

# SUOMESSA KÄYTÖSSÄ OLEVIEN KAASUKÄYTTÖISTEN LINJA-AUTOJEN KULUTUS, PÄÄSTÖT JA LUOTETTAVUUS

Riikka Tähti

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2014

Logistiikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Tähti, Riikka	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 01.04.2014
	Sivumäärä 53	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi SUOMESSA KÄYTÖSSÄ OLEVIEN KAASUKÄYTTÖISTEN LINJA-AUTOJEN KULUTUKSET, PÄÄSTÖT JA LUOTETTAVUUS		
Koulutusohjelma Logistiikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Viitala, Jaakko		
Toimeksiantaja(t) JAMK Logistiikka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö on osa JAMK Logistiikan vetämää monista tutkimuksista koostuvaa hanketta, jossa tutkitaan ei-fossiilisten polttoaineiden käyttöä liikennepolttoaineena. Hankkeen taustalla vaikuttaa EU:n yhä tiukentuva päästörajoitusohjelma ja sen tuoma paine etsiä korvaavia polttoaineita dieselille. Opinnäytteen tutkimuksen kohteena olivat kaasukäyttöiset linja-autot ja niiden kulutus, päästöt ja luotettavuus. Tavoitteena oli tutkia kaasun käyttöä liikennepolttoaineena sekä dieselöljyn rinnalla että sen korvaajana.</p> <p>Teoreettinen osa tarkastelee dieselöljyn ja metaanista valmistettujen kaasujen ominaisuuksia ja päästöjä sekä näillä polttoaineilla toimivien linja-autojen moottorien tehokkuutta, luotettavuutta ja kulutusta. Teoriapohjassa esiteltiin myös tapoja kaasun lisäämiseksi liikenteen polttoaineena ja hyötyjä biokaasun käytön lisäämisestä niin liikenteessä kuin lämmön ja sähkön tuotannossa. Tutkimusaineisto koostui linja-autoliikennöitsijä Helsingin Bussiliikenne Oy:n 16 vuoden käyttökokeuksista kaasukäyttöisistä linja-autoista ja VTT:n tutkimuksista kaasukäyttöisistä linja-autoista Suomessa.</p> <p>Tutkimuksen tuloksissa tuli selväksi, että kaasukäyttöiset linja-autot eivät täysin korvaa dieselkäyttöisiä tehokkuuden ja kulutuksen osalta Suomen olosuhteissa. Tämän lisäksi Helsingin seudun liikenne-kuntayhtymä on päättänyt lopettaa kaasun suosimisen polttoaineena, joka johtaa väistämättä siihen, että kaasukäyttöiset ajoneuvot häviävät liikenteestä. Kaasun lisääminen liikennepolttoaineena onkin palvelun tilaajan päätös, sillä liikennöitsijät tarjoavat palvelujaan omien kykyjen ja kaluston mukaan. Dieselin korvaaminen liikenteen pääasiallisena polttoaineena on haaste, joka voitetaan vain investoimalla voimakkaasti useampiin vaihtoehtoihin polttoaineisiin.</p>		
Avainsanat (asiasanat) maakaasu, biokaasu, nesteytetty kaasu, CNG, CBG, LNG, metaani, diesel, vaihtoehtoinen polttoaine, kaasukäyttöinen linja-auto, liikenteen päästöt, linja-autojen päästöt		
Muut tiedot		



