

Jaana Hytönen

BIOKAASU LIIKENNEPOLTTOAINEENA



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
FYSIIKAN LAITOS
UUSIUTUVAN ENERGIAN KOULUTUSOHJELMA
11.12.2013

ESIPUHE

Haluan kiittää Jussi Maunukselaa ja Arjo Heinsolaa työn ohjaamisesta sekä Pentti Laihoa (Rintekno Oy) ja Kari Kaskesta (Systecon Oy) mahdollisuudesta tehdä tämä työ. Lisäksi kiitokset Trafille (Soili Seppinen, Pasi Kilpelä, Lauri Vanhanen) kaasuautoaineiston ja Matti Raekalliolle Tiehallinnosta (nykyinen Liikennevirasto) tieaineiston tuottamisesta sekä kaikille kyselyyn osallistuneille kannustavista vastauksista! Kiitos myös biokaasuautoilija Terho Toivaselle mielenkiintoisesta keskustelusta.

TIIVISTELMÄ

Hytönen, Jaana

Biokaasu liikennepolttoaineena

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2013, 67 s.

Fysiikka, pro gradu -tutkielma

Ohjaajat: Maunuksela, Jussi ja Heinsola, Arjo

Työn tavoitteena oli tutkia syitä, miksi biometaanin käyttö liikennepolttoaineena Suomessa ei ole yleistynyt, vaikka biokaasusta tuotetaan jo gigawattitunneittain energiaa sähkön ja lämmön muodossa. Lisäksi luotiin malli biometaanin jakeluverkostosta Keski-Suomessa. Malli rajattiin koskemaan maatilojen karjanlannasta tuotettua biometaania.

Jäteperäisestä biokaasusta jätevedenpuhdistamoiden ja kaatopaikkojen osalta suurin osa on jo hyödynnetty sähkön- ja lämmöntuotannossa. Maatilojen potentiaalia on sen sijaan paljon hyödyntämättä: Suomessa on tällä hetkellä yksi biometaanin maatilatankkausasema ja seitsemän muuta biokaasusta yli 200 MWh/a lähinnä lämpöä tuottavaa maatilareaktorilaitosta. Suomen nauta- ja sikatilojen liikennebiokaasun tekninen tuotantopotentiaali olisi kuitenkin 51-120 milj. m³ eli 510-1200 GWh, mistä riittäisi energiaa 38000-89000 autolle.

Keski-Suomessa on ympäristölupien perusteella 55 yli 50 nautayksikön suuruista tilaa. Näistä saataisiin muodostettua kahdeksan yhteismädättämöä ja kolme yksittäistä mädättämöä, joiden tuotanto olisi vähintään 200 nautayksikön eli energiana liikennepolttoainekäytössä yli 200 MWh/a. Yhteensä näissä tuotettaisiin 4,8 GWh energiaa, mikä riittäisi n. 360 autolle. Neljä mädättämöä sijaitsisi kohtuullisella etäisyydellä pienestä taajamasta ja voisi siten käyttää biokaasun tuottamiseen myös esim. biojätettä tai jätevedenpuhdistamon lietettä. Suomessa kun maatilakokoluokan biokaasun tuotanto liikennepolttoaineeksi ei ole kannattavaa ilman porttimaksuja esim. jätevesilietteen, biojätteen tai teollisuuden biohajoavien jätteiden vastaanottamisesta.

Vuodesta 2011 maakaasuverkostoon on pumpattu myös biokaasua. CNG-ajoneuvoja on luokkaa 1000 ja maakaasun jakelupisteitä, joissa on mahdollista tankata myös biometaania, on 16. Kaasuverkostoa sijaitsee vain Etelä-Suomen alueella, joten kaasuautojen käytettävyyden kannalta olisi tärkeää saada verkosta riippumattomia jakelupisteitä muualle Suomeen. EU:n valmisteilla oleva direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta voisi tehdä tämän mahdolliseksi velvoittamalla jäsenmaat järjestämään riittävästi kaasunjakelupisteitä CNG-ajoneuvoille.

Asiasanat: Biometaani, biokaasu, liikennepolttoaine, jakeluverkosto, maatilakokoluokan reaktorilaitos

ABSTRACT

Hytönen, Jaana

Biogas as traffic fuel

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2013, 67 p.

Physics, Master's Thesis

Supervisors: Maunuksela, Jussi and Heinsola, Arjo

The purpose of this master's thesis was to study the reasons why biomethane has not become more common as a traffic fuel in Finland although gigawatt-hours of energy are being produced from biogas. Also a model for a potential biomethane distribution network in Middle Finland was developed. The model was based on biomethane produced from livestock manure.

Most of the biogas from WWT plants and landfills is already being used for electricity and heat production. But most of the potential of farms is not being used: there is nowadays only one farm with biomethane filling station and seven other farm biogas reactors producing over 200 MWh/a energy, mainly in the form of heat. The farms with cows and pigs as livestock would have the potential to produce 51-120 million m³ methane i.e. 510-1200 GWh energy. This would be enough for 38000-89000 cars.

In Middle Finland there are approximately 55 farms with over 50 livestock units according to granted environmental permits. Of these farms could be formed eight joint biogas reactors and three individual reactors producing over 200 MWh/a energy in the form of biomethane. Altogether these would produce 4,8 GWh energy, which would be enough for approximately 360 cars. Four reactors would be located within a reasonable distance from small population centers and might be using also e.g. biowaste or sewage sludge for biogas production: In Finland the farm scale biomethane production to traffic fuel is not profitable without gate fees from e.g. sewage sludge, bio waste or industrial biodegradable waste.

Since 2011 biomethane has been pumped to natural gas network. There are approximately 1000 CNG-vehicles and 16 gas filling stations with the possibility to fuel with biomethane. The gas network is located only in the area of Southern Finland thus it would be important for the usage of gas vehicles to have distribution points, which are not depending on the network, in other parts of Finland. The EU directive on the deployment of alternative fuels infrastructure might make this possible by obligating the member states to ensure that CNG-vehicles are able to circulate union-wide.

Keywords: Biomethane, biogas, traffic fuel, distribution network, farm scale reactor

SISÄLLYS

ESIPUHE.....	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Taustaa	7
1.2 Biometaanin liikennekäytön yleistymisen esteitä.....	10
1.3 Esimerkkejä biometaanin käytöstä muissa maissa	11
1.4 Biometaanin käytön edistäminen ja jarruttaminen Suomessa	12
1.4.1 Investointituki.....	12
1.4.2 Syöttötariffijärjestelmä.....	13
1.4.3 Liikenteen verotus.....	13
1.4.4 Maakaasuverkkoon syöttäminen.....	14
2 BIOKAASUN TUOTANTO JA KÄYTTÖ.....	16
2.1 Biokaasu	16
2.2 Metaani.....	16
2.2.1 Vetyä metaanista	17
2.2.2 Bio-SNG (synteettinen biomaakaasu)	17
2.2.3 Biometaanin käyttö ajoneuvoissa	18
2.3 Biokaasun tuotanto Suomessa	18
2.3.1 Jätevedenpuhdistamot.....	19
2.3.2 Kaatopaikat	19
2.3.3 Maatilat ja yhteismädättämöt.....	20
2.4 Biokaasun jalostus biometaaniksi.....	20
2.5 Biometaanin tankkaus.....	21
3 BIOMETAANIPOTENTIAALI.....	22
3.1 Autojen energiankulutus ja kustannusvertailu.....	22
3.2 Biometaanipotentiaali Suomessa.....	24
3.3 Maatilojen biometaanipotentiaali Suomessa	25
3.4 Biometaanipotentiaali Keski-Suomessa.....	26
4 MAAKAASUVERKOSTON KÄYTTÖ BIOMETAANIN JAKELUSSA	28
5 PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN BIOMETAANIN AVULLA	30
5.1 Polttoaineena	30
5.2 Ajoneuvoissa	31
5.3 Liikenteessä.....	32
6 BIOMETAANIN TUOTANNON KANNATTAVUUS	33

7	KYSELYTUTKIMUS BIOKAASUN KÄYTÖSTÄ.....	36
7.1	Aineisto	36
7.2	Tulokset.....	37
7.2.1	Autot	37
7.2.2	Polttoaine.....	37
7.2.3	Auton hankinta ja käyttö.....	38
7.2.4	Biokaasun hinta	38
7.2.5	Biokaasun käyttö	39
7.2.6	Biokaasun käytön esteet.....	39
8	BIOKAASUN TUOTANTO- JA JAKELUVERKON MALLINNUS	41
8.1	Biokaasun tuotannon ja jakelun verkostomalli	41
8.2	Toteutus.....	41
8.3	Tulokset.....	42
9	PÄÄTELMÄT JA KESKUSTELUA.....	47
LIITE 1	BIOKAASUAUTON TAKAISINMAKSUAIKALASKELMA	
LIITE 2	KYSELYLOMAKE KAASUKÄYTTÖISTEN AUTOJEN OMISTAJILLE/HALTIJOILLE	
LIITE 3	BIOMETAANIPOTENTIAALI KESKI-SUOMESSA	

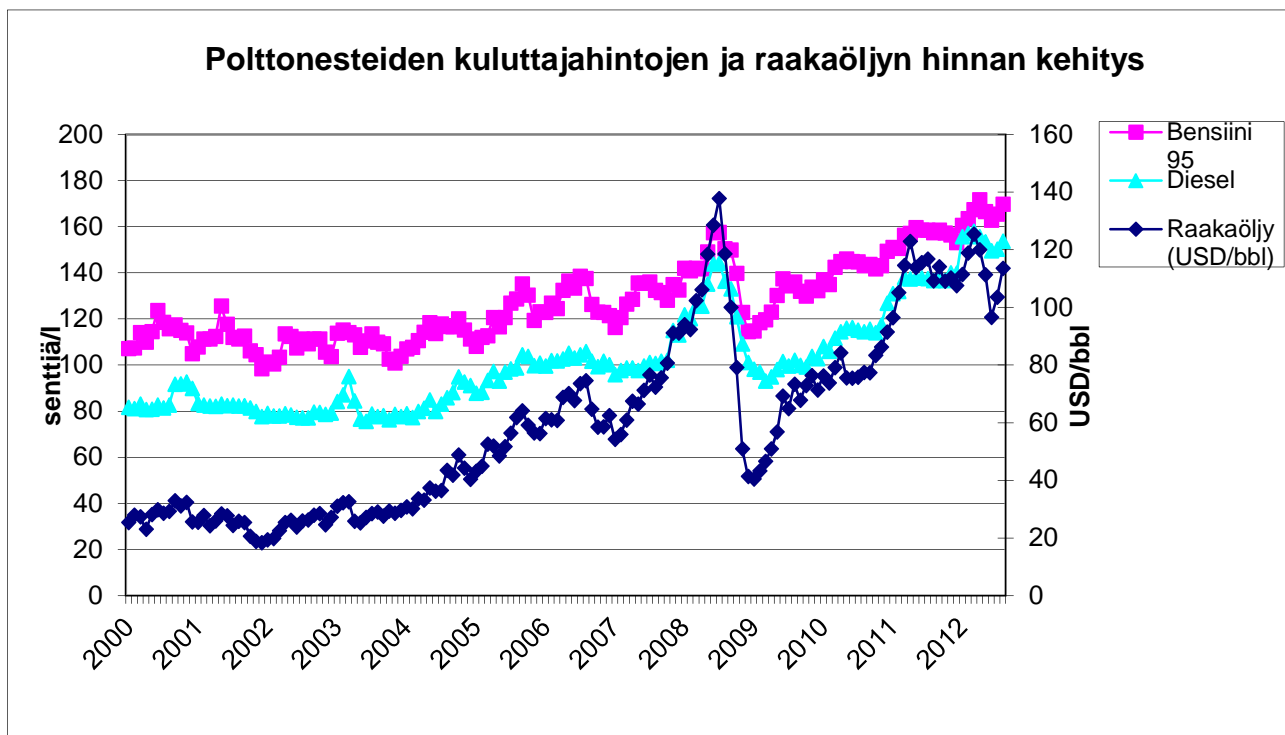
1 JOHDANTO

Tutkimuksessa perehdyttiin biometaanin käyttöön liikennepolttoaineena ja selvitettiin syitä, jotka ovat biometaanin käytön yleistymisen tiellä Suomessa. Soveltavassa osiossa tehtiin kysely kaasua polttoaineena käyttävien bifuel-autojen omistajille. Lisäksi tehtiin verkostomalli potentiaalisesta biometaanin tuotanto- ja jakeluverkosta Keski-Suomessa. Malli rajattiin koskemaan ainoastaan maatilojen nautojen ja sikojen lannasta tuotettua biokaasua.

1.1 Taustaa

Biometaani on todettu ympäristöystävällisimmäksi liikennepolttoaineeksi, jonka tuotannossa enimmäkseen hyödynnetään jätteitä. Nykyinen lainsäädäntö kuitenkin edistää biokaasun käyttöä vain sähkön tuotantoon eikä liikennekäyttöä tueta. Biometaani liikennepolttoaineena tulee siis tuottaa tällä hetkellä ilman erityisasemaa suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin ja lisäksi kilpailla sekä muiden uusiutuvien polttoaineiden että maakaasun, sähköntuotannon ja jätteenpolton kanssa. Fossiilisen öljyn tuotannon odotetaan kuitenkin kääntyvän laskuun lähivuosina, jolloin fossiilisten polttonesteiden hinta nousee ja biometaanin kilpailuasema paranee. Maakaasun hinta on puolestaan sidoksissa öljyn hintaan Suomessa, joten myös sen hinnan voidaan olettaa nousevan, etenkin kun verotus maakaasulle kiristyy. Esim. maakaasun energiasisältöverotusta kiristetään vuosina 2013 ja 2015 kolme senttiä/l_{be}: vuonna 2015 energiasisältövero on sillä 6,65 €/MWh nykyiseen 4,45 €/MWh ja aikaisempaan 3,0 €/MWh verrattuna (FINLEX 1996, 2011). Maakaasuvarantoja on kuitenkin käytettävissä huomattavasti pidemmäksi aikaa kuin öljyvarantoja ja autoilla ajatut kilometrimäärät ovat kasvussa, joten hinnan noususta huolimatta voidaan olettaa maakaasua käytettävän liikennepolttoaineena enenevässä määrin. Kasvavan kaasuautokannan myötä tämän pitäisi myös edistää biokaasun käyttöä.

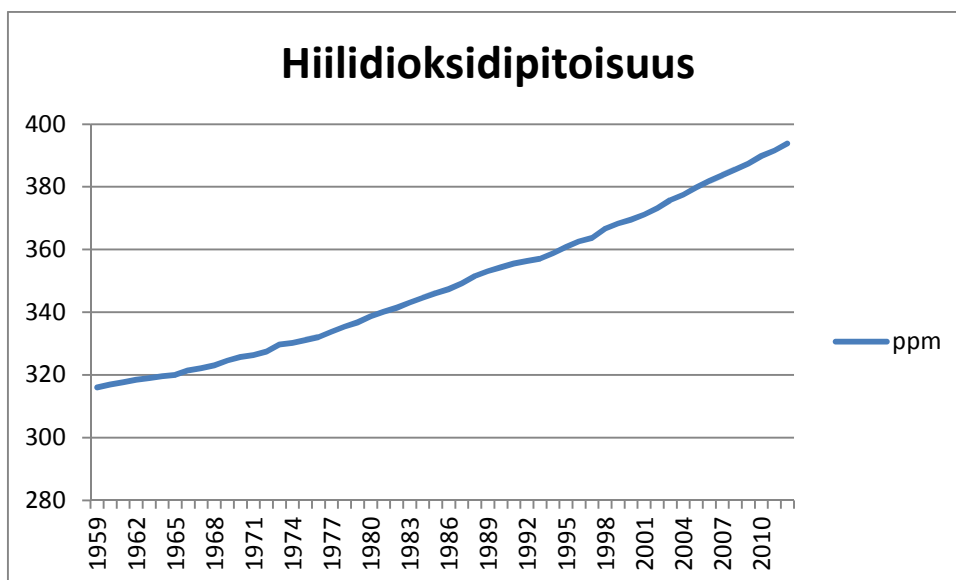
Metaanin hinta liikennepolttoaineena on huomattavasti alhaisempi kuin bensiinin tai dieselin: Elokuussa 2013 biokaasun hinta oli Gasumin asemilla n. 0,96 €/l_{be} (€/litraa bensiiniekvivalenttia) ja maakaasun 0,90 €/l_{be} (Gasum 2013a). Bensiinin hinta oli n. 1,7 €/l ja dieselin n. 20 senttiä vähemmän. Nousua bensiinin hinnassa on vuodesta 2005 yli 30 % ja dieselillä yli 50 % (kuvio 1). Tänä aikana kuluttajahintaindeksi on kuitenkin noussut vain noin 19 % (Tilastokeskus 2013b). (Tilastokeskus 2013a)



KUVIO 1 95E Bensiinin ja dieselin (senttiä/l) sekä raakaöljyn (USD/bbl) hintakehitys Suomessa (Tilastokeskus 2013a, Thomson Reuters 2013)

Vuosien 2008 ja 2012 piikit (kuvio 1) aiheutuvat paitsi raakaöljyn hintapiikistä, myös polttonesteiden verotuksen muutoksesta. Trendi on joka tapauksessa ylöspäin, fossiilisten polttonesteiden hinnat kohoavat öljyvarojen vähetessä ja hiilidioksidipäästöjen verotuksen kiristyessä.

Vaikka maakaasu on päästöiltään parempi vaihtoehto kuin bensiini tai diesel, se on kuitenkin fossiilinen polttoaine ja edistää ilmastonmuutosta. Kuvio 2 nähdään, että maapallon hiilidioksidipitoisuus on jo ylittämässä haamurajaa 0,04 % (400 ppm), mitä ei ole vielä ihmiskunnan historiassa aikaisemmin ylitetty (NOAA 2013). Maapallon keskilämpötilan nousun rajoittamiseksi alle 2 °C:een tulisi IPCC:n 4. raportin mukaan kasvihuonekaasupäästöt vähentää puoleen vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä (IPCC 2007). EU:n tavoite on vähentää päästöjä 80-95 % 1990 tasoon verrattuna vuoteen 2050 mennessä (EU 2013c). EU15:n päästöt olivat n. 4,2 Gt CO_{2eq} vuonna 1990 (EU 2013d).



KUVIO 2 Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kehitys 1959-2012 mitattuna Mauna Loalla (NOAA 2013)

Suomessa ilmastonmuutosta yritetään hillitä liikenteen osalta ilmastopoliittisen ohjelman mukaan leikkaamalla kasvihuonekaasupäästöjä 15 % vuoteen 2020 mennessä vuoden 2005 tasoon (11,4 milj. tonnia) verrattuna eli liikenteen päästöjen tulisi olla tuolloin alle 10 miljoonaa tonnia. Ilman mitään toimenpiteitä päästöjen on arvioitu olevan tuolloin 14,2 milj. t/a. Päästövähennyksestä $\frac{1}{4}$ tulisi kattaa fossiilisten polttoaineiden korvaamisella uusiutuvilla polttoaineilla. Biodieselin käyttöönotto ja etanolin lisäys 95 oktaanisen bensiinin joukkoon vähentävät päästöjä välillä tankista renkasiin, mutta koko elinkaaren ajalta (LC) lasketut päästövähennykset ovat kyseenalaisia etenkin palmuöljystä tuotetun biodieselin ja vehnästä tuotetun etanolin osalta (EU 2009a). Kasvavan liikennesuoritteen vuoksi tarvitaan myös muita toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi. Toimenpiteiksi on nimetty esim. henkilöautokannan uusiminen, energiatehokkuuden parantaminen ja joukkoliikenteen suosiminen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010)

Liikenteen osuus kaikista kasvihuonekaasupäästöistä (74,6 milj. tonnia ($\text{CO}_{2\text{eq}}$ vuonna 2010) Suomessa on nykyään n. 18 % (13,6 milj. tonnia $\text{CO}_{2\text{eq}}$), mistä henkilöautoliikenteen n. 60 % (vajaa 8 milj. tonnia $\text{CO}_{2\text{eq}}$). Päästömäärien kehitys riippuu paljolti taloustilanteesta, esim. vuonna 2009 päästövähennämä oli pienempi kuin vuonna 2008, vaikka bio-osuus nousi 2 %:sta 4 %:iin, johtuen n. 1 %:lla kasvaneesta liikennesuoritteesta. Taantuman taituttua vuonna 2010 liikenteen päästöt kasvoivat edellisvuodesta edelleen n. 5 %. (Tilastokeskus 2013c, Liikenne- ja viestintäministeriö 2010)

Keski-Suomessa on ympäristöohjelmassa vuoteen 2015 mennessä asetettu tavoitteeksi lisätä biometaanin käyttöä liikennepolttoaineena 25 GWh:iin eli n. 1900 auton käyttöön (Keski-Suomen ELY-keskus 2010). Taulukossa 1 on esitetty tilanne vuonna 2011 biokaasun hyödyntämisen osalta Keski-Suomessa.

Primäärienergiaa tuotettiin n. 33 GWh, josta hyödynnettiin sähköinä, lämpönä tai mekaanisena energiana n. 26 GWh.

TAULUKKO 1 Biokaasun tuotanto Keski-Suomessa 2011 (Huttunen & Kuittinen 2012)

Reaktori	Tuotanto 1000 m ³	Hyödynnetty 1000 m ³	Tuotettu energia MWh	CH ₄ - pitoisuus %
Jyväskylä, Nenäinniemi	2281	2026	11100	64
Jyväskylä, Mustankorkea	3230	3030	14580	54
Kalmari, Laukaa *)	150	150	780	63

*) Tiedot vuodelta 2009, liikennekäyttöön tuotettu arviolta 670 MWh.

Liikennekäytön 25 GWh:n tavoitetta 2015 ei näytettäisi oltavan saavuttamassa, kun vuonna 2013 ollaan tuottamassa biometaanin liikennekäyttöön vasta kahdessa laitoksessa: Kalmarin tila Laukaassa pystyisi tuottamaan biometaanin 200 autolle ja Joutsaan on rakenteilla 2,3 GWh/a tuottava biokaasulaitos 150-200 autolle (Kohtanen 2012). Jämsään jo 2009 ympäristöluvan saanut 100 GWh:n laitos olisi ollut potentiaalinen liikennebiokaasun tuottaja, mutta se ei ole edennyt toteutukseen (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013)

1.2 Biometaanin liikennekäytön yleistymisen esteitä

Biometaanin käytön yleistymisen tiellä olevia syitä eri näkökulmista tarkasteltaessa voidaan löytää esim.

- kustannus- ja kannattavuussyitä
 - tuotannon kannattamattomuus,
 - fossiilisten polttoaineiden edullisuus,
 - liikennepolttoainekäytön kilpailu tuetun sähköntuotannon kanssa
- rakenteellisia syitä
 - jakeluverkoston puuttuminen,
 - kaasua polttoaineena käyttävien ajoneuvojen vähäisyys kansallisilla markkinoilla,
- maantieteellisiä, historiallisia ja yhteiskunnallisia syitä
 - pienet tilakoot
 - Suomi on suurimmaksi osaksi harvaan asuttu maa, johon ei ole kannattavaa rakentaa kattavaa kaasuputkistoa,
 - fossiilisten polttoaineiden verotuksen kiristäminen vaikeaa naapurimaiden erilaisen verotuskäytännön ja yhteisten markkinoiden vuoksi.

