

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0201 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Bio- ja maakaasu liikennepolttoaineena Suomessa

Bio and natural gas as a transport fuel in Finland

Työn tarkastaja: TkT Esa Vakkilainen

Työn ohjaaja: TkT Esa Vakkilainen, DI Kari Luostarinen

Lappeenrannassa 9.12.2014

Antti Sirainen 0386442 Ente 4

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Antti Sirainen

Bio- ja maakaasu liikennepolttoaineena Suomessa

Kandidaatintyö 2014

39 sivua, 15 kuvaa, 5 taulukkoa ja 1 liitteen

Työn tarkastaja: Esa Vakkilainen

Työn ohjaaja: Esa Vakkilainen, Kari Luostarinen

Hakusanat: biokaasu, maakaasu, liikennepolttoaine, tieliikenne

Työssä tarkastellaan bio- ja maakaasun käyttöä Suomen tieliikenteen polttoaineena. Työn lähtökohdaksi on selvittää kaasukäyttöisten ajoneuvojen käytön kannattavuutta Suomessa ja niiden etuja muihin polttoaineisiin nähden. Tutkielmassa perehdytään erityisesti biokaasun käyttöön fossiilisten polttoaineiden korvaajana ja mitä vaatimuksia sen käytön lisääminen edellyttää. Työssä perehdytään kaasujen tuotantomenetelmiin, jakeluun, taloudelliseen kannattavuuteen, ympäristöystävällisyyteen ja tulevaisuuden näkymiin.

SISÄLLYS

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....	2
1 JOHDANTO	5
2 UUSIUTUVAT LIIKENTEEN POLTTOAINEET SUOMESSA	6
2.1 Polttoainelaadut.....	6
2.2 Päästöjen vertailu	7
3 METAANI POLTTOAINEENA	9
3.1 Kemialliset ominaisuudet.....	9
3.2 Maakaasu	10
3.3 Biokaasu.....	11
3.4 Power to gas	13
3.5 Biokaasun jalostus	14
4 JAKELU	16
4.1 Maakaasu	16
4.2 Biokaasu.....	18
4.3 Tankkausasemat	18
5 KAASUKÄYTTÖISET AJONEUVOT	20
5.1 Moottorityypit	20
5.1.1 Bi-fuel	20
5.1.2 Dual-fuel	21
5.2 Säiliötyypit.....	22
5.2.1 CNG -säiliö	22
5.2.2 LNG -säiliö	23
5.2.3 ANG -säiliö.....	24
6 HYÖDYT.....	25
6.1 Taloudellisuus	25
6.2 Päästövähennykset	27
6.3 Energiaomavaraisuus ja työllisyys.....	28
7 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT.....	30
8 YHTEENVETO.....	32

LÄHDELUETTELO

Liite 1. Audi A3:n vero- ja polttoainekustannukset eri polttoaineilla

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Kemialliset yhdisteet

CH ₄	Metaani
CO ₂	Hiilidioksidi
C ₂ H ₆	Etaani
C ₃ H ₈	Propaani
C ₄ H ₁₀	Butaani
NO _x	Typpioksidi
N ₂	Typpi
SO ₂	Rikkidioksidi
NM VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (non-methane volatile organic compounds)

Lyhenteet

ANG	Adsorboitu maakaasu (Adsorbed natural gas)
CNG	Paineistettu maakaasu (Compressed natural gas)
LNG	Nesteytetty maakaasu (Liquefied natural gas)
SNG	Synteettinen maakaasu (Synthetic natural gas)

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen ja ympäristöystävällisemmän tekniikan kasvavan kysynnän vuoksi ajoneuvojen päästöt ja polttoaineen alkuperä ovat tuoneet tieliikenteen suureen murrokseen. Suomi on sitoutunut EU:n ilmastopolitiikkaan, jonka tavoitteena on vähentää hiilidioksidipäästöjä ja lisätä uusiutuvaa energiaa, myös tieliikenteen saralla (Öljyalan keskusliitto, Biopolttoaineet.)

Polttoaineiden koostumukset ovat vuosien varrella muuttuneet tekniikan kehittymisen seurauksena. Polttoaineen laatua on saatu nostettua kehittyneiden jalostustekniikoiden myötä. Lyijyä ei enää lisätä polttoaineeseen oktaaniluvun nostoa varten ja rikkipitoisuus on laskettu lähelle nollaa. Seuraavaksi on tarkoitus ottaa käyttöön polttoaine, jonka hiilijalanjälki on nykyistä huomattavasti pienempi. Ajoneuvojen- ja polttoaineiden valmistajat ovat joutuneet kehittämään ympäristöystävällisempiä ratkaisuja vanhojen menetelmien tilalle. Nykyisin markkinoilta löytyykin useita ekoautoja ja pienen hiilijalanjäljen omaavia polttoaineita, mutta fossiilisten polttoaineiden osuus on edelleen lähes 100 % (Öljyalan keskusliitto, Biopolttoaineet.)

Maa- ja biokaasu, joita luonnonkaasuiksi myös kutsutaan, voivat olla yksi ratkaisu tieliikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Maakaasun hiilijalanjälki on huomattavasti pienempi kuin bensiinin tai dieselin ja se on tällä hetkellä niitä noin puolet edullisempaa. Biokaasun hiilijalanjälki on jopa 90 % pienempi kuin fossiilisilla polttoaineilla, nykyisen hinnan ollessa hieman maakaasua suurempi. Kaasukäyttöiseen ajoneuvoon voidaan tankata sekä maa- että biokaasua, sillä niiden koostumus on lähes identtiset. Markkinoilla on saatavana useita kaasuautoja ja Suomessa on nykyisin toiminnassa 24 tankkausasemaa painottuen Etelä-Suomen alueelle (Gasum, Puhtaampaa liikennettä.)

Tämän työn tarkoituksena on esitellä maa- ja biokaasun käyttöä Suomen tieliikenteessä. Työssä perehdytään maa- ja biokaasun tuotantomenetelmiin, kaasun jakeluun, taloudelliseen kannattavuuteen. Tutkielmassa tarkastellaan myös luonnonkaasujen käyttöä tieliikenteen hiilidioksidipäästöjä pienentävänä polttoaineena tulevaisuudessa ja vertaillaan biokaasun ominaisuuksia muihin markkinoilla oleviin biopolttoaineisiin nähden.

2 UUSIUTUVAT LIIKENTEEN POLTTOAINEET SUOMESSA

Liikenteen osuus Suomen kasvihuonepäästöistä on noin 20 %. EU:n tavoite on lisätä uusiutuvien liikennepolttoaineiden taso vuoteen 2020 mennessä 10 %:iin. Suomella on oma tavoite, jakeluvuorotilaki, lisätä osuus porrastetusti 20 %:iin. EU:n 10 %:n raja tullaan saavuttamaan vuonna 2016. Tavoitteiden täyttyminen edellyttää Suomen autokannan nopeaa uusiutumista ja biopohjaisten polttoaineiden tuotannon nopeaa kasvamista (Öljyalan keskusliitto, Biopolttoaineet.)

2.1 Polttoainelaadut

Suomessa yleisimmin käytetty liikenteen biopolttoaine on bensiiniin sekoitettu bioetanoli. Vuodesta 2011 käyttöön otetut 95E10 ja 98E5 sisältävät nimiensä mukaisesti enintään 10 ja 5 tilavuusprosenttia etanolia. St1 valmistaa ja jakaa Suomessa RE85 -polttoainetta, mikä sisältää 85 % bioetanolia ja 15 % bensiiniä. Etanoli on valmistettu elintarviketeollisuuden, kauppojen ja kotitalouksien biojätteestä. Etanolia voidaan myös valmistaa esimerkiksi viljasta, perunasta tai palmuöljystä. Ihmisravinnoksi kelpaavista raaka-aineista valmistettu biopolttoaine kärsii huonosta maineesta sen eettisten ongelmien vuoksi (St1.)

Biodieselit jaetaan valmistustavan ja raaka-aineiden perusteella kolmeen sukupolveen. Ensimmäisessä sukupolvessa biodieseliä valmistetaan esteröimällä kasviöljyä tai eläinrasvoja. Toisen sukupolven biodiesel valmistetaan vetykäsittelemällä kasviöljyjä. Kolmas sukupolvi on valmistettu ihmisravinnoksi kelpaamattomista raaka-aineista, kuten peltobiomassasta ja metsätähteistä Fischer-Tropsch menetelmällä. (Öljyalan keskusliitto, Biopolttoaineet, 2014) UPM rakentaa Lappeenrannan Kaukaan paperitehtaan yhteyteen biodiesellaitosta, jonka vuosituoton on tarkoitus ylittää 100 000 tonniin (UPM, Biopolttoaineet, 2014.) UPM lupaa mäntyöljystä valmistamansa BioVerno- polttoaineensa vähentävän hiilidioksidipäästöjä dieseliin verrattuna jopa 80 %. Kyseessä on maailman ensimmäinen teollisen mittakaavan laitos, joka tuottaa yksinomaan liikenne käyttöön tarkoitettua biodieseliä (UPM, Menovettä metsästä tankkiin.)

Raakabiokaasua muodostuu orgaanisen materiaalin hajotessa mikrobien toimesta hapettomissa olosuhteissa metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Kaasuseoksen puhdistuksen jälkeen saadaan aikaan

lähes 100 %:n metaanipitoisuus, joka vastaa koostumukseltaan maakaasua, jolloin sitä voidaan käyttää ajoneuvojen polttoaineena. Suurin osa Suomessa käytetystä biokaasusta saadaan kaatopaikoilta, mutta kaasun valmistus esimerkiksi biojätteistä ja lietteistä on yleistymässä. Tämä kotimainen ja täysin uusiutuva polttoaine voi olla yksi ratkaisu Suomen tieliikenteen päästöjen alentamiseksi (Biokaasulaitosrekisteri, 11.)

2.2 Päästöjen vertailu

Tieliikenteen suurimmat päästöt ovat hiilidioksidi ja typen oksidit. Lisäksi ajoneuvojen moottoreissa muodostuu rikkioksideja, hiilimonoksidia ja haitallisia hiilivetyjä. Ajoneuvojen valmistajille on viimeaikoina tullut yhä vaativampia direktiivejä päästöjen suhteen. Moottorit ovatkin nykyisin huomattavasti kehittyneempiä kuin aiemmin ja päästötasot ovat kääntyneet laskuun (Volkswagen, teknologiaratkaisut.)

Liikenteen hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää parantamalla polttoainetaloutta ja valmistamalla kestäväen kehityksen mukaisesti ajoneuvojen polttoaineet. Uudet lainsäädännöt ja kysyntä ovat luoneet trendin ympäristöystävällisyydestä johon autonvalmistajat pyrkivät mukautumaan parhaan kykynsä mukaan. Useat eri yhtiöt ovat kehittäneet useita eri moottorimalleja kasvavan polttoainevalikoiman myötä. (Volkswagen, teknologiaratkaisut.)

Polttoainevalmistajat pyrkivät kehittämään uusia polttoaineita mahdollisimman pienellä hiilijalanjäljellä ja matalin kustannuksin. Kehitystyö on luonut laajan kirjon eri polttoainelaatua ja valmistusmenetelmiä. Jotta Suomen tieliikenteen fossiiliset polttoaineet kyetään vaihtamaan kestäväen kehityksen mukaisesti tuotettuihin polttoaineisiin, on todennäköistä, ettei muutos ole mahdollista vain yhden biopolttoainelaadun avulla. Siksi on tärkeää perehtyä myös muihin polttoaineisiin, ja niiden vaatimaan tekniikkaan ja kulutukseen. Taulukossa 1 on vertailtu eri polttoaineiden hiilidioksidipäästöjä verrattuna bensiinikäyttöiseen ajoneuvoon. (Volkswagen, teknologiaratkaisut.)