Author(s) Tähti, Riikka	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 01.04.2014
	Pages 53	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title EMISSIONS, FUEL CONSUMPTION AND RELIABILITY OF THE GAS BUSES IN FINLAND		
Degree Programme Logistics Engineering		
Tutor(s) Viitala, Jaakko		
Assigned by JAMK Logistiikka		
Abstract <p>The thesis is part of a project that is led by JAMK Logistics. The project studies the use of alternative fuels in traffic. The topic has become timely because EU has set its new limits for emissions and targets for the use of biofuels. These limits put pressure on finding a new fuel resource, for example the biogas. The thesis studied the fuel consumption, emissions and reliability of the gas buses in Finland. The target was to compare gas and oil as the fuels used.</p> <p>The theoretical part of the thesis presents the properties and emissions of diesel oil and gas. It compares the efficiency, reliability and fuel consumption of the engines using different fuels. The theoretical part also introduces the benefits that biogas offers for traffic and for the production of heat and electricity. The material of the research was collected from a bus operator, Helsingin Bussiliikenne Oy (Helb) and the Technical Research Center of Finland (VTT). The material that was received from Helb was gathered by visiting the Helb's pit in Helsinki.</p> <p>The results of the thesis gave the impression that gas does not replace diesel as well as it should. The efficiency is not the same and the fuel consumption is higher. The company that buys the bus services, HSL, has given up using the gas buses: it no longer provides benefits when using gas as fuel. To replace diesel as the main fuel in traffic is not an easy task: it can be carried out only by investing powerfully in several alternative fuels.</p>		
Keywords Natural gas, biogas, liquid gas, CNG, CBG, LNG, methane, diesel oil, alternative fuels, gas bus, emissions of traffic, emissions of gas bus,		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Metaani liikennepolttoaineena.....	4
1.1	Kaasun käytön edellytykset.....	4
1.2	Kaasun käyttö Suomessa.....	5
2	Liikenne ja ympäristö.....	6
2.1	EU:n päästörajoitusohjelma .....	6
2.2	Ilmansaasteet .....	7
3	Diesel .....	10
3.1	Dieselin ominaisuudet ja tuotanto .....	10
3.2	Hinta ja verotus.....	11
3.3	Päästöt.....	12
4	Metaanikaasut .....	13
4.1	Maakaasun ominaisuudet ja tuotanto.....	14
4.2	Biokaasun ominaisuudet ja tuotanto.....	16
4.3	Nesteytetyn kaasun ominaisuudet ja tuotanto.....	19
4.4	Liikennekaasujen saatavuus .....	19
4.5	Liikennekaasujen hinta ja verotus .....	21
4.6	Maakaasukäyttöisten linja-autojen päästöt.....	22
4.7	Biokaasun päästöt.....	23
5	Biokaasun käytön yhteiskunnalliset hyödyt .....	24
6	Kaasun lisääminen liikennepolttoaineena.....	26
7	Vaihtoehtoiset liikennepolttoaineet .....	27
7.1	Biodiesel .....	27
7.2	Sähkö.....	27
7.3	Etanoli.....	29
7.4	Vety .....	30
8	Työn toteutus.....	31
9	Opinnäytetyön tulokset.....	31
9.1	Helsingin Bussiliikenne Oy.....	31
9.1.1	Kulutus ja investointi.....	32
9.1.2	Moottori ja alusta .....	35

9.2	Hiilijalanjälki.....	37
9.3	Metaanikaasu verrattuna dieseliin .....	38
10	Jatkotoimenpide-ehdotukset.....	39
	Lähteet.....	42
	Liitteet .....	48
	Liite 1. Raakaöljyn maailmanmarkkinahinnan kehitys vuosina 1999-2013.....	48
	Liite 2. Woodwardin CNG-polttoainejärjestelmä jakelukalustolle.....	49
	Liite 3. Haastattelukysymykset.....	50

## Kuvioluettelo

Kuvio 1.	Tieliikenteen CO <sub>2</sub> -päästöt ajoneuvoluokittain .....	7
Kuvio 2.	Kuorma-auton käyttövoimavero. ....	12
Kuvio 3.	Dieselistä koituvat päästöt vuonna 2007 täydellä kuormituksella. ....	13
Kuvio 4.	Biokaasun kokonaistuotanto ja sen hyödyntäminen vuosina 1994–2012....	16
Kuvio 5.	Kaatopaikkalaitosten toimintakaavio. ....	18
Kuvio 6.	Biokaasutuotannon laitostyytit vuonna 2012. ....	18
Kuvio 7.	Maa- ja biokaasun tankkauspisteet Suomessa .....	20
Kuvio 8.	Kaasun siirtoverkosto Suomessa. ....	21
Kuvio 9.	Kuumuuden aikaansaama maalipinnan eläminen linja-auton kyljessä.....	35
Kuvio 10.	Suolan aikaansaama likakovettuma moottorin tuuletusaukon päällä.....	36

## Taulukkoluetelo

Taulukko 1.	EU:n päästörajoitukset raskaan kaluston dieselmootoreille. ....	6
Taulukko 2.	Linja-autojen päästöt ja kulutus. ....	23
Taulukko 3.	Biokaasun tuotannon kasvihuonepäästöjä vähentävä vaikutus korvattavasta polttoaineesta riippuen.....	24
Taulukko 4.	Päästöjen vähenemä siirryttäessä käyttämään biokaasua liikennepolttoaineena. ....	24

Taulukko 5. Diesel- ja kaasukäyttöisten linja-autojen kulutus moottoriluokittain. ....	32
Taulukko 6. Linja-autojen hankinta- ja ylläpitokustannukset eri polttoaineilla.....	34
Taulukko 7. Päästöluokituksen mukainen pisteytys HSL:n liikennöitsijöille. ....	38
Taulukko 8. Polttoaineiden päästöt ja kulutus palveluautoilla. ....	39

