasun tuotanto oli 32,8 GWh, eli huomattavasti käyttöä suurempi, joten osa tästä kaasusta varastoitettiin ja osa vietiin ulkomaille. Liikennemetaanin kokonaiskulutuksesta biokaasun osuus oli noin 27 %. Metaanikaasuajoneuvoja oli 1700 kappaletta syyskuuhun 2014 mennessä. Näistä kolme oli nesteytetyn ja loput paineistetun metaanin käyttöön tarkoitettuja. Paineistettua biokaasua on saatavilla 24 julkiselta ja neljältä yksityiseltä tankkausasemalta (ks. Kuvio 3). Yksityiset tankkausasemat sijaitsevat Haapajärven ammattiopistolla, Helsingin bussivarikolla, Laukaassa ja Joutsassa. Suomessa nestekaasun käyttö on toistaiseksi vähäistä. Yksi yksityinen nesteytetyn biokaasun (LBG) tankkausasema on käytettävissä, mutta siellä on tehty ainoastaan nesteytetyn maakaasun eli LNG-tankkauksia. LBG-tankkauksia ei ole tehty ollenkaan. (Huttunen & Kuittinen 2014, 13 – 15). Gasum Oy tuottaa nesteytettyä kaasua noin 20 000 tonnia per vuosi (Mattila 2013). Suomen ensimmäinen LNG-terminaali on valmistumassa syksyllä 2016 (Mattila 2014).



Kuvio 3. Bio- ja maakaasutankkausverkosto Suomessa (Gasum 2015)

Lähes koko metaanikaasuajoneuvokanta koostuu henkilöautoista. Ammattiliikenteessä kaasua käytetään paketti- ja jakeluautoissa sekä takseissa. Helsingissä kahdella liikennöitsijällä on maakaasubusseja yhteensä 46 kappaletta, mutta määrää ei olla lisäämässä. Toisen liikennöitsijän omistamilla 40 bussilla ajetaan 2015 vuoden elokuuhun saakka. Uusia hankintoja ei kumpikaan liikennöitsijä aio tehdä kalliin hinnan, korkeiden huoltokustannusten ja heikon toimintavarmuuden takia. (Kaasubussien ajot pääkaupunkiseudulla on pian ajettu 2014).

Metaanikaasuajoneuvot eivät ole laajentuneet muuhun raskaaseen liikenteeseen Suomessa. Metaanipolttoaineella kulkeva raskaan liikenteen ajoneuvo vaatisi useita tankkauksia päivässä. Tulevaisuudessa nesteytetty kaasu on vaihtoehto keskipitkän ja pitkän matkan maantiekuljetuksiin, mutta tällä hetkellä Suomessa ei ole nesteytetyn kaasun tankkausasemaverkostoa. Nesteytetyllä kaasulla on paineistettua kaasua suu-

rempi energiatiheys, jolloin yhdellä tankilla saavutetaan suurempi toimintasäde. (Kilpinen 2014).

Kaasuauton suorituskyky ei käytännössä eroa bensiini- ja dieselautoista. Kaasuautot ovat niin sanottuja monofuel-, Bi-Fuel- tai Dual-Fuel -tekniikalla varustettuja autoja eli niissä on sekä kaasua että bensiini- tai dieseltankit. Monofuel -ajoneuvot käyttävät vain yhtä polttoainetta. Kaasuajoneuvojen kohdalla tämä tarkoittaa siis joko bio- tai maakaasua. Bi-Fuel -ajoneuvot ovat otto- tai wankelmoottorilla varustettuja, ja niissä sytytystulpan kipinä sytyttää polttoaineen. Kuljettaja voi itse valita kummalla polttoaineella haluaa ajaa, sillä kaasua ja bensiinijärjestelmät ovat täysin toisistaan riippumattomia. (Usein kysytyt kysymykset 2011). Bi-Fuel -ajoneuvoissa käytetään toista kahdesta kaasujärjestelmästä. Kaasutinmoottorilla ja ruiskujärjestelmällä varustettuihin autoihin käytetään järjestelmää, jossa sylinterin imutahdin aikana syntyvä alipaine imee kaasun ja ilman seoksen sylinteriin. Monipisteruiskutusjärjestelmällä varustettuihin autoihin taas käytetään järjestelmää, jossa kaasua suihkutetaan ylipaineella imuilman sekaan seuraten auton omaa bensiinisuihkun ohjaussignaalia. (Miten toimii n.d.).

Dual-Fuel -ajoneuvoissa sytytys perustuu sylinterissä olevaan polttoaineeseen ja ilman seoskaasuun, joten moottorissa käytetyn dieselin osuus on vähintään 30 %. Dual-Fuel -ajoneuvoissa polttoaineiden sekoitussuhde muuttuu moottorin kierrosnopeuden ja kuormituksen mukaan. Alhaisilla kierroksilla tai pienellä kuormituksella Dual-Fuel -moottori käy jopa kokonaan dieselillä, mutta suuremmilla tehoilla moottori käyttää kahden polttoaineen yhdistelmää. (Usein kysytyt kysymykset 2011). Dual-Fuel -menetelmän yleistymisen esteenä ammattimaisessa liikenteessä käytettäviin kuorma-autoihin on Volvon tuotepäällikön Juha-Matti Raatikaisen (2013) mukaan tämänhetkinen lainsäädäntö. EU-lainsäädäntö ei tunne kahta samaan aikaan hyödyntävää moottorityyppiä, joten Dual-Fuel -ajoneuvon käyttö raskaassa liikenteessä ei ole mahdollista ilman Trafilta haettavaa poikkeuslupaa. Poikkeusluvan ehtona on, että ajoneuvoa käytetään tutkimustyössä.

Autoja voi muuttaa kaasukäyttöiseksi myös jälkiasennuksena. Kaasukäyttöiseksi muuttaminen kustantaa noin 1500 – 3000 euroa moottorin koosta riippuen, ja auton

tavaratila pienenee kaasusäiliöiden asentamisen myötä. Muunnoksesta syntyvät kustannukset kuoleentuvat noin 40 000 – 50 000 kilometrin ajolla. (Muuttaisinko autoni kulkemaan kaasulla – näin se käy 2013). Ajoneuvoon asennettavan jälkiasennuslaitteiston kokoonpano sisältää useimmiten seuraavat osat: kaasusäiliö, kaasunsyöttölaitteisto, paineensäädin, valintakytkin kojelautaan, magneettiventtiilit, kaasuputkistot ja moottorinohjausyksikkö (Kaasulaitteiden jälkiasennus n.d.).

Biokaasuautoilun uskotaan kasvavan, sillä tankkausasemaverkostoa tehdään kattavamiksi uusilla asemilla. Suomessa ei ole toistaiseksi saatavissa bio- ja maakaasun lisäksi muita uusiutuvia metaanilajeja. Aurinkometaanin tutkimus käynnistettiin vuonna 2014, ja synteettisen biokaasun SBG:n tuotantoa suunnitellaan aloitettavaksi aikaisintaan vuonna 2017. Uusiutuvia fossiililajeja, kuten synteettistä maakaasua, liuskekaasua ja metaaniklatraattia, ei ole saatavissa, mutta niiden tuontia pyritään mahdollistamaan aikaisintaan vuonna 2016. (Huttunen & Kuittinen 2014, 24).

3.2 Biokaasuautoilu muissa Pohjoismaissa

Liikennebiokaasua käytetään jokaisessa Pohjoismaassa, ja viimeisimpänä sen otti käyttöön Tanska. Liikennebiokaasun käyttö on yleisintä Ruotsissa. Suomi ja Islanti ovat ainoita maita maailmassa, jossa CBG100 (100 % paineistettua biokaasua) on saatavilla kaikilta julkisilta tankkausasemilta. Tämä tarkoittaa, että näissä kahdessa maassa biokaasun ja maakaasun sekoitukset eivät ole käytettävissä. Jokaisella Pohjoismaalla on tavoitteena lisätä biokaasun käyttöä tulevaisuudessa.

Ruotsi on johtava maa biokaasun käytössä. Ruotsissa otettiin biokaasu liikennekäyttöön jo 1940-luvulla, mutta biokaasun käyttö loppui jo saman vuosikymmenen lopussa. Vuonna 1989 aloitettiin uudestaan CBG:n käyttö. Liikennekäyttöön tuleva biokaasu on peräisin biokaasureaktoreista, joiden tärkein voimavara on kuntien jätevesi. Vuonna 2012 Ruotsissa otettiin kaupallisella tasolla käyttöön myös LBG. Biometaani on ainoa tyyppi uusiutuvista metaaneista Ruotsin liikennepolttoaineiden markkinoil-

la. (Lampinen 2014a). Ruotsissa on 55 biokaasun jalostuslaitosta, joista myydään kaasua 154 julkiselle ja 57 yksityiselle tankkausasemalle. Biokaasu kuljetetaan näille tankkausasemille putkistojen ja tieliikenteen avulla. Biokaasun kokonaiskäyttö Ruotsin liikenteessä vuonna 2013 oli lähes 1 TWh (terawatti tunti). Liikenteen osuus oli 53 % koko metaanin kulutuksesta, josta uusiutuvaa metaania oli 62 % vuonna 2013. Biokaasun käyttöosuus raskaassa liikenteessä oli 90 %, josta suurin osa kulutetaan kaupunkibusseissa ja jäteautoissa. Biokaasuautoja oli 47 000, joista 3 000 oli raskaita ajoneuvoja. (Lampinen 2014b).

CBG:n käyttö alkoi Norjassa vuonna 2001, ja tällä hetkellä sitä on saatavilla 24 julkiselta tankkausasemalta. Vuonna 2013 uusiutuvan metaanin osuus oli 16 % koko tieliikenteen metaaninkulutuksesta. Tähän asti biokaasun tuotannon ja käytön esteenä ovat olleet kustannustekijät. (Lampinen 2014a). Kaasuajoneuvoja Norjassa on hieman alle 700 kappaletta. (European NGV statistics 2014).

Tanskassa biokaasua käytetään pääasiassa lämmön ja energian tuotantoon. Vuonna 2013 tuotettiin noin 1300 GWh biokaasua, josta alle 5 GWh:ta käytettiin biokaasuautoiluun. Vuonna 2014 Tanskassa oli neljä tuotantolaitosta ja 7 tankkausasemaa. Maakaasun tankkausasemia oli 10 kappaletta. (IEA Bioenergy Task 37 2015, 13). Marraskuussa 2014 Tanskassa otettiin käyttöön ensimmäinen biokaasua käyttävä seutubussi. Kaupunkibusseja oli jo olemassa, ja tällä hetkellä Tanskassa on 37 kaasukäyttöistä bussia eri puolilla maata. Tällä hetkellä biokaasun käyttö liikenteessä ei ole Tanskassa yhtä yleisessä käytössä kuin naapurimaillaan, koska biokaasu on Tanskassa vielä kalliimpaa kuin diesel. (Biogas Buses in Denmark 2014). Kaasuajoneuvoja on Tanskassa vain reilut 100 kappaletta (European NGV statistics 2014).

Vuonna 2000 Islannista tuli maailman neljäs maa, joka otti kaatopaikkakaasun käyttöön liikenteessä. Maakaasua tai muuta fossiilista metaania ei käytetä Islannissa lainkaan, eli se on ainut maa, jossa liikennebiokaasu on kokonaan valmistettu kaatopaikkakaasusta. Reykjavikissa on kolme julkista CBG100-tankkausasemaa, jotka palvelevat yli 2000 CBG-ajoneuvoa. (Lampinen 2014a). Ihmisiä kannustetaan bioautoiluun muuan muassa palauttamalla ajoneuvon muuntamisesta kaasuautoiksi syntyvät kus-

tannukset, vapauttamalla valmiste- ja hiilidioksidiverosta sekä ilmaisella parkkeeraamisella. (Nielsen, B 2014).

3.3 Kaasuautoilun ympäristövaikutukset

Metaanikaasuja käyttämällä saadaan vähennettyä kasvihuonekaasupäästöjä, jotka edesauttavat ilmastonmuutosta. Maakaasua käyttämällä saadaan vähennettyä elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjä 24 % verrattuna bensiiniin. Biokaasu on hiilidioksidineutraali eli sitä käytettäessä se palauttaa ilmakehään saman määrän hiilidioksidia, kuin siihen on sitoutunut esimerkiksi kasvin kasvaessa. Näin ollen biokaasulla ei ole ympäristöä kuormittavia hiilidioksidipäästöjä, joten biokaasun käyttö vähentää kasvihuonekaasupäästöjä huomattavasti. Uusiutuvan metaanin käytöstä aiheutuu kuitenkin metaani- ja typpioksiduulipäästöjä. Biokaasua käyttämällä saadaan kuitenkin jopa 98 % päästövähennykset bensiiniin ja 97 % dieseliin verrattuna. (Lampinen 2014c).