Toimenpiteet, jotka voisivat edesauttaa biometaanin käyttöä, olisivat useimmiten poliittisia ja vaatisivat lainsäädännön muuttamista:

- Tuki tuotantoinvestoinneille, jakeluverkostolle ja polttoaineelle,
- veroetu hiilidioksidineutraaleille polttoaineille, erityisesti biometaanille suhteessa maakaasuun, ja elinkaaren aikaisten päästöjen ottaminen huomioon verotuksessa,
- alempi autovero ympäristöystävällisille autoille ja ja niiden käytölle, esim. biometaanikäytössä oleville bifuel-autoille,
- maakaasuverkkoon velvoite ottaa biometaania.

Suomessa biometaanin käyttöä aikaisemmin tehokkaasti estänyt autoverotuksen vääristymä eli moninkertainen dieselvero on poistettu vuonna 2004 (FINLEX 1994, FINLEX 2003a). Silti biometaania ei edelleenkään juuri käytetä liikenteessä. Biokaasun tuotanto on kuitenkin moninkertaistunut muutamassa vuodessa, mutta sitä käytetään edelleen lähinnä lämmön ja sähkön tuotantoon (Huttunen & Kuittinen 2012). Biometaanin tuotantoa ei investointitukea lukuun ottamatta tueta: Vuoden 2011 alussa voimaan tullutta sähkönsyöttötariffia vastaavaa tukea liikennekäyttöön tuotetulle biometaanille ei ole (FINLEX 2010b). Myöskään käyttöä ei liikenteessä edistetä: autovero perustuu bifuel-autoilla bensiiniin ja käyttövoimaveron otettu jälleen käyttöön kaasuautoille ml. biokaasuautot (FINLEX 2009, 2010c).

1.3 Esimerkkejä biometaanin käytöstä muissa maissa

Naapurimaassamme Ruotsissa on edistyksellisesti otettu biometaanin käyttöön jo 1990-luvun alkupuolella. Siellä puolet tuotetusta biokaasusta, vuonna 2011 n. 700 GWh, puhdistetaan liikennekäyttöön (Statens energimyndighet 2012). Kaasukäyttöisiä ajoneuvoja on n. 44000. Vuodesta 2006 lähtien on siellä käytetty liikenteessä biometaania enemmän kuin maakaasua. Biokaasun tankkausasemia on n. 200, joista n. 140 julkisia. (Gasbilen 2013, Observ´ER 2012)

Ruotsissa biokaasun käyttöä on edistetty julkishallinnon toimesta: Biokaasu on hiilidioksidineutraalina polttoaineena ollut verotonta vuodesta 2004 lähtien, 2012 veroetu maakaasuun verrattuna oli 0,15 SEK/kWh (n. 0,02 €/kWh) ja bensiiniin 0,62 SEK/kWh (n. 0,07 €/kWh) (Boisen 2012, Matthiasson 2012). Biokaasuautot kuten muutkin ekoautot on myös vapautettu ajoneuvoverosta ensimmäisten viiden vuoden ajan (Lampinen 2012). Myös useat kaupungit ovat myöntäneet vapautuksen paikoitusmaksuista ympäristöystävällisille autoille (NGVA 2012).

Saksassa, joka on suurin biokaasun tuottaja Euroopassa, on n. 7000 reaktorilaitosta, vuonna 2010 primäärienergiaa siellä tuotettiin 78 TWh. Laitoksissa ei juurikaan tuoteta biometaania liikennepolttoaineeksi, sähköä sen sijaan peräti 16 TWh vuonna 2010. Biometaanitankkausasemiakin on vain 16. Maakaasua käyttäviä ajoneuvoja on Saksassa kuitenkin n. 90000 ja tankkausasemia 900. Maatalouden biokaasulaitoksia Saksassa on jo kauan ollut paljon, vuonna 2010 niitä oli n. 5000 kpl (Weiland 2010). Maatilakohtaista

biokaasusähköntuotantoa on siellä edistänyt syöttötariffi, joka tukee pienimuotoista tuotantoa. Perustariffi on laitoksen koosta riippuen 5,9-14,0 senttiä/kWh, mutta pienille ($\leq 75 \text{ kW}_e$) karjanlantaa käyttäville laitoksille 24,5 senttiä/kWh (FNR 2012). (GERBIO 2011, Observ'ER 2011)

Sveitsissä on aloitettu biometaanin syöttö maakaasuverkostoon jo 1990-luvun puolivälissä. Tämä on paljolti kaasuyhtiöiden ansiota, jotka ovat edistäneet biometaanin mukaantuloa maakaasuverkkoon. Siellä jo vuonna 2005 oli seitsemän biokaasun puhdistuslaitosta ja 60 tankkausasemaa (Wellinger 2005). 1990-luvun lopussa biokaasun osuus oli yli puolet verkoston kaasusta, mutta osuus on pienentynyt sittemmin n. 20 %:iin (Erdgas 2012). Kaasuyhtiöiden kasvihuonekaasustrategian mukaan vähintään 10 % liikennekaasusta tulee olla biokaasua. Vuodesta 2011 lähtien Sveitsin kaasuyhtiöt ovatkin keränneet rahaa erityiseen biokaasurahastoon. Tarkoituksena on kuusinkertaistaa biokaasun määrä maakaasuverkostossa 300 GWh:iin kuudessa vuodessa. Vuonna 2011 verkostoon syötetty määrä oli 90 GWh, josta liikennepolttoaineena käytettiin 42 GWh (Erdgas 2012). (Erdgas 2013)

Lainsäädäntö tuli Sveitsissä mukaan tukemaan biokaasun käyttöä liikennepolttoaineena 2008, kun biometaanilta poistettiin mineraaliöljyvero kokonaan ja maakaasun verotusta laskettiin. Toisaalta seuraavana vuonna otettiin käyttöön sähkönsyöttötariffi, joka on lisännyt reaktorilaitosten lukumäärää, mutta ei liikennebiokaasun tuotantoa. Suuruudeltaan perustariffi on 14-23 senttiä/kWh laitoksen koosta riippuen (Bachmann 2012). (Erdgas 2013)

1.4 Biometaanin käytön edistäminen ja jarruttaminen Suomessa

Toistaiseksi biokaasun ei voida sanoa olevan kilpailukykyinen liikennekäytössä muiden polttoaineiden kanssa ilman porttimaksuja tai tuotantotukia. Vuonna 2011 muodostettu hallitus on kuitenkin kirjannut ohjelmaansa biokaasun liikennekäytön edistämisen, joten muutoksia tilanteeseen on odotettavissa (VN 2011).

1.4.1 Investointituki

Suomessa uusiutuvan energian tuotantohankkeille on mahdollista saada teknologiasta riippuen jopa 30 - 40 % harkinnanvaraista investointitukea (valtionavustuslaki 688/2001, rakennerahastolaki 1401/2006, asetus 1063/2012). Tällöin tosin energiaa ei saa käyttää itse vaan kaikki täytyy myydä ulkopuolelle. Myös maaseudun kehittämiseen myönnettävien tukien lain (29.12.2006/1443, asetus 1.6.2007/632) perusteella on mahdollista saada tukea maksimissaan 35 % ja yritystukilain (pk-yritykset) perusteella investointitukea 10...40 % (11.7.1997/786). Tuen suuruus riippuu sijainnista sekä investoinnin luonteesta ja merkittävydestä. (FINLEX 2007a, 2012).

1.4.2 Syöttötariffijärjestelmä

Vuoden 2011 alussa voimaantullut syöttötariffijärjestelmä edistää biokaasusähkön tuotantoa mutta ei käyttöä liikennepolttoaineena. Joskin järjestelmään hyväksytyjen biokaasulaitosten maksimikapasiteetti generaattoreiden nimellistehojen mukaan on 19 MVA, mikä tulee täytettyä, jos pari suunnitteilla olevaa suurta metsäteollisuuden biojalostamohanketta toteutuu ja liittyy järjestelmään. Yksittäisten laitosten generaattoreiden yhteenlasketun nimellistehon on oltava vähintään 100 kVA, eli pienimmät esim. yksittäisten maatilojen laitokset rajautuvat täten tariffijärjestelmän ulkopuolelle, vaikka suurtuotantolaitoksia ei perustettaisikaan tai liitettäisi järjestelmään. Lisäksi järjestelmään pääsevät vain uudet laitokset ja edellytyksenä on myös, ettei laitos ole saanut muuta tukea valtiolta. Syöttötariffijärjestelmään kuulumattomille biokaasusähkötuottajille on kuitenkin olemassa 4,2 €/MWh tuotantotuki. Vastaavaa tukea ei ole liikennepolttoainetuotannolle. (FINLEX 2010b)

Syöttötariffijärjestelmässä tukea maksetaan ainakin aluksi tavoitehinnan 83,50 €/MWh ja kolmen kuukauden keskiarvoistetun markkinahinnan erotuksen verran. Vuonna 2012 Nordpool-sähköpörssin viikottaiset hinnat vaihtelivat n. 8...68 €/MWh (alv 0 %) välillä (Nord Pool Spot 2013). Kolmen kuukauden keskiarvoistetuiksi hinnoiksi voidaan luvuista arvioida n. 31...43 €/MWh eli tukea olisi tuolloin voinut saada n. 41...52 €/MWh. Tuotettaessa samalla lämpöä on oikeutettu ns. lämpöpreemioon 50 €/MWh, jos hyötysuhde ylittää 50 % alle 1 MVA:n generaattoreilla tai 75 % 1 MVA:n nimellisteho suuremmilla generaattoreilla. Biokaasusähkön tuotannon hyötysuhde on n. 25-40 % pelkkää sähköä tuotettaessa (Latvala 2009). CHP-tuotannossa tyypillisesti sähkön osuus on n. 35 % ja lämmön n. 50 %. Tuotettaessa liikennepolttoainetta häviö olisi vain parin prosentin luokkaa. (FINLEX 2010b, Motiva 2013a)

1.4.3 Liikenteen verotus

Liikenteeseen kohdistuva verotus koostuu Suomessa

- autoverosta (laki 1482/1994),
- ajoneuvoverosta (laki 1281/2003) ja
- polttoaineverosta (laki 1472/1994).

Polttoaineesta verotetaan lisäksi lisävero, huoltovarmuusmaksu ja arvonlisävero. Biokaasu on vapautettu valmisteverosta eli polttoaineverosta, lisäverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Ajoneuvovero koostuu perusverosta ja käyttövoimaverosta, joka aiemmin tunnettiin nimellä "dieselvero". Biokaasua käyttävien autojen 20-kertainen dieselvero poistui vuonna 2004, mutta 2013 käyttövoimaveron laajennettiin jälleen käsittämään myös sähkö- ja kaasukäyttöiset ajoneuvot (ajoneuvoverolaki 30.12.2003/1281, 1401/2010). Vero on metaanikäyttöiselle autolle 3,1 senttiä päivää ja alkavaa 100 kg kohden huolimatta siitä käytetäänkö biokaasua vai maakaasua. Vero on alempi kuin dieselin 5,5 senttiä mutta korkeampi kuin sähkökäyttöisen 1,5 senttiä tai

bensiinihybridiauton 0,5 senttiä. Käyttövoimaveromuutosta aiemmin, vuonna 2008, ajoneuvoveron perusvero muutettiin hiilidioksidipäästö pohjaiseksi (1311/2007). Kuitenkin bifuel-autojen perusvero määräytyy kuin niillä ajettaisiin koko ajan käyttäen bensiiniä. Kokonaan kaasuautoiksi määräytyvien autojen verotusperustana on maakaasu, biokaasua ei lainsäädännössä ole huomioitu. Sama koskee autoveroa (laki 1482/1994), joka myös muutettiin CO₂-perusteiseksi 2010 (5/2009). (FINLEX 2003a, 2003b, 2007b, 2009, 2010c)

1.4.4 Maakaasuverkkoon syöttäminen

Maakaasun kokonaiskulutus oli vuonna 2011 Suomessa 44 TWh eli n. 10 % energian kokonaiskulutuksesta. Tästä liikennepolttoaineena käytettiin 0.1 % eli 6 miljoonaa m³, mikä energiana vastaa n. 60 GWh. (Suomen kaasuyhdistys 2011)

Maakaasu tulee Suomeen Venäjältä yhden putken varassa. Biokaasun syöttöä maakaasuverkkoon tukee se, että maakaasun tuonnin häiriytyessä ei käytettävissä ole laajamittaista varajärjestelmää. Biometaanin tuotanto ja maakaasun tuonti voivat siis toimia toistensa tukena.

Suomessa ei ole velvoitetta ottaa biokaasua maakaasuverkkoon. Maakaasumarkkinadirektiivin (2003/55/EY) ja sen 2009 korvanneen direktiivin maakaasun sisämarkkinoista (2009/73/EY) mukaan kolmansille osapuolille on taattava pääsy kaasun siirto- ja jakeluverkkoon määriteltyjen tariffien avulla (EU 2003b, 2009c). Suomessa ei direktiiviä ole kuitenkaan vielä pantu täytäntöön. Maakaasun siirtovelvollisuus on maakaasumarkkinalain (2. luku, 3 §) mukaan vain vähintään 5 milj. m³:n vuotuiselle kulutukselle (FINLEX 2000b). Biokaasua on tästä huolimatta alettu syöttää maakaasuverkkoon yhteistyössä verkostovastaavan eli Gasumin kanssa.

Siirrettävälle biokaasulle ei ole määritelty myöskään omaa laatustandardia, vaan siihen sovelletaan maakaasun laatuvaatimuksia. Suomessa myytävä maakaasu sisältää noin 98 % metaania, loput 2 % ovat lähinnä etaania ja typpeä (Suomen kaasuyhdistys 2010). Hiilidioksidipitoisuus saisi olla maksimissaan 1,5 mol-%, mihin on vaikea päästä tavanomaisilla biokaasun puhdistusmenetelmillä. Biokaasua syötetään tyypillisesti kuitenkin suoraan jakeluverkkoon, jolloin hiilidioksidipitoisuus saisi olla suurempikin kuin korkeapaineiseen siirtoverkkoon syötettäessä. (Lampinen 2008, Pulsa 2008)

Pääkaupunkiseudun selvityksissä on todettu biometaanin käyttäminen lähiliikenteen busseissa merkittäväksi keinoksi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä (Rasi ym. 2012). Siirtyminen osin biometaanin käyttöön busseissa alkoikin 2012, kun Suomenojan jätevedenpuhdistamon biokaasua käyttävä sähkögeneraattori tuli tiensä päähän. Uutta generaattoria ei hankittu, koska puhdistamo tulee lopettamaan toimintansa lähivuosina. Sen sijaan laitokselle rakennettiin tilapäinen puhdistuslaitteisto, josta kaasun syötetään maakaasuverkkoon. Verkkoon syötetyllä biokaasulla 20 GWh vuodessa pitäisi liikenteessä n. 50 bussia. (Mättö 2011)

Vuotta aiemmin, niin ikään yhteisinvestointina Gasumin kanssa, aloitettiin biometaanin pumppaus maakaasuverkostoon Kouvolassa. Biometaanikapasiteettia on n. 14 GWh/a eli n. 1000 henkilöauton kulutukselle (20000 km vuodessa, 7,5 l_{be}/100 km kulutus, missä l_{be} tarkoittaa litraa bensiniequivivalenttia). Gasumin biokaasun myynti oli kuitenkin vain 1/3 tästä eli n. 4,5 GWh vuonna 2012 (Gasum 2012b, Gasum 2013b).

Vireillä olevia hankkeita Gasumilla on yhteistyössä Kujalan kompostin kanssa 50 GWh:n laitos Lahteen, jonka on määrä valmistua 2014. Selvityksen alla on myös 200 MW:n (1600 GWh) biojalostamo Kymenlaaksoon. Muita hankkeita ovat biokaasulaitokset Nastolaan (50 GWh) ja Hyvinkäälle, joista kaasua voitaisiin syöttää kaasuverkostoon (Gasum 2013b)

2 BIOKAASUN TUOTANTO JA KÄYTTÖ

2.1 Biokaasu

Biokaasua muodostuu orgaanisen aineksen hajotessa anaerobisissa olosuhteissa esim. kaatopaikoilla, jätevedenpuhdistuslaitoksilla tai soilla. Biokaasussa on tyypillisesti 40 - 70 % metaania (CH₄) ja 30 - 60 % hiilidioksidia (CO₂). Lisäksi se saattaa sisältää vettä, typpeä, rikkivetyä (H₂S) ja muita epäpuhtauksia, esim. siloksaaneja, mädätysprosessin raaka-aineista riippuen. (Persson, Jönsson & Wellinger 2006)

Biokaasu on bioperäinen uusiutuva ja puhdas energianlähde, jota tuotetaan yleensä jätteestä: jätevesien lietteistä, kaatopaikkojen mädäntyvistä jätteistä, erilliskerätystä biojätteestä tai karjanlannasta. Kaasun palaessa ei synny juurikaan hiukkaspäästöjä ja uusiutuvana energianlähteenä se on hiilidioksidineutraali. Biometaaniksi (CBG, compressed biogas) kutsutaan biokaasusta maakaasun (CNG, compressed natural gas) veroiseksi jalostettua metaania, jota voidaan käyttää liikennepolttoaineena kuten maakaasua.

2.2 Metaani

Metaani on vähäpäästöisin nykyteknologialla kohtuullisin kustannuksin tuotettavissa oleva liikennepolttoaine. Yhden metaanikuution (NTP) tehollinen lämpöarvo (LHV) vastaa noin 1,1 litraa bensiiniä (taulukko 2). Kaasuverkostossa ja -säiliössä paine on korkeampi, jolloin kaasun energiatiheys on suurempi kuin normaalitilassa. Bensiinin energiasisältö kiloa kohti on pienemmän vetypitoisuuden vuoksi alhaisempi kuin metaanin:

TAULUKKO 2 Metaanin ja bensiinin tehollisten lämpöarvojen vertailu (Suomen kaasuyhdistys 2010)

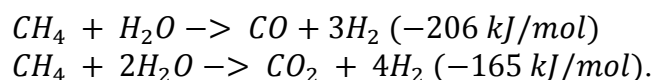
	Tilavuudessa *)		Painoyksikköä kohti	
	kWh/m ³	MJ/m ³	kWh/kg	MJ/kg
CH ₄	10	36	13,9	50
Bensiini	8900	32000	11,7	42

*) metaanilla arvo normaalitilassa NTP, 0 °C, 101,3 kPa, 16,4 g/mol, 0,72 kg/m³ bensiinillä tiheydessä 750 kg/m³

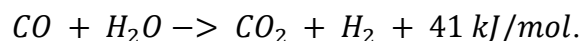
Metaanin hinta liikennepolttoaineena ilmoitetaan usein sekä kiloja kohti että bensiiniekvivalenttina: Käytetty kerroin kilohinnoista bensiiniekvivalenteiksi on direktiivin 2009/33/EY ja Suomen energiaverotuksen (HE 147/2010) mukaisten energiasisältöjen mukaan 32/50 = 0,64 (EU 2009b, FINLEX 2010d, Gasum 2013a).

2.2.1 Vetyä metaanista

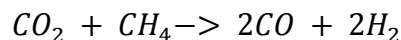
Metaanista voidaan myös erottaa vetyä polttokennojen polttoaineeksi, esim. protoninvaihtokalvopolttokennoon (PEMFC), tai käyttää korkean lämpötilan polttokennossa, esim. kiinteäoksidipolttokennossa (SOFC), sellaisenaan. Vedyn erotus ennen polttokennoon syöttöä tapahtuu tavallisesti höyryreformoinnin avulla, joka on tällä hetkellä kustannustehokkain vedyn tuotantomenetelmä, joskaan ei ympäristöystävällisin, koska höyryn tuottamiseen (nikkelikatalyytin avulla 500 - 800 °C:ssa) kuluu energiaa ja syntyy hiilidioksidipäästöjä. Metaanin höyryreformoinnin (SMR) vesikaasureaktiot, joissa metaani reagoi veden kanssa, ovat:



Edelleen vetyä saadaan alhaisemmassa lämpötilassa, kun hiilimonoksidi eli häikä reagoi veden kanssa shift-reaktiossa, kokonaisreaktion ollessa



Muita reformointitapoja ovat osittaishapetus ja autoterminen reformointi. Myös kuivareformointia (DR)



tutkitaan paljon, koska siinä katalyysaattorin avulla voitaisiin käyttää kasvihuonekaasuja synteetikaasun valmistamiseen esim. nestemäisten polttoaineiden tuottamiseksi Fischer-Tropsch-synteetissä (FT-synteesi). (Aho & Kolhe 2004)

2.2.2 Bio-SNG (synteettinen biomaakaasu)

Bio-SNG:ksi kutsutaan yleensä termisen kaasutuksen ja synteetikaasun kautta maakaasun veroiseksi tuotettua biometaania. Raaka-aineena käytetään puuta tai kasvimassaa. Samaista synteetikaasua voidaan myös käyttää nestemäisten polttoaineiden, esim. Fischer-Tropsch -dieselin, tuottamisessa. Saksalaisen tutkimuksen mukaan esim. hirssiä raaka-aineena käyttäen bio-SNG:n elinkaaren aikaiset (LC) hiilidioksidipäästöt ovat n. 50 % pienemmät kuin samasta raaka-aineesta mädättämällä tuotetun biometaanin (KWS 2008). Toisaalta myös tarvittava hehtaarimäärä on tällöin suurempi. Puuperäistä bio-SNG:tä ja toisen sukupolven Fischer-Tropsch -biodieseliä verrattaessa on bio-SNG:n tuottaminen noin 50 % edullisempaa ja hehtaaria kohti sen hiilidioksidiekvivalenttipäästövähennys on n. 50 % suurempi, vaikka elinkaaren aikaiset CO_{2(eq)}-päästöt ovatkin hieman suuremmat (Brauer, Vogel & Müller-Langer 2008).