## 1 Metaani liikennepolttoaineena

Opinnäytetyön tutkimuskohteena ovat kaasukäyttöiset linja-autot ja niiden kulutus, päästöt ja luotettavuus. Työ on osa Jyväskylän ammattikorkeakoulun logistiikan koulutusohjelman vetämää tutkimushanketta ei-fossiilisten polttoaineiden käytöstä liikennepolttoaineena. Tutkittavia polttoaineita ovat metaanikaasu (CH<sub>4</sub>), etanoli ja sähkö. Lisäksi tutkimukseen sisällytetään niitä moottoreita, jotka käyttävät dieselöljyn (dieselin) rinnalla jotakin näistä kolmesta.

### 1.1 Kaasun käytön edellytykset

Vaihtoehtoiset liikennepolttoaineet ovat erittäin ajankohtaisia. Euroopan Unionin (EU) säätämät päästörajoitukset tiukentuvat entisestään, eikä Euroopan mailla ole varaa olla yhtä öljyriippuvaisia kuin aiemmin. Liikennepolttoaineiden osuudesta tulisi vuoteen 2020 mennessä olla uusiutuvia biopolttoaineita 10 %. Suomessa sama tavoite on 20 %. Tämä on melko suuri luku ottaen huomioon sen, kuinka keho saatavuus monella vaihtoehtoisella polttoaineella on valtakunnallisesti. 20 % osuuden saavuttaminen vaatiikin Suomen hallitukselta myönnytyksiä ja verohelpotuksia biopolttoaineiden jakeluun ja käyttöön. Tähän mennessä verotusta on kiristetty sitä mukaan kuin käyttö on yleistynyt.

VTT on tutkinut kaasukäyttöisten linja-autojen kulutusta ja päästöjä jo useamman vuoden ajan. Uudet moottoriluokat ovat alentaneet päästöjä, mutta myös kaluston ikä ja kunto sekä moottorin polttoainesyöttöjärjestelmä vaikuttavat päästökertymiin. Luotettavuudesta ja huolloista saa tietoa lähinnä liikennöitsijöiltä, joita Helsingin alueelta löytyy kaksi. Kaasukäyttöisiä kuorma-autoja on Suomessa erittäin vähän ja tähän on syynä paitsi kaasun heikko saatavuus myös kaasun energiasaanto. Yhdellä litralla dieseliä pääsee huomattavasti pidemmälle kuin yhdellä litralla kaasua. Tämän

takia tankki tyhjenee nopeammin. Osalle liikennöitsijöistä siis polttoainekustannukset eivät laske ja kaasun käyttö on vain ekoteko.

## 1.2 Kaasun käyttö Suomessa

Kaasun käyttö liikenteen polttoaineena ei ole Suomessa yleistynyt. Kaasun saatavuus polttoaineena on rajoittunut Etelä-Suomen rannikolle, Tampereelle ja Lahteen. Toisin sanoen kaasukäyttöisellä autolla voi ajaa hyvin rajoitetulla alueella. Maakaasua jaetaan putkistoilla lämmityspolttoaineeksi jo nyt, ja näitä putkia hyödyntämällä voidaan jakaa maakaasua myös liikenteen polttoaineeksi. Biokaasun lisääminen putkiin ei aiheuta mitään ongelmia, sillä molemmat ovat samaa metaania kaasun muodossa. Varsinkin biokaasun tuotantoa pystyttäisiin lisäämään helposti niin, että pienet maatilat ympäri Suomea voisivat alkaa puhdistaa maanviljelyn seurauksena muodostuvaa metaania ja perustaa jakeluaseman tilan maille. Tämä vaatii tietenkin investointeja laitteistoihin, ja tässä kohdassa Suomen valtion tulisi avustaa taloudellisesti. Yksi tämän tutkimuksen pääkohdista on tutkia kaasun käytön edellytyksiä ja verrata tätä nykyisin käytetyn dieselin ominaisuuksiin.

Kaasun, varsinkin maakaasun ja nesteytetyn kaasun, käyttö on erittäin yleistä Keski- ja Etelä-Euroopassa. Myös Ruotsissa kaasua käytetään yleisesti kaupunkibusseissa. Suomessa *Helsingin seudun liikenne-kuntayhtymä, HSL*, lisäsi kaasukäyttöisiä linja-autoja 2000-luvulla, mutta päätyi luopumaan niistä kasvaneiden ylläpitokustannuksien vuoksi. Maakaasun käyttö liikennepolttoaineena ei laskenut myöskään hiilidioksidipäästöjä, sillä fossiilisena polttoaineena sen polttaminen luo hiilidioksidia. Biokaasusta ei hiilidioksidipäästöjä kerry, joten maakaasun korvaaminen biokaasulla toisi kaksi selkeää etua: pienemmät päästöt ja biopolttoaineiden osuuden kasvamisen.