Taulukko 1. Eri polttoaineiden vaikutus ajoneuvon hiilidioksidipäästöihin verrattuna bensiinikäyttöiseen ajoneuvoon (Volkswagen, Passassat. St1. UPM, Menovettä metsästä tankkiin)

Malli	Polttoaine	Hiilidioksidipäästöt [g/km]	Hiilidioksidipäästöt verrattuna bensiiniin [%]
Volkswagen 1,4 TSI BlueMotion 90kW	Bensiini	138	
Volkswagen 1,4 TSI Multifuel 118kW	St1 RE85	27,6	-80,0
Volkswagen 1,4 TSI EcoFuel 110kW	Maakaasu	119	-13,8
	Gasum	13,8	-90
	Biokaasu		
Volkswagen 2,0 TDI BlueMotion 103kW	Diesel	119	-13,8
	UPM Biodiesel	23,8	-82,8

3 METAANI POLTTOAINEENA

Luonnonkaasut jaotellaan maa- ja biokaasuiksi niiden alkuperän perusteella. Maakaasu on fossiilinen polttoaine, joka on muodostunut miljoonien vuosien aikana biomassan hajotessa maaperän anaerobisissa olosuhteissa. Biokaasu on ihmisen tuottamaa uusiutuvaa metaania, jota saadaan muun muassa kaatopaikoilta ja biokaasulaitoksilta (Gasum, Kaasutietoutta.)

3.1 Kemialliset ominaisuudet

Maakaasun koostumus vaihtelee huomattavasti sen alkuperän mukaan (Taulukko 2). Suomeen tuotava Siperian maakaasu on yksi maailman puhtaimmista kaasuista, joten sen jalostus teollisuuskäyttöä varten on varsin yksinkertaista (Maakaasukäsikirja, 6.)

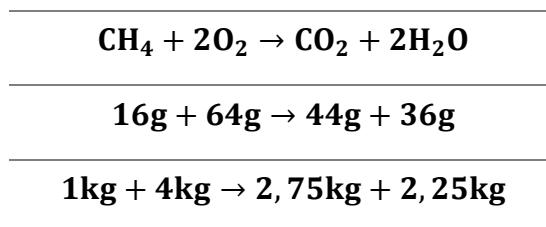
Taulukko 2. Maakaasun laatu eri kaasukentillä (Maakaasukäsikirja, s.6)

Kaasukenttä	Molekyylikaava	Venäjä	Saksa	USA	Hollanti	Norja
		Urengoi	Goldenstedt	Kansas	Groningen	Troll
Metaani	CH ₄	98 %	88,0 %	84,1 %	81,3 %	93,2 %
Etaani	C ₂ H ₆	0,8 %	1,0 %	6,7 %	2,8 %	3,7 %
Propaani	C ₃ H ₈	0,2 %	0,2 %	0,3 %	0,4 %	0,4 %
Butaani	C ₄ H ₁₀	0,02 %	-	-	0,4 %	0,5 %
Typpi	N ₂	0,9 %	10,0 %	8,4 %	14,3 %	1,6 %
Hiilidioksidi	CO ₂	0,1 %	0,8 %	0,8 %	0,9 %	0,6 %

Metaanin energiatiheys on hyvin suuri. Sen tehollinen lämpöarvo on 50 MJ/kg. Metaanin palaessa sen hiilidioksidipäästöt ovat öljyyn verrattuna noin 30 % pienemmät ja kivihiileen verrattuna 45 % pienemmät. Tämä johtuu metaanin suhteellisen pienestä hiilimäärästä. Jokaista hiiliatomia kohden molekyylissä on neljä vetyatomia. Lisäksi puhdistetun luonnonkaasun koostumus on lähes 100 % metaania, joten sen palaessa syntyy vain vettä ja hiilidioksidia, kuten taulukosta 3. ilmenee. Tämä mahdollistaa voimalaitoksissa tehokkaan savukaasujen lämmön talteenoton. Rikittömän koostumuksen vuoksi savukaasujen lämpötila voidaan laskea alle rikin kastepisteen, siten prosessin kokonaishyötysuhdetta saadaan kasvatettua huomattavasti.

Luonnonkaasun poltettaessa ei myöskään muodostu olleenkaan pienhiukkaspäästöjä. (Maakaasukäsikirja, 7.)

Taulukko 3. Metaanin palaminen (Maakaasukäsikirja, 14)



Metaanin syttymisen edellytys on palamiskelpoisen seoksen aikaansaaminen. Syttymisrajaan vaikuttavat seoksen lämpötila ja happipitoisuus. Normaaliolosuhteissa 20 °C lämpötilassa metaanin tilavuusprosentin tulee olla välillä 5,0 – 15,0. Metaanilla on lisäksi varsin korkea syttymislämpötila 600 – 650 °C. (Maakaasukäsikirja, 12 - 13.)

3.2 Maakaasu

Maakaasu on lähes kokonaan metaanista koostuva kaasuseos. Jalostettua maakaasua voidaan käyttää polttoaineena esimerkiksi voimalaitoksissa, ajoneuvoissa ja talojen lämmityksessä. Suomessa maakaasuverkko kattaa suurimman osan maan kaakkois- ja eteläosaa. Tällä alueella maakaasu kattaa huomattavan osuuden lämmön ja sähköntuotannosta noin 30 %:lla kaikesta primäärienergiasta. Koko Suomen energiantuotannosta se kattaa noin 10 % (Energieollisuus.)

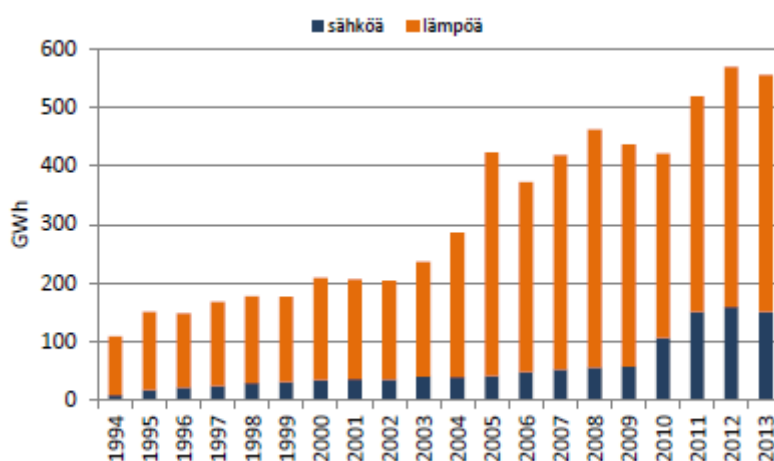
Maakaasun käyttö tulee lisääntymään maailmalla sen pienten hiilidioksidipäästöjen ja matalan markkinahinnan mukaan. Suomessa maakaasun hinta on noussut voimakkaasti uusien veromuutosten vuoksi. Hintakehityksen vuoksi maakaasuverkon laajentaminen muualle Suomeen on tällä hetkellä todettu kannattamattomaksi (Energieollisuus.)

LNG:n (liquefied natural gas, nesteytetty luonnonkaasu) hinta on viime vuosina pysynyt matalana sen globaalin kaupankäynnin vuoksi, sillä tällöin asiakas ei ole enää riippuvainen vain kiinteän putkiston kautta siirrettävästä maakaasusta Suomeen on suunnitteilla useita LNG-terminaaleja, joihin voidaan tuoda laivalla nesteytettyä maakaasua. LNG-terminaalien kautta Suomeen voitaisiin tuoda maakaasua eri puolilta maailmaa parhaan tarjouksen mukaan. Terminaalien välityksellä maakaasu voitaisiin siirtää meri- ja maantieliikenteen sekä teollisuuden käyttöön.

Tarvittaessa nestemäinen kaasu voitaisiin höyryttää takaisin kaasuksi ja siirtää kaasuverkkoon (Gasum, LNG.)

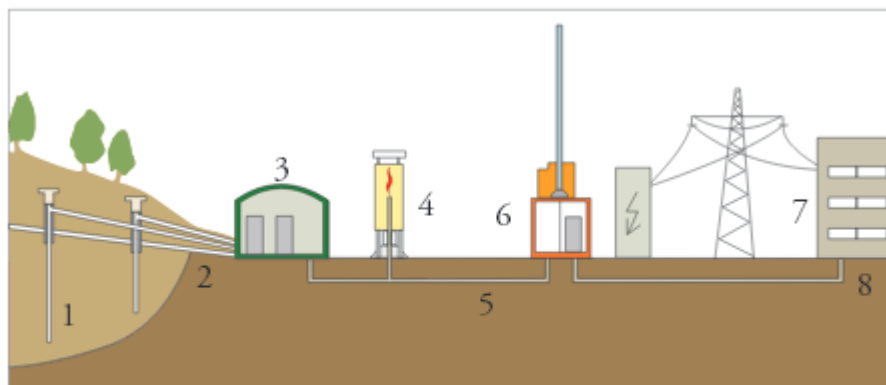
3.3 Biokaasu

Biokaasua muodostuu mikrobien hajottaessa orgaanista materiaalia hapettomissa olosuhteissa. Biokaasun tuottaminen on ollut tasaisessa kasvussa jo usean vuoden ajan, kuten kuvasta 1 ilmenee. Kaasun valmistamista varten on kehitetty monia eri tuotantotapoja, kuten biokaasureaktorit tai raakabiokaasun kerääminen kaatopaikoilta. Yleisimmät käyttökohteet biokaasulle ovat lämmön- ja sähköntuotanto, mutta viimeaikoina biokaasua on alettu valmistaa myös tieliikennettä varten (Biokaasulaitosrekisteri, 11 - 12.)



Kuva 1. Biokaasulla tuotetun energian määrä Suomessa 1994 - 2013 (Biokaasulaitosrekisteri, 28)

Suomen kaatopaikoilta kerättiin vuonna 2012 biokaasua 70,83 milj. m³, joten se on tällä hetkellä suurin biokaasun tuotantomuoto Suomessa. Kaatopaikoilla talteen otettavan kaasun koostumus vaihtelee eniten, sillä sen raaka-ainekoostumus vaihtelee huomattavasti. Kaasun talteen ottamisen seurauksena kaatopaikan ympäristölle aiheuttamat hajuhaitat pienenevät. Raakakaasua kerätään jätekasoista asentamalla niihin kaasukaivoja, joiden kautta kaasut pumpataan imuputkistoon kuvan 2 mukaisesti. Jos kaatopaikalla ei ole mahdollisuutta hyödyntää metaania energiantuotannossa, se poltetaan soihtupolttimissa. Tällöin kaatopaikan kasvihuonekaasupäästöjä saadaan pienennettyä huomattavasti. (Biokaasulaitosrekisteri, 44-45.)



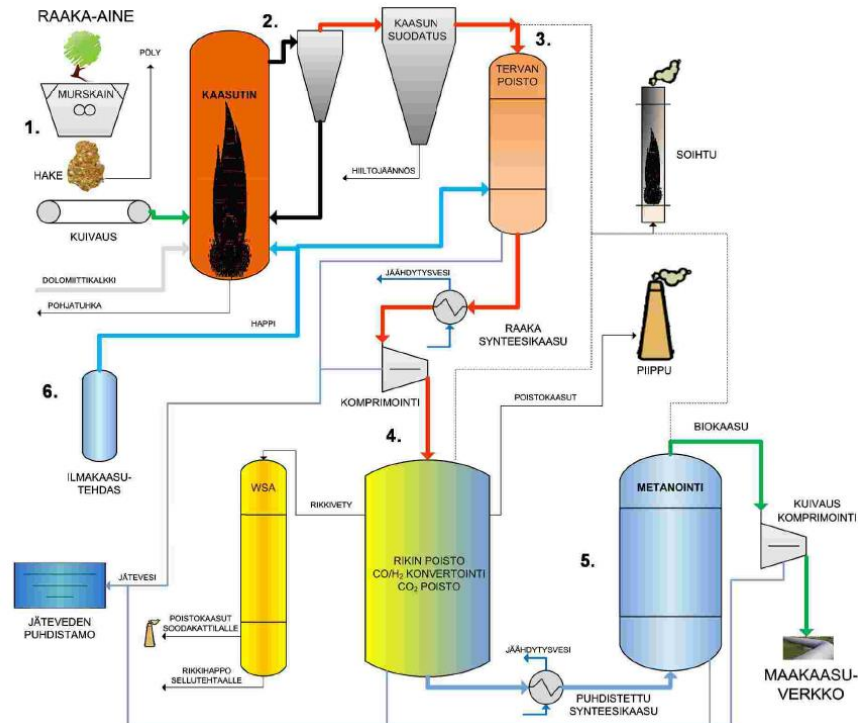
(1) Kaasukaiivot jätteenkassa (2) Imuputkisto (3) Pumppaamo
 (4) Soihut poltin (5) Jakeluputki (6) Kaasuturbiini ja/tai lämpökattila
 (7) Sähköä (8) Lämpöä

Kuva 2. Biokaasun kerääminen kaatopaikalta (Biokaasulaitosrekisteri, 45)