2.2.3 Biometaanin käyttö ajoneuvoissa

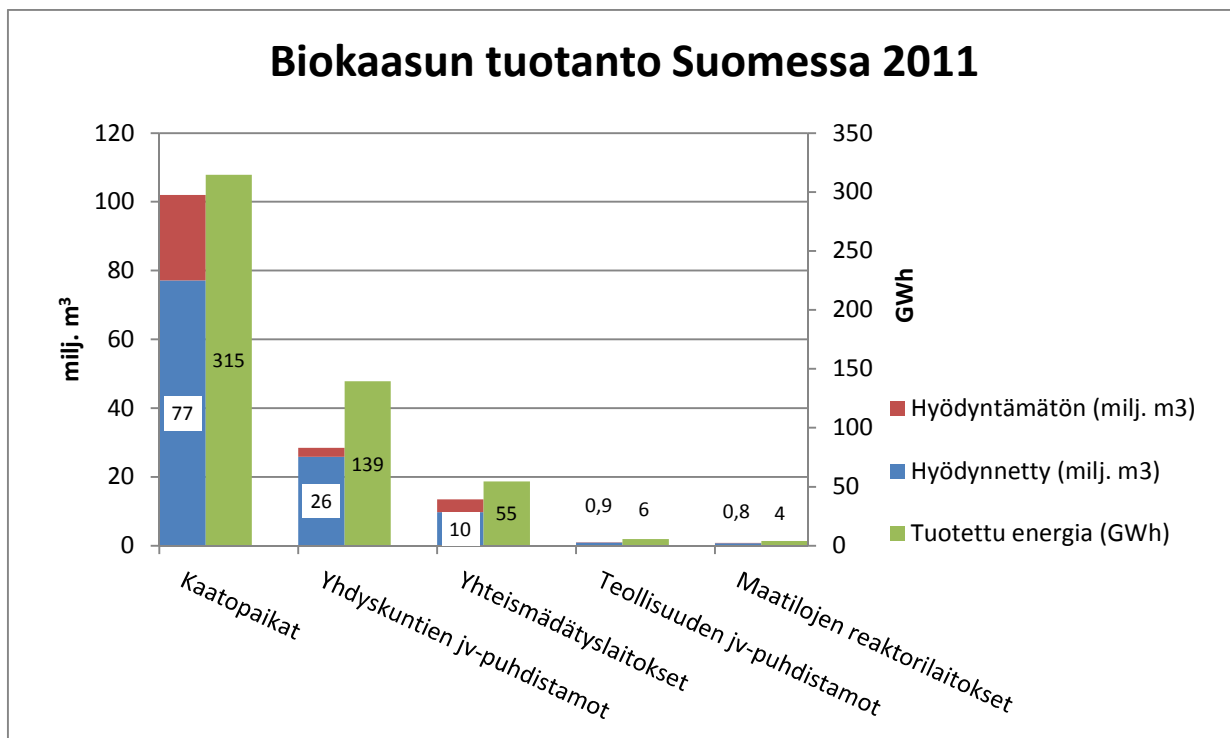
Auton polttoainesäiliössä metaani on 200 - 250 bar paineessa, jolloin sen energiatiheys on n. $\frac{1}{4}$ bensiinin vastaavasta. Yleensä yhdellä metaanitankkauksella ajaa huomattavasti lyhemmän matkan kuin vastaavalla bensiinitankkauksella, koska säiliö ei ole kuitenkaan vetoisuudeltaan vastaavasti suurempi. Korkea paine asettaa myös säiliön lujuudelle vaatimuksia, joiden vuoksi säiliö on isompi ja painavampi kuin bensiinisäiliö. Toisaalta moottorille asetetut vaatimukset ovat vähäisemmät kuin dieselmoottorille. Ottomoottorin polttoaineeksi metaani käy suoraan, koska esim. Suomeen tuodun maakaasun, jonka metaanipitoisuus on 98 %, oktaaniluku on 130, kun vastaava bensiinillä on 95 tai 98 (Gasum 2013d). Tavalliseen dieselmoottoriin metaani ei sellaisenaan sovellu puristuskestävyytensä vuoksi. Hiilidioksidia sisältävän biokaasun oktaaniluku on n. 140, joten sitä käytettäessä puristussuhdetta voitaisiin nostaa ja siten parantaa hyötysuhdetta edelleen (Lampinen 2009). Tällöin ei moottorissa kuitenkaan voitaisi käyttää enää bensiiniä kuten bifuel-autoissa.

Biometaania voidaan myös nesteyttää -165 °C:ssa kuten maakaasua LNG:ksi (liquefied natural gas). Tällöin luonnollisesti kuluu enemmän energiaa kuin pelkässä paineistuksessa, mutta tilavuus pienenee huomattavasti. LNG:tä käytetään rekoissa ja laivoissa, joten vastaavan nesteytetyn biometaanin (LBG) tuotanto on kuitenkin perusteltua alhaisemmasta kokonaishyötysuhteesta huolimatta. Raskaassa liikenteessä on myös dual-fuel -tekniikalla varustettuja ajoneuvoja, joissa käytetään yhtä aikaa sekä CNG:tä että dieseliä mutta jotka voivat kulkea myös pelkällä dieselillä.

Henkilöautoista biometaania käytetään yleensä ns. bifuel-autoissa, koska metaania ei ole kaikkialla saatavilla. Pelkästään kaasua (dedicated) käytetään lähinnä jakeluautoissa ja paikallisliikenteen linja-autoissa. Bifuel-autoissa on erilliset polttoainesäiliöt ja jakelujärjestelmä bensiinille ja metaanille. Bensiiniä käytetään käynnistyksessä, minkä jälkeen siirrytään automaattisesti kaasukäyttöön. Ajon aikana kuski voi itse päättää käytettävästä polttoaineesta.

2.3 Biokaasun tuotanto Suomessa

Suomessa tuotettiin biokaasurekisterin mukaan vuonna 2011 biokaasua n. 146 milj. m³, josta saatiin 367 GWh lämpöä ja 151 GWh sähköä. Soihutupoltossa paloi energiaa 138 GWh. Hyödyntämisaste oli näin ollen 79 %. Suurin osa biokaasusta tuotettiin kaatopaikoilla (kuvio 3). (Huttunen & Kuittinen 2012)



KUVIO 3 Biokaasun tuotanto Suomessa 2011 (Huttunen & Kuittinen 2012)

2.3.1 Jätevedenpuhdistamot

Jätevedenpuhdistamoja oli vuonna 2005 asukasvastineluvultaan (AVL) kokoluokassa yli 10000 AVL 94 kappaletta (Santala, Etelämäki & Santala 2009). AVL tarkoittaa yhden henkilön keskimääräistä jätevesikuormitusta vuorokaudessa. Puhdistamoista 21 oli yli 100 000 AVL:n laitoksia (Nurminen 2006). Vuonna 2011 yhdyskuntien jätevedenpuhdistuslaitoksista 15:llä tuotettiin biokaasua yhteensä n. 28 milj. m³, josta hyödynnettiin n. 26 milj. m³. Energiaa näistä saatiin n. 139 GWh (n. 99 GWh lämpöä ja 41 GWh sähköä) (Huttunen & Kuittinen 2012).

2.3.2 Kaatopaikat

Kaatopaikoilla syntyy huomattavasti enemmän biokaasua kuin jätevedenpuhdistamoilla. Metaani on noin 23 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Siksi sen kerääminen ja ainakin polttaminen hiilidioksidiksi on tärkeää. Vuonna 2011 Suomen kaikista metaanipäästöistä, joita oli 4,3 milj. tonnia CO_{2eq}, noin 41 % oli peräisin kaatopaikoilta ja 44 % maataloudesta (Tilastokeskus 2012g). EU direktiivi velvoittaa keräämään biokaasua kaikilta kaatopaikoilta, joihin toimitetaan biohajoavaa jätettä (EU 1999). Suomessa on kaatopaikkakaasua pitänyt kerätä kaikilla kaatopaikoilla vuodesta 2002 lähtien (FINLEX 1997). EU:n tiukentuneiden ympäristönsuojeluvaatimusten myötä vanhoja kaatopaikkoja on jouduttu viime vuosina sulkemaan, jäljellä on noin 50 yhdyskuntajätteen

kaatopaikkaa, kun niitä 90-luvun lopussa oli toiminnassa vielä 270. Lisäksi kaatopaikoille toimitettavan biohajoavan jätteen määrää on pitänyt vähentää vuonna 1994 tuotetusta tasosta puoleen vuoteen 2009 mennessä ja pitää vähentää edelleen 35 %:iin vuoteen 2016 mennessä (EU 1999). Kaatopaikoilta kuitenkin muodostuu biokaasua vuosikymmeniä, eikä kaikkea ole nykytekniikalla taloudellisesti mahdollista ottaa talteen. Biokaasua on arvioitu muodostuvan kaatopaikoilla n. 200 milj. m³ vuodessa. Kaasua kerättiin vuonna 2011 39 kaatopaikalla yhteensä 102 milj. m³, josta 77 milj. m³ hyödynnettiin sähkön (96 GWh) tai lämmön (219 GWh) tuotannossa. Kaatopaikkojen biokaasussa on vähemmän metaania ja se sisältää enemmän tyypeä sekä epäpuhtauksia kuin esim. jätevedenpuhdistamojen biokaasu, joten sen puhdistaminen liikennepolttoaineeksi on vaikeampaa. (Huttunen & Kuittinen 2012).

2.3.3 Maatilat ja yhteismädättämöt

Vuonna 2006 Suomessa oli kuusi maatilakokoluokan biokaasureaktoria. Reaktoreissa tuotettiin 0,25 milj. m³ biokaasua, energiana 1,3 GWh (0,16 GWh sähköä ja 1,18 GWh lämpöä). Viisi vuotta myöhemmin, vuonna 2011 tuotettiin kahdeksassa laitoksessa noin kolminkertainen määrä: 0,77 milj. m³, josta saatiin energiaa 4,0 GWh (0,8 GWh sähköä, 3,1 GWh lämpöä ja 0,05 GWh mekaanista energiaa). Suunnitteilla tai rakenteilla oli lisäksi 14 laitosta. (, Kuittinen, Huttunen & Leinonen 2007, Huttunen & Kuittinen 2012).

Yhteismädättämiä oli vuonna 2011 kahdeksan, kaksi enemmän kuin viisi vuotta aiemmin. Nämä tuottivat 9,7 milj. m³ biokaasua, energiana n. 55 GWh, josta saatiin 14 GWh sähköä ja 41 GWh lämpöä. Niissä käytettiin lietelantaa tai jätevedenpuhdistamon lietettä pääkomponenttina sekä lisäksi erilaisia biojätteitä teollisuudesta tai kotitalouksista. (Kuittinen, Huttunen & Leinonen 2007, Huttunen & Kuittinen 2012).

2.4 Biokaasun jalostus biometaaniksi

Jotta biokaasua voidaan käyttää maakaasun tapaan autojen polttoaineena, siitä täytyy poistaa hiilidioksidia, rikkivetyä ja muita epäpuhtauksia. Hiilidioksidia poistetaan yleisimmin vesipesun, kemiallisen absorption tai PSA-menetelmän (Paineenvaihteluadsorptio, Pressure Swing Adsorption) avulla. Muita menetelmiä ovat mm. MT-Energie GmbH:n (lisenssi DGE GmbH:lta) paineeton BCM-menetelmä, jossa metaanitappio on alle 0,1%, ja Carbotech Engineeringin Zetech-teknologia, jolla päästään 97,5 % konversiosuhteeseen ohjaamalla hukkaakaasu lämmöntuotantoon (Koneviesti 2006, Koneviesti 2007).

Vesipesussa kaasu kompressoidaan (7 - 10 bar) ja syötetään kolonniin, johon vettä syötetään kaasua vastaan (Persson, Jönsson & Wellinger 2006). Hiilidioksidin liukoisuus veteen on parempi kuin metaanin, jolloin korkean metaanipitoisuuden omaava kaasu saadaan erotettua kolonnin yläpäästä. Samalla myös epäpuhtaudet kuten rikkivety H₂S erottuvat veteen. Tämän

jälkeen kaasu kuivataan, hajustetaan ja kompressoidaan 200 bar paineeseen. (Motiva 2013d)

Suomessa ei ole standardia biometaanin metaanipitoisuudelle, mutta Ruotsissa metaanipitoisuuden on oltava standardin SS 155438 mukaan 97 ± 2 % eli sama kuin maakaasun (SS 155438). Autojen moottoreihin sopii pienempikin pitoisuus, Suomen toistaiseksi ainoan biokaasun maatilatankkausaseman biometaanin metaanipitoisuus oli aikaisemmin 86 %, mikä on EU-direktiivin mukainen, mutta nostettu laitteistoa uusittaessa 90 %:iin (Kalmari 2010). Suomen maakaasuverkkoon syötetään 98 % metaania eli maakaasua vastaavaa biometaania (Gasum 2013b).

2.5 Biometaanin tankkaus

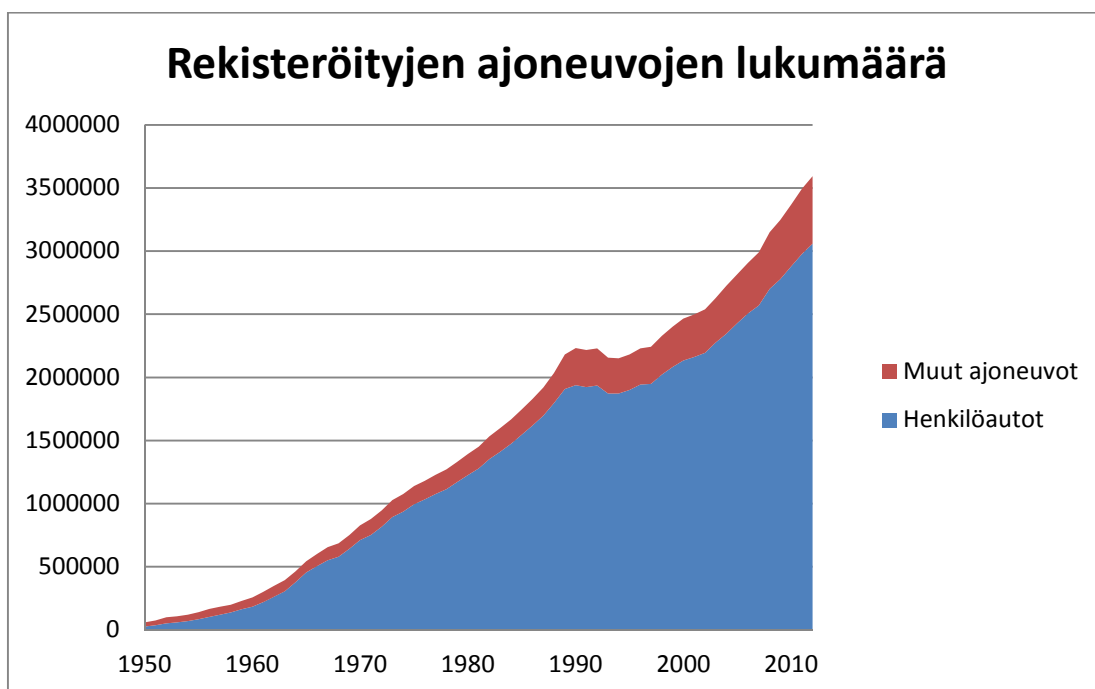
Tankkauspainesta riippuen puhutaan hitaista tai pikatankkausasemista. Hidas sopii esim. linja-autovarikoille tai koteihin, joissa auto voidaan pitää tankkauksessa yön yli. Kotitankkausasemia voidaan perustaa lähinnä kaasun jakeluverkon yhteydessä oleviin kotitalouksiin tai esim. maatilan omaan käyttöön, jos tuotantoa ei ole myytäväksi saakka. Markkinoilla on jo useita kotitankkausasemien toimittajia, esim. BRC FuelMaker, jolta löytyy myös yhdistetty hidas- ja pikatankkausasema. Heidän tarjoamansa pienimmän kotitankkausaseman tehon kulutus n. 900 W ja tankkauskapasiteetti $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ @20 °C. Metaanin syöttö on lämpötilakompensoitu, jotta säiliö ei ylikuormitu. Säiliö täytetään kompressorilla n. 200 bar paineeseen @21 °C laitteen sisääntulopaineen ollessa noin 2-3,5 kPa. (BRC FuelMaker 2013)

Pikatankkausta tarvitaan julkisessa käytössä oleville tankkausasemille, joissa ei ole aikaa odotella kymmentä tuntia. Laitteistoon kuuluu tällöin myös korkeapainesäiliö, jonka paine on samainen noin 200 bar. Mikäli asema ei sijaitse maakaasuverkoston tai tuotantopaikan lähetyvillä, tarvitaan myös välivarasto, johon metaani tuodaan nesteytettynä esim. säiliöautolla.

3 BIOMETAANIPOTENTIAALI

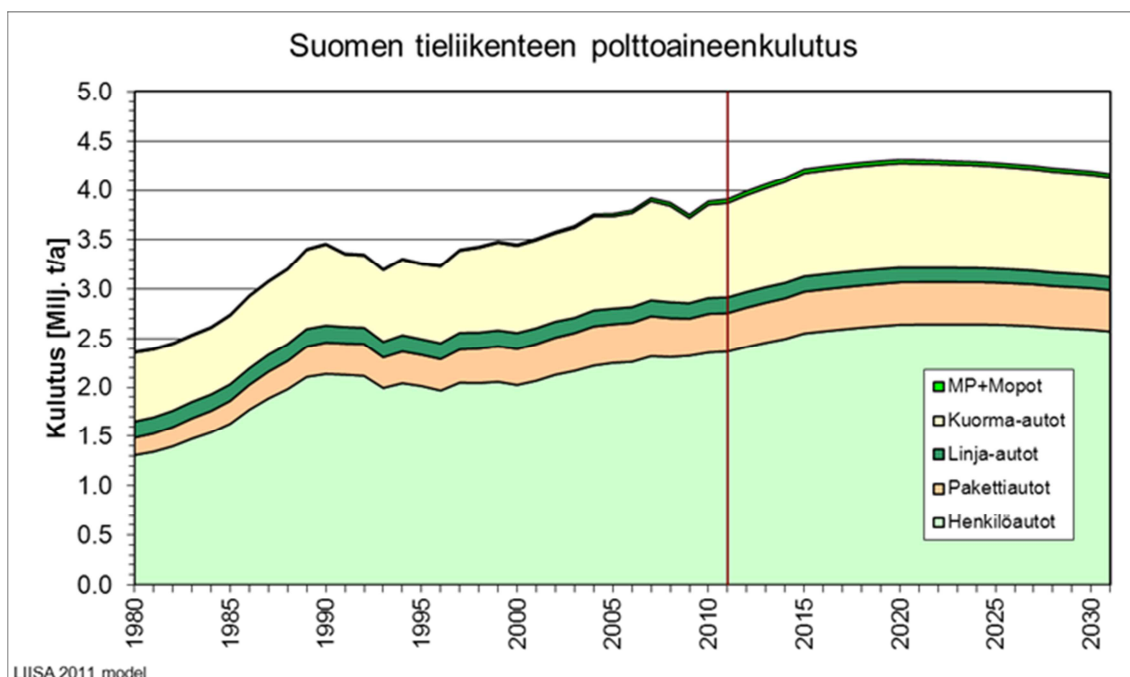
3.1 Autojen energiankulutus ja kustannusvertailu

Nykyinen autokanta Suomessa on noin 3,5 miljoonaa, joista henkilöautoja on noin 3,0 miljoonaa (Tilastokeskus 2013e). Kuviosta 4 nähdään, että autojen määrä näyttäisi lisääntyvän edelleen, 2000-luvulla autojen määrä on kasvanut vuosittain keskimäärin 3 % edellisvuodesta.



KUVIO 4 Rekisteröityjen ajoneuvojen määrän kehitys Suomessa 1950-2012 (Tilastokeskus 2013e).

Kuvion 5 mukaisesti myös tieliikenteen kokonaisenergiankulutus on kasvanut. Tieliikenteen primäärienergiankulutus oli vuonna 2011 n. 47 TWh, josta henkilöautojen n. 28 TWh. Vertailun vuoksi Suomen sähkön tuotanto oli 2010 n. 77 TWh, josta n. 24 TWh oli peräisin uusiutuvista energialähteistä (Tilastokeskus 2012e). Henkilöautojen kokonaisenergiankulutuksen arvioidaan kasvavan edelleen jonkin verran lähivuosina (luokkaa 10 %) lisääntyvän liikennesuoritteiden johdosta, vaikka autojen ominaiskulutus laskeekin. Vuonna 2011 henkilöautoilla arvioitiin ajettun n. 46 milj. kilometriä ja niiden polttonesteen kokonaiskulutuksen olleen n. 2,4 milj. tonnia (kuvio 5). (VTT Lipasto 2012)



KUVIO 5 Suomen tieliikenteen polttoaineenkulutus (VTT Lipasto 2012)

Keskikulutuksen arvioitiin vuonna 2011 olleen 7,5 l/100 km dieselien osuuden autokannasta ollessa n. 21 % ja suoritteesta 33 % (VTT Lipasto 2012). Uusien tyyppillisten tilavien CNG-perheautojen kulutus on hieman tätä alhaisempi: 4,3 - 4,7 kg/100 km eli 6,7...7,3 l_{be}/100 km (taulukko 3).

TAULUKKO 3 Esimerkkejä uusista CNG-henkilöautoista (Trafic 2013a, Mercedes-Benz 2013)

Merkki	Iskutilavuus dm ³	Teho kW	Kokonais- hinta alkaan €	CO ₂ - päästöt (CNG) g/km	EU-yhdistetty kulutus CNG/bensiini kg/100 km / l/100 km
Volkswagen up!	1,0	50	15500	79	2,9 / 4,5
Volkswagen Passat Sedan	1,4	110	34300	117	4,3 / 6,7
Volkswagen Touran	1,4	110	31600	128	4,7 / 7,3
Opel Zafira	1,6	110	35200	129	4,7 / 7,3
Mercedes Benz B200	2,0	115	36500	117	4,3 / 6,7

Kaasuautojen hinta on yleensä korkeampi kuin vastaavien dieselautojen mutta polttoaine huomattavasti edullisempaa. Esim. Volkswagen Passatin CNG-version hinta on pari tuhatta euroa korkeampi kuin vastaavan dieselauton, mutta polttoainekaasun hinta on n. 2/3 dieselin hinnasta. 20000 km ajolla vuodessa vero- ja polttoainekustannuksia tulisi 2012 hintatasolla

dieselillä n. 380 €, bensiinillä n. 600 € ja etanolilla n. 340 € enemmän kuin CNG-versiolla (taulukko 4).

TAULUKKO 4 Volkswagen Passat Sedan Comfortline diesel-, CNG-, bensiini ja etanoliversioiden kustannusvertailu (Trafi 2012a, 2013a, Gasum 2013a)

	kulutus $L_{be}/100$ km	hinta €	ajoneuvovero		Poltto-aine- kustannukset /100km *) €
			2012 €	2013 €	
diesel 2,0	4,6	35100	501	558	6,9
CNG 1,4	6,7	37600	58	348	6,0
bensiini 1,4	6	32400	77	120	10,2
etanoli 1,4	8,8	35800	89	132	8,8

*) Diesel 1,5 €/l, maakaasu 0,9 €/kg, bensiini 1,7 €/l, etanoli 1,0 €/l

Nykyarvomenetelmällä laskettu CNG-auton takaisinmaksuaika 4 %:n korkotasolla on dieseliin verrattuna n. 8 vuotta. Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla

$$P = A \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \right)$$

missä P= nykyarvo
A= vuotuinen säästö
i = korkotaso
n= säästöaika vuosina

Takaisinmaksuaika on vuosi, jolloin nykyarvo ylittää investoinnin arvon. Hieman tehokkaampaan etanoliautoon (FFV, Flexible Fuel Vehicle) verrattuna takaisinmaksuajaksi saadaan 6,2 vuotta. Aivan vastaavaa bensiiniversiota ei ole valikoimassa, pienempitehoiseen malliin verrattuna takaisinmaksuaika olisi 11 vuotta. Liitteessä 1 on esitetty laskelmat yksityiskohtaisesti. (Kolhe 2006)

3.2 Biometaanipotentiaali Suomessa

Suomessa olisi Ari Lampisen mukaan teknistä potentiaalia 700 000 biokaasuhenkilöautolle, kun kulutus on kaupunkipainotteista 10 l/100 km, 20000 km/vuosi tai 47000 bussille kilometrimäärillä 100 000 km/vuosi (taulukko 5). Laskelma perustuu eläinten lannan, kasvijätteiden, kaatopaikkakaasun, jätevesien ja biojätteen optimaaliseen hyödyntämiseen. Tällöin saataisiin jäteperäistä energiaa noin 14 TWh. Kauppa- ja teollisuusministeriön teettämässä selvityksessä teknistaloudelliseksi biokaasupotentiaaliksi jätteistä saadaan samaa suuruusluokkaa oleva tulos, 4,6...15,9 TWh/a (Asplund, Korppi-Tommola & Helynen 2005). (Lampinen 2003).