## 2 Liikenne ja ympäristö

### 2.1 EU:n päästörajoitusohjelma

EU on sitoutunut vähentämään liikenteestä koituvia päästöjä tiukoilla ohjelmilla. Diesel- ja bensiinikäyttöisille raskaan kaluston moottoreille on asetettu EURO-luokituksia useamman vuoden ajan ja vuonna 2013 voimaan astui uusin ja tiukin EURO 6 -luokka (Taulukko 1). EU rajoittaa liikenteen hiilidioksidipäästöjä muun muassa lisäämällä biopolttoaineiden osuutta kaikesta käytetystä polttoaineesta. Biopolttoaineita, varsinkin kaasua ja etanolia, käytetään tällä hetkellä yhdessä fossiilisten polttoaineiden kanssa seoksina. Seoksien suhteita muuttamalla biopolttoaineiden käyttöä voidaan nostaa helposti. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009, 22.)

Taulukko 1. EU:n päästörajoitukset raskaan kaluston dieselmootoreille (Heavy-duty truck and bus engines 2012, muokattu).

LUOKKA	Käyttöönotto	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	PN
EURO IV	10/2005	1,50	0,46	3,50	0,02	
EURO V	10/2008	1,50	0,46	2,00	0,02	
EURO VI	01/2013	1,50	0,13	0,40	0,01	8,00 x 10 <sup>11</sup>

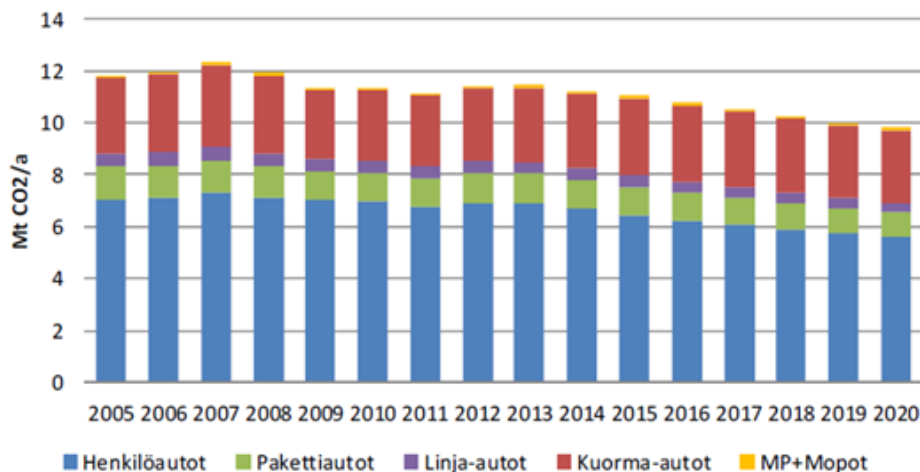
Polttoaineen vaihtaminen fossiilisista ei-fossiilisiin polttoaineisiin tukee EU:ta myös taloudellisesti. Euroopan komission julkaiseman kuljetusalaa koskevan raportin (White Paper 2011, 3) mukaan suurin haaste on saada öljyriippuvaisuus loppumaan tehokkuuden ja liikkuvuuden siitä kärsimättä. Vireillä olevien strategioiden päämäärä on vähentää energian käyttöä ja käyttää puhtaampaa energiaa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että fossiilisia energianlähteitä pyritään poistamaan käytöstä. Raportissa kerrotaan EU:n kuluttaneen vuonna 2010 noin 210 miljardia euroa öljyn tuontiin, eikä summan odoteta laskevan. Öljy on jo alkanut vähenemään ja useita öljylähteitä on ehtynyt. Vaikka kuljetusala on ottanut askelia energiatehokkuuden kasvattamisessa, on se silti riippuvainen öljystä. Ilman ja luonnon saasteet sekä meluhaitta

ovat suuri ongelma varsinkin valtateiden varsilla asuville. Biopolttoaineiden uskotaan auttavan myös näihin. (White Paper 2011, 3.)