Reaktorilaitokset tuottavat biokaasua maatalojen, jätevedenpuhdistamoiden ja biojätteen käsittelylaitosten orgaanisista jätteistä. Jäte sijoitetaan hapettomaan tilaan, jossa se mätänee muodostaen raakabiokaasua. Biojätteen kuiva-ainepitoisuudet ja koostumukset vaihtelevat huomattavasti laitoksen tyyppin ja jätteen koostumuksen vuoksi. Esimerkiksi jätevedenpuhdistamoiden jäteliemen kuiva-ainepitoisuus on vain 3-6 %. Maatalouksien lannan ja peltojätteen koostumus on huomattavasti kuivempi. Biokaasua voidaan tuottaa myös yhteismädätyslaitoksissa, joissa raaka-aineeksi soveltuu niin jätevedenpuhdistamoiden kuin maatalojen jäte. Biokaasun tuotanto ja kerääminen tuovat hyötyjä myös hajuhaittojen vähentymisen ja lannoitteeksi kelpaavan jätteen muodossa. Viimeaikoina etenkin peltobiomassasta tuotetun biokaasun määrä on ollut huomattavassa kasvussa. (Biokaasurekisteri, 29-31)

Puupohjaisista raaka-aineista valmistettavalla biokaasulla on Suomessa suuri tuotantopotentiaali. Gasumin laskelmien mukaan biokaasua voitaisiin tuottaa jopa 7 TWh vuodessa kohoten näin suurimmaksi biokaasun tuotantomuodoksi. Suomen ensimmäinen puuta raaka-aineenaan hyödyntävä biokaasulaitos on suunnitteilla Lappeenrannan Joutsenoon ja sen kaavailtu vuosittainen energiantuotanto on 1,6 TWh/a (Torri Pasi.) Biokaasulaitoksen pääraaka-aineina on tarkoitus käyttää sellutehtaan sivuvirroista syntyvää haketta ja kuorta. Prosessi perustuu leijukerroskaasutukseen, kaasujen kuumana tapahtuvaan suodatukseen ja katalyyttiseen prosessiin. Saatava raakakaasu koostuu hiilimonoksidista, vedystä ja metaanista. Lisäksi siinä on

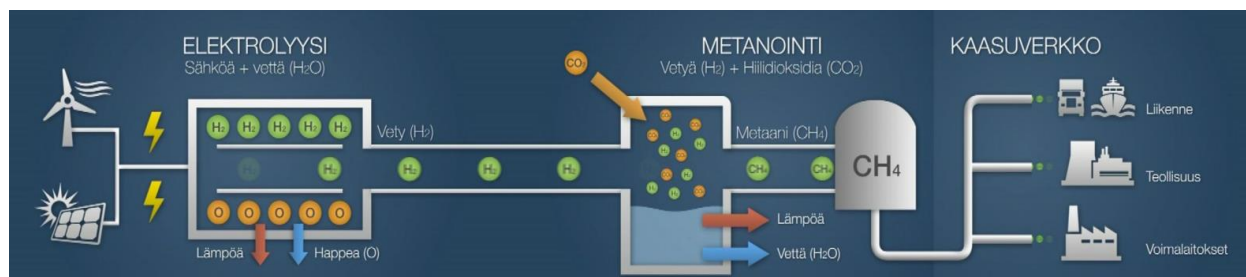
pieniä määriä hiilidioksidia, vesihöyryä, rikki- ja typpiyhdisteitä sekä tervaa, jotka poistetaan kaasunpuhdistuksessa. Jäljelle jäävä synteesikaasu metanoidaan esimerkiksi nikkelikatalyytin avulla, jolloin sen metaanipitoisuus nousee 95 prosenttiin. Komprimoinnin jälkeen kaasu syötetään kaasuverkkoon (Kuva 3). Prosessin kokonaishyötysuhde on 83 % ja saanto 71 %. Biodieselin tuotannon saannon jäädessä alle 60 %:in kaasutusprosessi on huomattavasti järkevämpi ratkaisu valmistaa puusta tieliikenteen polttoainetta (Pöyry, 30-31.)



Kuva 3. Joutsenon biokaasulaitoksen prosessikaavio (Pöyry, 32)

3.4 Power to gas

Power to gas –tuotanto tarkoittaa metaanin valmistamista sähkövirran avulla. Tämän hetkisistä menetelmistä varteenotettavin menetelmä on valmistaa metaania kahdessa eri vaiheella. Ensimmäisessä vaiheessa vesi hajotetaan elektrolyysin avulla vedyksi, prosessin sivutuotteena on happea ja lämpöä. Toisessa vaiheessa vety reagoi hiilidioksidin kanssa metaaniksi, jolloin syntyy myös vettä ja lämpöä kuvan 4 mukaisesti (Etogas.)



Kuva 4. Synteettisen metaanin prosessikaavio (YLE)

Järjestelmän uskotaan myös ratkaisevan sähkön varastointiongelman. Ajankohtina jolloin esimerkiksi tuulivoiman tuottamaa sähköä on runsaasti tarjolla, mutta kulutus on vähäistä, voidaan sähkö muuttaa metaaniksi myöhempää käyttöä varten (Audi, Etogas.)

Tuotannossa käytetyn sähkön alkuperän mukaan voidaan power-to-gas menetelmällä valmistaa bio- tai maakaasua. Saksassa on tällä hetkellä käynnissä Audin ja Etogasin yhteishanke, jossa tuotetaan 250 kW:n sähkötehoilla metaania henkilöautojen käyttöön. Werlteniin rakennetun pilottihankkeen tavoitteena on tuottaa kaasua 1500 auton tarpeisiin, kun vuosittainen ajomäärä on 15 000 kilometriä. Valmistaja lupaa auton hiilidioksidipäästöiksi 20 g/km. Menetelmän suurin heikkous tällä hetkellä on sen huono hyötysuhde (Audi 2013). Werlterin pilottihankkeen hyötysuhde ylittää vain 40 %:iin. Tavoitteena on nostaa hyötysuhdetta ainakin 60 %:iin, ja mahdollisella lämmön talteenotolla saadaan laitoksen hyötysuhdetta nostettua entisestään (MIT.)

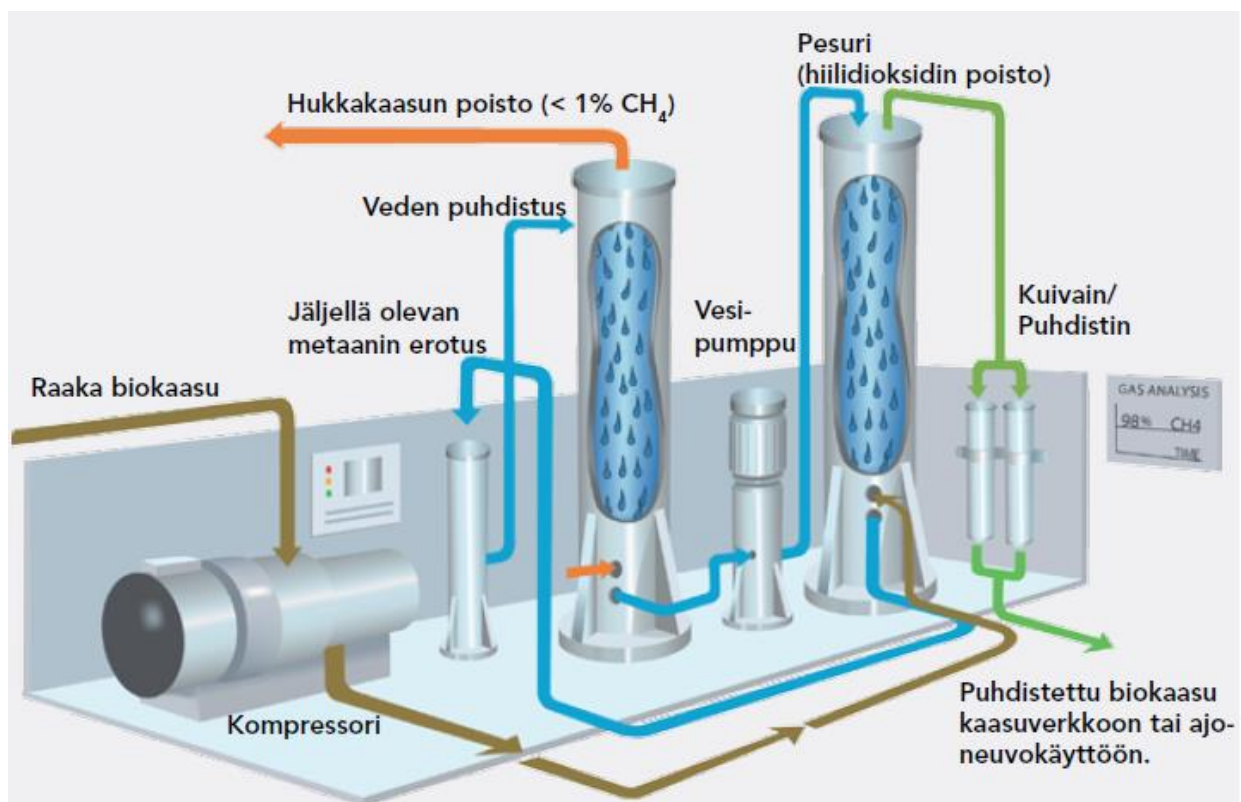
3.5 Biokaasun jalostus

Jotta raakabiokaasua voidaan tankata ajoneuvon tankkiin, on se ensin jalostettava vastaamaan maakaasun koostumusta. Tärkeimmät vaiheet biokaasun jalostuksessa ovat hiilidioksidin, veden ja rikin erotus. Tällöin seoksen metaanipitoisuus saadaan nostettua noin 95 %:n tasolle (Biokaasuauto, jalostus.)

Yksi tämän hetken käytetyimmistä puhdistusmenetelmistä on niin sanottu vesipesumenetelmä, joka perustuu veden kykyyn absorboida kaasuja (Kuva 5). Vesipesussa kaasut syötetään korkeapaineisiin vesisäiliöihin, 7-8 baria, joissa hiilidioksidi ja rikkivety liukenevat veteen. Painetta laskemalla veden sisältämä hiilidioksidi vapautuu, jolloin samaa vettä voidaan käyttää useaan kertaan puhdistamossa. Prosessin toisessa osiossa metaanista erotellaan kosteus

kuivaimessa. Järjestelmästä on myös käytössä versioita, joissa vesi on korvattu kemikaaleilla joiden absorptiokyky on vettä korkeampi (Biokaasuauto, jalostus.)

Raakakaasua voidaan puhdistaa myös aktiivihiilierotuksella, membraalipuhdistuksella tai kryojalostuksella. Aktiivihiilierotuksessa ei toivotut kaasut kerätään aktiivihiileen. Membraalipuhdistuksessa erottimena toimivat puoliläpäisevät kalvot. Kryojalostuksessa kaasuseos jäädytetään matalaan lämpötilaan, jolloin kaasut voidaan erotella toisistaan eri olomuotojen perusteella (Biokaasuauto, jalostus.)



Kuva 5. Biokaasun puhdistus vesipesumenetelmällä (Sarlín, puhdistus)

4 JAKELU

Maa- ja biokaasun jakelu kuluttajille on avainasemassa kaasuautoilun lisäämisessä. Vaikka tankkausasemien määrää on viimevuosina kasvanut, niiden keskittyminen pääosin Etelä-Suomen maakaasuverkon alueelle hidastavaa kaasuautoilun laajamittaista yleistymistä. Kuvasta 6 selviää tämän hetkinen CNG –tankkausasemien (Compressed Natural Gas, komprimoitu luonnonkaasu) määrä ja sijainti (Gasum, Tankkausasemat.)



Kuva 6. Maa- ja biokaasun tankkausasemat. Siniset täplät kuvaavat Gasumin luonnonkaasua myyviä tankkausasemia ja keltaiset vain biokaasua myyviä yhtiöitä (Gasum, Tankkausasemat)

4.1 Maakaasu

Tällä hetkellä kaikki Suomessa käytetty maakaasu tulee Gasumin kaasuputkea pitkin Siperiasta kuluttajille. Tulevaisuudessa Suomeen rakennettavat LNG -terminaalit voivat muuttaa tilannetta

ja avata kaasumarkkinoita muualle Suomeen, sillä Gasum ei ole viimeaikoina laajentanut kaasuverkkoaan juuri lainkaan. Suomessa on tällä hetkellä 18 maakaasun tankkausasemaa, jotka ovat Gasumin ylläpitämiä. Asemat on sijoitettu harvakseltaan eteläisen Suomen suurimpiin maakaasuverkoston alueella sijaitseviin liikennekeskittymiin (Gasum, Tankkausasemat.)