Viime vuosina on tutkittu paljon biokaasun tuottamista ei-jäteperäisestä peltobiomassasta eli käytännössä nurmesta. Pelkällä lannan käytöllä maatilakokoluokan laitoksia ei ole saatu kannattaviksi ja mädätyksen on todettu myös tehostuvan käytettäessä seassa nurmea (Lehtomäki 2006). Jos 250 000 hehtaaria peltoa, joka on 2008-2011 kesantoala keskimäärin vuodessa, käytettäisiin biokaasun tuotantoon, voitaisiin sillä kattaa n. 9 % liikenteen kulutuksesta, kun peltohehtaarilta tuotetuksi nettoenergiaksi arvioidaan n. 20,0 MWh/a ja liikennepolttoaineeksi tästä voitaisiin hyödyntää 17,6 MWh/ha (Tilastokeskus 2012f, VTT Lipasto 2012, Luostarinen 2007).

TAULUKKO 5 Liikenteen biometaanipotentiaali Suomessa eri materiaaleista (Lampinen 2003, Asplund, Korppi-Tommola & Helynen 2005, Luostarinen 2007)

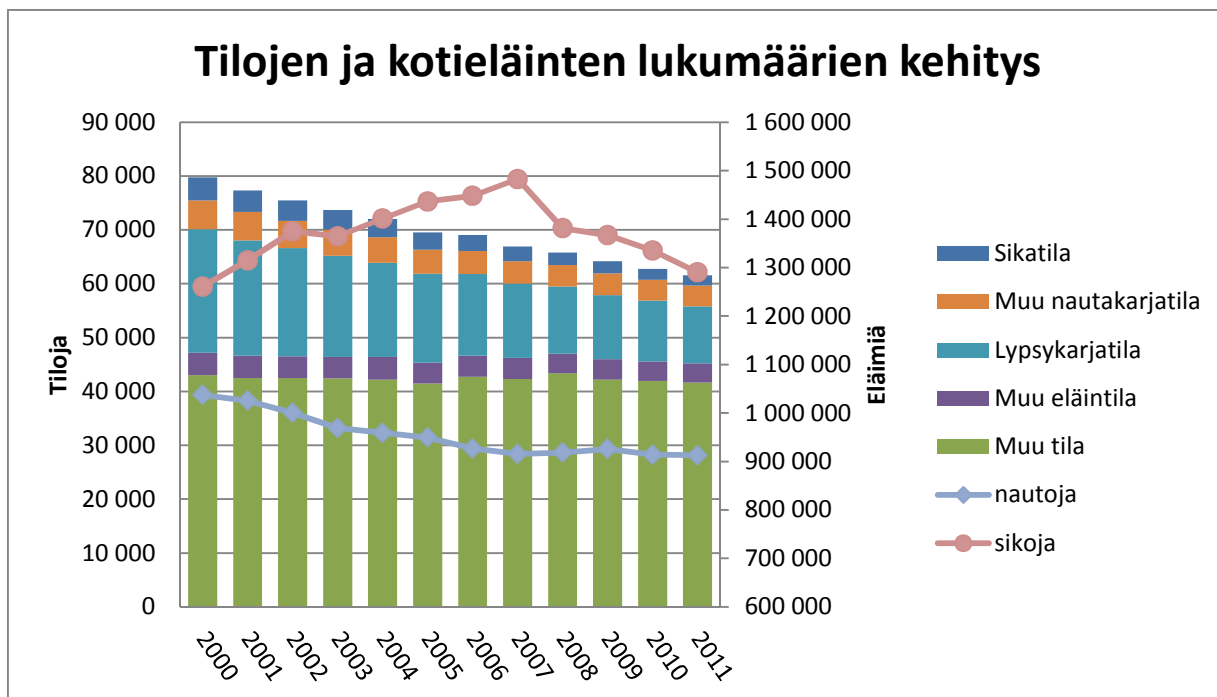
Lähde	Hyödynnettävä materiaali	tekninen/ teknistaloudellinen potentiaali GWh	Autoja teknisen potentiaalin mukaan ¹⁾ kpl
Lampinen	Jätteet	14 000	0,9 milj.
Lampinen	Eläinten lanta	4300	290 000
Asplund ym.	Jätteet	4600...15 900	310 000 ... 1,1 milj.
Luostarinen	Peltobiomassa	4000	300 000
Biokaasulaitosrekisteri	Soihtukaasu	138	9000

¹⁾Yhdenmukaistettu kulutus 13 MWh/auto/a (7,5 l/100 km, 20000 km/a) ja 90 % konversiosuhde biokaasusta biometaaniksi.

Luvun 2.3 mukaisella soihtupoltossa "tuhlatulla" 138 GWh:n biokaasumäärällä olisi voitu 90 %:n konversiosuhteella korvata noin 14000 m³ bensiiniä eli sillä olisi voitu 7,5 l/100 km kulutuksella ajaa n. 190 miljoonaa kilometriä. Käytännössä hukatun biometaanien energian hyödyntämispotentiaali on luonnollisesti alhaisempi. Esim. osa kaatopaikoista on jo lopettanut toimintansa tai ovat muutoin liian pieniä, jotta niiden biokaasua kannattaisi jalostaa liikennepolttoaineeksi.

3.3 Maatilojen biometaanipotentiaali Suomessa

Maatilojen määrä on vähentynyt tällä vuosituhanella noin 20000:lla, vuosittain keskimäärin 1700:lla, mutta samalla tilakoot ovat kasvaneet. Eläintiloja oli vuonna 2000 noin puolet kaikista tiloista, vuonna 2011 enää kolmannes (kuvio 6), 18000 tilaa. Tukihakemusten perusteella nautatiloja (lypsylehmä-, emolehmä tai lihakarjatiloja) oli n. 13000 ja niissä nautakarjaa noin 0,9 miljoonaa. Sikatiloja oli n. 1700 ja niissä n. 1,3 miljoonaa sikaa. Luvut perustuvat tilan päätuotantosuuntaan, joten niissä ei ole huomioitu tiloja, joissa on sekä nautakarjaa että sikoja. Joskin yhä enenevässä määrin tilat ovat erikoistuneita tiettyyn tuotantosuuntaan ja usean eläinlajin tiloja on vain murto-osa kaikista tiloista. (Tilastokeskus 2012a)



KUVIO 6 Tilojen sekä nautaeläinten ja sikojen lukumäärien kehitys Suomessa 2000-2011 (Tilastokeskus 2012a)

Yli 75 lypsylehmän tiloja oli vuonna 2000 vain 25 ja yli 800 lihasian tiloja 42 (Tilastokeskus 2009). Vuonna 2010 oli jo 274 yli 75 lypsylehmän tilaa, joissa yhteensä 30000 lehmää ja 132 yli 800 lihasian tilaa ja niissä 170 000 sikaa (Tilastokeskus 2012a). Näissä olisi vuotuista potentiaalia liitteen 3 mukaan arvioiden n. 6-12 milj. m³ metaania. Tästä 80 % hyödyntämisuhteella ja nautojen kolmen kuukauden laidunnus huomioiden saataisiin energiaa n. 40-80 GWh vuodessa, mikä riittäisi n. 3000-6000 autolle (kulutuksella 7,5 l_{pe}/100 km ja 20000 km/a).

3.4 Biometaanipotentiaali Keski-Suomessa

Keski-Suomen liiton tavoitteena on nostaa liikennebiokaasun käyttö 25 GWh:n tasolle vuoteen 2025 mennessä esim. uusia tankkausasemia perustamalla (Keski-Suomen liitto 2011). Keski-Suomeen on tehty selvityksiä paikallisesta biometaanipotentiaalista (taulukko 6), joiden mukaan 25 GWh:n tavoite olisi saavutettavissa helpostikin. Teoreettinen maksimipotentiaali on Pauliina Uusi-Penttilän (Uusi-Penttilä 2004) mukaan pelkästään Jyväskylän seudulla noin 130 GWh ja helposti hyödynnettävä määrä noin kolmannes tästä eli noin 45 GWh. Karjanlannan osuus teoreettisesta potentiaalista olisi n. 30 GWh, ja siitä olisi helposti hyödynnettävissä n. 10 GWh.

TAULUKKO 6 Liikenteen biometaanipotentiaaliarvioita Keski-Suomessa (Uusi-Penttilä 2004, Vänttinen 2010)

Lähde	Alue	Teoreettinen potentiaali	tekninen/ teknistaloudellinen potentiaali	Autoja teknisen potentiaalin mukaan ¹⁾
		GWh	GWh	kpl
Uusi-Penttilä	Jyvässeutu	130	45	3000
Vänttinen	Keski-Suomi	600 ... 1500	450	34000

¹⁾ Yhdenmukaistettu kulutus n. 13 MWh/auto/a (7,5 l/100 km, 20000 km/a) ja 90 % konversiosuhde biokaasusta biometaaniksi

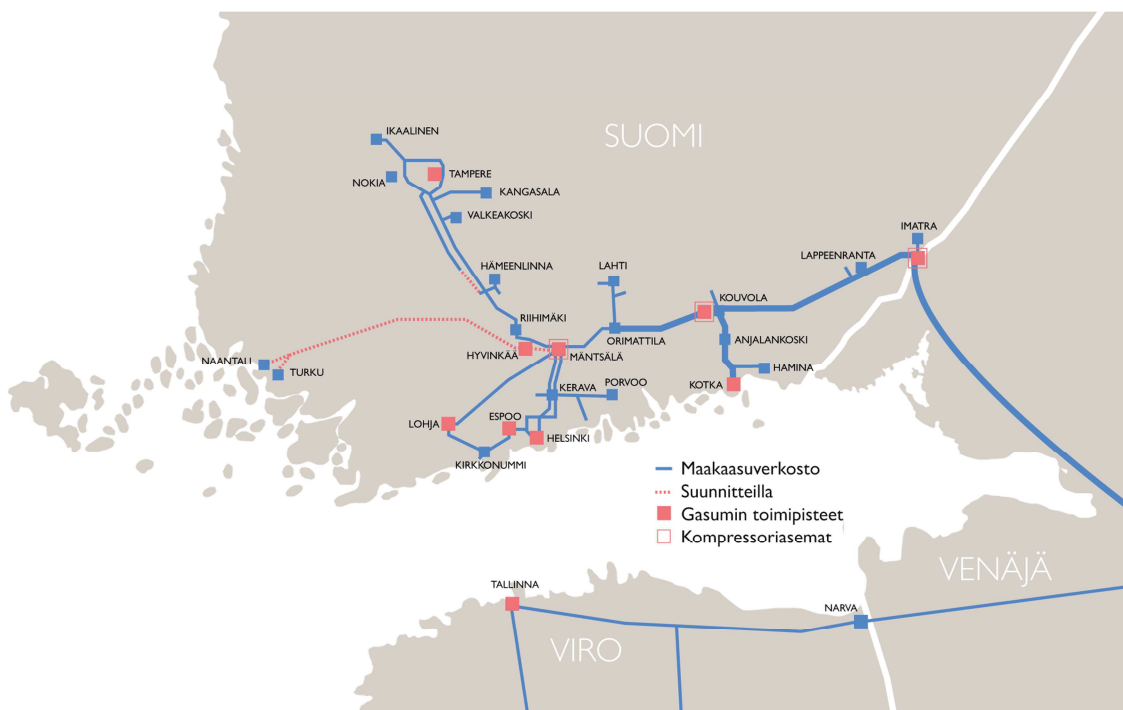
Vänttisen (Vänttinen 2010) mukaan teoreettinen liikennepolttoainepotentiaali on koko Keski-Suomessa 600-1500 GWh. Lukuun on sisällytetty 80 % oljista sekä kesannoilla ja viljelemättömillä pelloilla kasvatettavista nurmikasveista saatava energia. Jos lannasta, oljesta ja energiakasveista arvioidaan käytettävän n. 40 %, saadaan tekniseksi primäärienergiapotentiaaliksi keskimäärin 450 GWh. Tutkimuksessa oli huomioitu myös yhdyskuntajätteet, teollisuuden jätevirrat sekä energiakasvit. Teknisen määrän perusteella Keski-Suomeen voitaisiin tällöin rakentaa neljä suuren kokoluokan (5000 m²) ja 95 pienen kokoluokan (2000 m²) biokaasureaktoria perustuen 2 t VS/d (VS=volatile solids) kuormitukselle ja 50 km:n enimmäiskuljetusetäisyyksille. Suuret reaktorit sijoittuisivat Jyväskylään, Jämsään ja Äänekoskelle ja käsitelisivät 20000 t TS/a (TS=total solids) yhdyskuntien ja teollisuuden jätteitä sekä 156 000 t TS/a maatalouden materiaaleja. Tuotettu primäärienergia olisi tällöin 270-640 GWh/a josta liikennepolttoaineeksi olisi mahdollista saada 260-630 GWh/a eli n. 19000-47000 henkilöauton kulutus. Primäärienergiasta n. 71 GWh olisi peräisin lannasta.

Pienet reaktorit oli tutkimuksessa sijoitettu kunnittain olettaen käytettävän maatalouden materiaaleja, lantaa ja olkia sekä energiakasveja. Laukaan kunnan kohdalla oli tehty tarkempi sijaintien optimointi perustuen peltopinta-alatietojen tiheysanalyysiin. Tällöin kuntaan saatiin sijoitettua 2-4 biokaasulaitosta teknisen tarkastelun seitsemän sijaan. Käyttäjäpotentiaalin (liikennemäärien) perusteella kuitenkin arvioitiin, että vain yhdessä olisi kannattavaa jalostaa biokaasu liikennepolttoaineeksi. (Vänttinen 2010)

Vuonna 2011 oli Keski-Suomessa rekisteröitynä n. 152 000 henkilöautoa (Tilastokeskus 2012b). Näistä olisi bensiinikäyttöisiä ollut n. 120 000, jos oletetaan bensiinikäyttöisten osuuden olleen saman kuin koko maan keskiarvon eli 79,1 % (Tilastokeskus 2012c). Näin ollen n. 15-37 % bensiinikäyttöisistä henkilöautoista olisi Keski-Suomessa korvattavissa paikallista energiaa käyttävillä biokaasuautoilla (Vänttinen 2010).

4 MAAKAASUVERKOSTON KÄYTTÖ BIOMETAANIN JAKELUSSA

Suomen maakaasuverkosto sijoittuu Etelä-Suomen alueelle kuvion 7 mukaisesti (Gasum 2013c). Maakaasuverkosta on kaavailtu laajennettavaksi Turkuun päin lähinnä teollisuuden lisäntyneen maakaasutarpeen vuoksi. Suomessa vuonna 2012 oli liikennepolttoaineen jakeluasemia maakaasuverkoston yhteydessä 18. Eniten niitä oli pääkaupunkiseudulla mutta myös esim. Tampereelta ja Lahdesta löytyvät asemat (Gasum 2013e). EU:ssa on kuitenkin kaavailtu vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluverkostolle direktiiviä, jolla tehtäisiin mahdolliseksi liikkuminen mm. kaasuautoilla kaikkialla EU-alueella. Tämä tapahtuisi velvoittamalla jäsenmaat vuoteen 2020 mennessä järjestämään kattavasti jakelupisteitä. Metaanille on kaavailtu jakelupisteitä enintään 150 km:n välein. (EU 2013b)



KUVIO 7 Kaasuverkosto Suomessa (Gasum 2013c)

Maakaasua tai biokaasua käytti Suomessa polttoaineena vuonna 2012 noin 1070 ajoneuvoa. Suurin osa niistä oli luonnollisesti rekisteröity maakaasuverkoston läheisyyteen. Henkilöautoja niistä oli n. 830, loput pääasiassa pakettiautoja ja busseja: Pääkaupunkiseudulla on jo 1990-luvun loppupuolella alettu käyttää maakaasubusseja ja niitä on ollut enimmillään jopa 100 (Nylund & Laurikko 2012). Määrä on kuitenkin vähentynyt viime aikoina,

osin Kampin terminaalin rajoitusten, osin dieselbusseja suurempien hankinta- ja huoltokustannusten vuoksi (HS 2013). (Tilastokeskus 2012d)

Helsingin seudun liikenne on alkanut jakaa päästöjen vähentämiseksi ympäristöbonuksia, vuonna 2013 suuruudeltaan 600 000 €. Bonuksella pyritään vähentämään sekä lähipäästöjä että kasvihuonepäästöjä, esim. jäteperäisen biopolttoaineen tai biokaasun käyttöä tukemalla. Bonuspisteitys suosii kuitenkin yhtä lailla esim. etanolihybridibusseja, jos etanoli on tuotettu jätteestä, eikä sen avulla uskota biokaasubussien määrän kasvavan. Vuonna 2013 pääkaupunkiseudun liikenteessä kulkee muutama kaasubussi biokaasulla. Tukholmassa oli sen sijaan 230 biokaasubussia vuoden 2012 alussa ja vuoden aikana määrän odotettiin kasvavan n. 30:llä (SL 2012). Siellä arvioidaan biokaasubussien kustannusten laskeneen viime vuosina ollen 2012 samaa luokkaa dieselbussien kanssa (Strateco 2012). (HS 2013, HSL 2013).

5 PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN BIOMETAANIN AVULLA

5.1 Polttoaineena

EU velvoitti jäsenmaansa (EU:n direktiivi 2003/30/EC) käyttämään vuonna 2010 vähintään 5,25 % uusiutuvista energialähteistä peräisin olevia liikennepolttoaineita (EU 2003a). Suomessa tämän velvoitteen toteuttaminen siirrettiin suoraan nestemäisten polttoaineiden myyjille. Käytännössä se tarkoitti Neste Oilin tuottaman NExBTL-biodieselin lisäämistä dieselin sekaan sekä bioetanolin lisäämistä E95 bensiiniin.

EU:n velvoite tähtäsi lähinnä öljyriippuvuuden vähentämiseen, eikä ottanut huomioon polttoaineiden koko elinkaaren aikaisia päästöjä. Vuonna 2009 direktiivi yhdistettiin ns. RES-direktiiviin ja siihen lisättiin kestävyyskriteerit. Uusiutuvien osuuden kasvattaminen 10 %:iin liikennepolttoaineissa vuoteen 2020 mennessä kirjattiin myös tähän direktiiviin. (EU 2009a)

Suomessa asetettiin jakeluvelvoitteeksi energiasisällöstä 20 % uusiutuvia vuoteen 2020 mennessä (FINLEX 2010a). 1.7.2013 alkaen myös liikennepolttoaineiden kestävyyskriteereille on ollut voimassa direktiivin mukainen laki (laki 393/2013). Sen mukaan biopolttoaineen elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen täytyy olla vähintään 35 % pienemmät kuin korvattavan fossiilisen polttoaineen päästöt ja vuodesta 2017 lähtien vähintään 50 % pienemmät. Edelleen vuonna 2018 uusissa laitoksissa valmistettujen biopolttoaineiden päästöjen tulee olla vähintään 60 % pienemmät. (FINLEX 2013, EU 2009a)

Jäteperäisillä biopolttoaineilla kuten biometaanilla nämä rajat eivät ole ongelma, tyypillisesti niillä saavutetaan yli 80 % vähenemä. Esim. palmuöljystä valmistetun HVO-dieselin elinkaaren aikainen päästövähennys on kuitenkin EU:n kestävyyskriteerien mukaan alle 50 %, jos öljynpuristamon jäteveden metaanipäästöjä ei oteta talteen. Samoin vehnästä tuotetun bioetanolin päästövähennys on alle 50 %, jos tuotannossa ei esim. käytetä uusiutuvaa energiaa tai lämpöä oteta talteen. (EU 2009a)

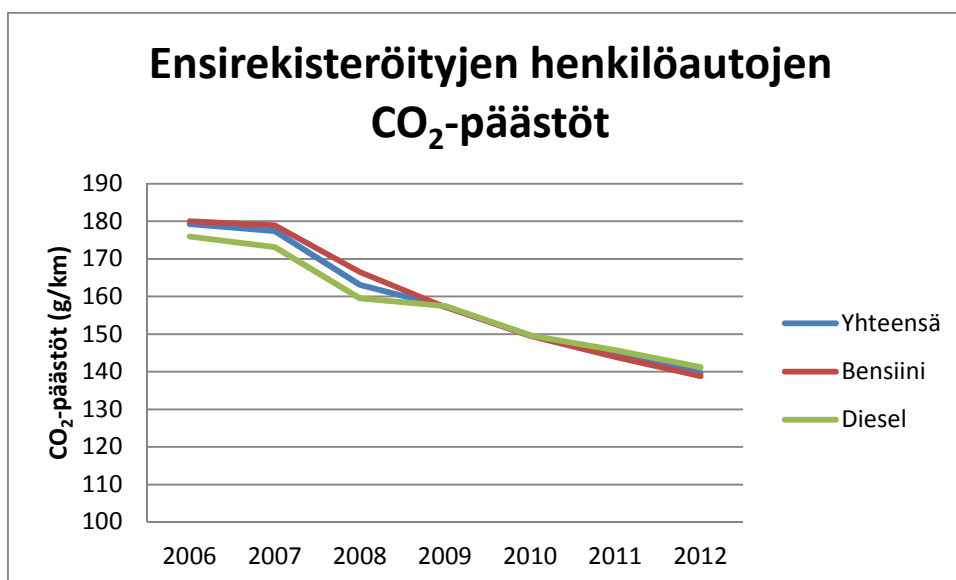
EU:n mukaan jäteperäisillä polttoaineilla saavutetaan tyypillisesti päästövähennykset

- 80-86 % lannasta tai biojätteestä tuotetulla biokaasulla,
- 88 % kasvi- tai eläinjätteistä tuotetulla biodieselillä,
- 80 % puujätteestä tuotetulla etanolilla,
- 95 % puujätteestä tuotetulla FT-dieselillä tai DME:llä ja
- 94 % puujätteestä tuotetulla metanolilla,

jos maankäytön muutoksia ei ole tarpeen huomioida. Paitsi jätetuun, myös viljellystä puusta tuotetun dieselin ja DME:n arvioidaan vähentävän päästöjä enemmän kuin biokaasun. (EU 2009a)

5.2 Ajoneuvoissa

Uusien autojen hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2006 Suomessa keskimäärin noin 180 g/km ja koko EU-alueella noin 160 g/km (EU 2009d). Kuvioista 8 nähdään vuonna 2008 voimaantulleeseen ympäristöperusteisen verouudistuksen vaikutus: Uusien rekisteröityjen autojen CO₂-päästöt vähenivät Suomessa välittömästi keskimäärin n. 160 g/km:aan. Päästöt ovat laskeneet siitä edelleen, ollen vuonna 2012 keskimäärin 140 g/km. EU:n tavoite vuodelle 2020 on päästöjen saaminen keskimäärin alle 95 g/km (EU 2013a). (Trafi 2013c)



KUVIO 8 Ensirekisteröityjen henkilöautojen CO₂-päästöt Suomessa 2006-2012 (Trafi 2013c)