Uusiutuville ja fossiilisille metaanipolttoaineille päästövähennykset ovat samat hiilidioksidia lukuun ottamatta. Metaanin poltosta syntyvät päästöt kuten häkä, hiukkaspäästöt, typen oksidit, hiilivedyt ja rikkidioksidi, ovat merkittävästi pienemmät kuin raakaöljypohjaisten polttoaineiden (ks. Taulukko 1). Metaanilla on pieni molekyyli-paino, ja se sekoittuu ilman kanssa hyvin. Epätäydellisiä palamistuotteita muodostuu tästä syystä vain vähän, ja ne ovat metaanimolekyylin keveyden takia keveitä. Lisäksi otsonia synnyttävät yhdisteet ja aromaattiset yhdisteet vähentyvät huomattavasti siirryttäessä bensiiniajoneuvosta biokaasujoneuvoon. Biokaasua käytettäessä aromaattisia yhdisteitä ei synny lainkaan, ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitäkin vain vähän. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC) ja häkä syntyvät epätäydellisen palamisen seurauksena. Rikkivety on helppo puhdistaa biokaasusta, joten rikkioksidipäästöjä syntyy tämän seurauksesta vähän. Typpioksidipäästöistä erityisesti NO₂:n osuus on metaanikaasua käytettäessä selvästi pienempi kuin dieselikäyttöisillä ajoneuvoilla.

NO₂ on typen oksideista ongelmallisimmin, sillä se on ympäristölle haitallinen ja voi aiheuttaa monille vakavia hengitystieoireita. (Lampinen 2012, 33).

Taulukko 1. Biokaasua käyttävien ajoneuvojen päästövähennyksiä ajokilometriä kohti verrattuna diesel-busseihin ja bensiiniautoihin kaupunkiliikenteessä (Lampinen 2012 mukailten).

Päästölaaji	Bussi: dieselistä biokaasuun	Auto: bensiinistä biokaasuun
Kasvihuonekaasut (CO ₂ , CH ₄ ja N ₂ O)	-97 %	-98 %
Pienhiukkaset PM 2,5	-99,9 %	-99,9 %
SO _x	-98 %	-98 %
NO _x	-39 %	-57 %
NM VOC	-70 %	-79 %
CO	-85 %	-90 %

Myös tankkauksen aikana päästöt vähenevät, sillä tankkaus tapahtuu ilmatiiviisti.

Metaani on myrkytön ja savuton kaasu, joten käyttö vähentää polttoaineen haju- ja terveyshaittoja. Melupäästöt etenkin raskaassa liikenteessä vähenevät jopa puolella verrattuna bensiini- ja dieselkäyttöisiin. (Lampinen 2012, 33 – 34).

3.4 Biokaasuautoilun muut hyödyt

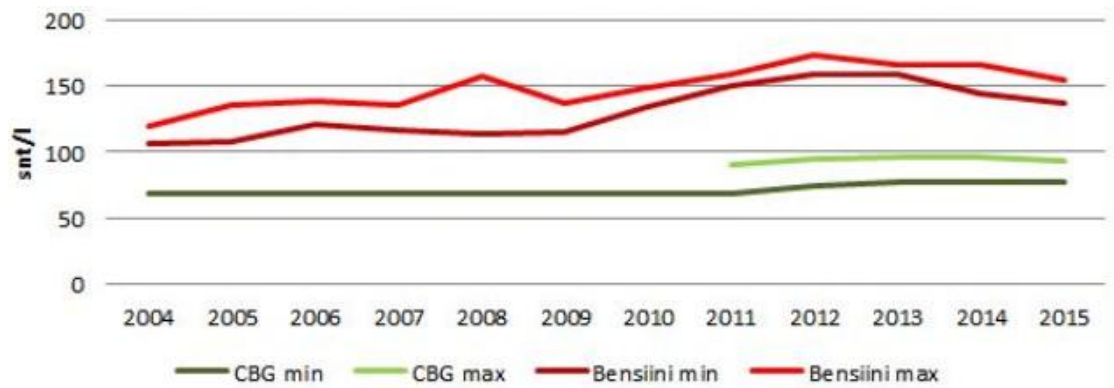
Kuten edellisessä luvussa on todettu, biokaasun käyttöön siirtymisellä on huomattavat positiiviset ympäristövaikutukset. Biokaasun käytön lisääminen on hyödyllistä myös yhteiskunnalle. Biokaasun tuotannolla voidaan vähentää riippuvuutta tuontipolttoaineisiin ja parantaa Suomen energiaomavaraisuutta. Biokaasun tuotannon laaja käyttöönotto maataloudessa sekä kuntien ja teollisuuden biojätteiden käsittelyssä edistäisi energian huoltovarmuutta sekä uutta liiketoimintaa, joka puolestaan parantaisi työllisyytilannetta. Lisäksi se vähentäisi terveysongelmia sekä parantaisi yleistä kriisivalmiutta. (Lampinen & Laakkonen 2010, 13).

Mädätys on kannattavampaa jätteiden käsittelyä kuin kompostointi tai polttaminen. Kompostoinnissa jätetään jätteen energiasisältö kokonaan käyttämättä ja käytetään energiaa sen käsittelyprosesseihin. Kompostointi tuottaa myös kasvihuonepäästöjä. Biojätteen poltto mahdollistaa jätteiden hyödyntämisen ainoastaan lämpönä ja sähköinä, eikä siitä saa valmistettua liikennepolttoaineita, toisin kuin mädätysprosessissa. Lisäksi biojäte on polttoprosessin kannalta likainen polttoaine. Tämä tarkoittaa alhaista hyötysuhdetta ja lyhyttä huoltoväliä. Polttoprosessi hävittää myös suurimman osan jätteen lannoitearvosta. (Lampinen & Laakkonen 2010, 12).

Maatalouden kannalta mädätysprosessi säilyttää parhaiten biojätteen ravinteet, jolloin sen mädätysjäätös on parempi verrattuna muihin biojätteen käsittelymenetelmiin. Mädätysjäätöksen tehokas käyttö vähentää keinolannoitteiden hankintoja, ja niiden välttäminen alentaa viljelyn elinkaaren päästöjä. Merkittävä osa mädätysjäätöksestä on vesiliukoista tyyppiä, joka vähentää typpioksiduulipäästöjä ja typpiyhdisteiden vesistö-päästöjä verrattuna keinolannoitteisiin. (Lampinen & Laakkonen 2010, 12).

3.5 Metaanikaasujen kustannukset

Biokaasun hinta on pysynyt stabiilina jo vuodesta 2004 lähtien. Yhtä pitkään biokaasua on myös saanut julkisilta asemilta (ks. Kuvio 4). Vuoteen 2011 asti hinta on pysynyt samana myyjien määrän ollessa yksi. Hintaaeroja on tullut vasta myyjien määrän lisääntyttyä. Odotettavissa ei ole suuria hinnanmuutoksia lähivuosien aikana. (Lampinen 2015).



Kuvio 4. Paineistetun biokaasun ja bensiinin hinnan kehitys Suomessa. Biokaasun hinta suhteessa bensiinin hintaan, eli bensiiniekvivalenttina (Lampinen 2015).

Maa- ja biokaasun hinta ilmoitetaan tankkausasemilla kiloissa. Helmikuussa 2015 maakaasun hinta oli Gasumin tankkausasemilla 0,851 €/l (1,330 €/kg) ja biokaasun 0,928 €/l (1,450 €/kg) (ks. Taulukko 2). Molempien kaasujen hinnat ovat päivä- ja asemakohtaisia. Yksi kilo maakaasua vastaa energiasisällöltään 1,56 litraa bensiiniä ja 1,39 litraa dieseliä. (Maa- ja biokaasun hinnat alenivat Gasumin kaasutankkausasemilla 2015).

Taulukko 2. Polttoaineiden hintavertailu

	€/kg	€/l
Biokaasu	1,45	0,928
Maakaasu	1,33	0,851
E10-bensiini		1,479
98E-bensiini		1,544
Diesel		1,334

Uusi kaasulla toimiva henkilöauto voi maksaa useita tuhansia euroja enemmän kuin vastaava bensikäyttöinen malli. Tämä käy ilmi vertailtaessa Volkswagenin kaasua-

toja vastaaviin bensiini- tai dieselmalleihin. Volkswagen Passat Variant -kaasuauton hinta on 37 000 euroa. Tavallinen Passat Variant Comfortline 1,4 TSI maksaa hieman päälle 33 500 euroa, ja dieselversion hinta on hieman päälle 32 000 euroa. Toista mallia, Volkswagen Touran -autoa tarkasteltaessa, on kaasuauton hinta noin 32 000 euroa. Vastaavanlainen Touran 1,4 TSI-moottorilla maksaa 30 000 euroa, ja dieselvatio, 1,6 TDI, maksaa 30 661 euroa. (Biokaasu tuo uuden vaihtoehdon autoilijalle 2012).

Kaasuautosta peritään autovero sekä käytön aikana ajoneuvoveron perusosa. Lisäksi peritään käyttövoimavero, joka tuli voimaan kaasukäyttöisille ajoneuvoille vuonna 2013. Kaasuautojen autovero ja ajoneuvoveron perusosa ovat matalampien hiilidioksidipäästöjen ansiosta edullisemmat verrattuna bensiiniautoon. Kaasujoneuvot olivat käyttövoimaverottomia vuoden 2004 alusta asti, mutta käyttövoimaveroa alettiin soveltaa jälleen vuoden 2013 alussa. Käyttövoimavero kaasuhenkilöautoille on 3,1 senttiä päivässä alkavaa sataa kiloa kohti. Dieselhenkilöautoille tämä on 5,5 senttiä. Kaasukäyttöisillä paketti- ja kuorma-autoilla käyttövoimavero on sama kuin dieselkäyttöisillä. (Vähäiset päästöt pienentävät verotusta n.d.). Käyttövoimaveron hintaesimerkkinä voimme käyttää Volkswagen Passat 1,4 TSI Ecofuel -ajoneuvoa, jonka kokonaispaino on 2120 kg. Näin ollen vuosittaiseksi käyttövoimaverokustannukseksi tulee noin 250 euroa. Käyttövoimavero ei koske moottoribensiiniä käyttäviä ajoneuvoja.

4 Metaanikaasujen tuotanto

4.1 Metaanikaasun ominaisuudet

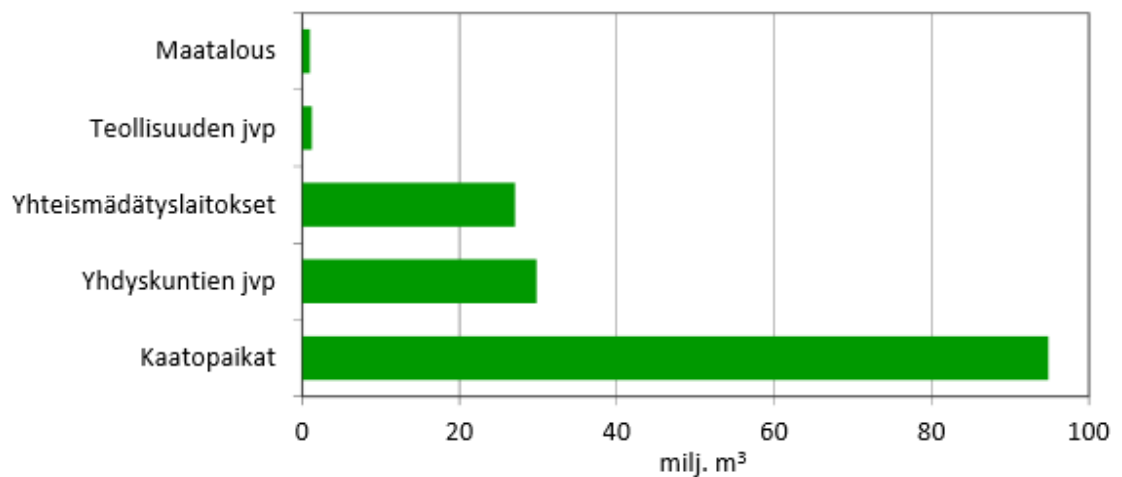
Liikennekäyttöön puhdistetut biokaasu ja maakaasu ovat kemiallisena yhdisteenä samaa kaasumaista hiilivetyä eli metaania, joten jalostetun biokaasun ominaisuudet ovat samat kuin maakaasulla. Maakaasun koostumus vaihtelee sen alkuperän mu-

kaan. Suomeen tuotavan maakaasun koostumus on 98 % metaania (CH₄). Etaanin ja muiden raskaampien hiilivetyjen sekä typen ja hiilidioksidin osuus on pieni. Metaanin kiehumispiste on -162 °C, jonka alle jäädyttämällä maakaasu voidaan nesteyttää. Palaessaan täydellisesti metaani hapettuu hiilidioksidiksi ja vesihöyryksi. Poltettaessa ei muodostu rikin oksideja eikä rikkihappoa, sillä Suomeen tuleva maakaasu on lähes rikitöntä. (Maakaasun ominaisuudet n.d.).

Nesteytetyn kaasun tilantarve on 1/600 kaasumaisen olomuodon vaatimasta tilavuudesta. Pienemmän tilavuuden ansiosta nesteytettyä kaasua voidaan kuljettaa, varastoida ja käyttää polttoaineena kätevästi ja kustannustehokkaasti. Nesteytettyä maakaasua olisi mahdollista tuoda muualta, jolloin Suomi ei olisi enää riippuvainen Venäjältä tuodusta kaasusta. Nesteytetyllä maakaasulla on polttoaineena samanlaiset ominaisuudet kuin maakaasullakin. Se sopii polttoaineeksi kuljetusajoneuvoihin ja meriliikenteeseen, sillä LNG:n korkeamman energiatiheyden ansiosta tankkausvälit saadaan sopiviksi. (Nesteytetty maakaasu 2013).