Suuriin liikenteen solmukohtiin, jotka sijaitsevat kaukana kaasuputkesta tai ovat alueella johon sen rakentaminen olisi vaikeaa ja kallista, voidaan rakentaa niin sanottu satelliittitankkausasema. Aseman polttoaine tuotaisiin paikalle rekkakuljetuksena, jossa kaasu olisi jo valmiiksi paineistettu. Tämä on etenkin Ruotsissa hyvin yleinen tapa tuoda kaasua tankkauspisteille, sillä Ruotsin maakaasuverkko rajoittuu vain länsirannikolle. Yhdistelmärekan kuljettamissa konteissa (kuva 7) kaasu on komprimoitu komposiittisäiliöihin, jolloin yhdessä kuljetuksessa voidaan siirtää kaasua jopa 8000kg (Biokaasuauto, Jakelu.) Määrä vastaa noin 240 000 kilometrin ajoa Audi A3 g-tronilla (Audi, g-tron). Kaasua voidaan myös kuljettaa nesteytettynä, jolloin yksittäisen kuljetuksen energiamäärä olisi huomattavasti suurempi, mutta nesteen jäähditys ja höyrytys vaativat omat laitteistonsa. (Biokaasuauto, Jakelu).



Kuva 7. Satelliittitankkausaseman kaasun varastointikontti (RAP)

4.2 Biokaasu

Tällä hetkellä biokaasua voidaan tankata kaikilta kaasun tankkausasemilta, joita on Suomessa tällä hetkellä 24 (Gasum, Tankkausasemat). Biokaasuasemien määrä on ollut viimeaikoina kasvussa ja koska ne eivät ole riippuvaisia kaasuverkosta, niitä voidaan rakentaa huomattavasti maakaasuasemia vapaammin. Biokaasun tuotantolaitokset voivat sijaita kaukana liikenteen solmukohdista, joten kaasua voidaan joutua kuljettamaan pitkiäkin matkoja (Biokaasuauto, Jakelu.)

Helpoin ja energiatehokkain ratkaisu biokaasun tuottajan näkökulmasta on, että kaasua tankattaisiin suoraan laitosalueelta. Alueella tulisi kuitenkin olla mahdollisten huoltojen varalta kaasun varasäiliö, jolla voitaisiin varmistaa kaasun riittävyys myös tuotannon katketessa. Tätä periaatetta käytetään Laukaan biokaasuasemalla (Biokaasuauto, Jakelu.)

Toinen yksinkertainen ratkaisu on kytkeä biokaasulaitos suoraan valtakunnalliseen, Gasumin hallinnoimaan, kaasuverkkoon. Tämä edellyttää biokaasun jalostamisen riittävän hyvälaatuiseksi ja paineistamisen oikeaan paineeseen. Menetelmän etuna on, ettei kaasun tuottajan tarvitse välttämättä rakentaa omaa tankkausasemaa, kaikki kaasu saadaan myytyä ilman välivarastoja ja kaasuverkosta saadaan kaasua, vaikkei biokaasua sillä hetkellä tuotettaisikaan. Suurin osa Suomessa käytetystä liikennebiokaasusta syötetään edellä mainittuun tapaan Gasumin kaasuverkkoon, esimerkkeinä Kouvolan ja Espoon biokaasulaitokset (Biokaasuauto, Jakelu.)

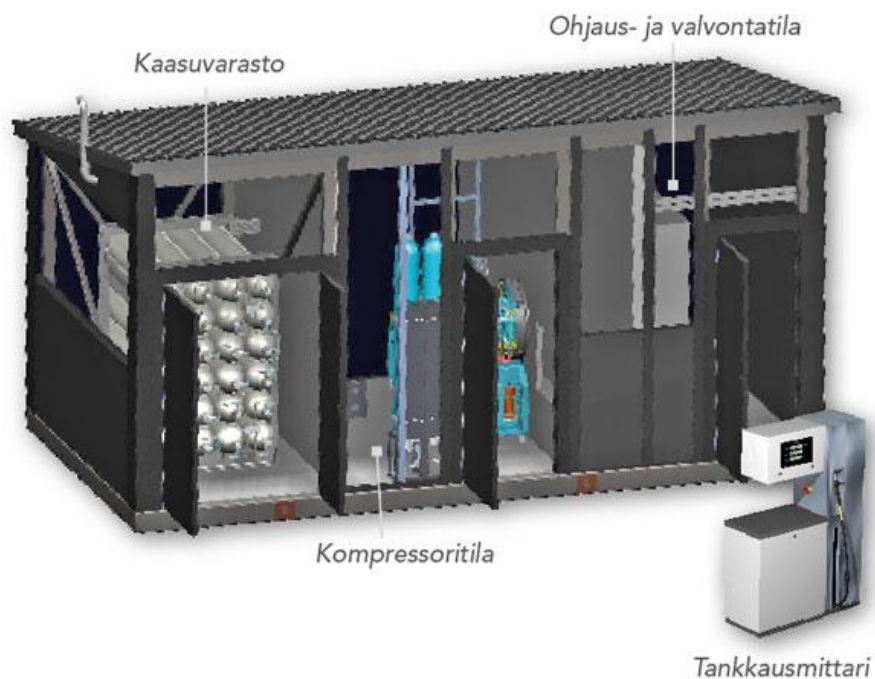
Alueilla jotka eivät ole valtakunnallisen kaasuverkon lähetyvillä ja joilla on suuri potentiaali biokaasun tuotantoon, on hyvät lähtökohdat rakentaa alueelle oma kaasuverkosto. Kaasuputken rakentamisen investoinnit ovat suuria, mutta verkon ylläpito on edullista. Kaasuverkkoon voidaan kytkeä tuotannosta ja kulutuksesta riippuen esimerkiksi alueen biokaasutankkausasemat, voimalaitokset ja kiinteistöt. Näin saataisiin alueelle yhtenäinen biokaasua hyödyntävä energiajärjestelmä. (Biokaasuauto, Jakelu)

4.3 Tankkausasemat

Kaasuautojen tankkausmenetelmät voidaan jakaa fast fill ja slow fill luokkiin. Fast fill-menetelmässä ajoneuvon CNG-säiliöön syötettävä kaasu on valmiiksi komprimoitu yli 200 barin paineeseen, joten tankkaus kestää vain muutaman minuutin. Niin sanottu pikatankkaus soveltuu niin varikkotoimintaan kuin julkiseenkin tankkaukseen. Suomessa olevat julkiset tankkausasemat

käyttävät fast fill –järjestelmää. Kuvassa 8 on esitetty Sarlinin toimittamaa tyyppillistä rakenneratkaisua luonnonkaasun tankkausasemalle, jota Gasum käyttää useilla tankkausasemilla.

Slow fill – tankkausjärjestelmässä kompressorit ahtaa kaasun suoraan verkosta auton tankkiin. Tankkauksen kesto on tyyppillisesti 10 - 12 tuntia, joten menetelmä on käytössä lähinnä varikkotoiminnassa ja kotitankkausasemilla. (Gasum, Tankkaus)



Kuva 8. Luonnonkaasun tankkausasema (Sarlin, tankkausasemat)

5 KAASUKÄYTTÖISET AJONEUVOT

Vaikka maakaasun käyttö Euroopan tieliikenteessä alkoi jo 1930-luvulla ja Suomessa sota-aikana käytettiin häikäpönttöautoja, alkoi laajamittainen luonnonkaasukäyttöisten ajoneuvojen sarjavalmistus Euroopassa vasta 1990-luvun puolivälissä. Tuolloin pioneerin työtä tekivät BMW 316g ja 518g – malleilla ja Volvo 850 Bi-fuel S70 -malleilla. Siitä lähtien markkinoille ovat tulleet myös muun muassa Fiat, Volkswagen ja Mercedes Benz (Biokaasuauto, historia.)

Kaasukäyttöiset ajoneuvot ovat hieman bensiini- ja dieselautoja kalliimpia tekniikkansa ja vielä vaatimattomien tuotantomäärien vuoksi, mutta huomattavasti edullisempien polttoainekustannusten vuoksi niiden takaisinmaksuaika on lyhyt. Useimmat bensiini- ja dieselkäyttöiset ajoneuvot voidaan muuttaa toimimaan myös luonnonkaasulla asentamalla niihin niin sanottu jälkiasennussarja. Ajoneuvoon asennetaan muun muassa kaasusäiliö, paineenalennin, kaasuinjektorit ja ohjausyksikkö. Muutostöiden kokonaishinnaksi muodostuu henkilöautolle noin 2350 - 2850 € (Terragas.)

5.1 Moottorityypit

Tieliikenteen ajoneuvoissa voimanlähteenä lähes poikkeuksetta käytetään polttomoottoreita. Moottoreiden toimintaperiaatteena on hallittu palaminen moottoreiden sylintereissä. Sylinterissä tapahtuva savukaasujen laajeneminen työntää mäntää alas ja yhdessä kiertokangon kanssa saavat kampiakseliin aikaan pyörimisliikkeen. Polttomoottorin toimintaperiaate on sama sekä kaasumaisilla että nestemäisillä polttoaineilla (Bioenergiatieto.)

5.1.1 Bi-fuel

Otto-kaasumoottorissa sylinteriin syötetään metaani-ilmaseos, joka sytytetään sytytystulpan avulla juuri ennen yläkuolonkohtaa. Mitä enemmän seosta pystytään puristamaan, sitä korkeampi on moottorin hyötysuhde. Puristuksessa polttoaineen paine ja lämpötila kasvaa, jolloin täytyy huomioida, ettei puristus ole liian voimakasta. Liian korkea puristuslämpötila voi sytyttää polttoaineen ennen aikaisesti. Tämä niin kutsuttu nakutusilmiö voi vioittaa moottoria liian suurten paine- ja lämpörasitusten vuoksi (Bioenergiatieto.)

Moottoria voidaan käyttää niin kaasulla kuin bensiinilläkin, joten auto ei ole niin riippuvainen kaasuverkosta. Esimerkiksi Audin A3 g-tron kaasuautoissa on 14kg kaasusäiliöt ja 50l:n

bensiinisäiliö (Kuva 9). Valmistajan ilmoittama toimintasäde kaasua käytettäessä on yli 400km ja bensiinillä 900 km. Tankkausten jälkeen ja kylmissä olosuhteissa tapahtuvissa moottorin käynnistyksissä polttoaineena käytetään bensiiniä. Moottorin lämpiämisen jälkeen ajoneuvo vaihtaa polttoaineen syötön automaattisesti kaasulle (Audi, g-tron.)



Kuva 9. Audi A3 Sportback g-tron (Audi Presskit)

5.1.2 Dual-fuel

Diesel-moottoreissa sylinterissä poltetaan metaani-dieselseosta. Koska dieselmotorissa ei ole sähköistä sytytysjärjestelmää puristuksen loppuvaiheessa sylinteriin syötetään korkealla paineella dieseliä, joka syttyessään sytyttää myös kaasuseoksen. Dieselmotoreita käytetään eniten raskaan tieliikenteen ajoneuvoissa, kuten rekoissa, joissa suuren dieselkulutuksen seurauksena siirtyminen metaanin käyttöön olisi erittäin taloudellista ja ympäristöystävällistä. (Volvo, FM MetaaniDiesel, 9-10)

Kiristyvien päästädirektiivien vuoksi auton valmistajien on kehitettävä menetelmiä, joilla moottoreiden päästötasoja saadaan laskettua. Seuraava päästömääräys, Euro 6, aletaan soveltamaan uusien ajoneuvotyyppien tyyppihyväksynnässä 1.8.2014 alkaen. Moottorin typpioksidit putoavat 180 mg/km:sta 80 mg/km ja hiilivedyt (HC+NO_x) putoavat 230 mg/km 170 mg/km (Motiva, päästömääräykset.)

Esimerkiksi Volvo on kehittänyt markkinoille rekkakonseptin, Volvo FM MethaneDiesel, jossa rekan kuluttamasta polttoaineesta 75 % on metaania ja 25 % dieseliä. Metaani varastoidaan nupin taakse LNG – säiliöön, josta se ensin höyrytetään ja sitten johdetaan moottoriin. Volvo ilmoittaa järjestelmän takaisinmaksuajaksi ajomäärästä riippuen 3-5 vuotta (Volvo, Sustainable solutions.)