Verotuksessa bifuel-autoja, jotka voivat käyttää sekä bensiiniä että kaasua polttoaineena, kohdellaan bensiiniautoina ja pelkkää kaasua käyttäviä autoja verotetaan maakaasun mukaan. Tämä sinänsä oikea menettely ei juuri kannusta bifuel-autojen hankintaan ja käyttämään biokaasua polttoaineena. Pelkkää kaasua käyttävät autot ns. monofuel-autot olisivat kevyempiä ja siksi vähäpäästöisempiä, mutta niiden käyttö on rajoitettua jakelupisteiden vähäisyyden vuoksi. Tyypillisesti markkinoilla olevien bifuel-autojen moottorien iskutilavuudet ovat jokseenkin suuria. Kuitenkin Ruotsin Gröna Bilister vuoden 2007 ympäristöystävällisimmiksi rankkaamista autoista kuusi kahdestatoista oli bifuel-autoja, joiden elinkaaren aikaiset (LC) hiilidioksidipäästöt olivat tyypillisellä ruotsalaisella kaasuseoksella (54 % biokaasu ja 46 % maakaasu) ajettaessa 58 - 85 g/km. Vuoden 2013 ympäristöystävällisimmän auton tittelin jakoivat CNG Volkswagen Passat ja

plug-in hybridimalli Volvo V60 (48 g/km). Kaasuversion elinkaaren aikaisiksi päästöiksi Ruotsissa on laskettu 52 g/km ja pistokehybridin 48 g/km. Pistokehybridillä ei muita LC-päästöjä ole arvioitu TTW-päästöjen (Tank to wheel) lisäksi. (Gröna Bilister 2013)

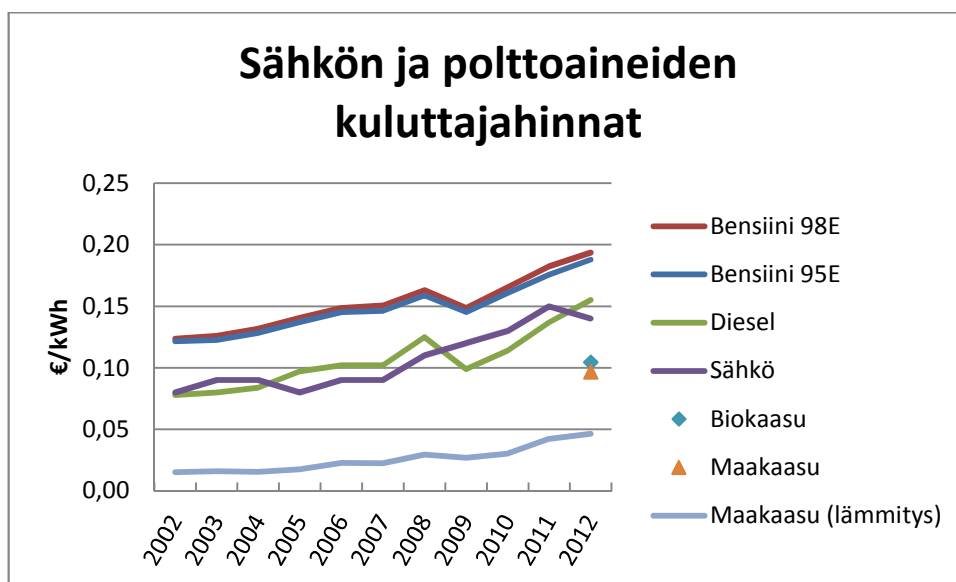
Suomessa Motiva valitsi vuoden 2008 ekoautoksi Toyota Prius-hybridiauton, jonka ajonaikaiset CO₂-päästöt olivat 104 g/km ja elinkaaren aikaiset päästöt 115 g/km (Motiva 2013b). Lampisen (Lampinen 2009) mukaan kaasulla toimivaksi konvertoidun Prius-hybridin elinkaaren aikaiset päästöt olisivat vain 6 g/km jätevedestä tuotettua biokaasua käyttäen. Sitten Prius valittiin jälleen vuonna 2013 vuoden ekoautoksi. Tällä kertaa kyseessä oli pistokehybridimalli (plug-in), jonka ajonaikaisiksi CO₂-päästöiksi on ilmoitettu 49 g/km (Toyota 2013). Kaasuautoja ei Suomessa ole edelleenkään valittu Motivan ekoautoehdokkaiksi. (Motiva 2013c).

5.3 Liikenteessä

Liikenteen osuus kaikista CO₂-päästöistä (vuonna 2011 67 milj. tonnia) on Suomessa noin 20 %. Tieliikenteen osuus liikenteen päästöistä on yli 90 % (13 milj. tonnia) ja tästä edelleen henkilöautoliikenteen yli 60 % eli noin 8 milj. tonnia (Trafi 2013b, Tilastokeskus 2013d). Ennakkotietojen mukaan Suomi on täyttämässä Kiiton sopimuksen mukaiset velvoitteensa kasvihuonekaasupäästöille vuosille 2008-2012, mutta liikenteen päästöt ovat Suomessa suhteellisen suuria verrattuina muihin EU-maihin (Tilastokeskus 2013c, 2013d). Jos koko maassa hyödynnettäisiin liikennekäyttöön 1/3 teoreettisesta maksimibiokaasupotentiaalista, kuten luvun 3 mukaisesti Jyväskylän seudulla olisi helposti hyödynnettävissä, merkitsisi se energiana n. 4,7 TWh ja CO₂-päästövähennyksenä n. 1 milj. tonnia.

6 BIOMETAANIN TUOTANNON KANNATTAVUUS

Useissa tutkimuksissa on todettu sähkön tuottamisen olevan yhteismädättämöissä kannattavaa ilman syöttötariffiakin, kun saadaan porttimaksuja esim. teollisuuden jätteiden vastaanottamisesta. Sähkön tuotannossa syntyy kuitenkin paljon lämpöä, jolle ei välttämättä löydy käyttökohdetta etenkin kesäaikaan. Sähkön hinta on myös alhaisempi kuin bensiinin. Esim. karjatalousmaatilan, joka käyttää sähköä 35 MWh/a sulakekoon ollessa 3x35 A, sähkön hinta oli 2010 siirtoineen ja veroineen n. 0,11 €/kWh kun taas 95E-bensiinin n. 0,16 €/kWh (1,43 €/l). Vuoteen 2011 asti kuluttajan sähkön hinta on noussut keskimäärin 5 % vuodessa, kun taas bensiinin n. 2 % vuodessa (kuvio 9).



KUVIO 9 Sähkön ja polttoaineiden kuluttajahintojen kehitys Suomessa 2002-2012. Liikennemaakaasun hinnasta ei ole virallisia tilastoja, joten sen tilalla on lämmitysmaakaasun hinta kuviossa referenssinä. (Tilastokeskus 2013f, Gasum 2012a, 2013a)

Lähivuosina on kuitenkin odotettavissa, että polttonesteiden ja maakaasun hinnan nousu kiihtyy sekä öljyn saatavuuden heiketessä että maakaasun verotuksen kiristytessä. Sähkön hinnan nousun sen sijaan odotetaan pysyvän maltillisena, koska Suomessa suuri osa sähköstä, vuonna 2012 n. 40 %, tuotetaan kuitenkin jo uusiutuvista energialähteistä eikä uusia merkittäviä veropoliittisia kiristyksiä ole odotettavissa (Tilastokeskus 2013h). Lisäksi sähköstä saattaa tulla ylitarjontaa uusien ydinvoima- ja tuulihankkeiden vuoksi, mikä edelleen hillitsee hinnannousua (UBS 2012). Maatilan biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus voisi tällöin olla parempi tuottamalla

liikennepolttoainetta kuin sähköä, koska puhdistuslaitteiston investoinnit ovat kuitenkin murto-osa kokonaisinvestoinnista.

Ruotsissa on laskettu puhdistuskustannusten (investointi- ja käyttökustannukset) olevan pienillä laitoksilla (<100 Nm³/h) 0,03-0,04 €/kWh eli noin 0,3-0,4 €/1 bensiiniekvivalenttia (l_{be}), kun korkotaso on 4-8 %. Suuremmilla laitoksilla (200-300 Nm³/h) kustannukset jäävät alle puoleen tästä. Kokonaisuudessaan tuotantokustannusten tankkausjärjestelyjä lukuun ottamatta on arvioitu olevan 2,3-4,1 SEK/l_{be} jätevesilietteestä tai 2,7-5,0 SEK/l_{be} biojätteestä (n. 0,3-0,5 €/l_{be}) (Linne & Jönsson 2004). Tuotantokustannusten osuus tässä voi vaihdella nolasta (jätevesilietteellä) n. 50 %:iin. Saksalaisessa arviossa 250 Nm³/h laitoksessa biokaasun puhdistuskustannukset olivat 6 % korkotasolla n. 0,2 €/l_{be}. Kokonaistuotantokustannuksiksi saatiin tällöin n. 0,8 €/l_{be} (n. 0,09 €/kWh), kun raaka-aineena oli 90 % lantaa ja 10 % maissia. (Persson 2003, Urban, Girod & Lohmann 2009).

Suomessa on tutkittu lähinnä sähkön ja lämmön tuotannon kannattavuutta biokaasulla. Esim. Kalmari (Kalmari 2006) sai tutkimuksessaan myytäväksi jäävän 92 MWh/a sähköenergian kokonaistuotantokustannukseksi noin 0,11 €/kWh sikatilalla, jonka vuotuinen biokaasun bruttotuotanto on 44000 m³. Biokaasua tuotettaisiin 2550 m³/a lietelannasta vastaten noin 1300 täysikasvuisen sian tuotantoa, bruttoenergiana n. 260 MWh/a. Investoinnin arvoksi oli arvioitu n. 300 000 € ja tuen tasoksi 25 %. Laitoksen eliniäksi oli arvioitu 25 vuotta. Tervahartialan (Tervahartiala 2007) tutkimuksessa 120 lehmän 81000 m³ biokaasun optimituotantomäärällä (0,6 m³/kg kuiva-ainetta, energiasisältö n. 500 MWh) tuotettaisiin 175 MWh/a sähköä investoinnin arvon ollessa n. 360 000 €. Kummassakaan tapauksessa tuotanto ei ollut perusmuodossaan kannattavaa. Kannattavuus on paljolti kiinni saaduista tuotoista kuten porttimaksuista, korvatusen energian arvosta ja investointituista. Esim. Tervahartialan tutkimuksessa energian hinnan 50 %:n nousu tuottaisi voittoa laitokselle, mutta ei tekisi investoinnista silti kannattavaa nettonykyarvomenetelmällä laskettuna 6 %:n korkokannalla. Kalmari puolestaan arvioi vuotuisen noin 600 tonnin suurtalouskeittiöjätteen vastaanottamisen (40 €/tonni porttimaksu) riittävän kannattavuuteen, vaikka hygieniamääräysten vuoksi tällöin täytyisikin tehdä lisäinvestointeja. Tuotantokustannukset alenisivat tällöin 0,06 €/kWh:iin, mikä on samansuuruinen kuin vältetty sähkön ostohinta vuonna 2006. Tutkimusten tekoaikaan ei ollut vielä tietoa tulevan syöttötariffin suuruudesta. Kalmarin tutkimuksessa oli käytetty 30 kW_e aggregaattia, joten nimellisteho olisi liian pieni syöttötariffijärjestelmään ja Tervahartialan tapauksessa sähköä ei riittäisi myyntiin.

Vilkkilän (Vilkkilä 2007) tutkimuksessa 2,2 milj. € reaktorilaitosinvestoinnilla 8000 tonnin puhdistamolietteestä ja biojätteestä tuotettaisiin 400 000 m³ biometaania. Reaktorilaitoksen CHP-tuotanto 600 MWh sähköä ja 1400 MWh lämpöä olisi hyvinkin kannattavaa, kun biohajoavan jätteen porttimaksuista (35 €/t) saataisiin 80 % tuloista. Investointitueksi oli tässä oletettu 20 %. Kun 160 000 m³ biometaania tuotettaisiin liikennekäyttöön,

250 000 €:n lisäinvestointi puhdistuslaitteisiin olisi kannattavaa 10 vuoden takaisinmaksuajalla ja hinnalla 0,60 €/m³, mikä vastaa 0,53 €/l_{be}.

Hagström ym. (Hagström, Vartiainen & Vanhanen 2005) vertailivat CHP:n ja liikennepolttoainetuotannon kannattavuutta 1000 emakon sikalan tapauksessa. Biokaasutuotanto vastaisi tällöin 1200 MWh bruttoenergiaa reaktori- ja CHP-yksikköinvestoinnin suuruuden ollessa 380 000 €. Investointi osoittautuisi kannattavaksi 20 % investointituella ja 4 %:n korkotasolla 15 vuoden takaisinmaksuajalla. Perustapauksessa CHP-yksikön investoinnin ollessa 130 000 € ja puhdistuslaitteiston 250 000 € CHP-tuotanto omaan käyttöön (33 €/MWh) olisi kannattavampaa kuin puhdistus liikennekäyttöön (36 €/MWh). Jos sähköä ja lämpöä olisi yli oman tarpeen ja lämmölle ei olisi ostajaa, puhdistuksesta liikennekäyttöön tulisi kuitenkin helposti kannattavampaa kuin sähkön tuotannosta. Sähköstä saatava hinta kun olisi vain 30 €/MWh. Kannattavuus siis on hyvin tapauskohtaista riippuen myös eläintyyppistä ja sen lämmön tarpeesta.

Konkreettinen esimerkki kannattavuudesta saadaan, kun Joutsaan 2013 valmistuu liikennepolttoainetta tuottava biokaasulaitos. Laitos on saanut 1,6 miljoonan investointiin valtiolta 30 % investointitukea. Kapasiteettia on 150-200 autolle eli n. 2,3 GWh. Tämän suuruusluokan investoinnin on siis laskettu kannattavan porttimaksujen avulla, joita arvioidaan saatavan n. 200 000 €/a. Polttoainemyynnistä saatavat tulot olisivat n. 150 000 €/a ja vuotuiset menot 70000 € (Kalmari 2012). Laitos käyttää ympäristöluvan mukaan

- jätevesilietettä 2000 t/a
- biojätettä 1000 t/a ja
- sako-, umpi- ja rasvanerotuskaivojen lietettä 1750 t/a (Joutsan kunta 2011).

Joutsassa on asukkaita n. 4900 (Tilastokeskus 2013g). Pelkän oman kunnan jätevesilietteen ja biojätteen ei arvella riittävän vaan jätettä täytyy tuoda myös naapurikunnista (Joutsan Seutu 2011). (Kohtanen 2012, Parhiala 2013)

7 KYSELYTUTKIMUS BIOKAASUN KÄYTÖSTÄ

7.1 Aineisto

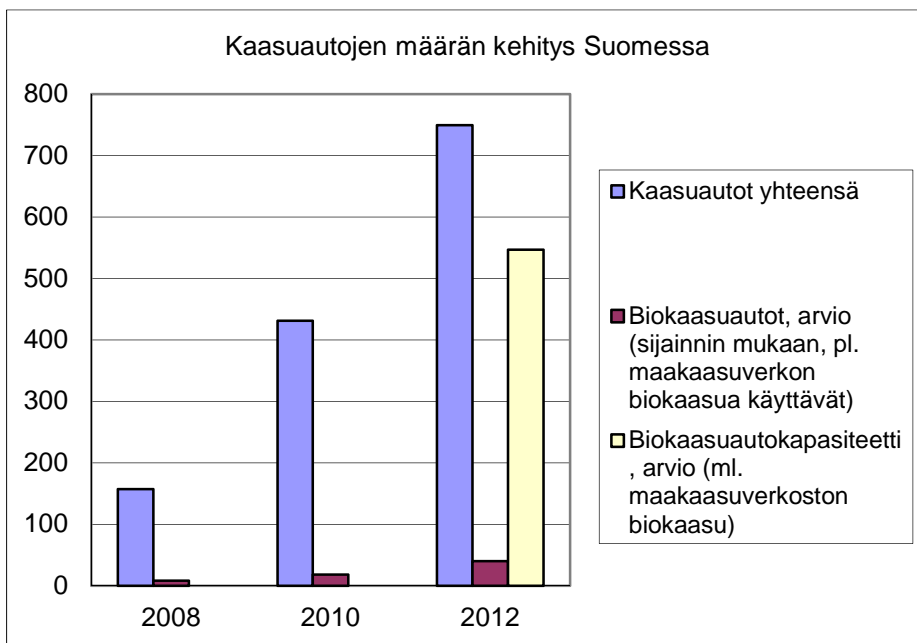
Vuonna 2008 tehtiin kysely yksityiskäytössä olevien bifuel-autojen (CNG ja CBG) omistajille heidän näkemyksistään ja kokemuksistaan biometaanista liikennepolttoaineena. Kyselylomake on esitetty liitteessä 2. Vuonna 2010 kyselyä jatkettiin suppeampana ja se kohdistettiin bifuel-autojen omistajille, joiden oletettiin käyttävän pääpolttoaineena biometaania.

Tarkoituksena oli selvittää mitä esteitä käyttäjät ovat kokeneet biometaanin käytön tiellä ja mitä he katsovat olevan mahdollista tehdä esteiden poistamiseksi. Esimerkiksi mitä vaikeuksia heillä ollut auton hankinnassa, toiminnassa tai huollossa ja kuinka he sijoittaisivat uusia jakelupisteitä, jotta niistä olisi eniten hyötyä heille tai yleensä biometaanin käytön edistämiseksi.

Kaasukäyttöisiä henkilöautoja oli 2008 kesäkuussa Ajoneuvorekisterikeskuksen (nykyinen Trafi) mukaan 157, joista yksityisille oli rekisteröity 68. Kahta vuotta myöhemmin luvut olivat 431 ja 262 ja heinäkuussa 2012 kaasukäyttöisiä autoja oli jo 749 eli neljässä vuodessa määrä oli lähes viisinkertaistunut (kuvio 10). Tuona aikana Gasumin maakaasun julkinen tankkausverkosto on laajennut 10 asemasta 16:een 13 eri paikkakunnalla eteläisessä Suomessa ja Tampereella.

Maantieteellisen sijainnin perusteella 2008 kesäkuussa olisi biokaasua pääpolttoaineena voinut olettaa käytettävän kahdeksassa henkilöautossa, kahta vuotta myöhemmin 18:ssa ja 2012 jo 40:ssä (AKE 2008, Trafi 2010, 2012b). Biometaania tuotettiin kyselyjen aikaan liikennekäyttöön vain Laukaassa Kalmarin maatilalla, jossa kapasiteettia oli juuri noin 40 autolle. Nykyään tilalla olisi kapasiteettia kuitenkin n. 200 autolle (Kallio & Luostarinen 2011).

Biokaasua syötetään myös maakaasuverkostoon Kymen Bioenergia Oy:n biokaasulaitoksella Kouvolassa ja Suomenojan jätevedenpuhdistamolla. Kouvolan biokaasun tuotantoa on esitelty luvussa 1.4.4. Jos kaikki Kouvolasta maakaasuverkostoon syötettävä biokaasu käytettäisiin autojen polttoaineena, se riittäisi arviolta n. 350 henkilöautolle tai kymmenelle kaasubussille. Suomenojan jätevedenpuhdistamon biokaasu on suunniteltu käytettävän pääkaupunkiseudun busseissa. (Gasum 2013b)



KUVIO 10 Kaasukäyttöisten henkilöautojen määrän kehitys Suomessa (AKE 2008, Trafi 2010, 2012b, Gasum 2013b)

7.2 Tulokset

Ensimmäinen kysely suoritettiin 28.8-21.9.2008 ja toinen 5.10-30.11.2010. Molemmassa kyselyissä rekisteritiedot perustuivat saman vuoden puolivälin rekisteritietoihin. Vastaajien määrä oli kyselyissä niin pieni, ettei tuloksia voi pitää tilastollisesti merkitsevinä. Seuraavat tiedot ovat siis kvalitatiivisia ja numerotiedot suuntaa-antavia. Kyselyn 2008 vastausprosentti oli 47 % (32/68) ja vuoden 2010 56 % (10/18). Seuraavassa tiedot perustuvat 2008 kyselyyn, jollei erikseen mainita kyselyn ajankohtaa.

7.2.1 Autot

Yleisimmin käytetyt automerkit olivat Volvo (46 %), Opel (21 %) ja Volkswagen (18 %), mutta oli myös yksittäisiä muita merkkejä: Ford, Mercedes Benz, Fiat ja BMW. Jälkiasenteisia kaasujärjestelmiä oli vain kaksi (7 %). Noin puolet autoista oli hankittu Suomesta, yli puolet oli vuosimallia 2006 tai uudempia. Kokemusta kaasuautoista oli vastaajilla pääasiassa alla kaksi vuotta. Kaksi vuotta myöhemmin Volvojen osuus oli vähentynyt, oletettavasti syystä, että Volvo oli lopettanut bifuel-autojen valmistuksen. Kaasuautojen käyttökokemusta oli myös enemmän ja suurin osa (80 %) autoista oli hankittu käytettyinä ulkomailta.

7.2.2 Polttoaine

Kyselyssä 2008 noin puolet vastaajista oli käyttänyt biokaasua ja viidellä vastaajista se oli pääpolttoaineena. Vuonna 2008 kyselyssä oli vain kahdella

vastaajalla (n. 6 %) bensiini ensisijaisena polttoaineena. 2010 luonnollisesti biokaasuautoilijoille suunnatussa kyselyssä biokaasu oli ensisijainen polttoaine. Heillä myös kaupunkiajon osuus ajosta oli pienempi.

Kaasuautoilla ajettiin keskimäärin molemmissa kyselyissä n. 24000 km. Tämä on enemmän kuin dieselajoneuvoilla keskimäärin vuonna 2008 (21000 km/a), joskin mukana oli suhteellisesti enemmän taksiajoneuvoja kuin ajoneuvokannassa keskimäärin (VTT Lipasto 2010).

Noin 90 % kaasua ensisijaisena polttoaineena käyttävistä ajoi bensiinillä alle 20 % kilometreistä. Heillä keskimäärin etäisyys lähimmälle kaasuasemalle oli n. 16 km. Biokaasuajoneuvoilla etäisyys oli 2010 samaa luokkaa, keskimäärin 15 km. Suurin osa biokaasuautoilijoista asui aseman lähetyvillä tai asema oli työ- tai harrastusmatkan varrella, mutta kaksi kymmenestä valitteli aseman olevan suunnalla, johon ei normaalisti ole asiaa. 2008 yksi olisi toivonut asemia lisää ja yksi asemia pääkaupunkiseudusta länteen päin.

7.2.3 Auton hankinta ja käyttö

Auton saatavuuden kanssa koki 2/3 vastaajista olevan ongelmia. Erityisesti käytettyjä autoja oli huonosti saatavilla Suomesta. Autojen toimivuuteen oltiin kuitenkin erittäin tyytyväisiä, vain 16 % oli ollut jonkin verran ongelmia: esim. kaasuliitin oli jäänyt vuotamaan talvella, auto oli sammunut useita kertoja peräkkäin tai alakierroksilla oli nykimistä. Vain yksi kertoi biokaasun käytöstä johtuneen ongelmia, "nypytystä", olettaen syyksi biokaasun seassa olleen veden. Neljänneksellä vastaajista oli ollut huollon toimivuuden kanssa ongelmia: esim. huollossa oltiin epävarmoja, koska ei ollut aikaisempaa kokemusta bifuel-autojen huollosta.