4.2 Biokaasuntuotanto Suomessa

Vuonna 2013 Suomessa tuotettiin biokaasua yhteensä 153,9 miljoonaa kuutiometriä. Tästä määrästä hyödynnettiin 81 %. Biokaasusta tuotettiin lämpöä 404,4 GWh, sähköä 151,3 GWh ja 32,8 GWh jalostettiin liikennebiokaasuksi. Biokaasulla tuotettu energiamäärä oli vuonna 2013 noin 0,5 % Suomessa tuotetusta uusiutuvan energian tuotannosta. Biokaasua kerättiin kaatopaikkalaitoksilta talteen 94,8 miljoonaa kuutiometriä ja loput 59,1 miljoonaa kuutiometriä reaktorilaitoksilta (ks. Kuvio 5). (Huttunen & Kuittinen, 2014, 27).



Kuvio 5. Biokaasuntuotanto Suomessa laitostyypeittäin vuonna 2013 (Huttunen & Kuittinen 2014)

Vuonna 2013 Suomessa biokaasua kerättiin talteen 40 kaatopaikkalaitokselta. Reaktiolaitoksia eli mädättäjä oli käytössä 42 kappaletta. Näistä 16 sijaitsi yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla, kolme teollisuuden jätevedenpuhdistamoilla ja 12 maataloilla. Kiinteitä yhdyskuntajätteitä käsitteleviä biolaitoksia oli 11 kappaletta. (Huttunen & Kuittinen 2014, 3).

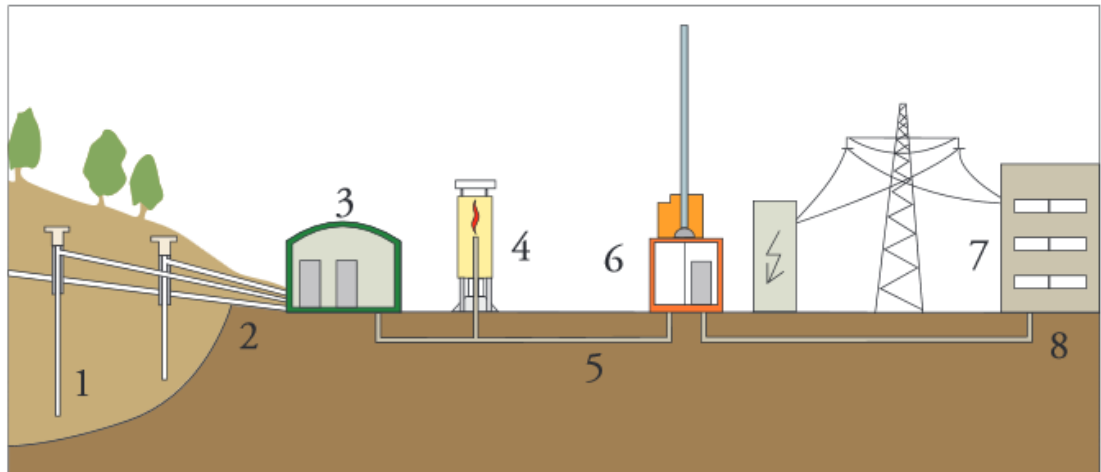
4.2.1 Biokaasun synty

Biokaasua syntyy, kun orgaaninen aine hajoaa hapettomissa olosuhteissa. Hajoaminen tapahtuu hapen puuttuessa mädäntymällä anaerobisten bakteerien vaikutuksesta. Biokaasua valmistetaan biomassasta, joka on peräisin jätevedenpuhdistamoiden jätevesilietteistä, maataloudesta (muuan muassa liete, lanta, jätteet ja peltobiomassat) sekä yhdyskuntien ja teollisuuden biojätteestä. Ellei tuotettua biokaasua ole mahdollista hyödyntää, eikä varastointikapasiteetti ole riittävä sen varastoimiseen, poltetaan biokaasu soihdussa. Tällöin biokaasun sisältämän metaanin kasvihuonekaasuvaikutusta voidaan vähentää. (Latvala 2009, 48).

Biokaasun muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat abioottiset tekijät, kuten ravinteet, happipitoisuus, pH ja lämpötila. Lisäksi kaatopaikkakaasun muodostumiseen vaadittavia tekijöitä ovat jätteen koostumus, kaatopaikan rakenteet, kosteus sekä

jätetäytön tiiviys. Abioottiset tekijät vaikuttavat kaasun muodostumisen mikrobiologisiin prosesseihin. (Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito 2008, 128).

Kaatopaikoilla kerätään jätetäytöstä muodostuvaa kaatopaikkakaasua. Näin syntyvä biokaasu sisältää lähinnä metaania ja hiilidioksidia. Tällöin metaanin osuus on 50 – 70 % ja hiilidioksidin 30 – 50 %. Lisäksi biokaasu sisältää pieniä määriä muita yhdisteitä, kuten vettä, typpeä, vetyä, happea, ammoniakkia ja rikkivetyä. (Biokaasu 2014). Kaatopaikkakaasun aktiiviseen keruuseen vaadittava imujärjestelmä asennetaan joko vaaka- tai pystysuoraan, riippuen kaatopaikan ominaisuuksista. Ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa jätetäytön rakenne, imusäteet, kaasun määrä ja laatuarvio. Pystysuorissa vaihtoehtoissa rakennetaan imukaivojärjestelmä ja vaakasuorissa salaojajärjestelmä. Kaivojen yhdistämisessä on kaksi vaihtoehtoa: yhdistää voi joko yhteiseen kokoojaputkeen tai yksittäiset kaivot voi yhdistää pumppaamolle. Pumppaamon tehtävänä on saada aikaan jätetäyttöön riittävä alipaine niin, että kaasun karkaaminen ympäristöön vältetään (ks. Kuvio 6). Lisäksi imu tulee säätää siten, että happi ei kulkeudu syvälle jätetäyttöön. (Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito 2008, 76 – 78).



(1) Kaasukaivot jätepenkassa (2) Imuputkisto (3) Pumppaamo
 (4) Soihtupoltin (5) Jakeluputki (6) Kaasuturbiini ja/tai lämpökattila
 (7) Sähköä (8) Lämpöä

Kuvio 6. Kaatopaikkalaitosten toimintaperiaate (Huttunen & Kuittinen 2014)

Kaatopaikkakaasun passiivisella eli biologisella käsittelyllä tarkoitetaan mikrobien toimintaan perustuvaa metaanin hapettumista kaatopaikan pintakerroksessa tai erillisissä biosuotimissa. Passiivinen järjestelmä sopii kaatopaikoille, joilla kaasua muodostuu vähän. (Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito 2008, 82).

Reaktiolaitoksissa materiaali siirtyy sen vastaanoton ja varastoinnin jälkeen hydrolysointisäiliöön, jossa raaka-aineet sekoittuvat keskenään. Mikäli käytetään eläinperäisiä sivutuotteita (lanta, elintarviketeollisuuden jätteet ja biojätteet), tarvitaan hygienisointia. Tämän jälkeen sekoitetut raaka-aineet siirretään mädätysäiliöön, jossa tapahtuu mädätysprosessi ja muodostuu biokaasua ja mädätysjäännöstä. Tällä menetelmällä metaanin osuus on 55 – 75 %. Metaanipitoisuuden määrä riippuu raaka-aineesta. Paljon rasvaa sisältävä aine, kuten teurasjäte, tuottaa korkeamman metaanipitoisuuden kuin paljon hiilihydraatteja sisältävä raaka-aine, kuten peltokasvit. Mädätysjäännöstä voidaan käyttää lannoitteena pelloilla. (Biokaasun tuotantoprosessi 2014).

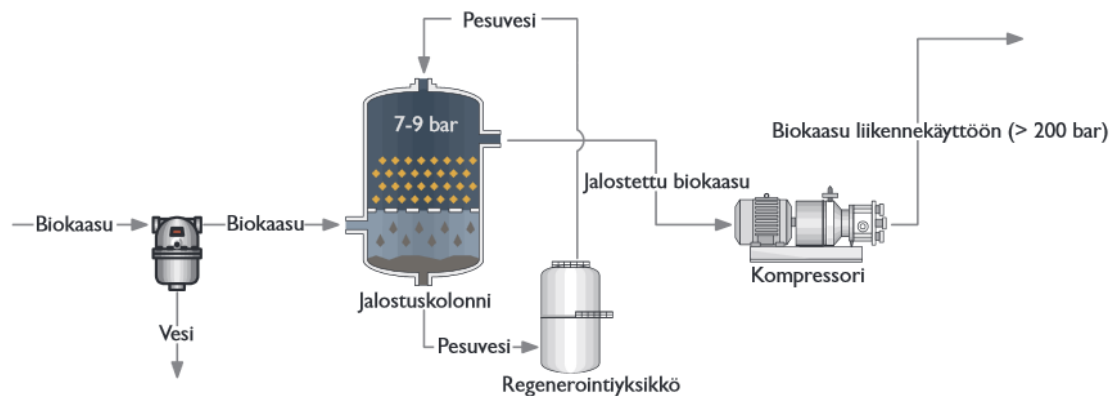
Biokaasua muodostavat prosessit jaetaan lämpötilan mukaan psykro-, meso- ja termofiiliseen prosessiin. Alle 25 °C lämpötilassa tapahtuvia metaanin muodostusprosesseja kutsutaan psykrofiiliseksi. Tällöin metaanin muodostus on hidasta, ja kaasun muodostuminen vähäistä. Psykrofiilistä prosessia tapahtuu esimerkiksi soilla ja lie-tealtaissa.

Metaanin muodostusprosesseja, jotka tapahtuvat 32 – 42 °C lämpötilan välillä, kutsutaan mesofiiliseksi. Tämä menetelmä on hitaampaa kuin termofiilisessä mädätyksessä tapahtuva, mutta se on toimintavarmempi, sillä mesofiilisessä menetelmässä biokaasun muodostus on hyvä, ja se on helppo pitää vakaana. Mesofiilinen menetelmä on käytössä useimmissa biokaasulaitoksissa. Termofiilisessä menetelmässä mädäntyminen tapahtuu 50 – 60 °C lämpötilassa. Termofiilinen menetelmä on nopeampi kuin mesofiilinen, mutta se on myös herkempi häiriöille, ja energiankulutus on korkeampi käyttölämpötilan vuoksi. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 5 – 6).

4.2.2 Biokaasun jalostus liikennekäyttöön

Biokaasua on jalostettava, jotta se sopisi liikennekäyttöön ajoneuvoissa. Tässä prosessissa siitä poistetaan hiilidioksidi sekä mahdolliset rikkiyhdisteet, jolloin jäljelle jää lähes puhdas metaani. Biokaasun jalostamiseen on useita tekniikoita, mutta vakiintunein tapa on vesipesu. Suomen yhdeksästä jalostamosta kahdeksassa käytetään vesipesumenetelmää. Vain Forssassa sijaitsevassa jalostamossa käytetään kalvoerotusmenetelmää eli membraanitekniikkaa. (Lampinen n.d.).

Vesipesutekniikassa biokaasu syötetään vesisäiliöihin, joissa paine on noin 7 – 9 baaria. Tällöin hiilidioksidi sitoutuu veteen. (Biokaasusta biometaania n.d.). Vesipesun jälkeen kaasu on kuivattava, ja se paineistaan varastointia varten. Käytetty vesi voidaan regeneroida erillisessä strippauskolonnissa tai se voidaan viemäroidä puhdistettavaksi. Veden sijasta voidaan käyttää myös kemikaaliliuoksia, jotka ovat vettä tehokkaampia. Jalostuksen jälkeen biokaasu paineistetaan varastointia varten 200 baarin paineeseen (ks. Kuvio 7). (Latvala 2009, 47).



Kuvio 7. Biokaasun jalostus liikennekäyttöön (Latvala 2009)

Muita biokaasun jalostusmenetelmiä ovat amiinipesu, aktiivihilimenetelmä, membraanimenetelmä ja kryojalostus. Amiinipesussa toimintaperiaate on sama kuin vesipesussa, mutta veden sijasta käytetään kemikaalista liuotinta. Amiinipesu on ainoa menetelmä, joka tarvitsee lämpöä. Lisäksi muita käyttökustannuksia aiheutuu veden-, energian- ja kemikaalinkulutuksesta.