5.2 Säiliötyypit

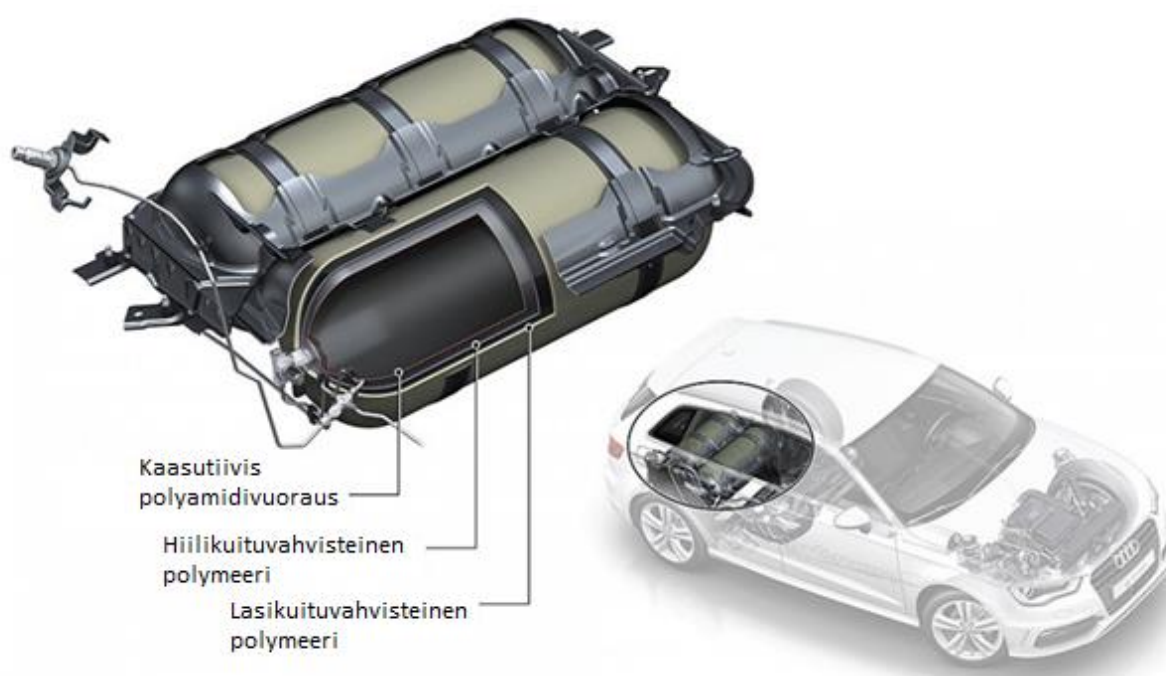
Kaasuauton turvallisuuteen ja käytännön toimivuuteen vaikuttavat suuresti kaasun varastointi. Tällä hetkellä yleisin säiliötyyppi on CNG – säiliö, jossa kaasu on puristettu 200 barin paineeseen. Laivaliikenteessä jo jonkin aikaa käytössä ollut LNG on yleistymässä etenkin raskaan liikenteen polttoaineen säilömuotona. LNG:n säilöminen vaatii korkeatasoisempaa tekniikkaa, mutta vastineeksi sen energiatiheys on huomattavasti kaasumaista olomuotoa korkeampi. Uusimpana mallina on ANG -säiliö (Adsorbed Natural Gas, adsorboitu luonnonkaasu), joka ovat vielä kokeiluasteella. Siinä kaasu sitoutuu säiliön sisällä olevaan huokoiseen materiaaliin. Säiliöön mahtuu enemmän kaasua kuin saman kokoluokan CNG -säiliöön paineen silti ollessa varsin alhainen (Energtek.)

5.2.1 CNG -säiliö

Ajoneuvoissa käytettävien metaanisäiliöiden tankkauspainena käytetään noin 200 baria. Korkeasta paineesta johtuen kaasusäiliön on kestävä suuria rasituksia ja paineenmuutoksia. Säiliön muodoksi on vakiintunut sylinterimalli, jonka molemmat päät on pyöritetty. Tällä muodolla saadaan aikaan rekenne, jossa paineen aiheuttama rasitus jakautuu tasaisesti. Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa myytävien säiliöiden on täytettävä tiukat laatustandardit, ECE R110, joilla taataan kuluttajien turvallisuus. (CNG United)

Kaasusäiliöiden materiaalit vaihtelevat niiden iän ja käyttötarkoituksen myötä. Nykyisin on käytössä neljä eri säiliötyyppiä. Varhaisimmassa ja painavimmassa kaasusäiliötyypissä, tyyppi 1:ssä, valmistusmateriaali on terästä. Rakenne on yksinkertainen ja edullinen valmistaa, mutta materiaalivalinnan myötä se on painava. Tyypissä 2 säiliön keskiosa on päällystetty komposiittikerroksella, joka koostuu hiili- ja lasikuitukerroksista. Tällöin painavaa teräskerrosta on voitu ohentaa rakenteen kestävyyttä heikentämättä. Tällä menetelmällä saadaan säiliöstä huomattavasti tyyppiä 1 kevyempi vain hieman suuremmilla kustannuksilla. Tyyppi 3 edustaa tämän hetken käytetyintä CNG- säiliötyyppiä. Siinä rungon päämateriaalina on alumiini, joka on

päällystetty kauttaaltaan komposiittikerroksilla. Tällä rakenteella säiliöstä on saatu kevyempi ja kestävämpi kuin aiemmat säiliötyypit. Tyyppi 4 on täysin metalliton säiliö, jonka seinämät koostuvat esimerkiksi kumista ja komposiitista. Säiliö on painoltaan ja hinnaltaan hyvin lähellä tyyppi 3:n säiliötä (CNG United.) Audi A3 g-tronissa käytetään Xperionin valmistamia ultrakevyitä kaasusäiliöitä. Niiden sisäseinämä koostuu polyamidipolymeeristä, keskiseinämä hiilikuituvahvisteisesta polymeeristä ja ulkokerros lasikuituvahvistetusta polymeeristä (kuva 10) (Fleets & fuels.) Säiliöiden tilavuus on noin 7 kg ja ne on saatu upotettua lähes huomaamattomasti ajoneuvon takaosaan. Tällä kaasumäärällä saavutetaan noin 400 km:n toimintasäde (Audi. g-tron.)

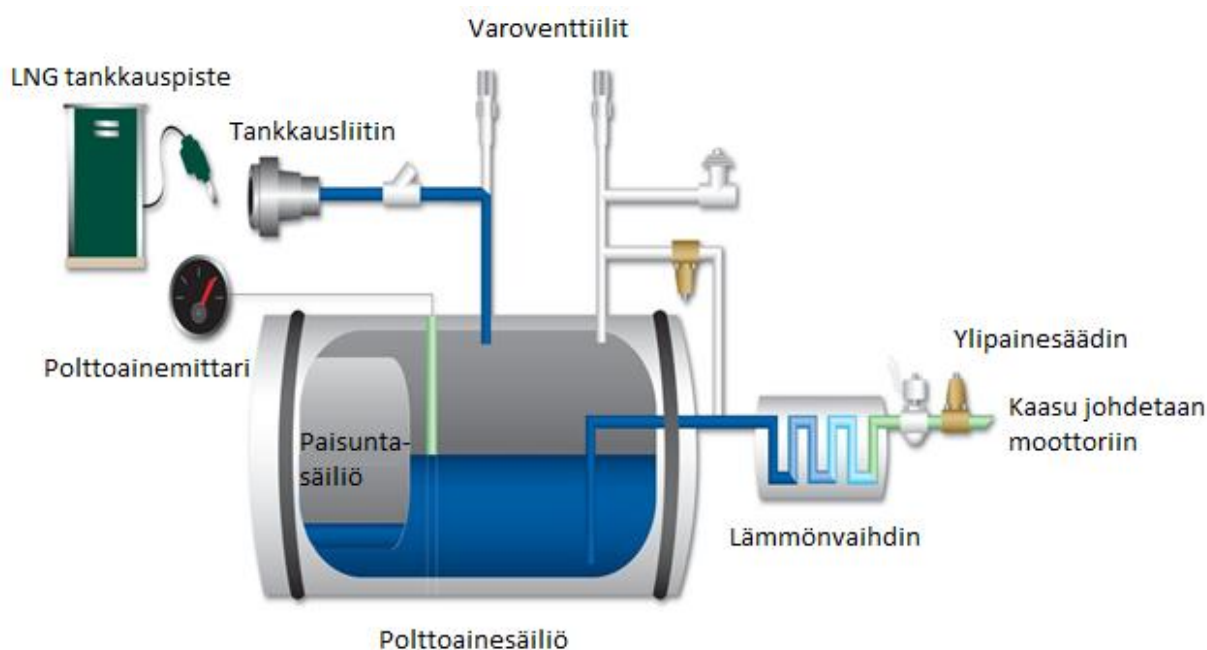


Kuva 10. Audi A3 g-tronin kaasusäiliöt ja niiden sijoittelu (Audi Presskit)

5.2.2 LNG -säiliö

Nesteytettyä maakaasua käytetään erityisesti raskaan liikenteen polttoaineena. LNG:llä on huomattavasti CNG:tä suurempi energiatiheys, jolloin yhdellä säiliöllisellä saavutetaan suurempi toimintasäde (Volvo, FM Metaanidiesel, 2-3.) Nesteytettyä maakaasua säilytetään ajoneuvon metallisessa ja hyvin eristetyssä säiliössä (Kuva 11). Säiliössä vallitseva lämpötila on noin -140 - -130 °C ja paine on 5-8 barin välillä. Säiliöstä nesteytetty kaasu johdetaan lämmittimelle, jossa se höyrystetään ennen sen syöttämistä moottoriin. Ajoneuvon ollessa käyttämättömänä,

kaasusäiliöön höyryntyy kaasua, mikä nostaa säiliön painetta. Säiliöön on kytketty varoventtiilit, jotka tyhjentävät säiliön höyryntyneestä kaasusta. (Volvo, MethaneDiesel, 9)



Kuva 11. LNG – säiliö ja sen osat (Chart)

5.2.3 ANG -säiliö

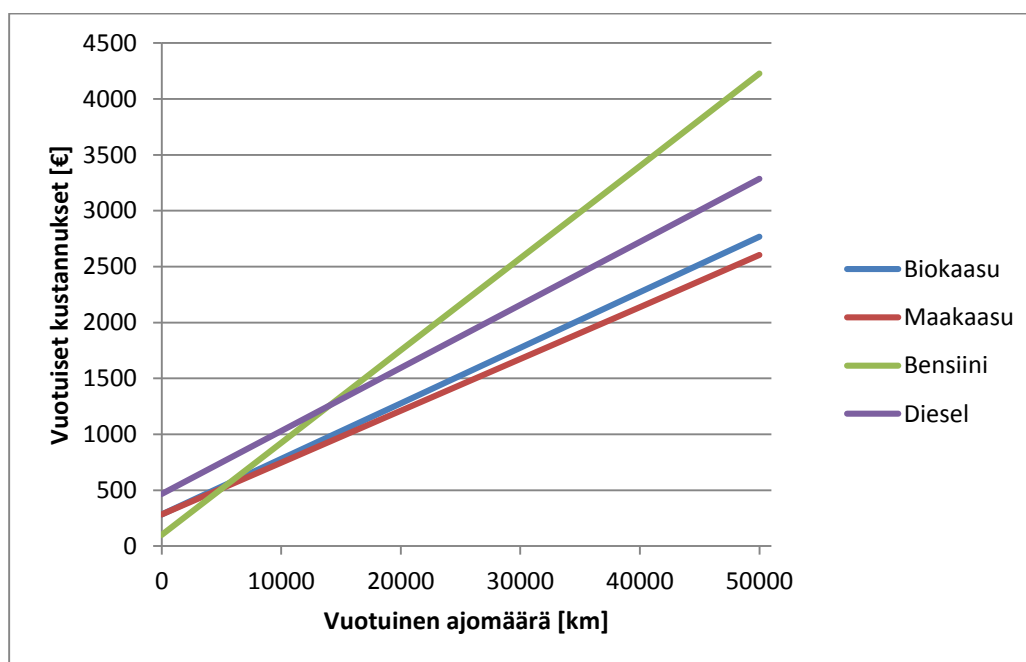
Uusinta kaasun säilytysmuotoa edustaa adsorboitu maakaasu. Säiliön toiminta perustuu sen sisällä olevaan huokoiseen materiaaliin, joka kykenee sitomaan itseensä enemmän kaasua kuin mitä saman kokoon CNG-säiliön voidaan puristaa. Säiliössä oleva kaasu on ympäristön lämpötilassa ja paine on noin 40 baria. Tällä hetkellä ANG -säiliöiden sidosmateriaalina on käytetty aktiivihiihtä, sillä sen rakenne muodostaa suuren pinta-alan ja sen valmistus on varsin yksinkertaista ja edullista. ANG -säiliöt ovat vielä kehitysvaiheessa, mutta niiden on toivottu parantava kaasusäiliöiden turvallisuutta ja antamaan ajoneuvoille aiempaa suuremman toimintasäteen. Matalasta paineesta johtuen säiliöiden ei tarvitse olla CNG- ja LNG -säiliöiden tapaan sylinterin muotoisia, vaan niitä voidaan muotoilla lähes mielivaltaisesti, jolloin niiden asentaminen ajoneuvojen rungon sisään on entistä helpompaa. (Work Truck)