Yli puolella oli kaasutankillisen riittävydessä ongelmia ja tankkausasemien sijainnissa n. 2/3:lla. Esim. kerrottiin, että n. 250 km:n toimintasäde kaasutankillisella on turhan pieni. Tai että biokaasua kyllä käyttäisi mieluummin kuin maakaasua, jos sitä vain olisi saatavilla. Tai vaikka Etelä-Suomessa on tankkausasemia, niin esim. jo Turussa käydessä täytyy turvautua bensiiniin. Vain muutamalla oli itse tankkauksen kanssa ollut vaikeuksia: esim. syyksi mainittiin, että toisen auton käyttäjän mielestä kaasun tankkaus olisi turvallisuusriski, eikä siksi haluaisi tankata kaasuasemalla.

7.2.4 Biokaasun hinta

Vuonna 2008 n. 69 % vastaajista olisi ollut valmis ajamaan yli 10 km pidemmän matkan tankatakseen biokaasua kuin bensiiniä, jos biokaasun hinta oli sama kuin maakaasun. Saman verran oli valmis venyttämään tankkausmatkaa maakaasuun verrattuna, jos hinta olisi 20 c/l_{be} halvempi kuin maakaasun. Kommenteina oli mm. että tankillisen riittäessä vain 200 km:n matkaan, ei ole järkevää käyttää viidesosaa tankillisesta tankkausmatkaan. Vuoden 2010 kyselyssä n. 10 % enemmän oli valmis samaan: Keskimäärin oltiin valmiita muutamaa kilometriä pidempään matkaan.

Jos bensiinin hinta on 1,4 €/l ja maakaasun 0,7 €/l_{be}, biokaasun hinta saisi suurimman osan mielestä olla alhaisempi kuin maakaasun. Vastaajista pääosan mielestä sopiva hinta olisi 0,5-0,7 €/l, keskimäärin lähempänä 50 senttiä kuin 70 senttiä. Kommentteina oli mm., että biokaasu on n. 15 % tehottomampaa, joten hinnan pitäisi senkin vuoksi olla edullisempi. Biokaasun hinta oli kyselyjen aikaan noin 1,0 €/kg vastaten n. 0,64 €/l_{be} maakaasua ja maakaasun tuo 0,7 €/l_{be}.

Vastaajista noin 2/3 hankkisi mahdollisesti noin 6000 € maksavan kotitankkausaseman, jos asuisi kiinteistössä, jossa on biokaasuliittymä. Jos liittymässä olisi tarjolla vain maakaasua, noin puolet voisi harkita sen hankkimista. Epävarmuutta hankintaan lisäsi esim. arveltu huollon hankaluus ja kalleus.

Noin kolmannes vastaajista arvioi 2008 autonsa maksaneen saman verran tai jopa vähemmän kuin vastaava bensiiniauto, kolmannes maksoi yli 10 % enemmän. Vuoden 2010 kyselyssä lähes 90 % arveli maksaneensa enemmän kuin bensiiniautosta. Suurin osa vastaajista olisi myös valmis maksamaan bifuel-autosta enemmän kuin bensiiniautosta, mutta vain noin kolmannes yli 10 % enemmän.

7.2.5 Biokaasun käyttö

Kaasun edullisuudella verrattuna bensiinin tai dieselin käyttöön oli kaikille vastaajille yhtä lukuunottamatta merkitystä, noin puolelle edullisuus oli erittäin tärkeää. Kaikille oli merkitystä alhaisilla hiilidioksidipäästöillä ja yleensä vähäpäästöisyydellä. Lähes puolen mielestä hiljaisella käyntiäänellä ei ollut merkitystä: yksi totesi käyntiäänänen olevan saman bensiinillä tai kaasulla ja toinen, että käyntiäänänen olisi kovempi kaasulla.

Biokaasun käytölle polttoaineena maakaasun sijaan energiamuodon uusiutuvuudella oli merkitystä kaikille vastaajille. Samoin oli merkitystä biokaasun edullisuudella verrattuna maakaasuun.

7.2.6 Biokaasun käytön esteet

Noin 89 % vastaajista koki jakeluverkoston puuttumisen erittäin tärkeäksi syyksi biokaasun käytön vähäisyydelle Suomessa. Tuotantotuen puuttuminen oli tärkeä tai erittäin tärkeä syy n. 82 %:n mielestä. Noin 79 % vastaajista koki kaasukäyttöisten ajoneuvojen, erityisesti käytettyjen autojen, puutteen markkinoilta haittaavan merkittävästi biokaasun käyttöä. Vain noin puolet koki velvoitteen ottaa maakaasuverkostoon biokaasua puuttumisen tärkeäksi tai erittäin tärkeäksi, n. 82 % arvioi kuitenkin sillä olevan merkitystä. Noin 54 %:lle vastaajista se, että ajoneuvoverotus ei suosi bifuel-autoja oli erittäin tärkeä syy, kaikkiaan 79 %:lle sillä oli merkitystä.

Yleisesti ottaen vastaajat olivat tyytymättömiä harjoitettuun ympäristöpolitiikkaan biometaanin käytölle liikennepolttoaineena osalta:

- Epäiltiin päättäjien asiantuntemusta.

- Epäiltiin, että Energiateollisuus, suuret ydinvoima- ja metsäyhtiöt sekä Neste Oilin monopoliasema vaikuttavat päätöksiin niin, ettei biometaanin hajautetulle tuotannolle, jakelulle saati käytölle saada tukea.
- Katsottiin, että biometaanin merkitystä huoltovarmuudelle ei ole otettu päätöksenteossa huomioon.
- ”Vihreä verouudistus” on jättänyt ympäristöystävällisimmäksi todetun liikennepolttoaineen huomioimatta kokonaan.
- Jos tuotanto/tankkausverkosto saataisiin alulle investointitukien avulla, autojen määrä alkaisi lisääntyä.

8 BIOKAASUN TUOTANTO- JA JAKELUVERKON MALLINNUS

8.1 Biokaasun tuotannon ja jakelun verkostomalli

Työssä laadittiin verkostomalli optimaalisesta liikennebiokaasun tuotanto- ja jakeluverkostosta Keski-Suomessa. Potentiaalisiksi tuottajiksi valittiin maatiloja ja niiden muodostamia yhteismädättäjä. Oletuksena jakelupisteet sijoitettiin yksittäisiin tuotantopisteisiin tai tuotantopisteiden ryvästyksiin muodostettavien yhteismädättämöiden yhteyteen. Tiedot maailoista perustuvat myönnettyihin nautakarja- ja sikatilojen ympäristölupiin. Kaatopaikkoja, elintarviketeollisuuden ja yhdyskuntien biojätettä sekä jätevesilietettä ei tässä tutkimuksessa otettu huomioon. Yhteismädättämöiden muodostajiksi valittiin keskinäiseltä maantieteelliseltä etäisyydeltään (etäisyys alle 10 km) sopivia tiloja, joiden yhteenlaskettu koko vastaisi vähintään 200 lypsylehmän biokaasun tuotantoa.

Mahdollisia kuluttajia ovat maatilojen läheisyydessä sijaitsevat henkilöautot. Kun vuotuinen ajomäärä on 20000 km ja bensiiniekvivalenttikulutus 7,5 l_{be}/100 km, on yhden auton energiankulutus n. 13 MWh/a ja metaaninkulutus n. 960 kg/a tai 1300 m³(NTP)/a. Tällöin yhden mädättämön tuotanto riittää minimissään 17 autolle.

8.2 Toteutus

Maatilojen koot ja sijainnit saatiin Keski-Suomen ympäristökeskuksen 2002-2009 sekä valtion aluehallinnon uudistamisen 1.1.2010 jälkeen Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintoviraston ennen 31.6.2012 Keski-Suomeen myöntämien kotieläinsuojien ympäristölupien perusteella. Ympäristölupa tarvitaan esimerkiksi silloin, kun eläinsuoja on tarkoitettu vähintään 30 lypsylehmällä, 80 lihanaudalle, 60 täysikasvuiselle emakolle tai 210 lihasialle. Lupahakemus osoitetaan alueelliselle ympäristökeskukselle, kun eläinsuoja on vähintään 75 lypsylehmälle, 200 lihanaudalle, 250 täysikasvuiselle emakolle tai 1000 lihasialle. Pienempien eläinsuojien lupahakemukset osoitetaan kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle, eikä niiden tietoja ollut käytettävissä. Mallissa ei myöskään ole huomioitu mahdollisia tilojen tai niiden kotieläintoimintojen lakkauttamisia. (FINLEX 2000a)

Yhden lypsylehmän biometaanin bruttotuotanto on luvun 2.3.3 mukaan keskimäärin n. 189 m³CH₄/a. Kun eri kotieläintyyppien tuotantoluvut yhdenmukaistetaan vastaamaan lypsylehmän tuotantoa, käytetään tässä termiä nautayksikkö. 80 %:n konversioprosentilla ja vähentämällä nautaeläinten 3 kk:n laidunnus saadaan 200 nautayksikön tilalta liikennekäyttöön vähintään n. 23000 m³CH₄/a. Energiaa liikennepolttoaineena olisi näissä siis keskimäärin

vähintään 240 MWh/a (vaihteluväli 110-360 MWh/a). Metaanintuottomäärissä oletettiin tuotettavan lietelantaa minimivarastointitilavuuksien mukaan (liite 3). Määristä vähennettiin nautojen kolmen kuukauden kesälaidunnus ja konversiosuhteeksi oletettiin 80 %.

Eläinten metaanintuottomäärät yhdenmukaistettiin vastaamaan lypsylehmien metaanintuottoa kertoimilla taulukon 7 mukaan.

TAULUKKO 7 Kotieläinten metaanituottokertoimet vastaamaan lypsylehmän metaanintuottopotentiaalia (liite 3)

Eläin	Primäärinen CH ₄ potentiaali vuodessa m ³ /a	CH ₄ tuotanto-potentiaali vuodessa	Metaanintuottokerroin		
			ilman laidunnusta	3 kk laidunnus	kk
Lypsylehmä	98-280	79-220	1	0,75	
Emolehmä, hieho, sonni	62-170	49-140	0,63	0,47	
Nuorkarja (vasikka)	23-64	13-37	0,48	0,36	
Emakko, karju	19-28	15-23	0,13	-	
Lihasila	16-24	13-19	0,10	-	
Porsas	8-12	6-9	0,052	-	

Sijainnit mallinnettiin Matlab-ohjelmistolla ja alle 10 km:n etäisyydellä sijaitseville tiloille muodostettiin yhteismädättämö isoimmalle tilalle. Sijainteja verrattiin tieverkkoon, jotta kuljetusetäisyydet olisivat kohtuulliset (alle 10 km) ja laitosten keskinäinen sijainti mielekäs: Seuraavaksi lähin biokaasulaitos sijaitsisi alle 150 km:n päässä. Tieverkko saatiin excel-muodossa Tiehallinnon, nyk. Liikenneviraston aineistosta (Tiehallinto 2008). Koska käytössä ei ollut paikkatietojärjestelmäsovellusta, esim. ArcGIS Network Analyst Extension Closest Facility-työkalua, vertailu toteutettiin käyttäen Google Maps reittihakua.

8.3 Tulokset

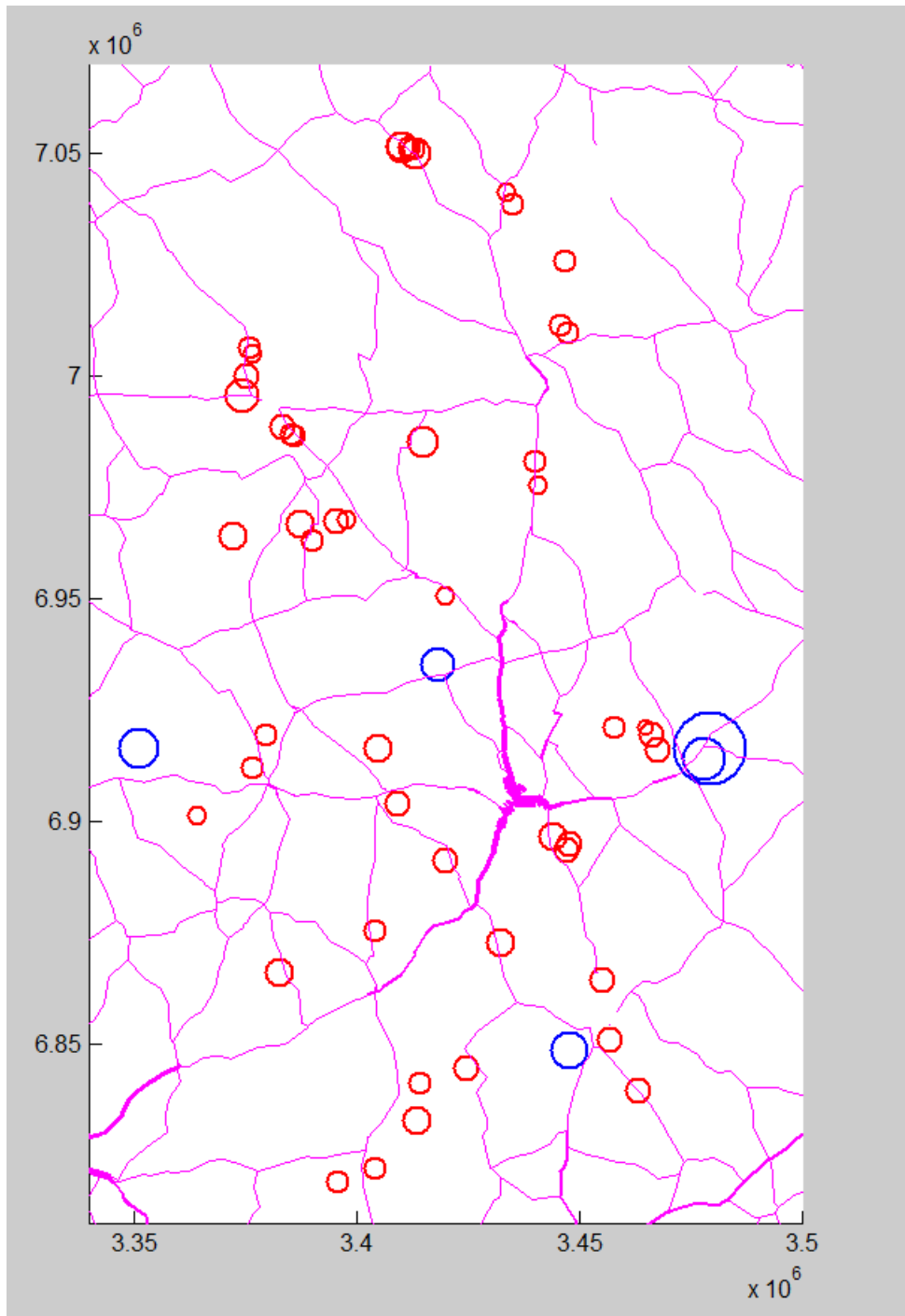
Nautakarja- tai sikatiloja oli vuonna 2011 Keski-Suomessa yhteensä n. 1000. Nautoja oli 51700, joista vasikoita 17500. Nautojen määrä oli n. 5,7 % koko maan 0,9 milj. naudasta. Sikoja oli 16300 (taulukko 8) eli n. 1,1 % koko maan n. 1,3 milj. siasta. (Tilastokeskus 2012a)

TAULUKKO 8 Tilojen ja kotieläinten lukumäärät Keski-Suomessa 2011 (Tilastokeskus 2012a)

Eläin	Tilojen lukumäärä	Eläinten lukumäärä
Lypsylehmä		14600
Emolehmä	621 (lypsykarjatalous)	4000
Hieho		8800
Lihakarja (sonni)	322 (muu nautakarjatalous)	6800
Nuorkarja (vasikka)		17500
Lihasika	55 (sikatalous)	14300
Emakko		2000 ¹⁾

1) porsaineen

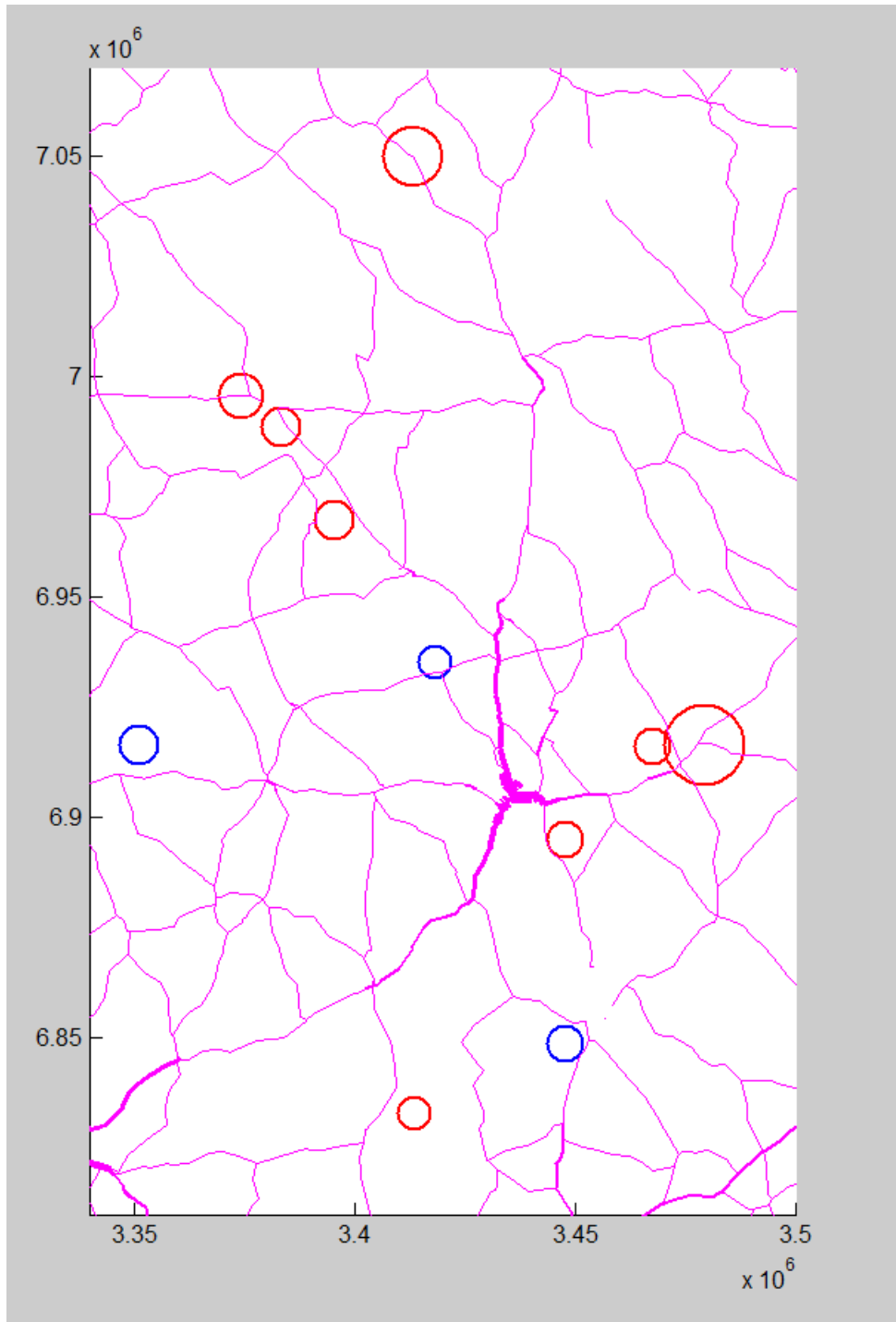
Ympäristölupien perusteella yli 200 lypsylehmän (nautayksikön) tuotantoa vastaavia tiloja oli 2012 Keski-Suomessa viisi kappaletta ja pienempiä, 50-150 yksikön, tiloja 50 (kuvio 11). Näiden tuotanto vastaisi yhteensä n. 7200 lypsylehmän tuotantoa eli n. 8 GWh liikennebiometaania.



KUVIO 11 Keski-Suomen yli 50 nautayksikön tilat vuoden 2013 kesäkuussa ympäristölupien perusteella. Alle 200 nautayksikön ympäristöluvalliset tilat merkitty punaisella ja yli 200 nautayksikön tilat (viisi kappaletta) sinisellä. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013, Tiehallinto 2008)

Tiloista muodostuisi kahdeksan yli 200 nautayksikön ryvästymää (kuvio 12, taulukko 9): yksi viiden, neljä kolmen tilan ja kolme kahden tilan yksikköä maksimietäisyydellä 10 km teitä myöten. Lisäksi olisi kolme yli 200 nautayksikön tilaa erillisinä yksikköinä.

Kaikkien näiden yhteenlaskettu biokaasutuotanto vastaisi n. 4300 lypsylehmän tuotantoa, eli n. 370 auton kulutusta (7,5 l_{be}/100 km, 20000 km/a), yhteensä n. 4,9 GWh. Loput 19 tilaa jäisivät verkoston ulkopuolelle.



KUVIO 12 Potentiaalisten yhteismädättämöiden (punainen ympyrä) tai yksittäisten tilojen (sininen ympyrä) biokaasulaitosten sijainnit Keski-Suomessa perustuen kuvioon 11.

Yhdestätoista mädättämöstä neljä sijaitsisi valtateiden läheisyydessä, missä liikennemäärät ovat yli 5000 ajoneuvoa/vrk. Loput seitsemän sijaitsisivat vähemmän liikennöityjen teiden (350-1500 autoa/vrk) läheisyydessä (Liikennevirasto 2013). Etäisyys lähimmälle seuraavalle mädättämölle olisi maksimissaan 115 km. Tämä ei kuitenkaan olisi riittävän kattavaa, koska mädättämöt sijaitsisivat pääasiallisesti etäällä valtavyylistä ja kasvukeskuksista. Esim. E4-tien varrelle Äänekosken seudulle ja 9-tien varrelle Jämsään tarvittaisiin myös jakelupisteet.

Neljä mädättämöä sijaitsisi maksimissaan 10 km:n etäisyydellä pienehköistä taajamista (700-2500 asukasta), joissa kuitenkin on jätevedenpuhdistamo. Pienten jätevedenpuhdistamojen lietettä ei yleensä hyödynnetä energiantuotannossa, joten sen voisi olettaa olevan käytettävissä yhteismädättämössä. Kaikki mädättämöt yhtä lukuunottamatta sijaitsisivat alle 20 km:n etäisyydellä taajamasta. Tarkemmalla tarkastelulla niihin voisi löytyä kannattavuuden parantamiseksi jätevesilietettä, biojätettä tai muita porttimaksullisia jätteitä.

TAULUKKO 9 Potentiaalisten mautilojen biokaasulaitosten sekä niiden nautayksiköiden lukumäärät ympäristölupien perusteella sekä kuinka monta autoa niiden tuottamalla biometaanilla voitaisiin pitää liikenteessä.