## 2.2 Ilmansaasteet

Hiilidioksidin määrää mitataan jatkuvasti YK:n ja EU:n hankkeiden ja päästörajoitusten vuoksi. Tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöt olivat Suomessa vuonna 2011 16,4 %. Tästä luvusta maaliikenteen osuus oli 36,0 % (Ilmanpäästöt toimialoittain 2011). Kuviosta 1 voidaan nähdä, että autoluokista henkilöautot ja pakettiautot tuottavat lähes 70 % kaikesta hiilidioksidista, kun raskaan liikenteen (kuorma- ja linja-autot) osuus oli lähes 30 %.

**Hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>)** syntyy aina poltettaessa fossiilisia, hiiltä sisältäviä polttoaineita, kuten kivihiiltä ja öljyä, mikä onkin suurin yksittäinen ilmaston lämpenemistä lisäävä päästö. EU pyrkii vähentämään hiilidioksidin syntymistä muun muassa suosimalla uusiutuvia ja vaihtoehtoisia polttoaineita ja uusiutuvaa energiaa. (Dieselpolttoaineopas 2007, 7.) Tilastokeskuksen (Ilmanpäästöt toimialoittain 2011) mukaan Suomessa vuonna 2011 liikenteen osuus pelkästään fossiilisista polttoaineista peräisin olevasta hiilidioksidista oli 18,6 %.



Kuvio 1. Tieliikenteen hiilidioksidipäästöt ajoneuvoluokittain (Laurikko & Nylund 2011, 13).

**Hiilimonoksidi (CO)** eli häkä on kaasu, joka syrjäyttää hapen veren hemoglobiinissa. Siksi häkä hajuttomana ja värittömänä kaasuna onkin erittäin hengenvaarallinen. Dieselmootoreiden hiilimonoksidipäästöt ovat pieniä, ja niitä voi vielä vähentää hapetuskatalysaattorin tai hapettavan hiukkassuodattimen avulla. (Dieselpolttoaineopas 2007, 14.) Tilastokeskuksen (Ilmanpäästöt toimialoittain 2011) mukaan liikenteen osuus hiilimonoksidista oli Suomessa vuonna 2011 9,5 %. Erityisesti raskaan kaluston käytössä olevat dieselmootorit tuottavat häkää vain vähän. Lisäksi päästöjä saadaan alennettua entisestään käyttämällä hapetuskatalysaattoria ja hapettavia hiukkassuodattimia. (Heiskanen 2013, 16.)

**Hiilivety (HC)** edistää savusumun ja haitallisen alailmakehän otsonin syntyä. Vaikka päästöt ovat pieniä, voi niitä pienentää samalla tavoin kuin hiilimonoksidiaakin: hapetuskatalysaattorein tai hapettavin hiukkassuodattimin. (Dieselpolttoaineopas 2007, 14.) Terveydelle pahimmat hiilivedyt ovat polyaromaattiset PAH-yhdisteet. Ne ovat karsino- ja mutageenisia. Yhdisteiden sisältämän bentseenin tiedetään aiheuttavan syöpää ja heikentävän keskushermoston toimintaa (Jääskeläinen 2004, 22). Hiilivetyjen osalta raskas kalusto alittaa päästörajoitukset helposti. Hään tavoin hiilivetyjä voidaan alentaa entisestään käyttämällä hapetuskatalysaattoria ja hapettavaa hiukkassuodatinta. (Heiskanen 2013, 17.)

**Typpioksidit (NO, NO<sub>2</sub>, yleisesti NO<sub>x</sub>)** ovat haitallisimpia päästöjä luonnolle muuttuessaan ilmakehässä hapoksi. Ne ovat syyäitä happamiin sateisiin ja edesauttavat ilmassa savusumun ja haitallisen alailmakehän otsonin muodostumista. Varsinkin raskaan kaluston moottorit tuottavat runsaasti typen oksideja. Kehitystyötä tehdäänkin ankarasti näiden vähentämiseksi. Jotta typpioksidit saadaan alas, moottoria joudutaan muuttamaan. Tämä taas nostaa polttoaineen kulutusta ja siten myös hiukkas- ja hiilivetyjä. (Dieselpolttoaineopas 2007, 15.) Typpioksidit voivat aiheuttaa hengitysteiden sairauksia ja keuhkokudosten vaurioita (Jääskeläinen 2004, 22). Tilastokeskuksen (Ilmanpäästöt toimialoittain 2011) mukaan Suomessa vuonna 2011

liikenteen osuus typen oksideista oli 41,1 %. Typen oksideja muodostuu liikenteen osalta eniten suurissa nopeuksissa ja kiihdytyksissä, jolloin palamislämpötila on suurimmillaan. Alentaessa palamislämpötilaa, hiukkasten ja hiilivetyjen osuudet yleensä nousevat. (Heiskanen 2013, 17.)