6 HYÖDYT

Luonnonkaasun käyttö ajoneuvojen polttoaineena sisältää monia hyötyjä. Muihin polttoaineisiin verrattuna sen hinta on hyvin kilpailukykyinen ja etenkin biokaasun hiilijalanjälki on pienin tämän hetkisistä polttoaineista. Lisäksi biokaasun valmistus on mahdollista Suomessa, joten se parantaa energiaomavaraisuutta ja lisää työpaikkoja. (Biokaasuauto, edut)

6.1 Taloudellisuus

Suomessa ajoneuvon vuotuiset kustannukset muodostuvat ajoneuvoverosta ja polttoaineen hinnasta. Ajoneuvoveroon kuuluu käyttövoimavero ja perusvero. Koska bensiinikäyttöisillä autoilla ei ole käyttövoimaveroa, vuotuiset alkuinvestoinnit ovat muita vaihtoehtoja matalammat. Bensiinin hinnasta suuri osa muodostuu veroista, jolloin ajomäärän kasvaessa suureksi, myös käyttökustannukset ovat varsin huomattavat. Bio- ja maakaasun edullinen hinta ja maltillinen verotus tekevät siitä tämän hetken edullisimman polttoaineen käyttää, jos vuotuinen ajomäärä ylittää 5 000 kilometriä, ilmenee liitteen 1 pohjalta tehdyn kuvan 12 mukaan (Veronmaksajat.)



Kuva 12. Ajoneuvojen kustannukset ajomäärän funktiona

Suomeen tuotavasta ja rekisteröitävästä ajoneuvosta on maksettava autovero. Veron suuruus määräytyy nykyisin pääsääntöisesti ajoneuvon valmistajan ilmoittamiin hiilidioksidipäästöihin. Henkilöautoilla veron suuruus ajoneuvon kuluttajahinnasta on vähintään 5 % ja enintään 50 %. Pakettiautoilla verotaulukon määräämästä veroprosentista suoritetaan vähennys, jonka suuruus sijoittuu välille 9,8–21,7 %. Pakettiauton verovähennys edellyttää ajoneuvon käyttöä tavarankuljetukseen, joissa seuraavat ehdot täytyvät: N1-luokitus, yksi penkkirivi ja kokonaismassan on oltava yli 2500 kg. Jos auto on käyttöön otettu ennen vuotta 2001, ensisijaisesti autovero määräytyy ajoneuvon kokonaismassan ja käyttövoiman suuruuden mukaan (Veronmaksajat.)

Vuosittain maksettava ajoneuvovero kaasuautoille muodostuu perusverosta ja käyttövoimaverosta. Perusverotuksessa Bi-fuel autoilla veron suuruus määräytyy ennen 31.12.2005 käyttöön otetuissa autoissa ajoneuvon kokonaismassan mukaisesti. 1.1.2006 tai myöhemmin käyttöön otetuissa ajoneuvoissa vero määräytyy ajoneuvon hiilidioksidipäästöjen mukaan. Käyttövoimavero palasi kaasuautoille vuoden 2013 alussa. Henkilöautoilla vero on 0,31 €/vrk/100kg ja pakettiautoilla 0,009 €/vrk/100kg ajoneuvon kokonaismassasta. Kuorma-autoilla vero kohtelu säilyi samana kuin dieselkäyttöisilläkin (Trafi.)

Suomessa polttoaineen valmisteverotuksella on aina ollut huomattava osuus tuotteen loppuhinnasta (Taulukko 4). Veromuutoksilla voidaan vaikuttaa halutulla tavalla polttoaineiden kysyntään nostamalla tai laskemalla sen suuruutta. Valmistevero koostuu energiasisältöverosta, hiilidioksidiverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Biokaasu on tällä hetkellä valmisteverotonta. Lisäksi polttoaineista on maksettava 24 %:n suuruista arvonlisäveroa (Öljyalan keskusliitto, verotus.)

Taulukko 4. Maakaasun valmisteveron rakenne (Tulli, energiaverotus)

Tuote	Energiasisältövero [€/MWh]	Hiilidioksidi- vero [€/MWh]	Huoltovarmuus- maksu [€/MWh]	Yhteensä [€/MWh]
1.1.2013– 31.12.2014	4,45	6,93	0,084	11,464
1.1.2015 alkaen	6,65	6,93	0,084	13,664

Polttoaineen hinnalla ja sen kulutuksella on nykyaikaisilla automarkkinoilla suuri vaikutus. Ajoneuvon päästöjen mukaan määräytyvät verot vaikuttavat suoraan auton ostohintaan ja näin kuluttajien valintoihin. Audi A3 Sportback 1.4 TFSI 92kw kokonaishinta on 27 393 € ja vastaavan luonnonkaasulla toimivan mallin hinta on 28 862 €. Pienempien hiilidioksidipäästöjen vuoksi kaasua käyttävän ajoneuvon autovero on 910 €, mutta kalliimmasta tekniikasta ja vielä vaatimattomista tuotantomääristä johtuen kaasumallin kokonaishinta on noin 5,4 % suurempi. G-tronin takaisinmaksuaika on TSFI – malliin verrattuna lyhyt, noin 40 000 km (liite 1.)

6.2 Päästövähennykset

Maakaasun molekyylirakenteen vuoksi sen palaessa muodostuu 25 % vähemmän hiilidioksidia kuin bensiinin palaessa. Biokaasun valmistusmenetelmästä, raaka-aineista ja laskentatavasta riippuen sen hiilijalanjälki on 90 - 100 % pienempi kuin bensiinillä. Luonnonkaasu sekoittuu moottorissa ilman kanssa paremmin kuin nestemäiset polttoaineet. Tällöin palamisen myötä muodostuvien hiilimonoksidien ja pienhiukkasten määrä on erittäin pieni verrattuna bensiiniin ja dieseliin. Polttoaineen rikkipitoisuus on hyvin alhainen, jolloin palamisessa ei muodostu rikkioksideja. Lisäksi terveydelle vaarallisia haihtuvia orgaanisia hiilivetyjä (NMVOC) ei muodostu lainkaan. Käytännössä kaasuauton savukaasut muodostuvat hiilidioksidista ja vedestä. Taulukossa 5 on esitetty paljonko polttoaineen vaihto biokaasuun vähentää ajoneuvon päästöjä. (Lampinen, 234)

Taulukko 5. Päästövähennykset kun ajoneuvo vaihtaa polttoaineeksi biokaasun (Lampinen, 235)

Päästölaji	Bussi: Dieselistä biokaasuun	Henkilöauto: Dieselistä biokaasuun	Henkilöauto: Bensiinistä biokaasuun
Kasvihuonekaasut	- 96,0 %	- 95,0 %	- 96,0 %
Pienhiukkaset	- 94,0 %	- 99,9 %	- 66,0 %
SO₂	- 98,0 %	- 99,0 %	- 98,0 %
No_x	- 39,0 %	- 88,0 %	- 57,0 %
NMVOC	- 70,0 %	- 33,0 %	- 79,0 %

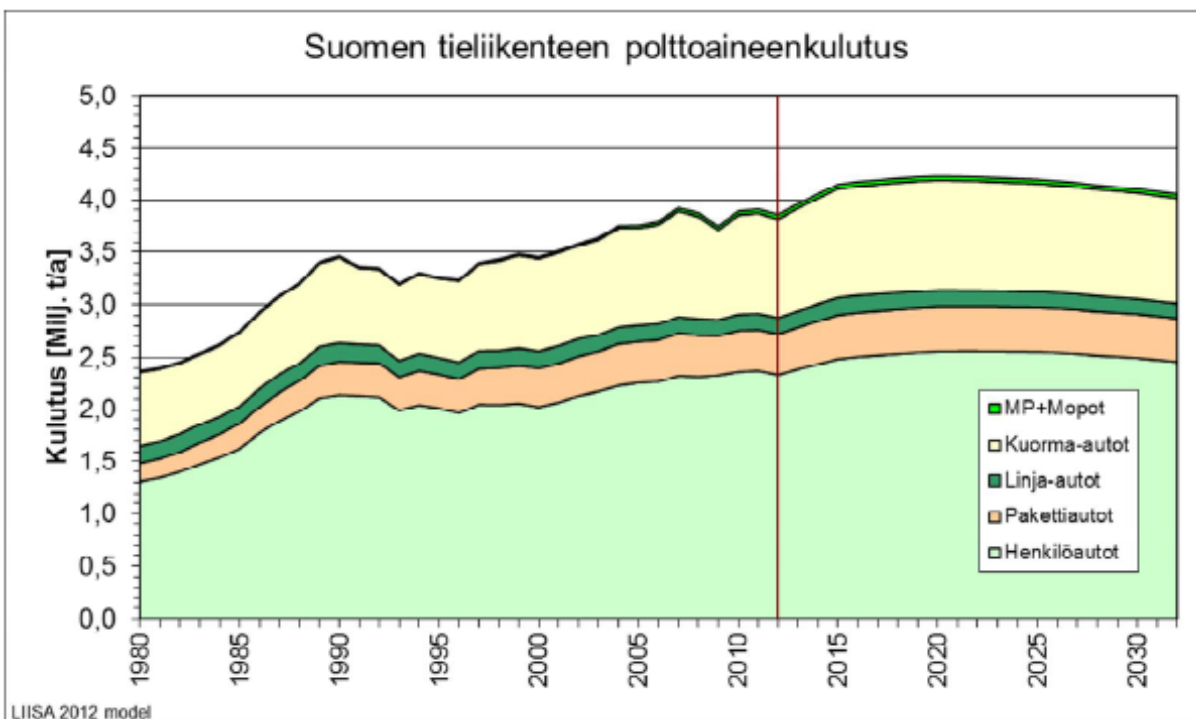
Etenkin suurissa kaupungeissa kärsitään huonosta ilmanlaadusta suurten automäärien ja huonon ilman vaihtuvuuden vuoksi. Yksi potentiaalinen vaihtoehto ilman parantamiseksi olisi vaihtaa alueen bussi- ja taksiliikenne luonnonkaasuja käyttäviksi. Ilmanlaatuindeksiin vaikuttavat rikkidioksidi, typpioksidi, hengitettävät hiukkaset, otsoni, hiilimonoksidi ja haisevat rikkiyhdisteet. Kaupunkien ilmanlaatuun vaikuttaa etenkin liikenne, sillä pakokaasut vapautuvat

ilmaan maan tasolta ja renkaiden irrottama tiepöly lisää entisestään pienhiukkasten määrää. Suurten pääväylien läheisyydessä ja tiiviiden kerrostaloalueiden vilkasliikenteisillä teillä ilmanlaatu voi ajoittain olla hyvinkin huono (Tilastokeskus, pienhiukkaset.)