Kunta	Tiloja mädättämössä	Nautayksikköä	Energiaa [GWh]	Autoja
Hankasalmi	3+2	1500	1,7	124
Pihtipudas	5	660	0,7	56
Kyyjärvi	3	290	0,3	25
Saarijärvi	3	290	0,3	24
Karstula	3	290	0,3	24
Keuruu	1	270	0,3	23
Joutsa	1	250	0,3	21
Toivakka	2	230	0,3	20
Kuhmoinen	2	220	0,3	19
Uurainen	1	210	0,2	18
Yhteensä	26	4300 (4200...4300)	4,8 (2,5...7,2)	360 (190...520)

9 PÄÄTELMÄT JA KESKUSTELUA

Kaasuautojen lukumäärä Suomessa on muutamassa vuodessa moninkertaistunut ja biometaanin tankkaus kaasuverkostostakin on jo mahdollista. Kaasuverkosto sijaitsee kuitenkin vain eteläisen Suomen alueella (kuvio 7) ja muualle Suomeen sitä ei ole kannattavaa rakentaa. Kalmarin tilan esimerkki osoittaa, että verkoston ulkopuolellakin voidaan tuottaa biometaania liikennekäyttöön kannattavasti porttimaksujen avulla. Vaikka nykyinen lainsäädäntö tukee biokaasun käyttöä vain sähkön tuotantoon eikä liikennepolttoaineeksi, jatkossa voidaan odottaa lisää tukea liikennepolttoainetuotantoon, etenkin tuotettaessa energiaa jätteestä.

Kyselytutkimus osoitti, että halukkuutta biokaasun käyttöön polttoaineena olisi, mutta kovin kaukaa ei sitä haluttaisi lähteä hakemaan, kun auton kaasusäiliö on suhteellisen pieni ja toimintasäde sen mukainen. Julkisia maakaasun tankkausasemia oli ensimmäisen kyselyn aikaan vuonna 2008 vain kymmenen, nykyään niitä on 16. Maakaasuverkosto ei ole kuitenkaan tänä aikana laajentunut (kuvio 7).

Biometaania olisi mahdollista tuottaa käytettäväksi paitsi maakaasuverkoston kautta myös siellä, missä maakaasuverkostoa ei ole, esim. asutuskeskusten jätevedenpuhdistamoilla. Tämä parantaisi kaasuautojen käytettävyyttä ja vähentäisi WTW-hiilidioksidipäästöjä (Well-to-Wheel). Maatilojen sijaitessa usein kaukana valtaväylistä ja suurista asutuskeskuksista sekä niiden tuottaman biometaanimäärän ollessa tyypillisesti huomattavasti pienemmän kuin jätevedenpuhdistamojen, olisi niiden tuottama biometaanin tehokkaampaa käyttää paikallisesti liikennepolttoaineeksi. Toki biokaasua voi käyttää myös sähkön- ja lämmöntuotantoon, mutta esim. kesäaikaan, kun lämmölle ei ole tarvetta, pelkkä sähkön tuotanto ei ole energiategokasta. Sähköntuotantoon on sitä paitsi muitakin uusiutuvia, ei-jäteperäisiä, energialähteitä tarjolla. Puhtaasti jätteistä tuotettava energia olisi uusiutuvien energiamuotojen 20 % osuuden tavoittamiseen vuoteen 2020 mennessä myös liikennesektorilla tervetullut.

Keski-Suomessa olisi 26 tilalla teknistä potentiaalia biometaanin tuottamiseen karjan lannasta yhteensä n. 360 autolle (n. 4,8 GWh). Tämä on toki murto-osa kaikista alueen yli 150 000 autoista, mutta palvelisi paikallisesti uusiutuvan energian hyödyntämisessä. Vastaavaa potentiaalia on muuallakin Suomessa: Keski-Suomen osuus koko Suomen nautakarjasta on vain n. 6 % ja sikojen määrästä n. 1 %. Taajamien jätevedenpuhdistamoiden lietteiden biometaanipotentiaali on suuruusluokaltaan moninkertainen, suurilla puhdistamoilla, esim. Jyväskylän Nenäinniemen puhdistamolla, siitä on suurin osa kuitenkin jo valjastettu sähkön- ja lämmöntuotantoon. Pienten puhdistamoiden lietteiden hyödyntäminen yhteismädättämissä pitäisi kuitenkin olla mahdollista. Samoin pitäisi olla mahdollista mädättää biojätteitä,

joita laajalti kerätään kompostoitaviksi. Kompostointilaitosten toiminnassa osoittautuneiden ongelmien vuoksi vaihtoehtoisille biojätteiden käsittelymenetelmille olisi sijaa. Suurin osa maataloista, joilla olisi biometaanipotentiaalia, sijaitsee pienten taajamien läheisyydessä, ja voisi tällöin hyödyntää paitsi biojätteitä myös paikallisia jätevesilietteitä.

LÄHTEET

- Aho, M. & Kolhe, M 2004: KEM501 Uusiutuva energiantuotanto kurssimateriaali. VTT Processes/Jyväskylän yliopisto
- AKE 2008: Kaasuautot 2.7.2008. Lähtöaineisto pro gradu -tutkielman kyselyyn kaasuautojen käyttäjille. Ajoneuvohallintokeskus.
- Asplund, D., Korppi-Tommola, J. & Helynen, S. 2005: Uusiutuvan energian lisäysmahdollisuudet vuoteen 2015. Kauppa- ja teollisuusministeriön selvityksiä ja raportteja. Kestävä kehitys ja ympäristö. [http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/\\$file/34642005.pdf](http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/$file/34642005.pdf)
- Bachmann, N. 2012: Swiss Country Report. IEA Bioenergy Task 37. Erep s.a. http://www.iea-biogaz.net/country-reports.html?file=files/daten-redaktion/download/publications/country-reports/2012/Country%20Report%20Switzerland_Nathalie%20Bachmann_Moss_04-2012.pdf
- Boisen, P. 2012: Is methane gas really a credible alternative in the road transport sector? http://www.ccibioenergy.com/userfiles/html_file/Is_Methane_Gas_really_a_Credible_Alternative_Fuel-Boisen-060912.pdf
- Brauer, S, Vogel, A & Müller-Langer, F. 2008: Kosten und Ökobilanzen von Biokraftstoffen. Eine Studie im Auftrag der UFOP. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V./Institut für Energetik und Umwelt gemeinnützige GmbH. <http://www.netzwerk-biotreibstoffe.at/app/webroot/files/Kosten%20und%20C3%96kobilanz%20von%20Biokraftstoffen.pdf>
- BRC FuelMaker 2013: Refueling Domestic - Phill. <http://www.brcfuelmaker.it/phill-domestico-prodotto-brc-fuel-maker.aspx>
- Erdgas 2012: Erdgas in der Schweiz. VSG- Jahresstatistik. Ausgabe 2012. http://www.erdgas.ch/fileadmin/customer/erdgasch/Data/Broschuere_n/Jahresstatistik/VSG-Jahresstatistik_2012.pdf
- Erdgas 2013: Biogas – das erneuerbare Erdgas. <http://www.erdgas.ch/biogaz/>
- EU 1999: Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. Official Journal of the European Union L 182, p. 1-19. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:182:0001:0001:EN:PDF>
- EU 2003a: Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. Official Journal of the European Union L 123, p. 42-46. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:123:0042:0042:EN:PDF>
- EU 2003b: Directive 2003/55/EC of the European Parliament and of the Council of 26 June 2003 concerning common rules for the internal market in natural gas and repealing Directive 98/30/EC. Official Journal of the

- European Union L 176, p. 57-78. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:176:0057:0057:EN:PDF>
- EU 2009a: Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union L 140, p. 16-62. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=Oj:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>
- EU 2009b: Directive 2009/33/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of clean and energy-efficient road transport vehicles. Official Journal of the European Union L 120, p. 5-12. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:120:0005:0012:en:pdf>
- EU 2009c: Directive 2009/73/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning common rules for the internal market in natural gas and repealing Directive 2003/55/EC. . Official Journal of the European Union L 211, p. 94-136. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0094:0136:en:PDF>
- EU 2009d: Monitoring the CO2 emissions from cars in the EU: Data from the years 2005, 2006 and 2007. Communication from the commission to the council and the European Parliament. COM(2009) 9 final. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0009:FIN:EN:PDF>
- EU 2013a: Reducing CO2 emissions from passenger cars. European Commission. Climate Action. http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm
- EU 2013b: Ehdotus: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. COM(2013) 18 Final 2013/0012. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2013/0018/COM_COM\(2013\)0018_FI.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2013/0018/COM_COM(2013)0018_FI.pdf)
- EU 2013c: Climate action. What is the EU doing about climate change? <http://ec.europa.eu/clima/policies/brief/eu/>
- EU 2013d: Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2011 and inventory report 2013. <http://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2013>
- FINLEX 1994: Autoverolaki 1482/1994 <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19941482>

- FINLEX 1996: Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961260>
- FINLEX 1997: Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista. 861/1997.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1997/19970861>
- FINLEX 2000a: Ympäristönsuojeluasetus 169/2000.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000169>
- FINLEX 2000b: Maakaasumarkkinalaki. 31.5.2000/508.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000508>
- FINLEX 2003a: Ajoneuvoverolaki. 30.12.2003/1281.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2003/20031281>
- FINLEX 2003b: Laki polttoainemaksusta 30.12.2003/1280.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2003/20031280>
- FINLEX 2007a: Valtioneuvoston asetus maaseudun yritystoiminnan tukemisesta. 1.6.2007/632.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070632>
- FINLEX 2007b: Laki ajoneuvoverolain muuttamisesta. 1311/2007.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20071311>
- FINLEX 2009: Laki autoverolain muuttamisesta. 5/2009
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090005>
- FINLEX 2010a: Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä 13.4.2007/446. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070446>
- FINLEX 2010b: Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101396>
- FINLEX 2010c: Laki ajoneuvoverolain 11 §:n muuttamisesta. 1401/2010.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101401>
- FINLEX 2010d: Hallituksen esitys eduskunnalle energiaverotusta koskevan lainsäädännön muuttamiseksi. HE 147/2010.
<http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2010/20100147>
- FINLEX 2011: Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain liitteen muuttamisesta. 1444/2011.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20111444>
- FINLEX 2012: Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista. 1063/2012. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20121063>
- FINLEX 2013: Laki biopolttoaineista ja bionesteistä. 393/2013.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130393>
- FNR 2012: Bioenergy in Germany: Facts and Figures. January 2012. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
http://www.biodeutschland.org/tl_files/content/dokumente/biothek/Bioenergy_in-Germany_2012_fnr.pdf
- Gasbilen 2013. Fordonsgas i siffror. Energigas Sverige.
<http://www.gasbilen.se/Att-tank-a-pa-miljon/Fordonsgas-i-siffror>
- Gasum 2012a, 2013a: Biokaasun ja maakaasun hinta ja verotus.
<http://www.gasum.fi/liikenne/Sivut/Hinta.aspx>

Gasum 2012b: Gasumin vuosi 2012.

<http://verkkojulkaisu.viivamedia.fi/gasumvuosikertomukset/vuosikertomus2012>

Gasum 2013b: Tuotteet – Biokaasu.

<http://www.gasum.fi/tuotteet/biokaasu/Sivut/default.aspx>

Gasum 2013c: Kaasuverkostot - Verkostokartat.

<http://www.gasum.fi/kaasuverkostot/verkostokartat/Sivut/default.aspx>

Gasum 2013d: Tuotteet – Maakaasu. Puhtaasti palava luonnonkaasu.

<http://www.gasum.fi/tuotteet/maakaasu/Sivut/default.aspx>

Gasum 2013e: Liikenne – Tankkausasemat.

<http://www.gasum.fi/liikenne/tankkausasemat/Sivut/default.aspx>

GERBIO 2011: National reports on current status of biogas production. GasHighWay.

<http://www.gashighway.net/default.asp?sivuID=25922&component=/modules/bbsView.asp&recID=16778>

Gröna Bilister 2013: Miljöbästa bilar. <http://www.gronabilister.se/miljobastabil>

Hagström, M., Vartiainen, E., Vanhanen, J. 2005. Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. Loppuraportti. Gaia Group Oy:n selvitys. Helsinki.

http://www.bioenergiatieto.fi/default/?__EVIA_WYSIWYG_FILE=2784&name=file

HS 2013: Säästöohjelma hävittää maakaasubussit Helsingistä. Helsingin Sanomat 20.2.2013.

<http://www.hs.fi/paivanlehti/kaupunki/S%C3%A4%C3%A4st%C3%B6ohjelma+h%C3%A4vitt%C3%A4%C3%A4+maakaasubussit+Helsingist%C3%A4/a1361248391882>

HSL 2013: HSL tukee bussiliikenteen päästöjä alentavia toimenpiteitä yli puolen miljoonan ympäristöbonuksilla. <https://www.hsl.fi/uutiset/2012/hsl-tukee-bussiliikenteen-paastoja-alentavia-toimenpiteita-yli-puolen-miljoonan>

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2012: Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 15. Tiedot vuodelta 2011. University of Eastern Finland. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences No 8 2012.

http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0867-4/urn_isbn_978-952-61-0867-4.pdf

IPCC 2007: Climate change 2007: Synthesis report.

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spms5.html

Joutsan kunta 2011: Teknisen lautakunnan lupajaosto 5.5.2011. Joutsan Ekokaasu Oy:n ympäristölupahakemus, biokaasulaitos.

<http://www.joutsa.fi/d5web/kokous/2011652-6.PDF>

Joutsan Seutu 2011: Biokaasun tuotantolaitos ja myyntipiste Joutsaan. Uutisarkisto 26.1.2011.

<http://www.joutsanseutu.fi/uutisarkisto.php?action=uutinen&id=1420>

Kallio, M. & Luostarinen, J. 2011: Kalmari – Biokaasumaatila Laukaassa. Case Study Biogas. AgriForEnergy.

http://www.agriforenergy.com/content/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=1252:vtt_01_kalmari-biokaasumaatila-laukaassabiokaasu.fi.pdf&id=23:advisory-tool-biogas

- Kalmari, J. 2006: Maatilakohtaisen biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus suomalaisella sikatilalla. Helsingin yliopisto, Taloustieteen laitos. Selvityksiä nro 42. <http://www.helsinki.fi/taloustiede/Abs/Selv42.pdf>
- Kalmari, E. 2010: Biokaasun käyttö. Bioenergiaa ja laskentaa –workshop (Jyväskylän yliopisto)
- Kalmari, E. 2012: Joutsan seudun biokaasulaitos. Suomen Kaasuyhdistyksen kevätkokous 11.5.2012. http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20120510_kevatkokous/kalmari.pdf
- Keski-Suomen ELY-keskus 2010: Sanoista tekoihin. Keski-Suomen ympäristöohjelma 2015. Keski-Suomen ELYkeskus 2010. <http://www.ely-keskus.fi/fi/ELYkeskukset/KeskiSuomenELY/Ajankohtaista/Julkaisut/Sivut/default.aspx>
- Keski-Suomen liitto 2011. Keski-Suomi ja ilmastonmuutos. http://www.keskisuomi.fi/filebank/22413-KS_ilmastonmuutos_korjattu_22_11_2011.pdf
- Klein, E., Ileleji, Martin, C. & Jones, D. 2008: Basics of energy production through anaerobic digestion of livestock manure. –Purdue Agriculture 8/08, Purdue University. 6 s. <http://www.extension.purdue.edu/extmedia/ID/ID-406-W.pdf>
- Kohtanen, J. 2012: Biokaasun tuotantoa voitaisiin lisätä huomattavasti. Human Tech Center Finland. <http://www.htklusterit.fi/ajankohtaista/uutinen?selArticle=809>
- Kolhe, M. 2006: Economic Evaluation of Renewable Energy Technologies. KEMS807 course material. Jyväskylän yliopisto.
- Koneviesti 2006: Jalostettua biokaasua maakaasuverkkoon. Koneviesti nro 10 21.7.2006.
- Koneviesti 2007: Uusi menetelmä biokaasun laadunparannukseen. Koneviesti nro 3 23.2.2007.
- Kuittinen, V., Huttunen, M. J. & Leinonen, S. 2007: Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 10. Tiedot vuodelta 2006. Joensuun yliopisto, Ekologian tutkimusinstituutin raportteja No 3. http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-219-078-9/urn_isbn_978-952-219-078-9.pdf
- KWS 2008: Energie- und Klimaeffizienz ausgewählter Biomassekonversionspfade zur Kraftstoffproduktion. Endbericht des IE in Zusammenarbeit mit KWS. <http://www.nova-institut.de/news-images/20080611-06/KWS-Studie.pdf>
- Lampinen, A. 2003: Jätteiden liikennekäyttöpotentiaali Suomessa. Kuntatekniikka 1/2003.

- Lampinen, A. 2008. Liikennebiokaasulainsäädäntö, Palvelututkimus no 8/2008, Vaasa: Vaasan yliopisto, Levon-instituutti.
<http://www.vei.fi/files/pdf/300/Liikennebiokaasulainsaadanto.pdf>
- Lampinen, A. 2009: Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Joensuu 2009.
http://www.karelia.fi/julkaisut/sahkoinenjulkaisu/B17_verkkojulkaisu.pdf
- Lampinen, A. 2012: Tiekartta uusiutuvaan metaanitalouteen. Sektoriraportti liikenne- ja viestintäministeriön työryhmälle "Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä". Pohjois-Karjalan liikennebiokaasuverkoston kehityshanke ja Suomen Biokaasuyhdistys ry. Pohjois-Karjalan liikennebiokaasuverkoston kehityshankkeen julkaisuja 1/2012.
http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Sektoriraportti_UE-metaani_LVM_2012.pdf
- Latvala, M. 2009: Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Suomen ympäristö 24/2009. Suomen ympäristökeskus.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY_24_2009.pdf?sequence=1
- Lehtomäki, A. 2006: Biogas Production from energy Crops and Crop Residues. Jyväskylä Studies in biological and Environmental Science 163. University of Jyväskylä.
https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/13152/951392559_5.pdf?sequence=1
- Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007: Biokaasusta energiaa maatalouteen - raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. Jyväskylän yliopisto.
- Liikenne- ja viestintäministeriö 2010. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009-2020. Seuranta 2010. Julkaisuja 28/2010.
http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=964900&name=DLFE-11121.pdf&title=Julkaisuja%2028-2010
- Liikennevirasto 2013: Liikennemääräkartta 2012. Keski-Suomi.
http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/aineistopalvelut/tiilastot/tietilastot/liikennemaarakartat/KESELY_liikennemaarat_kvl_2012.pdf
- Linne, M. & Jönsson, O. 2004: Summary and analysis of the potential for production of renewable methane (biogas and SNG) in Sweden. Literature study. Revised March 2005: Johan Rietz. BioMil Ab, Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC).
http://www.biogasmax.co.uk/media/summary_and_analysis_april2005_022436100_1644_26042007.pdf
- Luostarinen, J. 2007: Energiakasveista tuotetun biokaasun energiatase suomalaisessa maatilakokoluokan biokaasulaitoksessa. Pro gradu -

- tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Bio- ja ympäristötieteiden laitos.
https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/7238/URN:NBN:fi_jyu-2007691.pdf?sequence=1
- Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013: Ympäristölupapäätökset - Länsi- ja Sisä-Suomi. http://www.avi.fi/web/avi/ymparistoluvat-paatokset?p_p_id=122_INSTANCE_aluevalinta&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_r_p_564233524_resetCur=true&p_r_p_564233524_categoryId=14406#.UdwybfkwdvA
- Matthiasson, A. 2012: Styrmedel och incitement för biogas. Energigas Sverige. http://www.biomaster-project.eu/docs/Energigas_Sverige.pdf
- Mercedes-Benz 2013: Mercedes-Benz henkilöautot. E-sarjan sedan. Tekniset tiedot. http://www.mercedes-benz.fi/content/finland/mpc/mpc_finland_website/fi/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/e-class/_w212/facts/_technicaldata/models.html
- Motiva 2013a: Biokaasun hyödyntäminen. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu/biokaasun_hyodyntaminen
- Motiva 2013b: Ekoauto 2008. http://www.motiva.fi/ajankohtaista/kuvapankki/ekoauto_2008
- Motiva 2013c: Ekoauto 2013. http://www.motiva.fi/ajankohtaista/kuvapankki/ekoauto_2013
- Motiva 2013d: Biokaasun tuotanto maatilalla. http://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf
- Mättö, V. 2011: Biokaasu tulossa Helsingin seudun busseihin. YLE uutiset. Helsinki. http://yle.fi/uutiset/biokaasu_tulossa_helsingin_seudun_busseihin/5460514
- NGVA 2012: Natural & Biogas Vehicle Association Europe. NGV Success Stories. Sweden. <http://www.ngvaeurope.eu/sweden>
- NOAA 2013: US Department of Commerce. National Oceanic & Atmospheric Administration. NOAA Research. Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html#mlo_full
- Nord Pool Spot 2013: Elspot prices weekly. http://www.nordpoolspot.com/PageFiles/9384/Elspot%20Prices_2012_Weekly_EUR.xls
- Nurminen, T. 2006: E-PRTR -päästöt vesiin. Päästötarkkailun ja raportoinnin ajankohtaispäivä 28.11.2006.
- Nylund, N-O & Laurikko, J. 2012: Tieliikenteen uusiutuva energia ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen vuoteen 2020 mennessä. TransEco strategiahankkeiden Suomi 2020. Tutkimusraportti VTT-R-04433-12. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-04433-12.pdf>

- Observ'ER 2011: The State of Renewable Energies in Europe. Edition 2011. 11th EurObserv'ER Report. http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan11.pdf
- Observ'ER 2012: The State of Renewable Energies in Europe. Edition 2012. 12th EurObserv'ER Report. http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan12.pdf
- Parhiala, P. 2013: Biojätteestä polttoainetta 200 henkilöautolle. Lehdistötiedote. http://www.joutsanekokaasu.fi/files/joutsanekokaasu.kotisivukone.com/joutsa_lehdistotiedote2.pdf
- Persson, M. 2003: Evaluation of biogas upgrading technologies. Swedish Gas Center – November 2003. Lund Institute of Technology. Report SGC 142. <http://cdm.unfccc.int/filestorage/E/6/T/E6TUR2NNQW9O83ET10CX8HTE4WXR2O/Evaluation%20of%20Upgrading%20Techniques%20for%20Biogas.pdf?t=WDJ8bXloZ2tkfDCGebP6ZyhN7Xzh3swYy0Ho>
- Persson, M., Jönsson, O. & Wellinger, A. 2006: Biogas Upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection. IEA Bioenergy Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas. http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading_report_final.pdf
- Pulsa, M. 2008: Biokaasun syöttö maakaasuverkostoon. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/38643/nbnfi-fe201105171575.pdf?sequence=5>
- 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 47/2012. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti47.pdf>
- Santala, E., Etelämäki, L. & Santala, O. 2009: Yhdyskuntien jätevesien puhdistus 2007. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29/2009. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39686/SYKEra_29_2009.pdf?sequence=1
- SL 2012: En ren vinstlott för miljön. 230 biogasbussar rullar på Stockholms gator. http://sl.se/PageFiles/25401/SL-annons-sida_05mars_LOW.pdf
- Statens energimyndighet 2012: Produktion och användning av biogas år 2011. ES 2012:08. http://webbshop.cm.se/System/DownloadResource.ashx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/9b100c7a38524e40a0f1de45dddbcb2a/ES%202012_08w.pdf
- Strateco 2012: BalticBiogasBus. The Stockholm Experience. A Decade of Experiences with Biogas Bus Operations. Articulated Buses in City Operations. Comparing Diesel with Biogas. http://www.balticbiogasbus.eu/web/Upload/Use_of_biogas/Act_6_2/The%20Stockholm%20Expeerience%20final_webb.pdf
- Suomen kaasuyhdistys 2010: Maakaasukäsikirja. Marraskuu 2010 http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/kasikirja_2010307.pdf