Raskaan liikenteen käyttämästä dieselistä koituvia typen oksidipäästöjä rajoitetaan kahdella eri tekniikalla: SRC- ja EGR-tekniikalla. SCR (Selective catalytic reduction) -järjestelmässä ureaa (kauppanimeltään AdBlue) ruiskutetaan pakokaasuihin ennen katalysaattoria. Kun urea hajoaa, syntyy ammoniakkaa. Se reagoi typen oksidien kanssa muodostaen typpeä ja vettä. EGR (Exhaust gas recirculation) -tekniikka puolestaan kierrättää pakokaasun takaisin sylintereihin, joissa päästöt poistetaan suodattimien ja hapetuksen avulla. Koska typen oksidit muodostuvat korkeassa lämpötilassa, on tekniikalla pyritty alentamaan palamislämpötilaa. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 11–12.)

**Rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>)** vaurioittaa ja happamoittaa luontoa muuttuessaan hapoksi ilmakehässä. Liikennepäästöissä rikki on pääosin sitoutunut hiukkasiin. Hiukas- ja rikkipäästöjen yhteisvaikutuksen on havaittu heikentävän ilman laatua selvästi. Helpoiten rikkidioksidipäästöjä voi alentaa käyttämällä mahdollisimman rikittömiä polttoaineita ja vähentämällä kulutusta. Rikkipäästöt eivät ole kuitenkaan suuri ongelma liikenteessä, ja eniten rikkipäästöjä syntyy kivihiiltä ja raskasta polttoöljyä poltettaessa. (Dieselpolttoaineopas 2007, 16–17).

**Hiukkaset (PM)** likaavat ympäristöä eniten ja ovat luokiteltu yhdeksi vaarallisimmista ihmisterveyteen vaikuttavista päästöistä. Hiukkaset ovat hiiltä, johon kaikki epäpuhtaudet tarttuvat, ja niiden määrä onkin verrannollinen muiden päästöjen määrään. (Dieselpolttoaineopas 2007, 14.) Hiukkaset lisäävät astmakohtauksia ja heikentävät keuhkojen toimintakykyä. Hiukkaset pystyvät tunkeutumaan nenän ja suun kautta syvälle hengityselimiin ja ovat silloin erityisen vaarallisia. (Jääskeläinen 2004, 22.)

Tilastokeskuksen (Ilmanpäästöt toimialoittain 2011) mukaan Suomessa vuonna 2011 liikenteen osuus pienhiukkasista oli 9,7 %

Diesikäyttöisissä ajoneuvoissa käytetään dieselhiukkassuodattimia (DPF), jotka poistavat jopa 90 % hiukaspäästöistä. Raskaalla kalustolla dieselsuodattimia on käytössä vain vähän, mutta etenkin EGR-tekniikkaa käyttävät moottorit vaativat suodattimen kiristyneiden päästörajoitusten vuoksi. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 12–13.)

### **3 Diesel**

#### **3.1 Dieselin ominaisuudet ja tuotanto**

Dieselin tuotannon ensimmäisessä vaiheessa raakaöljystä poistetaan suola. Tämän jälkeen hiilivedyt erotetaan toisistaan tislamalla. Näin saadaan aikaan seos, jonka hiilivedyt haihtuvat 180–360 °C:n lämpötilassa. Sen sisältö on 86 paino- % hiiltä ja 14 paino- % vetyä. Hyvin raskaat raakaöljyn osat tyhjiötislataan, josta ne siirtyvät krakkausprosesseihin. Krakkaus tarkoittaa hiilivetyjen pilkkomista dieselpolttoaineelle sopiviksi. Erilaatuiset (kesä- ja talvilaatu) dieselit saadaan sekoittamalla eri prosesseista saatuja tuotteita keskenään. Tämän jälkeen tehdään viimeinen prosessin vaihe, rikinpoisto. Poistettu rikki otetaan talteen ja käytetään edelleen muiden teollisuuden alojen toiminnoissa, kuten puunjalostuksessa. Varsinainen viimeistely tapahtuu jalostamoilla tai varastoilla, joissa lisäaineet annostellaan dieseliin. (Dieselpolttoaineopas 2007, 21–22.)