Metaanin oktaaniluku on noin 130, joten moottorin puristussuhdetta voidaan nostaa 95 oktaanista bensiiniä huomattavasti korkeammaksi. Korkeaa oktaanilukua hyödyntämällä moottorin hyötysuhdetta voitaisiin nostaa, mutta puristussuhde jätetään tyyppillisesti alemmalle, bensiinin vaatimalle, tasolle. Paremmalla hyötysuhteella toimiva moottori kuluttaa vähemmän polttoainetta, jolloin päästöjen määrä pienenee (Ari Lampinen, 236)

6.3 Energiaomavaraisuus ja työllisyys

Biokaasun tuottaminen Suomessa edistäisi maan energiaomavaraisuutta. Gasum ilmoittaa Suomen biokaasupotentiaalin olevan noin 17 TWh/a, joka olisi merkittävä lisä Suomen energiantuotannossa. Laskelmien mukaan jätteistä saataisiin kaasua 2 TWh/a, maataloudesta 7 TWh/a ja metsätaloudesta 8 TWh/a (Gasum, biokaasu.) Vuonna 2012 tieliikenteen kokonaisenergiankulutus oli noin 46 TWh, joka vastaa 3, 857 miljoonan tonnin polttoainemäärää (kuva 13). Jos kaikki tuotettava biokaasu käytettäisiin liikenteen polttoaineena, kattaisi se siitä jopa 37 %. Biokaasun korvaaman polttoaineen määrä vastaa 1, 427 miljoonaa tonnia Venäjän öljykentiltä tuotavaa öljyä (VTT.)

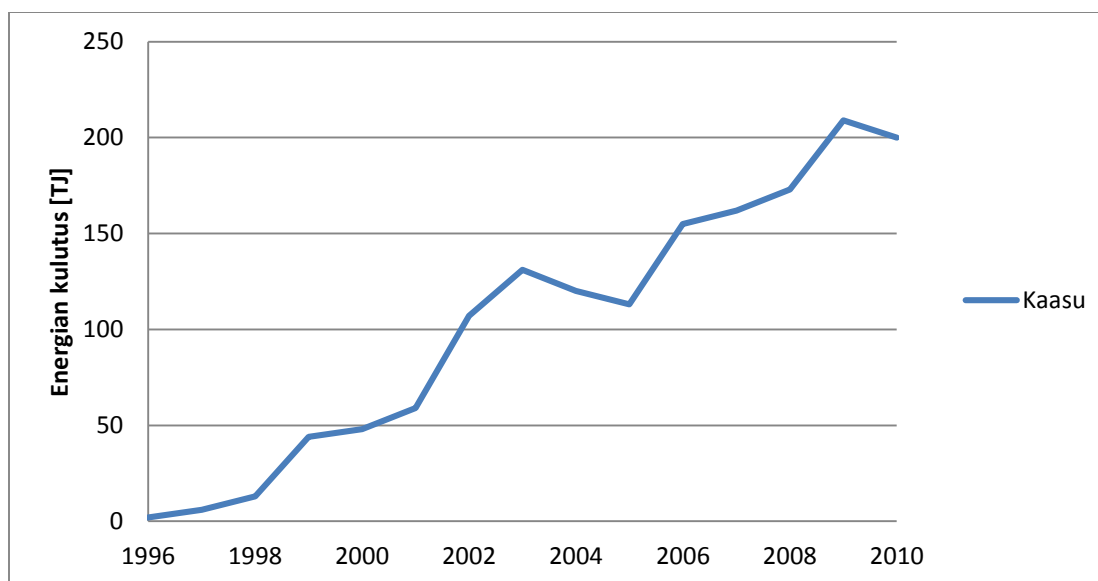


Kuva 13. Suomen tieliikenteen polttoaineen kulutus ajoneuvotyypeittäin (Mäkelä & Auvinen)

Kotimaisen bioenergian lisäämisellä on energiaomavaraisuuden seurauksena myös vaikutus työllisyyteen. Kun ulkomailta tuotavia fossiilisia polttoaineita korvataan kotimaisella bioenergialla, seurauksena on työpaikkojen ja investointien jääminen Suomen rajojen sisäpuolelle. Työpaikkoja syntyy uusien investointien myötä niin rakennustöiden, logistiikan kuin myös tuotannon muodossa. Tällä hetkellä suurimmat kotimaista bioenergiaa tuottavat työpaikat ovat ja tulevat todennäköisesti jatkossakin olemaan metsä- ja turvealalla. Tulevaisuudessa laajeneva puupohjaisen biokaasun tuotanto tulee todennäköisesti rakentumaan nykyisen metsäteollisuuden rinnalle (Bioenergia.)

7 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Suomen liikennepolttoainekaasun kulutus ja biokaasun valmistus ovat olleet tasaisessa kasvussa jo kohta kahdenkymmenen vuoden ajan (kuva 14 ja 16). Etenkin biokaasun lisääminen liikenteen polttoaineena vaatii pitkäaikaista sitoutumista ja nykyistä tehokkaampaa kannustusjärjestelmää, jos fossiilisista polttoaineista halutaan päästä eroon. Bensiiniä puolta edullisempi polttoaine ei yksistään riitä siihen, että kuluttajat vaihtaisivat tutun polttoaineen kaasuksi. Biokaasun käytön yleistymisen edellyttää laajamittaisia ja rohkeita investointeja tankkausasemien lisäämiseksi ja tankkausverkoston laajentamista koko Suomen kattavaksi.

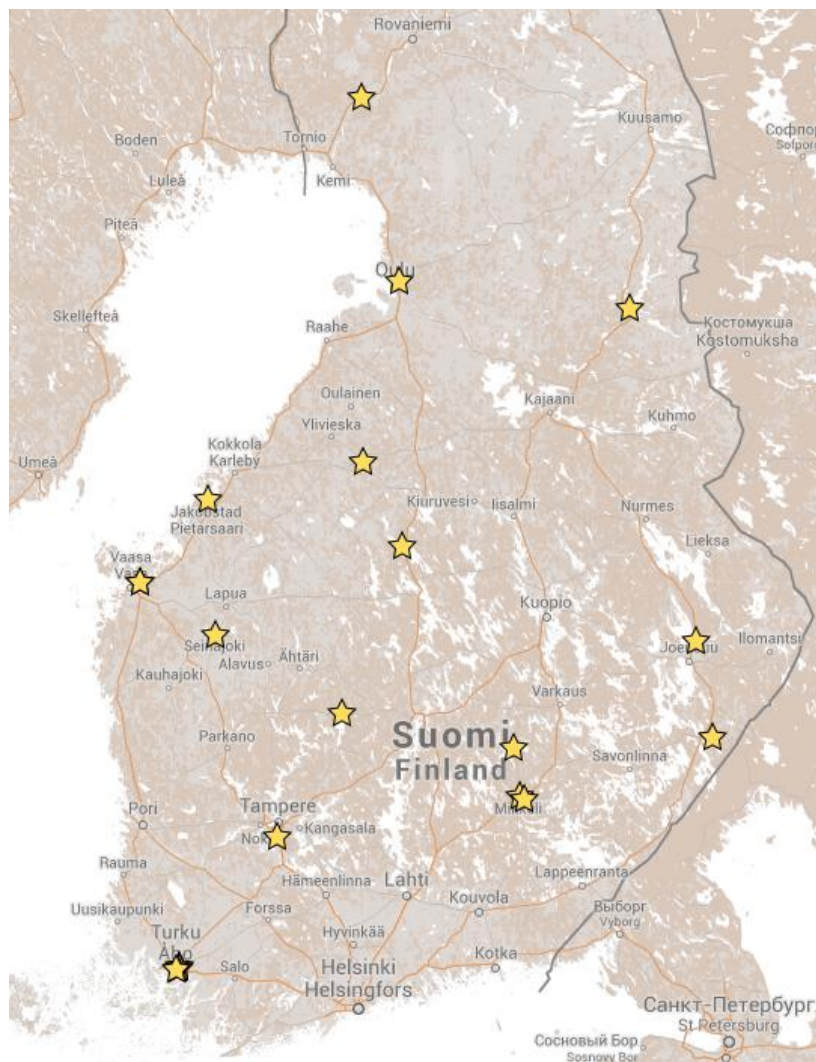


Kuva 14. Luonnonkaasujen käyttö Suomen tieliikenteessä 1996 - 2010 (Tilastokeskus, Energiatilastot, 78)

Luonnonkaasun tankkausasemia on kuitenkin runsaasti suunnitteilla ympäri Suomea, muun muassa Turkuun, Ouluun ja Joensuuhun, kuten kuvasta 15 ilmenee. Laajeneva tankkausverkosto tulee kattamaan suuren osan Suomesta kun toimialalle syntyy uusia biokaasua tuottavia yrityksiä. Tulevaisuudessa liikenteen maakaasusta voidaan luopua, jolloin Suomen energiaomavaraisuus tieliikenteen polttoaineissa kasvaa (GasHighWay.)

Tulevaisuudessa rakennettavien LNG – tuontiterminaalien yhteyteen on luontevaa rakentaa raskasta liikennettä varten nesteytetyn maakaasun tankkausasemia. EU:n energiastrategia velvoittaa jäsenmaita rakentamaan CNG – ja LNG – tankkauspisteitä. Alkuvuonna 2013 koko

EU:n alueella oli toiminnassa vasta 38 maantieliikenteen LNG – tankkausasemaa, mutta tavoitteena on rakentaa kattava verkosto Euroopan alueelle vuoteen 2020 mennessä (Gasum, maantieliikenne.)



Kuva 15. Viimeistään vuonna 2016 avattaviksi suunniteltuja biokaasun tankkausasemia (Suomen biokaasuyhdistys, kartta)

Biokaasun valmistuksen yleistymisen myötä laitosten investointikulut tulevat todennäköisesti laskemaan, valtion bioenergiaan siirtymiskannusteet ja yleinen ympäristötietoisuus tulevat lisäämään biokaasun tuotannon määrää Suomessa. Viimeaikoina biokaasun tuotanto on kasvanut Suomessa huomattavasti, kuten kuvasta 15 selviää. Etenkin nykyisen maakaasuverkkoon kytkettävät biokaasulaitokset tulevat lähivuosina lisäämään biokaasun osuutta Suomen energian tuotannossa (Gasumin uutiskirje.)

8 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä käsiteltiin maa- ja biokaasun käyttöä Suomen tieliikenteen polttoaineena. Luonnonkaasujen jakelu ajoneuvojen polttoaineeksi aloitettiin jo vuonna 1995 ja sen käyttö on ollut tasaisessa kasvussa. Kaasukäyttöisiä henkilöautoja oli vuoden 2013 lopussa käytössä 1016 kappaletta. Tällä hetkellä Suomessa on 24 julkista tankkausasemaa.

Suomessa käytettävästä maakaasusta 100 % tulee tällä hetkellä Venäjältä kaasuputkia pitkin. Tulevaisuudessa voidaan laivalla tuoda Suomeen nesteytettyä maakaasua, jolloin riippuvuus Venäjän kaasusta vähenee ja nykyisen kaasuverkon ulkopuolelle on mahdollista saada edullista maakaasua. Maakaasun hiilidioksidipäästöt ovat noin 25 % pienempiä kuin bensiinillä ja sen hinta on noin puolet 95E10 -polttoaineesta. Luonnonkaasujen palamisessa ei muodostu lainkaan pienhiukkasia eikä typpi- ja rikki-päästöjä. Siksi bensiini ja dieselikäyttöisen ajoneuvon vaihtaminen tai muuttaminen kaasulla toimivaksi on kuluttajan lompakon että ympäristön kannalta kannattava ratkaisu.

Biokaasua valmistetaan mädättämällä orgaanista jätettä hapettomissa olosuhteissa. Suomessa suurin osa biokaasusta saadaan kaatopaikoilta, mutta biokaasun valmistaminen yhdyskunta- ja maatalousjätteistä on kasvattanut osuuttaan viime vuosina. Vuonna 2013 Suomessa tuotettu biokaasun energiamäärä vastasi 556 GWh:a. Raakabiokaasu vaatii jalostamista ennen sen käyttöä tieliikenteen polttoaineena. Jalostamaton biokaasu sisältää metaanin lisäksi runsaasti hiilidioksidia, typpeä ja vettä. Puhdistuksen jälkeen kaasuseos on lähes kokonaan metaania ja sen koostumus vastaa maakaasua. Tuotanto- ja jakelumenetelmistä riippuen biokaasun hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 - 100 % pienemmät kuin bensiinin.