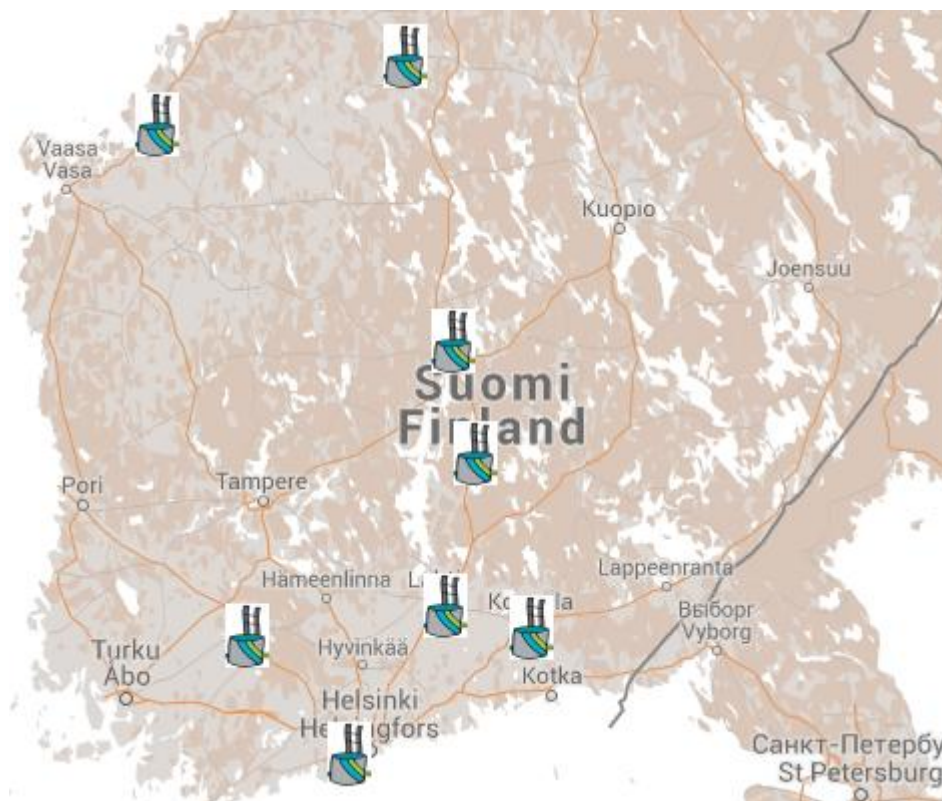
Aktiivihilimenetelmässä (PSA eli Pressure Swing Adsorption) hiilidioksidi ja muut kaasut kerätään aktiivihiiileen korkeassa paineessa. Menetelmän käyttö edellyttää, että rikkidioksidi ja vety on poistettu ennakkoon ennen käsittelyä, jotta aktiivihiiilen adsorbointikyky ei heikentyisi.

Membraanimenetelmässä erotetaan metaani ja hiilidioksidi puoliläpäisevillä kalvoilla. Menetelmä tapahtuu niin, että kaasuseos syötetään kalvolle, jolloin kalvon eri puolilla olevalla paine-erolla saadaan metaani ja hiilidioksidi eroteltua toisistaan. Membraanimenetelmän ongelmana on metaanin hävikki toiseen kaasuvirtaan, sillä hiilidioksidia sisältävässä kaasuvirrassa on 10–15 % metaania.

Kryojalostuksessa raaka biokaasu jäädytetään matalaan lämpötilaan, jolloin siitä erotellaan kaasut pois olomuotojen perusteella. Jalostuksen lopputuotteiksi saadaan nestemäistä biokaasua ja nestemäistä hiilidioksidia. Kryotekniikka soveltuu hyvin kaatopaikkakaasun jalostukseen, sillä se on ainut menetelmä, jolla saadaan happi ja

typpi eroteltua raakakaasusta. Haittapuolena kryojalostuksen käytössä on sen korkeat investointi- ja tuotantokustannukset sekä monimutkainen laitosprosessi. (Biokaasun jalostus biometaaniksi n.d.).

Suomessa on yhdeksän biokaasujalostamo, joiden biokaasun jalostuskapasiteetti on $2731 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (sisään tulevan kaasun enimmäismäärä normaalikuutiolina tunnissa), joka mahdollistaa noin 140 GWh:n tuotannon (ks. Kuvio 8). Kuuden jalostamon kaasu siirretään tankkausasemille paikallisen biokaasuputken kautta, ja yhdestä siirretään lisäksi maanteitse paineistetun biokaasun konteissa, eli CBG-konteissa, kuorma-autoilla. Lopuista kolmesta jalostamosta kaasu siirretään kansallisen kaasuverkon kautta. Porvoossa sijaitsevalla Gasumin nesteytyslaitokselta nesteytettyä biokaasua siirretään säiliöautoilla. (Huttunen & Kuittinen 2014, 18–19).



Kuvio 8. Suomen biokaasujalostamot (Yleistiedot Suomen verkosta)

4.3 Maakaasun hankinta

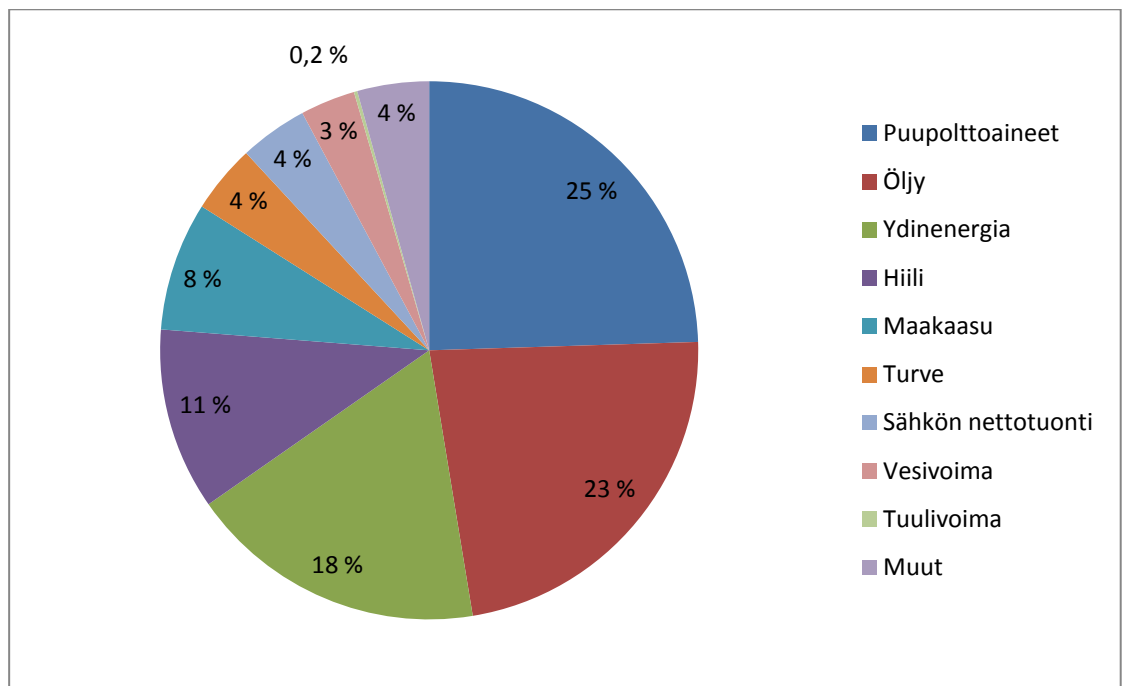
Suomella ei ole omia maakaasuvaroja, joten maakaasu tuodaan putkiverkkoa pitkin Länsi-Siperiasta Jamburgin ja Urengoin maakaasukentiltä Imatralle. Maakaasun tuomiseen Venäjältä käytetään kahta siirtoputkea. Imatran vastaanottoasemalla mitataan maakaasun määrä ja laatu, jonka jälkeen kaasu siirretään asiakkaille siirto- ja jakeluverkoston kautta (ks. Kuvio 9). Maakaasun Suomeen toimittaa Gasum Oy, joka on Suomen ainut toimittaja ja omistaa myös Suomessa olevan siirto- ja jakeluverkoston. (Maakaasun toimitus n.d.).



Kuvio 9. Suomen kaasuverkosto (Gasum Oy)

4.4 Maakaasun käyttö Suomessa

Vuonna 2013 maakaasua kulutettiin yhteensä lähes 107 000 terajoulea energian kokonaiskulutuksen ollessa 1 373 164 terajoulea. Maakaasun osuus Suomen primäärienergian kokonaiskulutuksesta on siis noin 8,0 % (ks. Kuvio 10). (Energian kokonaiskulutus edellisvuoden tasolla vuonna 2013). Kaukolämmön tuotannossa maakaasun osuus on noin 28 %. Maakaasua käytetäänkin pääasiassa kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon sekä teollisuuskäyttöön. Teollisuudessa maakaasua voidaan käyttää muuan muassa vedyn raaka-aineena, sähkön korvaamiseen ja teollisuuden prosessisovelluksissa. (Maakaasun käyttö n.d.).

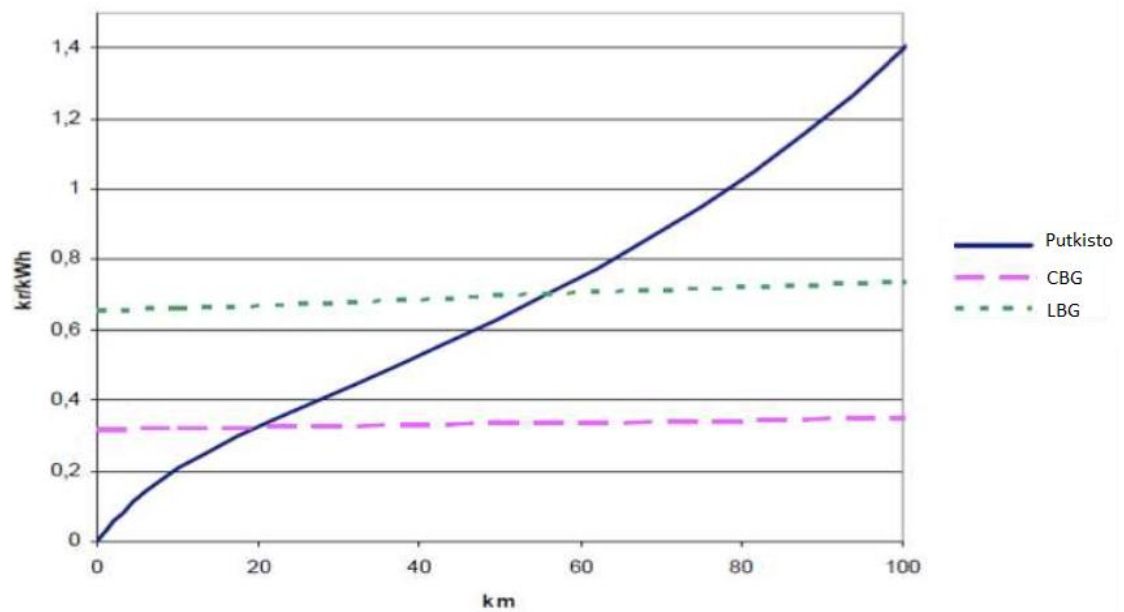


Kuvio 10. Energian kokonaiskulutus v. 2013 (Tilastokeskus 2014 mukailen)

4.5 Bio- ja maakaasun siirto

Metaanikaasun siirto tuotantolaitokselta jakelupaikalle tapahtuu joko putkiston kautta tai kuljettamalla maanteitä pitkin. Maantiekuljetus onnistuu siirrettävillä tankkausasemilla tai pullopatteristoilla, joissa kaasu on paineistettuna noin 200 baarissa. Maanteitä pitkin kaasu voidaan siirtää myös nestemäisenä.

Putkia käytettäessä kaasu siirretään jakelualueille siirtoputkistoa myöten. Putkisto on asennettu 1 – 2 metrin syvyyteen, ja kaasun paine putkistossa on 30 – 54 baaria. Siirtoputkistosta kaasu siirretään jakeluverkkoon paineenvähennysasemien kautta. Jakeluputkistoissa paine on 4 tai 8 baaria ylipainetta. (Kaasun siirto ja jakelu n.d.). Matkan kasvaessa edullisimmaksi vaihtoehdoksi tulee kaasun siirtäminen paineistettuna (ks. Kuvio 11). Esimerkiksi 10 GWh/a tuotannolla kaasun siirtäminen on edullisinta putkiston kautta alle 20 kilometrin matkalla. (Hurtig, Brundin, Vestner, Larsdotter, Gårdbro, Larsson, Lindström, Kristoffersson 2014, 44). Putkiston rakentamisen kannattavuuden edellytys on kaasun vakaa kulutus.



Kuvio 11. Kaasun siirtomenetelmien vertailu (Hurtig ym 2014)

Kaasun siirto maantiekuljetuksena antaa mahdollisuuden kuljettaa kaasua useaan eri kohteeseen. Tämä on maantiekuljetuksen etu putkistokuljetukseen verrattuna. Pulttoperäiset vaihtolavat toimii vaihtolavan tavoin. Siinä vaihtolavoille on pakattu kaasusäiliöitä, jotka on valmistettu joko teräksestä tai komposiitista. Komposiittipulloja käytettäessä voidaan kuljettaa kerralla jopa 8 000 kiloa kaasua. Siirrettävillä tankkausasemilla perävaunut, kuorma-autot tai rekat on varustettu kaasusäiliöllä, tankkauslaitteistolla ja kompressorilla. Tämä järjestely sopii tilanteisiin, joissa tankkausasema on vasta suunnitteilla, rakenteilla tai poissa käytöstä. (Biokaasun jakelun vaihtoehdot 2013). Kaasua voidaan kuljettaa myös nestemäisenä. Nestemäistä kaasua voidaan kuljettaa suurina määriä kerralla verrattuna kompressoituun kaasuun, sillä sen tilantarve on 1/600 kompressoituun kaasuun verrattuna.