#### **Dieselin luotettavuus**

Diesel ei kestä liian matalaa lämpötilaa. Dieselin alin säilytyspiste (samepiste) on laadusta riippuen jopa -40 °C. Pakkaskestävintä arktista laatua saa normaalitalvina vain Lapissa. Yleisesti Suomessa käytetään dieseliä, joka kestänee -25 °C:een asti. Polttoaineen lämpötilan laskiessa alle samepisteen, alkavat hiilivedyt kiteytyä tukkien suo-

dattimia ja putkia. Vesi- ja jääkiteet sekä polttoaineeseen pääsevä lika heikentävät polttoaineen laatua, ja voi aiheuttaa käynnistymisongelmia moottorille. Viskositeetti nousee lämpötilan laskiessa. Kun polttoaineen viskositeetti on riittävän korkea, se pääsee kovalla paineella polttoainesuodattimeen rikkoen paperipanoksen. Ruiskutuslaitteet vaurioituvat helposti suodattamattoman polttoaineen takia. (Dieselpolttoaineopas 2007, 30–31.) Dieselöljy luokitellaan palavaksi nesteeksi. Sen leimahduspiste on 62–65 °C:ta ja itsesyttymispiste on 220 °C:ta. Diesel on vettä kevyempää, minkä takia sammutus tapahtuu palon syttyessä jauheella, vaahdolla tai hiilidioksidilla. (OVA-ohje: dieselöljy 2011.)

### 3.2 Hinta ja verotus

Dieselin hinta määräytyy raakaöljyn hinnan mukaan. Raakaöljyn maailmanmarkkinahinta vaihtelee lähes päivittäin, mutta tarkasteltaessa pitkällä aikavälillä (1999–2013) hinta on noussut (liite 1). Talouden ylikuumeneminen nosti hintaa hyvin paljon, kunnes vuoden 2009 aikana se romahti alhaisimmalle tasolleen viiteen vuoteen. Vuoden 2013 lopulla hinta oli 111,30 US dollaria barreilta eli tynnyriltä, jonka vetoisuus on noin 159 litraa. (Raakaöljyn hintakehitys n.d.) Maailmanmarkkinahinta on herkkä reagoimaan luonnonkatastrofeihin, öljyvaltioiden politiikkaan ja sisäisiin ongelmiin (vallankaappaukset, sisällissodat), sotiin valtioiden kesken ja maailman tai maanosien talouteen (Crude oil prices react to a variety of geopolitical and economic events 2014). Raakaöljyn hinnan lisäksi loppukäyttäjää maksaa jalostamisesta aiheutuvat kulut, polttoaineveron, huoltovarmuusmaksun ja arvonlisäveron (Öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta 2014).





Suomessa dieselin käyttöä verotetaan käyttövoimaverolla ajoneuvon massan perusteella. Jokainen alkava sata kilogrammaa maksaa tietyn senttimäärän päivässä. Senttimäärä riippuu auton akselien lukumäärästä kuvion 2 mukaisesti. (Veron rakenne ja määrä n.d.) Esimerkkilaskelman mukaan 60 000 kilogrammaa painavan ajoneuvoyhdistelmän (yli viisi akselia) käyttövoimaveron vuodessa on noin 2630 euroa ja 26 000

kilogramman jakeluauton (kolme akselia, ei perävaunua) noin 760 euroa vuodessa. Linja-autoista ei makseta käyttövoimaveroa.

### Kuorma-auton käyttövoimavero

kokonaisuudessaan jokaiselta alkavalta 100 kilolta senttiä/päivä

taulukossa harmaalla veron prosentuaalinen ero voimassa oleviin veron määriin

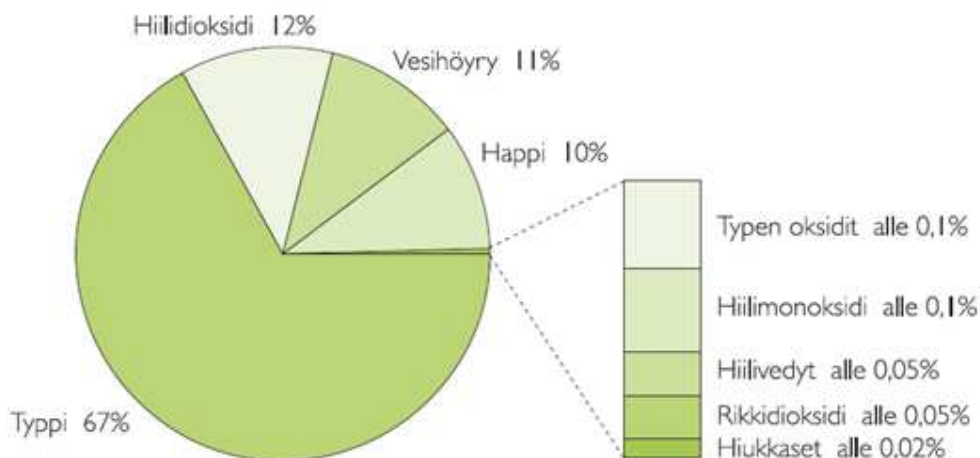
		ei käytetä perävaunun vetoon		käytetään puoliperävaunun vetoon		käytetään varsinaisen tai keskiakseliperävaunun vetoon	
		31.12.2011 asti	1.1.2012 alkaen	31.12.2011 asti	1.1.2012 alkaen	31.12.2011 asti	1.1.2012 alkaen
	<b>2-akselinen kuorma-auto</b>	1,0 snt (12 tn asti) 2,2 snt (yli 12 tn)	0,6 snt (12 tn asti) 1,3 snt (yli 12 tn) -40 %/-41%				
				3,1 snt	2,2 snt -29 %	3,1 snt	2,1 snt -32 %
	<b>3-akselinen kuorma-auto</b>	1,3 snt	0,8 snt -38 %	2,3 snt	1,3 snt -43 %	2,5 snt	1,4 snt -44 %
	<b>4-akselinen kuorma-auto</b>	1,2 snt	0,7 snt -42 %	2,0 snt	1,2 snt -40 %	2,3 snt	1,3 snt -43 %
	<b>5- tai useampi akselinen kuorma-auto</b>	1,1 snt	0,6 snt -45 %	1,8 snt	1,0 snt -44 %	2,0 snt	1,2 snt -40 %