- Suomen kaasuyhdistys 2011: Natural Gas and Biogas in Finland 2011.
http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/tilastot/gasinfina nd_statistics_2011c.pdf
- Tervahartiala, H. 2007: Maatilan biokaasulaitoksen kannattavuus. Jyväskylän yliopisto. Taloustieteiden tiedekunta. Pro gradu -seminaarin tutkimustyö.
- Thomson Reuters 2013: Raakaöljyn hintakehitys. Öljyalan keskusliitto.
<http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/13-raakaoljyn-hintakehitys>
- Tiehallinto 2008: Keski-Suomen tiestön koordinaatit. Lähtöaineisto Pro gradu - tutkielman biometaanipotentiaalin mallintamisosioon.
- Tilastokeskus 2009: Maatilarekisteri 2009. Tilastokeskus.
http://www.maataloustilastot.fi/sites/default/files/maatilarekisteri_2009_kansi_sivulla.pdf
- Tilastokeskus 2012a: Maatilatilastollinen vuosikirja 2012. Tilastokeskus.
http://www.maataloustilastot.fi/sites/default/files/vuosikirja_2012_0.pdf
- Tilastokeskus 2012b: Autot maakunnittain 31.12.2011.
http://www.stat.fi/til/mkan/2011/mkan_2011_2012-02-24_tau_001_fi.html
- Tilastokeskus 2012c: Henkilöautot käyttövoiman mukaan 2005-2011.
http://194.157.221.15/markkinointijarjestelma/taulu julkaisu/92_taulu_katso_uusi.asp?tjid=562&kieli=
- Tilastokeskus 2012d: Liikennekäytössä olevat ajoneuvot käyttövoimittain 31.12.2012.
http://www.trafi.fi/filebank/a/1360916788/bcba475b9624fa830ae0c67e09c9b9c1/11414-Liikennekayttoiset_ajoneuvot_kayttovoimittain_31122012.pdf
- Tilastokeskus 2012e: Energian kokonaiskulutus.
http://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html
- Tilastokeskus 2012f: Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2011.
http://www.vyr.fi/www/fi/liitetiedostot/tuotanto_ ja_viljelytietoa/viljely_ ja_satotilastot/kaytossa_oleva_maatalousmaa/kaytossa_olevan_maatalousmaa_2011_10.1.2012.pdf
- Tilastokeskus 2012g: Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa.
http://193.166.171.75/database/statfin/ymp/khki/khki_fi.asp
- Tilastokeskus 2013a: Bensiinin ja dieselin hintakehitys:
http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/verotus_ ja_hintakehitys/bensiinin_ ja_dieselin_hintakehitys
- Tilastokeskus 2013b: Kuluttajahintaindeksi 2013, lokakuu.
http://tilastokeskus.fi/til/khi/2013/10/khi_2013_10_2013-11-14_tau_005_fi.html
- Tilastokeskus 2013c: Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2012.
http://pai.stat.fi/til/khki/2012/khki_2012_2013-05-16_kat_001_fi.html

- Tilastokeskus 2013d: Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2011. Katsauksia 2013/1 Ympäristö ja luonnonvarat. Helsinki 2013.
http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/suominir_2013.pdf
- Tilastokeskus 2013e: Moottoriajoneuvokanta. Tiedot perustuvat Liikenteen turvallisuusviraston (Trafi) ajoneuvoliikennerekisteriin sekä Ålands Motorfordonsbyrån ajoneuvorekisteriin.
<http://www.stat.fi/til/mkan/tau.html>
- Tilastokeskus 2013f: Energian hinnat.
http://193.166.171.75/database/statfin/ene/ehi/ehi_fi.asp
- Tilastokeskus 2013g: Kuntien avainluvut. Joutsa.
<http://tilastokeskus.fi/tup/kunnat/kuntatiedot/172.html>
- Tilastokeskus 2013h: Uusiutuvien energialähteiden osuus sähkön- ja lämmöntuotannossa kasvoi vuonna 2012.
http://tilastokeskus.fi/til/salatuo/2012/salatuo_2012_2013-11-05_tie_001_fi.html
- Toyota 2013: Prius PHEV - Ratkaisu sähköautoilun haasteisiin.
http://www.toyota.fi/cars/new_cars/prius-plugin/index.tmex
- Trafi 2010: Kaasuautot 15.6.2010. Lähtöaineisto pro gradu -tutkielman kyselyyn kaasuautojen käyttäjille. Ajoneuvohallintokeskus.
- Trafi 2012a, 2013a: EkoTrafi. <http://ekoake.autoalanverkkopalvelu.fi/autojen-rajaukset>
- Trafi 2012b: Kaasuautot 27.7.2012. Lähtöaineisto pro gradu -tutkielmaan. Ajoneuvohallintokeskus.
- Trafi 2013b: Liikenteen ympäristövaikutukset.
http://www.trafi.fi/ymparisto/liikenteen_ymparistovaikutukset
- Trafi 2013c: Ensirekisteröityjen henkilöautojen CO₂ -päästöt vuosittain 2006 - 2012.
http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/aikasarjat/ensirekisteroityjen_henkiloautojen_co2_paastot_g_km_vuosittain_2006_-_2012
- UBS 2012: Morning Espresso - Europe. Thursday 7 June 2012. UBS Investment Research. UBS Ltd.
<http://www.forexfactory.com/attachment.php?attachmentid=978212&d=1339057697>
- Urban, W., Girod, K. & Lohmann, H. 2009: Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Ergebnisse der Markterhebung 2007-2008. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheitsund Energietechnik, Oberhausen.
<http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-948875.pdf>
- Uusi-Penttilä, P. 2004: Biokaasun liikennekäyttö Jyväskylän seudulla. Esiselvitys. JSP
<http://www3.jkl.fi/liikenne/kestava/files/biokaasu052004.pdf>
- Viljavuuspalvelu 2009: Lantatilastot 2005 - 2009.
<http://www.viljavuuspalvelu.fi/sites/default/files/sites/default/files/tilastot/Lantatilasto%202005%20-%202009.pdf>

- Vilkkilä, T. 2007: Keskitetyn biokaasulaitoksen kannattavuus pohjoisen Keski-Suomen biohajoavien jätteiden käsittelyssä. Bioenergiakeskuksen julkaisusarja (BDC-Publications) Nro 31. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Luonnonvarainstituutti.
- VN 2011: Pääministeri Jyrki Kataisen hallituksen ohjelma. Valtioneuvoston kanslia 22.6.2011.
<http://www.valtioneuvosto.fi/hallitus/hallitusohjelma/pdf/fi.pdf>
- VTT LIPASTO 2010: Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt LIISA 2009 laskentajärjestelmä. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/liisa2009raportti.pdf>
- VTT LIPASTO 2012: Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt LIISA 2011 laskentajärjestelmä. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/liisa2011raportti.pdf>
- Vänttinen, V-H 2010: Biokaasuteknologian alueellinen hyödyntämispotentiaali - esimerkkitapauksena Keski-Suomen maakunta. Pro gradu -tutkielma Jyväskylän yliopisto Ympäristötieteiden laitos.
<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/23570/URN%3aNBN%3afi%3ajyu-201005191861.pdf?sequence=1>
- Weiland, P. 2010: IEA Bioenergy Task 37. Country Report Germany. vTI.
<http://www.iea-biogas.net/country-reports.html?file=files/daten-redaktion/download/publications/country-reports/may2010/germany.pdf>
- Wellinger, A. 2005: IEA Bioenergy Task 37. Country Report Switzerland. Nova Energie Ltd. <http://www.iea-biogas.net/country-reports.html?file=files/daten-redaktion/download/publications/country-reports/2005/Switzerland.pdf>
- Ympäristöhallinto 2010: Kotieläintalouden ympäristönsuojeluohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2010. Ympäristöministeriö.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41550/OH1_2010_Kotieläintalouden_ymparistonsuojeluohje.pdf?sequence=1

LIITE 1 BIOKAASUAUTON TAKAISINMAKSUAIKALASKELMA

Taulukko 1 Eri polttoaineita käyttävien mallien kustannusvertailu esimerkkinä Volkswagen Passat Sedan Comfortline (Trafi 2012a, 2013a, Gasum 2013a)

Volkswagen Passat Sedan Comfortline

Polttoaine	Malli	Teho (kierrosluku)	Polttoaine- hinta	kulutus	Auton hinta		Auton hintaero CNG-autoon verrattuna		Ajoneuvovero		Polttoaine- kustannukset		Kustannukset (verot + polttoaine 20000 km)		Kustannusero CNG-autoon verrattuna	
					2012	2013	2012	2013	2012	2013	€/100km	€/a	2012	2013	2012	2013
		kW (rpm)	€/l ^{*)}	l/100 km ^{*)}	€	€	€	€	€	€	€/100km	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
CNG	1,4 TSI EcoFuel 110 kW (150 hv) DSG-autom.	110 (5500)	0,9	6,7	36450	37642	0	0	58	348	6,0	1209	1268	1557	0	0
Diesel	2,0 TDI 103 kW (140 hv) BlueMotion Technology DSG-autom.	103 (4400)	1,5	4,6	34524	35092	-1926	-2550	501	558	6,9	1380	1881	1938	613	381
Bensiini	1,4 TSI 90 kW (122 hv) DSG-automaatti BlueMotion Tech.	90 (5000)	1,7	6,0	31858	32361	-4592	-5281	77	120	10,2	2040	2117	2160	850	603
Etanoli	1,4 TSI 118 kW (160 hv) MultiFuel DSG-autom.	118 (5800)	1,0	8,8	n/a	35845		-1797	89	132	8,8	1760	1849	1892	581	335

*) CNG €/l_{bensiiniväivalentti} ja l_{bensiiniväivalentti} /100 km

Taulukko 2 Investoinnin biokaasuajoneuvoon takaisinmaksuaika verrattuna vastaavaan diesel-, bensiini- tai etanoliajoneuvoon. Investoinnin arvo ja vuotuinen säästö (2006)

Takaisinmaksuaika on vuosi n, kun kumulatiivisen säästön nykyarvo P ylittää investoinnin arvon. Vuotuisen säästön nykyarvo on $P_j = F / (1+i)^n$:
 Investoinnin arvo Diesel 2 550 € Bensiini 5 281 €

Korkotaso i%	Vuosi n	Säästö F	Säästön nykyarvo		Vuosi n	Säästö F	Säästön nykyarvo	
			Yksittäinen P_j	Kumulatiivinen P			Yksittäinen P_j	Kumulatiivinen P
0,04	1	381 €	366,35	366,35	1	603 €	579,81	579,81
	2	381 €	352,26	718,60	2	603 €	557,51	1137,32
	3	381 €	338,71	1057,31	3	603 €	536,06	1673,38
	4	381 €	325,68	1382,99	4	603 €	515,45	2188,83
	5	381 €	313,15	1696,14	5	603 €	495,62	2684,45
	6	381 €	301,11	1997,25	6	603 €	476,56	3161,01
	7	381 €	289,53	2286,78	7	603 €	458,23	3619,24
	8	381 €	278,39	2565,18	8	603 €	440,61	4059,85
	9				9	603 €	423,66	4483,50
	10				10	603 €	407,37	4890,87
	11				11	603 €	391,70	5282,57

Takaisinmaksuaika voidaan laskea myös tasaisen sarjan laskukaavalla $P = A(((1+i)^n - 1) / (i(1+i)^n))$, missä

- P = säästön (tasainen sarja) nykyarvo
- A = vuotuinen säästö (sarjassa) taulukosta 1 vuoder
- i = korkotaso
- n = säästöaika vuosina

seuraavasti:

Diesel			Bensiini		
Takaisinmaksuaika	Säästö	Säästön nykyarvo	Takaisinmaksuaika	Säästö	Säästön nykyarvo
8,0	381 €	2 565 €	11,0	603 €	5 283 €

LIITE 2 KYSELYLOMAKE KAASUKÄYTTÖISTEN AUTOJEN OMISTAJILLE/HALTIJOILLE

Biokaasu (biometaani) liikennepolttoaineena sivu (1/5)

Kaasukäyttöisen auton tiedot

Kysely kaasukäyttöisen auton omistajille/haltijoille

Kyselykoodi (kirjeessä)

Auton tiedot

*Merkki ja malli

Merkki ja malli, mikäli ei löydy alavetovalikosta

	Kyllä	Ei
Jälkiasennettu kaasujärjestelmä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Auto (tai jälkiasennettu kaasujärjestelmä) hankittu Suomesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ensirekisteröinti Suomessa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	<2000	2000-2003	2004-2005	2006-2007	2008
*Vuosimalli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hankintavuosi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

alle 1 vuosi
 1-2 vuotta
 2-4 vuotta
 4-7 vuotta
 yli 7 vuotta

*Kokemuksia kaasuauton käytöstä

Kommentteja

Biokaasu (biometaani) liikennepolttoaineena sivu (2/5)**Auton käyttötiedot**

	Bensiini	Maakaasu	Biokaasu		
*Käytetyt polttoaineet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
*Ensisijainen polttoaine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
*Arvioidut ajokilometrit viikossa	<input type="radio"/> alle 100 km (alle 5200 km vuodessa) <input type="radio"/> 100-250 km (5200-13000 km/vuosi) <input type="radio"/> 250-350 km (13000-18200 km/vuosi) <input type="radio"/> 350-450 km (18200-23400 km/vuosi) <input type="radio"/> 450-600 km (23400-31200 km/vuosi) <input type="radio"/> 600-750 km (31200-39000 km/vuosi) <input type="radio"/> 750-1000 km (39000-52000 km/vuosi) <input type="radio"/> yli 1000 km (yli 52000 km/vuosi)				
	alle 20 %	21-40 %	41-60 %	61-80 %	yli 80 %
Kaupunkiajon osuus ajokilometreistä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bensiinillä ajettujen kilometrien osuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maakaasulla ajettujen kilometrien osuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Biokaasulla ajettujen kilometrien osuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Etäisyys lähimmälle kaasun tankkausasemalle (km)	<input type="text"/>				
	Suomessa	Ruotsissa	Muualla		
Lähin kaasun tankkausasema sijaitsee	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Kommentteja	<input type="text"/>				

Biokaasu (biometaani) liikennepolttoaineena sivu (3/5)**Auton hankinta ja käyttö - mielipiteitä****Kaasukäyttöisen auton hankinnan ja käytön sujuvuus**

	Ei ongelmia	Jonkin verran ongelmia	Huomattavasti ongelmia	En osaa sanoa
Tiedon saanti autoista Suomessa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Auton saatavuus Suomessa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Auton toiminta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Auton huolto ja takuu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*Kaasutankillisen riittävyys	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*Bensiinitankillisen riittävyys	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*Kaasutankkausasemien sijainti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*Kaasun tankkaus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*Kaasun saatavuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Muita ongelmia, kommentteja, esim. mikäli jokin ongelma on johtunut ainoastaan MAAKAASUN tai BIOKAASUN käytöstä

Biokaasu (biometaani) liikennepolttoaineena sivu (4/5)

Biokaasun hinta - mielipiteitä

Kuinka paljon pidemmän matkan olisit valmis ajamaan tankataksesi BIOKAASUA kuin BENSIINIÄ, jos biokaasun hinta olisi

	0 km	1-10 km	11-20 km	21-40 km	yli 40 km
sama kuin maakaasun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20 senttiä/l bensiiniekvivalenttia alaisempi kuin maakaasun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kuinka paljon pidemmän matkan olisit valmis ajamaan tankataksesi BIOKAASUA kuin MAAKAASUA, jos biokaasun hinta olisi

	0 km	1-10 km	11-20 km	21-40 km	yli 40 km
sama kuin maakaasun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20 senttiä/l bensiiniekvivalenttia alaisempi kuin maakaasun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Mikä olisi mielestäsi sopiva biokaasun myyntihinta liikennepolttoaineena, jos bensiinin hinta on 1,4 €/l ja maakaasun 0,7 €/l bensiiniekvivalenttia (1,1 €/kg)?

	alle 0,3 €/l (0,5 €/kg)	0,3-0,5 €/l (0,5-0,8 €/kg)	0,5-0,7 €/l (0,8-1,1 €/kg)	yli 0,7 €/l (1,1 €/kg)
Biokaasun hinta bensiiniekvivalenttina	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hankkisitko n. 6000 € maksavan kotitankkausaseman, jos asuisit kiinteistössä, jossa on

	Kyllä	Ehkä	Luultavasti en	En	En osaa sanoa
*maakaasuliittymä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*biokaasuliittymä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*mahdollisuus liittyä kaasuverkkoon?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kuinka paljon kaasuliittymä tällöin saisi maksaa?

Kaasukäyttöisen auton hinta

	yli 30 % vähemmän	11-30 % vähemmän	1-10 % vähemmän	saman verran	1-10 % enemmän	11-30 % enemmän	yli 30 % enemmän
Kuinka paljon olisit valmis maksamaan bifuel-autosta verrattuna vastaavaan bensiiniautoon?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kuinka paljon käyttämäsi auto on maksanut verrattuna vastaavaan bensiiniautoon?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kommentteja

Biokaasu (biometaani) liikennepolttoaineena sivu (5/5)

Biokaasun käyttö - mielipiteitä

Tankkaisitko BIOKAASUA, jos sitä olisi saatavilla

	Kyllä	Ehkä	Luultavasti en	En	En osaa sanoa
*Maakaasun jakelupisteistä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*Jätevedenpuhdistamoilta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*Maatiloilta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*Kaatopaikoilta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
*Huoltoasemilta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Syitä, miksi käytät KAASUA liikennepolttoaineena (enemmän kuin bensiiniä tai dieseliä)

	Erittäin tärkeä	Tärkeä	Jonkin verran merkitystä	Ei merkitystä
Edullinen polttoaine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alhaiset hiilidioksidipäästöt (CO2)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vähäpäästöisyys	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elinkaaren aikainen energiatase (WTW)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ympäristöystävällinen imago	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hiljainen käyntiääni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muita syitä, kommentteja?	<input type="text"/>			

Syitä, miksi käytät/käyttäisit BIOKAASUA liikennepolttoaineena (enemmän kuin esim. maakaasua)

	Erittäin tärkeä	Tärkeä	Jonkin verran merkitystä	Ei merkitystä
Edullinen polttoaine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alhaiset hiilidioksidipäästöt (CO2)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vähäpäästöisyys	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uusiutuva polttoaine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elinkaaren aikainen energiatase (WTW)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ympäristöystävällinen imago	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muita syitä, kommentteja, miksi et käyttäisi BIOKAASUA?	<input type="text"/>			

Syytä, miksi BIOKAASUN käyttö ei ole mielestäsi yleisempää Suomessa				
	Erittäin tärkeä	Tärkeä	Jonkin verran merkitystä	Ei merkitystä
Tuotantotuen puute	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Jakeluverkoston puuttuminen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maakaasuverkostoon ei veloitetta ottaa biokaasua	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kaasukäyttöisten ajoneuvojen puuttuminen markkinoilta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Biokaasun laatustandardoinnin puuttuminen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Biokaasun liikennepolttoainesyöttötariffin puute	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maakaasun edullisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ajoneuvoverotus ei suosi bifuel-autoja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nestemäisten polttoaineiden edullisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Biokaasun odotettu syöttötariffi sähköntuotantoon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Harvaan asuttu maa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kaasun käytön tehottomuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kaasuautojen suuret moottorilavuudet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kaasuautojen tuotekehittelyn hitaus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muita syitä, priorisointi, kommentteja?	<input type="text"/>			

LIITE 3 BIOMETAANIPOTENTIAALI KESKI-SUOMESSA

Taulukko 1 Maatilojen biometaanipotentiaali Keski-Suomessa (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013, Ympäristöhallinto 2010, Viljavuuspalvelu 2009, Klein ym. 2008, Lehtomäki ym. 2007)

Kotieläin	Lietelanta			CH ₄ /t _{ww}		CH ₄ /a		Kerroin			DS	TS	VS/TS	biokaasu	CH ₄ - potentiaali org. aineesta		CH ₄ -potentiaali (brutto) vuodessa		Nettotuotantopotentiaali (3 kk laidunnus ja 80 % konversio)			Kerroin							
	m ³ /a	kg/m ³	t/a	m ³ /t	m ³ /a	min	max	keskiarvo	min	max					%	%	%	Nm ³ /t	Nm ³ /t VS	m ³ /a	min	max	ka	min	max	ka	ilman laidunnusta	3 kk laidunnuksella	kk
Lypsylehmä	24	994,7	23,87	7	14	167,1	334,2	1	1	1	5,5	1313	75	85	20	100	250	98,48	279,0	188,7	59,1	167,4	113,2	1,00	0,75				
Emolehmä, sonni	15	994,7	14,92	7	14	104,4	208,9	0,625	0,625	0,625	5,5	820,6	75	85	34	100	250	61,55	174,4	118,0	36,9	104,6	70,8	0,63	0,47				
Vasikka <6 kk	4	994,7	3,9788	7	14	27,9	55,7	0,167	0,167	0,167	5,5	218,8	75	85	34	100	250	16,41	46,50	31,5	9,8	27,9	18,9	0,17	0,13				
Nuorkarja <12 kk																		47,2	133,7	90,4	28,3	80,2	54,3	0,48	0,36				
Karju, emakko	2,4	996,7	2,392	17	22	40,7	52,6	0,243	0,157	0,200	3,5	83,72	75	85	18	300	400	18,84	28,47	23,7	15,1	22,8	18,9	0,13	0,13				
Porsas 5-11- vkoa	1	996,7	0,9967	17	22	16,9	21,9	0,101	0,066	0,084	3,5	34,88	75	85	18	300	400	7,849	11,86	9,9	6,3	9,5	7,9	0,05	0,05				
Lihasila	2	996,7	1,993	17	22	33,9	43,9	0,203	0,131	0,167	3,5	69,77	75	85	18	300	400	15,70	23,72	19,7	12,6	19,0	15,8	0,10	0,10				
200 nautayksikköä																					11817	33482	22649						
4252 nautayksikköä																					251230	711819	481525						

Taulukko 2 Maatilojen biometaanin riittävyys autoille Keski-Suomessa perustuen taulukon 1 biometaanipotentiaaliin ja autojen bensiniekvivalenttikulutukseen 7,5 l/100 km ja vuotuisen 20000 km ajosuoritteeseen.

	NY		Bruttotuotanto			Nettotuotanto			Kulutus /100 km	Energiasisältö				Kulutus			Autoja			
	min	max	ka	min	max	ka	min	max		ka	min	max	ka	min	max	ka	min	max	ka	
	MWh			MWh			L _{be}	km/a		L _{be} /a	MJ/L _{be}	kWh/L _{be}	MWh/a							
nautayksikkö			1	0,98	2,79	1,89	0,59	1,67	1,13	7,5	20000	1500	32	8,889	12,83	13,83	13,33	0,046	0,121	0,085
200 nautayksikköä			200	197	558	377	118	335	226									9,208	24,20	16,99
4252 nautayksikköä	4202	4302	4252	4138	12003	8025	2483	7202	4815									193,5	520,6	361,1