5 Tankkausaseman sijoituksen edellytykset

5.1 Kaasusäädökset (TUKES)

Alla olevassa luettelossa on mainittu bio- ja maakaasun tankkausasemille soveltuvaa lainsäädäntöä:

- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005
- Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009
- Painelaitelaki 869/1999
- Määräaikaistarkastukset 551/2009
- Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 59/1999
- Asetus räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä 917/1996
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä 918/1996
- Valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta 576/2003
- Vakauslainsäädäntö
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999
- Pelastuslaki 379/2011
- Sähköturvallisuuslaki 410/1996
- Työturvallisuuslaki 738/2002
- Ympäristönsuojelulaki 86/2000
- Laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta 719/1994

Tankkausaseman ja asemalle tulevan kaasuputken rakentamiseen tarvitaan eri tahojen myöntämiä lupia. Lupakäytännöt ovat osittain kuntakohtaisia, joten ne on selvitettävä aseman suunnittelun yhteydessä. Seuraavat luvat tarvitaan kuitenkin aina:

- Rakennus- tai toimenpidelupa
- Rakentamislupa
- Kaasuputkiston sijoituslupa

Tarkasteltaessa nestemäisten polttoaineiden jakeluasemille määriteltyä lainsäädäntöä ja lupakäytäntöä, voidaan todeta, että noudatettavat säännökset ovat hyvin samankaltaiset kuin biokaasun tankkausasemalla. Näin ollen molemmat tankkausasemat ovat lähtökohtaisesti samalla viivalla lainsäädännön ja lupakäytännön osalta. Kun määräykset ja säädökset on täytetty, ei tankkausaseman lupien saaminen aiheuta ongelmia. Lisäkustannuksia voi aiheutua, mikäli muutostöitä joudutaan tekemään lupien saamiseksi.

Jos kaasuputkisto alittaa rautatien, tarvitaan siihen Ratahallintokeskuksen lupa. Putkiston alittaessa maantien tai tankkausaseman liittyessä maantiehen, tarvitaan lupa Tiehallinnolta. Tankkausaseman etäisyydet rakennuksiin, sähköjohtoihin ja muihin kohteisiin on otettava huomioon. Etäisyysmääräykset ovat Valtioneuvoston asettamat, ja ne löytyvät Suomen säädöskokoelmasta. (Valtioneuvoston maakaasuasetus 2009). Jakelumittarin minimietäisyys jakeluaseman rakennuksista ja pysäköintialueesta on 5 metriä. Tontin rajaan etäisyys on vähintään 4 metriä ja jakeluaseman ulkopuolisiin rakennuksiin 8 metriä. (Jaskari 2012).

5.2 Turvallisuussäädökset

Maakaasuasetus 27 §:n mukaan kaasuasema on voitava turvallisesti eristää pääsulkuventtiilillä kaasun tuloputkistosta. Asema tulee varustaa säätö- ja turvajärjestelmillä, joilla estetään suurimman sallitun paineen ylittyminen sekä varmistetaan sallituissa lämpötiloissa pysyminen. Tankkausasemalla tulee olla lämpötilakompensoitu täyttojärjestelmä sekä riittävä määrä hätä-seis-painikkeita. Tankkausasemalla tulee olla turvalukitus, joka pysäyttää aseman toiminnan normaalista poikkeavissa tilanteissa. Tankkausasemalla on oltava myös valvontajärjestelmä, joka häiriön sattuessa ilmoit-

taa päivystävään valvontaan tai hälytyspaikkaan. Lisäksi tankkausasema on varustettava varoitusmerkinnöillä ja alkusammutuskalustolla, ja siellä on oltava reitit pelastuskaluston liikkumiselle ja hätäpoistumiselle. Asema varustetaan turvallisuuden kannalta tarpeellisilla korokkeilla, törmäyssuojilla ja maantiekaiteilla. Kirjalliset toimintaohjeet hätätilanteen varalta tulee olla näkyvillä. Ajoneuvoihin tankattavan kaasun tulee olla hajustettua. (Valtioneuvoston maakaasuasetus 2009).

Tankkausaseman suojarakennuksen on oltava palamatonta materiaalia, eikä kaasun saa olla mahdollista kerääntyä rakennusten sisälle tai rakenteisiin. Suojarakennus tulee varustaa jatkuvatoimisella vuotokaasun ilmaisimella. (Valtioneuvoston maakaasuasetus 2009). Maakaasuasetuksen mukaan toiminnanharjoittajan on nimettävä tankkausasemalle ennen käyttöönottoa putkiston käytöstä vastaava henkilö, sekä tarvittaessa yksi tai useampi sijainen. Käytön valvoja on toiminnanharjoittajan käytössä oleva pätevä henkilö, jonka on annettava kirjallinen suostumus tehtävään.

6 Tutkimus

Opinnäytetyön tutkimuksessa tutkittiin biokaasun tankkausaseman sijoittamista Jyväskylään ja siihen liittyviä toimenpiteitä. Lisäksi tarkasteltiin kahta eri skenaariota. Ensimmäisessä skenaariossa suunniteltiin biokaasun hankkimista tankkausasemalle jo olemassa olevilta tuotantolaitoksilta Jyväskylän läheisyydestä. Toisessa skenaariossa selvitettiin biokaasun jalostuslaitoksen sijoittamista Jyväskylään.

6.1 Biokaasun tankkausaseman sijoittaminen Jyväskylään

Keski-Suomessa on käytössä hieman alle 200 kaasukäyttöistä henkilö- ja pakettiautoa, ja kiinnostus kaasun käyttöä kohtaan on kasvusuuntaista. Keski-Suomen alueella on tällä hetkellä kaksi biokaasun tankkausasemaa, jotka sijaitsevat Laukaalla ja Joutsassa. Tankkausasemien yhteydessä sijaitsevat myös biokaasun tuotanto- ja jalostus-

laitokset. Tankkausaseman rakentaminen Jyväskylään edellyttäisi sidosryhmien osallistumista kulutuksen turvaamiseksi, sillä tämän hetkinen ajoneuvokanta ei kasva riittävän nopeasti. (Sormunen, Aittola & Piirainen 2013, 4).

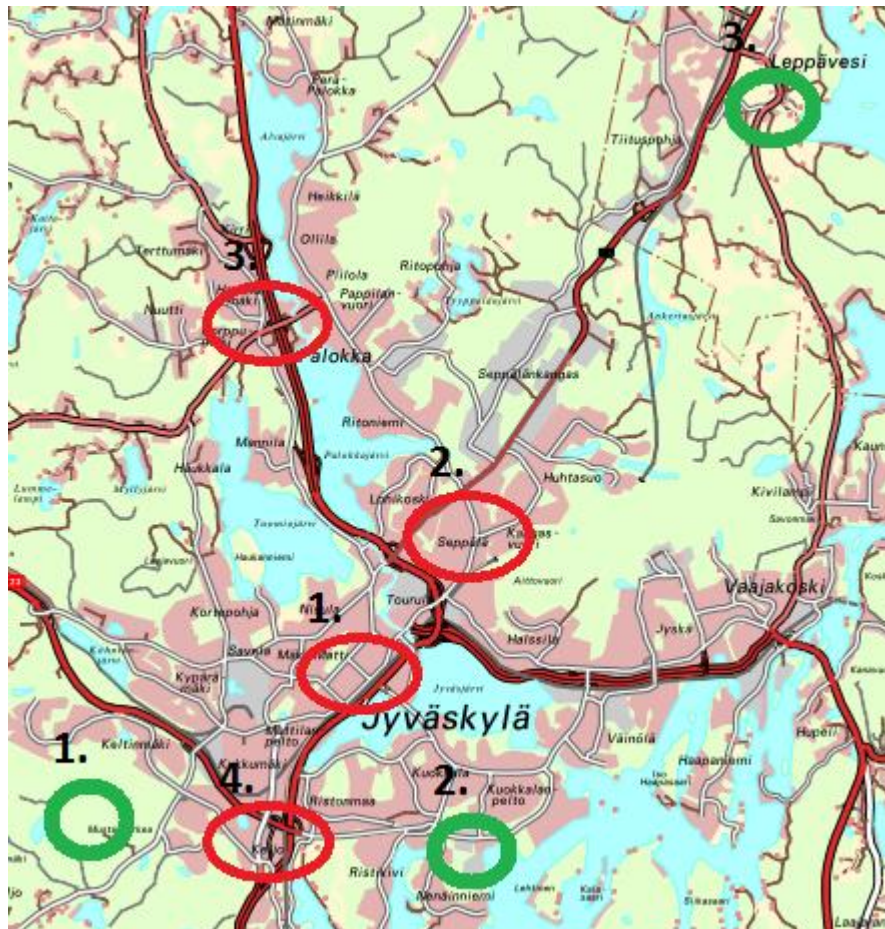
Kolmen Jyväskylässä sijaitsevan biokaasun tuotantolaitoksen yhteistuotantomäärä on noin 33 GWh per vuosi. Tästä määrästä Mustankorkean kaatopaikan osuus on noin 20 GWh, Nenäinniemen puhdistamon noin 11 GWh ja Erkki Kalmarin tilan noin 2 GWh. Tämä tuotantomäärä vastaisi arviolta noin 90 linja-auton tai 2 700 henkilöauton (4,5 kg/100 km tai 7 l/100 km, 20 000 km/v) (Aittamaa 2014) vuosittaista polttoainekulutusta. Tällä hetkellä vain Kalmarin tilalla hyödynnetään biokaasua liikennekäyttöön. Mustankorkean kaatopaikan ja Nenäinniemen puhdistamon tuottamat biokaasut käytetään sähkön- ja lämmöntuotantoon.

6.2 Biokaasun tankkausaseman sijainti ja investoinnit

Tankkausaseman sijaintivaihtoehtoja Jyväskylässä on useita. Tuotanto- ja jalostuslaitoksen yhteydessä tai läheisyydessä sijaitseva tankkausasema vähentää kaasun siirrostä syntyviä kuluja, kuten mahdollisen putkiston pituutta. Muita sijoituskohteita voivat olla esimerkiksi ostoskeskukset, paikallisliikenteen linja-autovarikko, tavaraliikenteen terminaalit ja liikenneasemat. Tässä työssä tutkitaan vain yhden tankkausaseman sijoittamista, joten tämän paikan on saavutettava sijainniltaan mahdollisimman laaja käyttäjäkunta.

Outi Pakarisen (2013) Jyväskylän kaupungille vuonna 2013 tekemän selvityksen mukaan tankkausasema voisi sijaita biokaasun tuotantopaikkojen tai suurten kauppakeskittymien läheisyydessä. Jyväskylän tuotantolaitokset ovat Mustankorkean kaatopaikka ja Nenäinniemessä sijaitseva jätevedenpuhdistamo. Näistä kerätty kaasu hyödynnetään tällä hetkellä sähkön- ja lämmöntuotantoon, sillä tuotantolaitoksien yhteydessä ei ole jalostamoita. Laukaalla Erkki Kalmarin tilalla sijaitsee tuotantolaitos,

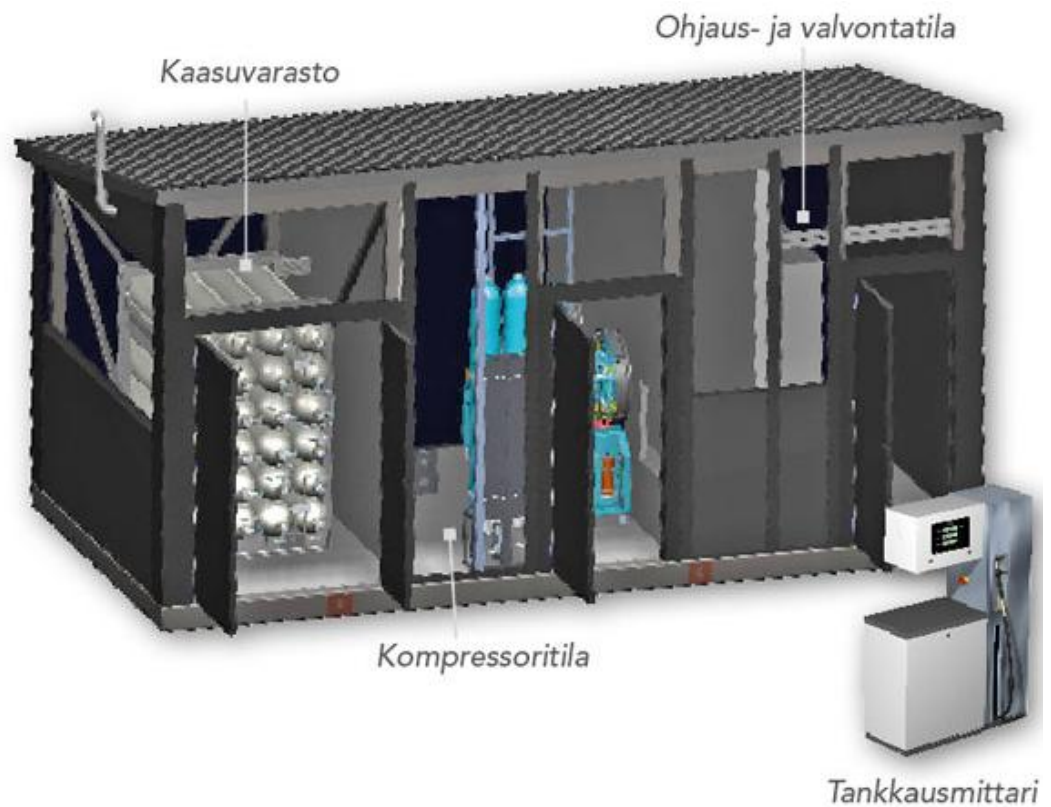
jonka läheisyydessä on jo tankkausasema. Suuret kauppakeskittymät sijaitsevan Jyväskylän keskustassa, Seppälässä, Palokassa ja Keljossa (ks. Kuvio 12).