LÄHDELUETTELO

Audi. Audi opens power-to-gas facility. Julkaistu 25.6.2013. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: https://www.audi-mediaservices.com/publish/ms/content/en/public/pressemitteilungen/2013/06/25/world_premiere__audi.html

Audi. Egasproject. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://www.audi.com/com/brand/en/vorsprung_durch_technik/content/2013/10/energy-turnaround-in-the-tank.html

Audi. Audi A3 Sportback g-tron. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.audi.fi/fi/brand/fi/models/a3/a3-sportback-g-tron/engine.html>

Audi. Audi A3 Sportback hinnasto. Julkaistu 17.7.2014. [www-dokumentti]. Viitattu 15.10.2014. Saatavuus: [http://content.audi.fi/Extra/Hinnasto.nsf/0/40039C216F91B1F0C2257D150027003D/\\$file/Audi%202014%2007%2017%20A3%20SB%20nro%20202.pdf](http://content.audi.fi/Extra/Hinnasto.nsf/0/40039C216F91B1F0C2257D150027003D/$file/Audi%202014%2007%2017%20A3%20SB%20nro%20202.pdf)

Audi Presskit. Audi A3 Sportback g-tron. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://app.audi-presskit.de/en/future_lab_tron_experience/audi-a3-sportback-g-tron--2/technical

Biokaasuauto. Biokaasun jakelun vaihtoehdot. Julkaistu 13.2.2013. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.biokaasuauto.fi/blog/biokaasun-jakelun-vaihtoehdot>

Bioenergia. Selvitys: Metsähake ja energiaturve merkittäviä alueellisia työllistäjiä. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.bioenergia.fi/default.asp?sivuId=29606>

Bioenergiatieto. Kaasumoottori. Päivitetty 3.7.2012. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian_tuotanto/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kaasumaisille_polttoaineille/kaasumoottori/

Biokaasuauto. Biokaasun edut. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.biokaasuauto.fi/biokaasun-edut>

Biokaasuauto. Biokaasun jalostus biometaaniksi. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.biokaasuauto.fi/biokaasu/biokaasusta-biometaania>

Biokaasuauto. Kaasuautomallien historia. [www-sivu]. Viitattu 13.10.2014. Saatavuus: <http://www.biokaasuauto.fi/kaasuautomallien-historia>

CNG United. Information about compressed natural gas tanks. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.cngschool.com/cng-tanks>

Chart . LNG Equipment Fueling Systems. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://www.chartlng.com/Equipment/Fueling_Systems.aspx

Energtek. Natural gas storage methods. [www-sivu]. Viitattu 13.10.2014. Saatavuus: http://www.angstore.com/solutions/adsorbed_natural_gas_technology/natural_gas_storage_ma

Energiäteollisuus. Maakaasu. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/maakaasu>

Etogas. Electricity from wind and sun is generated at irregular intervals. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.etogas.com/en/the-challenge/>

Fleets & fuels. Xperion tanks for Audis's new A3 g-tron. Julkaistu 13.6.2013. [www-sivu]. Viitattu 14.10.2014. Saatavuus: <http://www.fleetsandfuels.com/fuels/cng/2013/06/xperion-for-audis-new-a3-g-tron/>

Gasum. Kaasutietoutta. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavissa: <http://gasum.fi/Kaasutietoutta/>

Gasum. Nesteytetty maakaasu LNG. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavissa: <http://www.gasum.fi/Kaasutietoutta/Nesteytetty-maakaasu-LNG/>

Gasum. Maakaasu – puhtaasti palava luonnonkaasu. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.gasum.fi/Kaasutietoutta/Maakaasu/>

Gasum. Miten kaasuauto tankataan? [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.gasum.fi/Puhtaampi-liikenne/Tankkausasemat/Kaasun-tankkaaminen/>

Gasum. Nesteytetty maakaasu raskaassa maantieliikenteessä. [www-sivu]. Viitattu 12.10.2014. Saatavissa: <http://www.gasum.fi/Kaasutietoutta/Nesteytetty-maakaasu-LNG/LNG-raskas-maantieliikenne/>

Gasum. Puhtaampaa liikennettä. [www-sivu]. Viitattu 12.10.2014. Saatavuus: <http://www.gasum.fi/Kaasutietoutta/Liikennekaasu-CNG/>

Gasum. Tankkausasemaverkosto Suomessa. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.gasum.fi/Puhtaampi-liikenne/Tankkausasemat/>

Gasumin uutiskirje. Kaasu liikenteen polttoaineena Suomessa 2030. Julkaistu 23.9.2012. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.puhtaampiliikenne.fi/uutinen/kaasu-liikenteen-polttoaineena-suomessa-2030.html>

Huttunen Markku J. & Kuittinen Ville. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17. Itäsuomen yliopisto. [www-dokumentti]. Viitattu 11.10.2014. Saatavissa: http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1567-2/urn_isbn_978-952-61-1567-2.pdf

Lampinen Ari. Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Joensuu 2009. s. 234-236. [www-dokumentti]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://www.karelia.fi/julkaisut/sahkoinenjulkaisu/B17_verkkojulkaisu.pdf

Maakaasukäsikirja. Suomen kaasuyhdistys. s.6-7, 12-13. [www-dokumentti]. Viitattu 11.10.2014. Saatavissa: http://kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/kuvat/kirja/MaakaasuKasikirja_helmi2014.pdf

MIT technology review. Audi to make fuel using solar power. Julkaistu: 25.1.2013. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.technologyreview.com/news/510066/audi-to-make-fuel-using-solar-power/>

Motiva. Henkilöautojen päästömääräykset. Päivitetty 19.12.2013. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/henkiloautojen_paastomaara_ykset

Mäkelä Kari & Auvinen Heidi. VTT. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt 2012. Julkaistu 16.9.2013. s. 88. [www-dokumentti]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus:

<http://lipasto.vtt.fi/liisa/liisa2012raportti.pdf>

Pöyry. Joutsenon puupohjaista biokaasua tuottava biojalostamo YVA. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Julkaistu 2.8.2013. s. 30-33 Saatavuus:

<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B4659787D-7117-48A5-A683-CD0F60D419C4%7D/76150>

Rap Clean Vehicle Technology. RAP Clean Vehicle Technology represents xperion on BeNeLux, UK and the Scandinavian markets. Julkaistu 12/2009. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.rap-cleanairproducts.nl/>

Sarlin. Biokaasun jalostuslaitokset. Viitattu 11.10.2014. [www-sivu]. Saatavuus:

http://www.sarlin.com/sarlin_products/Biokaasun-puhdistus-ja-jalostuslaitokset/tcxkbgfx/2a12e6e6-e2e0-4eb1-a63f-9399f4ca1b25

Sarlin. Maakaasun ja biokaasun tankkausasemat – CNG-asemat. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://www.sarlin.com/sarlin_products/Maakaasun-ja-biokaasun-tankkausasemat---CNG-asemat/5nefetr0/97116b8b-1da4-4c87-a07a-2ab643e31974

St1. RE85 – Jätepohjainen biopolttoaine. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavissa:

<http://www.st1.fi/tuotteet/re85>

Suomen biokaasuyhdistys. Suomen biokaasutankkaus-verkoston kartta julkaistu. Julkaistu 29.11.2013. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus:

<https://mapsengine.google.com/map/viewer?mid=zDYO6uW0-sIE.klgSa9MoWUuY>

Tilastokeskus. Ilman pienhiukkaset merkittävä terveysongelma. Päivitetty 29.5.2008. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-05-30_007.html?s=0

Tilastokeskus. Energiatilasto 2011. Julkaistu 1/2012 s.78. [www-dokumentti]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus:

http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluettelo/yene_enev_201100_2012_6164_net.pdf

Trafi. Veron rakenne ja määrä. Viitattu 11.10.2014. [www-sivu]. Saatavuus:
http://www.trafi.fi/tieliikenne/verotus/ajoneuvovero/veron_rakenne_ja_maara

Terragas. Ekologisempi biokaasuauto. [www-dokumentti]. Viitattu 13.10.2014. Saatavuus:
<http://www.terragas.fi/index.html>

Torri Pasi. Gasum. Biokaasu – Puhdas liikenteen polttoaine. Julkaistu 11.10.2012 [www-dokumentti]. Viitattu 14.10.2014. Saatavuus:
http://www.biokaasuyhdistys.net/docs/semin2012/Pasi_Torri.PDF

Tulli. Tullin asiakasohje. Energiaverotus. Julkaistu 1/2014. [www-dokumentti].

Viitattu 11.1.2014. Saatavuus:

http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisut_ja_esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf

UPM. UPM Biopolttoaineet. Viitattu 11.10.2014. [www-sivu]. Saatavissa:

<http://www.upm.com/FI/MEDIA/Pressikansiot/Liiketoiminta/Biopolttoaineet/Pages/default.aspx>

UPM. Menovettä metsästä tankkiin – UPM Biovernon matkassa. Päivitetty 7.4.2014. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/MEDIA/upm-blogi/Pages/Menovett%C3%A4-mets%C3%A4st%C3%A4-tankkiin---UPM-BioVernon-matkassa.aspx>

Veronmaksajat. Autovero Suomessa. Päivitetty 27.12.2013. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <https://www.veronmaksajat.fi/Asunto-ja-auto/Autot/Autovero-Suomessa/>

Volkswagen. Teknologiaratkaisut pienempiin päästöihin. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavissa: http://www.volkswagen.fi/vv-auto/vw5.nsf/html/volkswagen_ymparisto_teknologiaratkaisutpienempiinpaastoihin?open

Volkswagen. Passat. Tekniset tiedot. [www-sivu]. Viitattu: 11.10.2014. Saatavissa: http://volkswagen.fi/vv-auto/vw_cars.nsf/%28vw5_t%29?open&m=362

Volvo. A high-performin, competitive vehicle – and a sustainable solution. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.volvotrucks.com/trucks/global/en-gb/trucks/new-trucks/Pages/volvo-fm-methanediesel.aspx>

Volvo, Volvo FM MetaaniDiesel –esite. s. 2-3 ja 9-10. Viitattu 11.10.2014

Volvo, MethaneDiesel –esite. s. 9. Viitattu 11.10.2014

Volkswagen Center. Suomen suosituin henkilö- ja hyötyauto 2013. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.volkswagencenter.fi/volkswagen-suomen-suosituin-henkilo-ja-hyotyauto-2013>

Volkswagen. Golf Hinnat ja lisävarusteet. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://volkswagen.fi/vv-auto/vw_cars.nsf/%28vw5_h%29?open&m=5G1

VTT. Suomen tieliikenteen päästöt vuonna 2012. Päivitetty 21.5.2013. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://lipasto.vtt.fi/liisa/perustul.htm>

Work Truck magazine. CNG tank tech: NW Natural to Test 'Adsorbed' Storage Systems. Julkaistu 5/2014. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.worktruckonline.com/channel/utility/article/story/2014/05/cng-tank-tech-nw-natural-to-test-adsorbed-storage-systems.aspx>

Yle. Aurinkotaloudesta haetaan uutta teknologia-avausta. Julkaistu: 7.1.2014. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: http://yle.fi/uutiset/aurinkotaloudesta_haetaan_uutta_teknologia-avausta/7015466

Öljyalan keskusliitto, Biopolttoaineet liikenteessä, [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014, Saatavuus: <http://www.oil.fi/fi/ymparisto-biopolttoaineet/biopolttoaineet-liikenteessa>

Öljyalan keskusliitto. Liikennepolttoaineiden verotus. [www-sivu]. Viitattu 11.10.2014. Saatavuus: <http://www.oil.fi/fi/liikennepolttoaineet/liikennepolttoaineiden-verotus>

LIITE 1. AUDI A3:N VERO- JA POLTTOAINEKUSTANNUKSET ERI POLTTOAINEILLA

Malli	Moottori	Veroton hinta	Autovero	Kokonaishinta
A3 Sportback g-tron	1.4 TFSI CNG 81kW	24 720 €	4 142,35 €	28 862,35 €
A3 Sportback	1.4 TFSI 92kW	22 340 €	5 053,28 €	27 393,28 €
A3 Sportback	1.6 TDI 81kw	23 190 €	4 249,87 €	27 439,87 €

Malli	Moottori	Käyttövoimaverot	Perusvero	Yhteensä
A3 Sportback g-tron	1.4 TFSI CNG 81kW	203,67 €	79,57 €	283,24 €
A3 Sportback	1.4 TFSI 92kW	0 €	98,92 €	98,92 €
A3 Sportback	1.6 TDI 81kw	381,43 €	84,32 €	465,74 €

Malli	Moottori	Polttoaineen hinta	Kulutus	[€/100km]
A3 Sportback g-tron	1.4 TFSI CNG 81kW	1,405/1,505 €/kg	3,3 kg/100km	4,64/4,97
A3 Sportback	1.4 TFSI 92kW	1,619 €/l	5,1 l/100km	8,26
A3 Sportback	1.6 TDI 81kw	1,484 €/l	3,8 l/100km	5,63

Lähteet: Audi,Sportback. Trafi. Veronmaksajat