Kuvio 12. Tuotantolaitosten sijainnit ympyröity vihreällä (1. Mustankorkean kaatopaikka 2. Nenäniemen puhdistamo 3. Kalmarin tila). Kauppakeskittymien sijainnit ympyröity punaisella (1. Keskusta 2. Seppälä 3. Palokka 4. Keljo).

Yksinkertaisimmillaan biokaasun tankkausasema koostuu kaasuvarastosta, kompressorista, välivarastosta, täyttöpisteestä ja maksuautomaatista (ks. Kuvio 13). Pullopatteri tai kaasuputki kytketään kompressoriin, josta kaasu johdetaan täyttöpisteeseen.

Välivaraston korkea paine nopeuttaa ajoneuvon tankkausta. (Biokaasun hyödyntämisen käsikirja 2008).



Kuvio 13. Biokaasun tankkausaseman kokoonpano (Maakaasun ja biokaasun tankkausasemat – CNG-asemat n.d.)

Keuruun biokaasun tankkausasemalle tehtyjen investointikustannusarvioinnin mukaan tankkausaseman hinnaksi tulisi 522 800 € (ALV 0 %). Vuosittaiset operatiiviset kustannukset olisivat 230 650 € (ALV 0 %). (Summary report of Keuruu biogas filling station 2011). Haimilan (2015, 30) mukaan Hinterberg (2009) viittaa raportissaan tutkimukseen, jossa tankkausaseman investoinnin yhteishinnaksi on saatu 141 470 € (ks. Taulukko 3). Hintoihin vaikuttavat valitut laitteet sekä tankkausaseman kapasiteetti. Näissä hintojen vaihtelut voivat olla huomattavia. Muita lisäkustannuksia ovat

muun muassa maanmuokkaus- sekä huolto- ja kunnossapitotyöt. Nesteytetyn metaanin tankkausaseman laitteistot aiheuttavat lisäinvestointeja. Nestemäisen metaanin tankkausasema koostuu LNG-säiliöstä, höyrystimestä ja jakelulaitteesta. LCNG-aseman (800 Nm³/h), jossa kaasuvälikäyttö on nesteytettyä. Hinta on erään tarjouksen perusteella noin 450 000 €. (Haimila 2015, 30).

Taulukko 3. Tankkausaseman investoinnit eriteltynä (Haimila 2015 mukailten)

Kompressori (50 Nm ³ /h)	79 000 €
Kaasuvarasto	25 000 €
Tankkausautomaatti	24 470 €
Tankkauspumppu + tarvittavat putket	13 000 €
Yhteensä	141 470 €

6.3 Bio- ja maakaasun hankinta sekä logistiikka

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tarkoituksena on tarkastella liikennebiokaasun saantia muualta, kuin Mustankorkeaan tai Nenäinniemielle mahdollisesti rakennettavista jalostamoista. Lähimmät paikkakunnat, joista liikennekaasua olisi mahdollista saada, ovat Laukaa ja Joutsa, joissa molemmissa sijaitsee biokaasujalostamo. Lisäksi Tampereelta olisi mahdollista saada maakaasua. Laukaalla Kalmarin tilalla sijaitsevan tuotantolaitoksen tuottama biokaasumäärä on noin 2 GWh ja Joutsan tuottama määrä on noin 1,5 GWh. Nämä tuotantomäärät riittävät yhteensä alle 10 linja-auton tai hieman alle 300 henkilöauton vuosittaiseen tarpeeseen. Tämän hetkiseen Keski-Suomen kaasuajoneuvojen tarpeeseen tuotantomäärä on riittävä. Jyväskylän kaasuajoneuvojen määrän kasvun ja sidosryhmien, kuten joukkoliikenne- tai jäteyrityksen, mahdollisen mukaantulon huomioon ottaen on epätodennäköistä, että näiltä laitoksilta saatu liikennebiokaasu riittää vastaamaan kasvavaan kysyntään. Näin ol-

len, lähimpien biokaasulaitosten tuotantomääriä olisi joko kasvatettava tai hankittava Tampereelta maakaasua.

Jyväskylä ei kuulu maakaasuverkostoon, eikä putkiston rakentaminen olisi kannattavaa liian pitkien välimatkojen takia. Ratkaisuna olisi siirtää liikennekaasu pulloparistolla vaihtolavan tavoin. Siirrettävät välimatkat olisivat Laukaa – Jyväskylä (13 km), Joutsa – Jyväskylä (69 km) ja Tampere – Jyväskylä (154 km). Tämä ei ole kovin yleistä, ja Suomessa vaihtolavoin kuljettaakin vain Uusikaarlepyyssä toimiva Jepuan Biokaasu Oy, jota voimme käyttää tässä tapauksessa esimerkkinä. Jepuan Biokaasu Oy:lla on käytössä kolme komposiittikonttia, joiden kapasiteetti on 5045 Nm^3 . Näistä yksi on aina täytettävänä, yksi tankkauspaikalla tyhjennettävänä ja yksi liikkuu tällä välillä tarpeen mukaan. (Aittamaa 2014).

Siirtokonttien hinnat vaihtelevat materiaalien ja kapasiteetin mukaan. Kontteja on saatavana teräspulloissa tai komposiittipulloissa. Teräspullot ovat halvempia, mutta myös painavampia ja vievät enemmän tilaa siirtokontissa. Komposiittipullot ovat kapasiteetiltaan suurempia ja kevyempiä, mutta teräspulloihin verrattuna myös kalliimpia. Komposiittipullojen hinnat vaihtelevat koosta riippuen n. $52 - 71 \text{ €/Nm}^3$ ja teräspullojen n. $35 - 62 \text{ €/Nm}^3$. Näin ollen siirtokonttien hinnat ovat $80\,000 - 300\,000$ euron välillä. (Hetland, Gasnor & Bjørlykke 2012). Lyhyillä välimatkoilla ja pienempiä määriä siirrettäessä kannattaa investoida edullisiin kontteihin. Siirrettävän kaasumäärän kasvaessa, tulevat komposiittipullot edullisemmaksi.

6.4 Oma biokaasun jalostusasema

Mustankorkean kaatopaikalta on mahdollista kerätä metaania noin $220 \text{ m}^3/\text{h}$, joka vastaa hyödynnettynä energiana vajaa 20 GWh/a . Tämä määrä voi mahdollisesti nousta jopa $250 \text{ m}^3/\text{h}$ pintarakenteiden valmistumisen myötä. Nenäinniemen puhdistamon on mahdollista hyödyntää kerättyä metaania energiana noin 11 GWh . Biokaasun jalostuskeinoja on useita. Sormusen, Aittolan ja Piiraisen (2013) tekemässä selvi-

tyksessä Jyväskylä Innovationille esitellään eri menetelmiä ja niiden investointikustannuksia (ks. Taulukko 4). (Sormunen, Aittola & Piirainen 2013).

Vesiabsorbtioon perustuvien menetelmien tarjoushintoja ovat 710 000 € (alv 0 %) ja 580 000 €. 710 000 euron hintaan sisältyy jalostusyksikkö (80 m³/h), paineistus- ja jakeluasema. Järjestelmä mahdollistaa kahdeksan peräkkäistä tankkausta (noin 50 autoa päivässä), ja sen käyttökustannus täydellä kapasiteetilla olisi hieman alle 11 000 euroa. Toiseen, 580 000 euroa maksavaan, järjestelmään sisältyy kaksi jalostusyksikköä, joiden yhteiskapasiteetti 100 m³/h, sekä tankkausasema. Varaosakuluis- ta muodostuu noin 4 000 euroa ja vedenkulutuksesta noin 30 l/Nm³. Vedenkulutus muodostaakin merkittävän kustannustekijän, mikäli vettä ei ole mahdollista re- generoida käytön jälkeen. Järjestelmän hinta vain yhdellä jalostusyksiköllä on noin 320 000 euroa.

Amiinipesumenetelmään perustuvan jalostuslaitoksen (150 m³/h) tarjoushinta on noin 1 100 000 euroa. Tähän hintaan ei sisälly paineistus- tai tankkausasemaa. Lop- putuotteen metaanipitoisuus on yli 99 %, ja kaasusta erotettu 99,8 % hiilidioksidi voidaan hyödyntää. Tähän prosessiin on mahdollista yhdistää myös lämmön talteen- otto, jonka hyötykäytöllä voidaan saavuttaa alhaisemmat käyttökustannukset.

Kryotekniikkaan perustuvan jalostuslaitoksen (120 Nm³/h) investointikustannus on noin 1 095 000 euroa, johon ei sisälly jakeluasemaa. Tämä sisältää yhden 25 m³ nes- teytetyn biokaasun varastointisäiliön. Käyttö- ja huoltokustannukset ovat 0,06 €/kg tuotettua nesteytettyä metaania eli 0,08 €/m³ metaania. Aktiivihiihimenetelmän (VPSA) laitteiston hinta on puolestaan noin 2,4 miljoonaa euroa (500 Nm³/h). Proses- sin sähköntarve on noin 0,32 kWh/Nm³ ja lisäksi kulutustarvikkeina tarvitaan aktiivi- hiiltä ja CMS-materiaalia (Carbon Molecular Sieve).

Mikäli tankkausasemalla käytetään nestekaasua, tulee Mattilan (2013) mukaan va- rastosäiliön olla nestekaasun säilytykseen soveltuva, ja sen tilavuuden tulee olla vä- hintään 1,5 kertaa tankkiauton tilavuus. Tankkiauton tilavuuden ollessa 58 m³ on säiliön siis oltava tilavuudeltaan vähintään 87 m³. Tästä aiheutuva lisäkustannus on noin 800 000 euroa.

Taulukko 4. Eri puhdistusteknologioiden investointikustannusarviot (Sormunen, Aittola & Piirainen 2013 mukailten)

Teknologia	Vesipesu	Vesipesu	Vesipesu	Kryo	Vesipesu	Kryo	VSPA
Kapasiteetti, m ³ /h	60	120	240	240	520	520	500
Laskennallinen energiatuotanto, GWh/a	2,5	5	10	10	20	20	20
Puhdistetun kaasun metaanipitoisuus	90 %	90 %	90 %	95 %	90 %	95 %	95 %
Puhdistusteknologia, k€	700	900	1300	1400	2000	2100	2400

Jalostusmenetelmää valittaessa on syytä myös huomioida biokaasun jalostuksesta aiheutuvat kustannukset. Eindhovenin teknillisessä yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa on vertailtu eri jalostusmenetelmien käyttökustannuksia (ks. Taulukko 5). Tämän mukaan vesipesu on edullisin vaihtoehto, ja sillä saavutetaan paras tuotto/puhtaus -suhde. (de Hullu, Maassen, van Meel, Shazad & Vaessen 2008).

Taulukko 5. Jalostusmenetelmien vertailu (de Hullu ym. 2008).

Menetelmä	€/Nm ³	Tuotto %	Puhtaus %
Amiinipesu	0,28	90	98
Vesipesu	0,15	94	98
PSA	0,26	91	98
Kryo	0,40	98	91
Membraani	0,22	78	89

Vesipesuun perustuvat menetelmät ovat investointi- ja käyttökustannuksiltaan kustannustehokkaita, joten ne ovat syystäkin käytetyimpiä puhdistuskeinoja Suomessa. Jalostuslaitosten investointikustannukset ovat yhteydessä laitoksen kapasiteettiin. Jalostuslaitoksen kokoon vaikuttaa se, kuinka suuri tarve biometaanin käytöllä on liikenteessä, jonka kysyntään jalostuslaitoksen on kyettävä biometaanin jalostamaan.

Tankkausasemien investoinnit riippuvat biokaasun tuotantomäärästä. Tuotantomäärän ollessa suuri on tankkausaseman kapasiteettia kasvatettava tai tankkausasemien määrää lisättävä. Jyväskylän tapauksessa sopiva jalostusmenetelmä voisi olla vesipesu. Vesipesu on kustannustehokas ja toimivaksi todettu menetelmä. Jos Nenäinniemen puhdistamon koko biokaasun tuotantomäärä jalostettaisiin, olisi tähän sopivan jalostuslaitoksen koko $240 \text{ m}^3/\text{h}$, jolloin saadaan tuotettua 10 GWh/a kaasua. Mustankorkean kaatopaikalla voitaisiin investoida jopa $520 \text{ m}^3/\text{h}$ laitokseen, jos koko biokaasun tuotantomäärä muutettaisiin liikennekäyttöön. Tämä edellyttää, että tuotantomäärät pysyvät tulevaisuudessa vähintään nykyisellä tasolla.

Tankkausasema voitaisiin sijoittaa esimerkiksi jalostuslaitoksen läheisyyteen tai Keljon kauppakeskuksen yhteyteen. Tämä on lähin kauppakeskus molemmille laitoksille. Mustankorkean kaatopaikan ja Keljon kauppakeskuksen välimatka on noin kaksi kilometriä, ja Nenäinniemen puhdistamon ja kauppakeskuksen välimatka puolestaan noin kolme kilometriä. Biometaania siirrettäessä putkistoa pitkin on putkiston hinta noin 100 €/m . Hintaan vaikuttaa merkittävästi maastonmuodot (Haimila 2015, 26). Tässä tapauksessa putkiston hinta liikkuisi noin $200\,000 - 300\,000$ euron tietämillä. Lyhyellä välimatkalla kaasun siirto putkistoa pitkin on kannattavampaa kuin kuljettaa kaasu kompressoituna.

7 Biokaasuautoilun edistäminen

7.1 Lainsäädäntö

Kaasukäyttöisten ajoneuvojen yleistymisen suurimpina esteinä ovat lainsäädäntö ja verotus. Varsinkin Dual-Fuel -ajoneuvojen esteenä on EU:n lainsäädäntö, jossa ei tunneta kahta polttoainetta samaan aikaan hyödyntävää moottorityyppiä, joten näitä ei pystytä tyyppihyväksymään. Perusteena on EU:n tyyppihyväksyntälainsäädännön puute. Tämä puute tarkoittaa kuitenkin sitä, että tyyppihyväksyntä voidaan to-

teuttaa kansallisesti. Suomessa ei kuitenkaan hyväksytä vaihtoehtoisilla polttoaineilla käyviä ajoneuvoja, mutta on sen sijaan hyväksytty EU-lainsäädännön ulkopuolisia bensiini- ja dieselkäyttöisiä moottoreita. Dual-Fuel -ajoneuvon voi saada käyttöön kansallisten viranomaisten, Suomessa Trafín, myöntämällä poikkeusluvilla. Perusteenä voi olla esimerkiksi tutkimus, uuden teknologian kokeileminen tai sen edistäminen. (Lampinen 2012, 106 - 108). EU on muuttamassa tyyppihyväksyntädirektiiviä, ja tähän ollaan myös ottamassa mukaan Dual-Fuel -ajoneuvot. Muutos tulee voimaan aikaisintaan vuoden 2017 alussa.

7.2 Valtion tukitoimet

Suomessa myönnetään seuraavanlaisia tukia biokaasulaitokselle:

- Syöttötariffi
- Investointituki
- Maatilan rakennusinvestointien tuki

Syöttötariffi on vuonna 2011 voimaantullut tuki edistämään uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön tuotantoa. Syöttötariffi on Energiamarkkinaviraston myöntämä, ja sitä myönnetään uudelle biokaasulaitokselle, joka syöttää sähköä sähköverkkoon Suomessa. Verkkoon syötetylle sähkölle taataan minimiostohinta, joka on 83,50 €/MWh. Jos lämpöä hyötykäytetään, siitä maksetaan lämpöpreemiota, joka on 50 €/MWh. Lämpöpreemion myöntämisen ehtona on, että kokonaishyötysuhde on vähintään 50 % ja nimellistehoaltaan yli 1000 kVA laitoksella vähintään 75 %. Syöttötariffia myönnetään, mikäli generaattoreiden yhteenlaskettu nimellisteho on vähintään 100 kVA, laitos ei ole saanut valtiontukea, se on uusi eikä sisällä vanhoja osia. Tukea myönnetään siihen saakka, kunnes järjestelmään on hyväksytty 19 MVA verran laitoja. Tukea maksetaan 12 vuoden ajan ja enintään haetulle tuotantomäärälle. Myönnetty syöttötariffi maksetaan valtion budjetista. Tukea myönnetään vain reaktiolaitoksille, joten kaatopaikkakaasulaitokset eivät voi saada tukea. Vastaavanlaista

tukea ei ole olemassa liikennebiokaasuntuotannolle. (Biokaasulaitosten tukijärjestelmät Suomessa 2014).

Investointitukea eli energiatukea myönnetään biokaasulaitokselle, joka tuottaa energiaa, mutta ei sovellu syöttötariffiin. Tärkeimpänä edellytyksenä on, että hankkeella vähennetään fossiilisten energialähteiden käyttöä sekä edistetään uusiutuvan energian tuotantoa, tehostetaan energiantuotantoa ja vähennetään energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja. Tärkein tuki on työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) myöntämä energiatuki, jota on mahdollista saada 20 – 30 % investoinnin hyväksyttävistä kuluista, joita ovat muun muassa investointi ja asennustyöt, rakentaminen sekä valvonta ja suunnittelu. (Energiatuki 2015). Tukea on mahdollista saada myös maa- ja metsätalousministeriöstä, mutta tämä on haettava erillisen hakukierroksen kautta.

Maatilojen rakennusinvestointien tuki myönnetään maatilalle tai tilojen yhteenliittymälle, joka tuottaa sähköä omaan käyttöön. Enimmäistukitason määräytymiseen vaikuttaa laitoksen nimellisteho. Nimellistehot ovat 800 €/kW nimellisteholämpöä ja 4 300 €/kW nimellissähkötehoa. Tuen saamisen ehtona on, että laitoksen kokonaisyötysuhde on vähintään 70 %. Tuesta osa on suoraa tukea ja osa maksetaan lainajärjestelyillä. (Biokaasulaitosten tukijärjestelmät Suomessa 2014).

7.3 Edistämiskeinot

Suurimmat biokaasuautoilua rajoittavat tekijät ovat lainsäädäntö, verotus ja tankkausasemaverkoston koko. Kaasuajoneuvon käyttövoimaveron poistamisella voitaisiin kannustaa yksityishenkilöitä ja yrityksiä siirtymään kaasuajoneuvon käyttöön. Lainsäädäntöä tulisi muuttaa Dual-Fuel -ajoneuvojen kohdalla, jotta dieseliä käyttävät ajoneuvot saataisiin Trafin hyväksymiksi muutoinkin kuin poikkeusluvalla. Näin saataisiin kaasuajoneuvojen käytön lisääntymään myös raskaankaluston liikenteessä.

Etelä-Suomessa tankkausasemien määrä on riittävä, mutta muualla Suomessa tankkausasemia on liian vähän. Tankkausasemaverkostoa on laajennettava huomattavasti

kannattavammaksi, jotta biokaasuautoilua saataisiin edistettyä myös muualla Suomessa. Tähän on onneksi tulossa muutoksia, sillä tankkausasemia on suunnitteilla rakennettaviksi ja avattaviksi lähivuosina. Esimerkiksi Gasum Oy:n tavoitteena on rakentaa 35 uutta tankkausasemaa seuraavan kymmenen vuoden aikana, ja tankkausasemia on tarkoitus rakentaa myös maakaasuverkon ulkopuolelle (Tavoite: 35 uutta Gasumin tankkausasemaa Suomeen 2015).

W-Fuel-hankkeen tulosten mukaan julkinen tuki on tarpeen tuotannon alkutaipaleella kysynnän laajenemisen mahdollistamiseksi. Tutkimuksen mukaan biometaanin tuottaminen liikennepolttoaineeksi on taloudellisesti kannattavaa, jos laitos voi veloittaa niin sanotun porttimaksun eli vastaanottomaksun käsittelemistään biomassoista. Tuotantoinfrastruktuurin rakentamiseen tarvitaan investointitukea ja siirtövaiheessa maatalouden biomassoja käsitteleville laitoksille tuotantotukea. (Tutkimus heittää biokaasupallon päättäjille 2012). Tukea olisi syytä myös laajentaa koskemaan tankkausasemia ja ajoneuvoja. Biokaasun sähkön- ja lämmöntuotannossa on käytössä syöttötariffijärjestelmä, joka ei yllä biometaanin tuotannon tukemiseen. Myös biometaanille voisi soveltaa kyseistä taloudellista tukea. (Rasi, Havukainen, Uusitalo, Andersson, Manninen, Aro-Heinilä & Rintala 2012, 19).

Taloudellisia ohjauskeinoja biokaasun edistämiseen ovat esimerkiksi tuet ja tariffit. Tuotantotuki voitaisiin järjestää verovaroihin perustuvana tai liikennepolttoainemarkkinoilta kerättävä tariffina. Verovaroihin perustuva tuki on samanlainen kuin biokaasusähkön syöttötariffijärjestelmä. Liikennepolttoainemarkkinoilta kerättävän tariffin kustannusvaikutus perustuu polttoaineen kulutukseen. Toinen tarffiin pohjautuva vaihtoehto voisi olla muuhun energiatuotteeseen sidottu ehdollinen tariffi. Tässä tapauksessa biometaanin tariffi olisi sidottu öljyn hintaan. Öljyn hinnan noustessa tukea ei maksettaisi, ja öljyn hinnan laskiessa pidettäisiin tuen avulla polttoaineiden välinen hintasuhde ennallaan. (Mts. 19).

Muita liikennebiokaasun edistämiskeinoja voisi olla muuan muassa eri sidosryhmien mukaan saaminen, verovähennykset sekä tuet ajoneuvon hankintaan. Suuria määriä polttoainetta kuluttavien yritysten, kuten paikallisbusseja ja jäteautoja operoivien yritysten, kanssa olisi tarpeellista luoda yhteistyötä, jotta biometaanin kulutus saa-

daan vakaammaksi ja kannattavammaksi. Liikennebiokaasun edistämiseen voisi ottaa mallia Ruotsista, jossa on mahdollista saada verovähennystä biopolttoainetta käyttävistä ja ympäristöystävällisistä yritysautoista. Lisäksi Ruotsissa tuetaan vähäpäästöisten ajoneuvojen hankintaa ja käytetään lainsäädäntöä ohjauksena, jolla biopolttoaineiden jakelu on tehty pakolliseksi polttoaineen jakeluasemilla. (Mts. 19 – 20).

8 Yhteenveto

Tutkimuksesta havaitaan, että biokaasuautoilu on jatkuvasti lisääntymässä, ja kiinnostus sitä kohtaan on kasvamassa myös Jyväskylän alueella. Uuteen tankkausasemaan voidaan siis investoida, ja näin saada Suomen tankkausasemaverkostoa entistä kattavammaksi ja asemien etäisyyksiä pienemmiksi. Kuitenkin toistaiseksi Jyväskylän biokaasuautokanta on vähäinen, eikä tämä takaa tarpeeksi suurta kysyntää biokaasulle, jotta omaan jalostuslaitokseen investoiminen olisi kannattavaa. Edullisimman jalostusmenetelmän investointikustannukset ovat useita miljoonia euroja. Kysynnän saamiseksi tasaisemmaksi ja varmemmaksi, tarvittaisiin mukaan sidosryhmiä. Yksityisautoilijoita, mutta ennen kaikkea kuljetusalan yrittäjiä, tulisi kannustaa siirtymään biokaasuautoiluun erilaisin kannustein ja helpotuksin. Tämä vaatii valtiolta toimenpiteitä, jotta biokaasun käyttöä jarruttavat suurimmat tekijät ja esteet saadaan raivattua tieltä.

Metaanikaasun hankinta muualta kuin omalta biokaasujalostamolta toimii lyhytaikaisena vaihtoehtona tankkausaseman alkuvaiheessa. Pidempiaikaisempaa ratkaisua tavoiteltaessa on syytä investoida omaan jalostusasemaan. Jalostusmenetelmäksi sopisi vesipesu, joka on jo hyväksi todettu ja on investointikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto. Biokaasun tankkausaseman potentiaalisin sijoituskohte on Keljo, joka sijaitsee tuotantolaitosten läheisyydessä ja saavuttaa suuren päivittäisen kävijämäärän. Kaasun siirron tulisi tapahtua rakennettavan putkiston kautta. Putkisto on investointina suuri, mutta käyttövaiheessa edullisin vaihtoehto tällä välimatkalla.

Biokaasuautoilu tulee nousemaan tulevaisuudessa entistä suurempaan merkitykseen niin Suomessa kuin maailmanlaajuisesti. Sen huomattavat positiiviset ympäristövaikutukset muihin polttoaineisiin, varsinkin raakaöljypohjaisiin, verrattuna ovat tutkitusti todistetut. Biokaasun avulla ilmastoon merkittävästi vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöt on mahdollista saada pienemmäksi. Biokaasun käyttöön siirtyminen myös vähentää riippuvuutta tuontipolttoaineisiin, parantaa energiaomavaraisuutta ja tuo hyötyä yhteiskunnalle.

Biokaasuautoilun rinnalle on esitetty myös muita vaihtoehtoja ympäristökysymyksen ratkaisuksi ja tulevaisuuden polttoaineiksi. Näitä ovat esimerkiksi vety- ja sähköautoilu. Näistä ei kuitenkaan ole toistaiseksi biokaasulle kilpailijoiksi. Vedyn rooli tulee tulevaisuudessa kasvamaan suuremmaksi, mutta ei vielä lyhyellä tai keskipitkällä tähtäimellä. Tällä hetkellä vedyn käytön teknologia on monimutkaista, kallista ja hankalaa (Polttokennoauto 2012). Sähköautoilusta ei aiheudu terveydelle haitallisia päästöjä, eivätkä sähköautot itsessään aiheuta hiilidioksidipäästöjä. Niitä kuitenkin aiheuttavat käytetyn sähkön tuotantomenetelmät. Lisäksi on huomioitava, että sähköauton valmistusvaiheessa syntyy huomattavan paljon hiilidioksidipäästöjä, joten sähköauton hiilidioksidipäästöt ovat todellisuudessa ilmoitettuja lukuja suuremmat. Sähköautoilun käytön kasvamisen esteenä ovat lyhyt latausväli, latausajan pitkä kesto sekä hankintahinta. (Täyssähköauto 2014).

Lähteet

Aittamaa, T. 2014. Traffic Biogas Utilization in Finland. Suomen biokaasuyhdistys. Viitattu 23.3.2015. http://www.sorpa.is/files/nbc/slides/teemu_aittamaa.pdf

Biogas Buses in Denmark. 2014. Nordic Folkecenter. Viitattu 21.2.2015. <http://www.folkecenter.net>, news, world, biogas buses in Denmark.

Bio- ja maakaasuverkosto Suomessa. 2015. Gasum. Viitattu 27.2.2015. <http://www.gasum.fi>, puhtaampi liikenne, tankkausasemat.

Biokaasu. 2014. Motiva. Viitattu 7.2.2015. <http://www.motiva.fi>, toimialueet, uusiutuva energia, bioenergia, energiaa pelloilta, biokaasu.

Biokaasu ja maakaasu liikennepolttoaineena. 2011. GasHighWay-esite. Viitattu 28.2.2015.

Biokaasulaitosten tukijärjestelmät Suomessa. 2014. Motiva Oy. Viitattu 2.4.2015. http://www.motiva.fi/files/4903/Biokaasulaitosten_tukijarjestelmat_Suomessa_Fredrik_Akerlund.pdf

Biokaasu liikenteessä. 2010. Bionova. Taustaselvitys biokaasun liikennekäytöstä Gasum Oy:lle. Viitattu 28.2.2015. PDF-dokumentti.

Biokaasun hyödyntämisen käsikirja. 2008. PBI—Research Institute for Project-Based Industry & Åbo Akademin Teollisuustalouden Laboratorio.

Biokaasun jakelun vaihtoehdot. 2013. Biokaasuauto.fi. Viitattu 25.4.2015. <http://www.biokaasuauto.fi>, blog, biokaasun jakelun vaihtoehdot.

Biokaasun jalostus biometaaniksi. N.d. Viitattu 8.2.2015. <http://www.biokaasuauto.fi>, biokaasu, biokaasusta biometaanina.

Biokaasun tuotanto maatilalla. 2013. Motiva Oy. http://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf

Biokaasun tuotantoprosessi. 2014. Motiva Oy. Viitattu 8.2.2015. <http://www.motiva.fi/>, toimialueet, uusiutuva energia, bioenergia, energiaa pelloilta, biokaasu, biokaasun tuotantoprosessi.

Biokaasu tuo uuden vaihtoehdon autoilijalle. 2012. Tekniikka & Talous. Viitattu 18.4.2015.

de Hullu, J., Maassen, J.I.W., van Meel, P.A., Shazad, S. & Vaessen J.M.P. 2008. Comparing different biogas upgrading techniques.

Dieselautojen hiukkaspäästöt ovat vähentyneet. 2015. Neste Oil 14.2.2015. Viitattu 27.4.2015. <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,88,17746,17897,25035>

Energian kokonaiskulutus edellisvuoden tasolla vuonna 2013. 2013. Tilastokeskus. Viitattu 17.2.2015. <http://www.stat.fi>, tilastot, energia, energian hankinta ja kulutus, 2013, energian kokonaiskulutus edellisvuoden tasolla vuonna 2013.

Energiatuki. 2015. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 24.4.2015. <http://www.tem.fi>, energia, energiatuki.

European NGV statistics. 2014. Natural & bio Gas Vehicle Association.

Haimila, P. 2015. Liikennebiokaasun jakelu Mikkelin seudulla: Teknologia-, kustannus – ja kannattavuustarkastelu. Opinnäytetyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tuotantotalouden tiedekunta, Tuotantotalous. <http://www.doria.fi/handle/10024/103406>

Hetland, T.I., Gasnor & Bjørlykke, S. 2012. Biogas Transport and Distribution Evaluating Alternatives and Cost Efficiency. Baltic Biogas Bus –projekti. Viitattu 30.3.2015. http://www.balticbiogasbus.eu/web/Upload/Distribution_of_biogas/Act_5_4/WP%205%204%20biogas%20transport.pdf

Hurtig, M., Brundin, C., Vestner, R., Larsdotter, L., Gårdbro, G., Larsson, R., Lindström, F. & Kristoffersson, S. 2014. BioFuel Region. http://www.biofuelregion.se/UserFiles/file/Rapport%20UmU-Projekt%202014_01_17%20liten.pdf

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2014. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17. Publications of the University of Eastern Finland. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences, No 19. Joensuu: Grano Oy.

IEA Bioenergy Task 37. 2015. Country Reports Summary.

Jaskari, A. 2012. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Biokaasun tankkausaseman lupa-asiat ja turvallisuusvaatimukset. http://www.liikennebiokaasu.fi/images/stories/pdf/Jaskari_Joensuu280512.pdf

Kaasubussien ajot pääkaupunkiseudulla on pian ajettu. 2014. Yle uutiset. Viitattu 3.3.2015. <http://www.yle.fi>, uutiset.

Kaasulaitteiden jälkiasennus. N.d. Biokaasuauto.fi. Viitattu 20.4.2015. <http://www.biokaasuauto.fi>, kaasuauto, jälkiasennus.

Kaasun siirto ja jakelu. N.d. Gasum Oy. Viitattu 17.3.2015. <http://www.gasum.fi>, kaasutietoutta, kaasuverkostot.

Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito. 2008. Ympäristöhallinnon ohjeita. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Vammalan kirjapaino.

Kilpinen, J. 2014. Suomen Bioauto Oy. Biokaasu ajoneuvokäytössä. BioE-logia Bio-kaasuseminaari. Viitattu 3.3.2015.

Kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöt. 2015. Tilastokeskus. Viitattu 19.2.2015. <http://www.tilastokeskus.fi>, tilastot, ympäristö ja luonnonvarat, kasvi- huonekaasut, taulukot, kasvihuonekaasupäästöt Suomessa.

Lampinen, A. & Laakkonen, A. 2010. Kunnat liikennebiokaasun tuottajina ja käyttäji- nä. Suomen Biokaasuyhdistys ry. Joensuu: Painokanava.

Lampinen, A. 2012. Tiekartta uusiutuvaan metaanitalouteen. Pohjois-Karjalan liiken- nebiokaasuverkoston kehityshankkeen julkaisuja 1/2012.

Lampinen, A. All Nordic countries utilize biogas in transport. 2014a. Viitattu 20.1.2015. <http://www.cbg100.net>, news, all Nordic countries utilize biogas in transport.

Lampinen, A. 2014b. Hollanti ohitti bio-osuudessa Ruotsin, Islanti jatkaa kärjessä. Viitattu 20.1.2015. <http://www.cbg100.net>, news, Hollanti ohitti bio-osuudessa Ruotsin, Islanti jatkaa kärjessä.

Lampinen, A. 2014c. Suomessa vuonna 2013 käytetyn liikennebiokaasun kasvihuone- kaasuintensiteetti. Suomen biokaasuyhdistys. Viitattu 4.3.2015. http://www.biokaasuyhdistys.net/media/KHK-intensiteetti_2013.pdf

Lampinen, A. 2015. Markkina-analyysi: CBG:n kannattavuuden kasvu jatkuu. Viitattu 28.2.2015. <http://www.cbg100.net>, news, miksi CBG:n hinta laskee.

Lampinen, A. N.d. Yleistiedot Suomen verkosta. Viitattu 20.3.2015. <http://www.cbg100.net>, Suomen biokaasutankkausverkosto, yleistiedot.

Latvala, M. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Edita Prima Oy.

Liikennekaasun hinta tankkausasemilla. 2015. Gasum Oy. Viitattu 9.3.2015. <http://www.gasum.fi>, puhtaampi liikenne, liikennekaasun hinta.

Liikenteen päästöt ilmaan. 2014. Trafi. Viitattu 20.2.2015. <http://www.trafi.fi>, tieto- palvelut, analyysitoiminta, indikaattorit, ympäristöindikaattorit.

Maa- ja biokaasun hinnat alenivat Gasumin kaasutankkausasemilla. 2015. Gasum Oy. Viitattu 18.2.2015. <http://www.gasum.fi>, tietoa Gasumista, uutiset.

Maakaasun ja biokaasun tankkausasemat – CNG-asemat. N.d. Sarlin Oy. Viitattu 11.4.2015. http://www.sarlin.com/sarlin_products/Maakaasun-ja-biokaasun-tankkausasemat--CNG-asemat/5nefetr0/97116b8b-1da4-4c87-a07a-2ab643e31974

Maakaasun käyttö. N.d. Gasum Oy. Viitattu 16.2.2015. <http://www.gasum.fi>, kaasu- tietoutta, maakaasu, maakaasun käyttö.

Maakaasun ominaisuudet. N.d. Suomen Kaasuyhdistys. Viitattu 16.2.2015.

<http://www.maakaasu.fi>, kirjat, maakaasun yleiset turvaohjeet ja hätätilanteiden toimintaohjeet, yleiset turvaohjeet, maakaasun.

Maakaasun toimitus. N.d. Gasum Oy. Viitattu 16.2.2015. <http://www.gasum.fi>, kaasutietoutta, maakaasu, maakaasun toimitus.

Maapallon ilmasto tulevaisuudessa. N.d. Ilmasto-opas. Viitattu 25.2.2015.

<http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/6c5a9908-7033-47a8-9855-e745b4fa7604/maapallon-ilmasto-tulevaisuudessa.html>

Mattila, T. 2013. LNG merenkulun ja teollisuuden polttoaineena, Gasumin LNG-hankkeet. Viitattu 17.2.2015.

http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20130523_paivat/Mattila%20.pdf

Mattila, T. 2014. Suomen LNG-verkosto. Viitattu 17.2.2015.

http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20141118_syyskokous/Mattila.pdf

Miten toimii. N.d. Biokaasuauto.fi. Viitattu 20.4.2015. <http://www.biokaasuauto.fi>, kaasuauto, miten toimii.

Muuttaisinko autoni kulkemaan kaasulla – näin se käy. 2013. Helsingin Sanomat. Viitattu 19.4.2015. <http://www.hs.fi/autot/a1377245015750>

Nesteytetty maakaasu. 2013. AGA Oy. Viitattu 17.2.2015. <http://lng.aga.fi/wp-content/uploads/2013/12/Nesteytetty-maakaasu.pdf>

Nielsen, B. 2014. Biogas in the Nordic Countries. Danish biogas association. Viitattu 10.3.2015. <http://www.sorpa.is/files/nbc/slides/bruno-sander.pdf>

Pakarinen, O. 2013. Liikennebiokaasun näkymät Jyväskylän seudulla.

http://www.liikennebiokaasu.fi/images/stories/pdf/Outi_Pakarinen_Liikennebiokaasun_nakymat_Jyvaskylan_seudulla_270513_JNS.pdf

Polttokennoauto. 2012. Motiva Oy. Viitattu 24.4.2015. <http://www.motiva.fi>, liikenne, henkilöautoilu, valitse auto viisaasti, autotyyppi, polttokennoauto.

Raatikainen, J-M. 2013. Bioliikennepolttoaineet ja -autoilu. Toolilainen. Viitattu 19.4.2015.

Rasi, S., Havukainen, J., Uusitalo, V., Andersson, R., Manninen, K., Aro-Heinilä, E. & Rintala, J. 2012. Suunnitelma liikennebiokaasun tuotannon ja käytön edistämiseksi Helsingin seudulla. MTT-raportti.

Sormunen, K., Aittola, J-P. & Piirainen, K. 2013. Biometaanin jalostus ja jakelu - Liiketoiminnan perustaminen.

Summary report of Keuruu biogas filling station. 2011. Neste Jacobs Oy.

Suomen kaasuverkosto. N.d. Gasum Oy. Viitattu 16.2.2015. <http://www.gasum.fi>, kaasutietoutta, kaasuverkostot.

Suomen kasvihuonekaasupäästöt. 2014. Tilastokeskus. Viitattu 19.2.2015. <http://www.tilastokeskus.fi>, tilastot, ympäristö ja luonnonvarat, kasvihuonekaasut, 2013.

Suomen tieliikenteen tila. 2014. Trafi. Turvallisuus ja ympäristövaikutukset. Viitattu 17.2.2015. PDF-dokumentti.

Tavoite: 35 uutta Gasumin tankkausasemaa Suomeen. 2015. Gasum Oy. Viitattu 24.4.2015. <http://www.puhtaampiliikenne.fi>, uutinen, tavoite 35 uutta Gasumin tankkausasemaa Suomeen.

Tutkimus heittää biokaasupallon päättäjille. 2012. MTT. Viitattu 1.4.2015. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/ajankohtaista/Uutisarkisto/2012/Tutki-mus%20heitt%C3%A4%C3%A4%20biokaasupallon%20p%C3%A4tt%C3%A4jille>

Täyssähköauto. 2014. Motiva Oy. Viitattu 24.4.2015. <http://www.motiva.fi>, liikenne, henkilöautoilu, valitse auto viisaasti, autotyyppi, täyssähköauto.

Usein kysytyt kysymykset. 2011. Liikennebiokaasu.fi. Viitattu 20.4.2015. <http://www.liikennebiokaasu.fi>, usein kysytyt kysymykset.

Vaikutukset ihmiseen ja ympäristöön. 2015. Motiva. Viitattu 24.2.2015. <http://www.motiva.fi>, liikenne, perustietoa liikenteestä ja ympäristöstä, vaikutukset ihmisiin ja ympäristöön.

Valtioneuvoston maakaasuasetus. 2009. Valtioneuvosto. www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2009/20090084.pdf

VTT Liisa. 2012. VTT Lipasto. Viitattu 23.2.2015. <http://www.lipasto.vtt.fi/liisa>, tieliikenteen pakokaasupäästöt.

Vähäiset päästöt pienentävät verotusta. 2014. Gasum Oy. Viitattu 18.2.2015. <http://www.gasum.fi>, puhtaampi liikenne, ajoneuvot, ajoneuvojen verotus.