Kuvio 2. Kuorma-auton käyttövoimavero (Veron rakenne ja määrä n.d).

### 3.3 Päästöt

Vaikka diesel palaa melko puhtaasti, pääsee pakokaasun seassa paljon epäpuhtauksia ilmaan. Raskaalla kalustolla päästöjä rajoitetaan koko EU:n alueella. Päästöjä, joita tulee rajata raskaassa liikenteessä, ovat häkä, hiilivedyt ja typen oksidit sekä hiukkas-  
set. Varsinkin hiilidioksidi edistää ilmaston lämpenemistä. Sitä ei kuitenkaan rajoiteta polttoaineiden päästöissä, vaan EU koettaa ohjata jäsenvaltioitaan ja siten EU:n kansalaisia vaihtamaan polttoaineensa uusiutuviin biopolttoaineisiin, joista hiilidioksidia ei kerry. Energiantuotannossa pyritään suosimaan vesi-, aurinko- ja tuulivoimaa. (Dieselpolttoaineopas 2007, 17.) EU pyrkii autonvalmistajien kanssa sopimaan hiilidioksidipäästöjen vähentämisestä myös henkilöliikenteessä. Ratkaisuna tähän autonvalmistajat ovatkin alkaneet tuoda markkinoille yhä enemmän dieselillä toimivia moottorimalleja. Hiilidioksidia muodostuu lähes 20 % enemmän, kun polttoaineena

käytetään dieselin sijaan bensiiniä. Bensiiniä käytettäessä muiden päästöjen (typen oksidit ja hiukkaset) lukemat jäävät selvästi dieselikäyttöisen ajoneuvon päästöistä. (Laurikko 2008, 17–19.) Hiilidioksidia syntyy 2600 grammaa yhtä diesellitran palamista kohden (Heiskanen 2013, 18).



Kuvio 3. Dieselistä koituvat päästöt vuonna 2007 täydellä kuormituksella (Dieselpolttoaineopas 2007, 13).

Kuviosta 3 voi nähdä dieselmoottoreiden palamisesta syntyvän haitallisia, rajoitettavia päästöjä vain noin 0,3 %, joista rajoitetaan uusimmassa EURO 6 -luokassa eritoten hiilivety-, typen oksidi- ja hiukkaspäästöjä. Hiukkaspäästöt koostuvat monista eri osista, kuten rikistä. Dieselistä onkin saatu poistettua rikki lähes kokonaan, mikä on alentanut huomattavasti hiukkaspäästöjen määrää. (Dieselpolttoaineopas 2007, 13.) Matkalla kohti puhtaampaa polttoainetta tuleekin ottaa huomioon myös muut kuin rajoitetut päästöt.

#### 4 Metaanikaasut

Metaani on liikennepolttoaineena käytettyjen kaasujen pääraaka-aine. Suomessa käytettävä maakaasu on Venäjältä hankittua 98 %:sta metaania. Muita maakaasuja ovat esimerkiksi butaani, propaani ja etaani. (Maakaasun koostumus ja ominaisu-



det, 2010.) Metaani on puhdistamattomana kaasuna ilmastoa lämmittävä päästö, toiseksi haitallisin heti hiilidioksidin jälkeen. Metaani on hiilivety, joka ei kuitenkaan ole terveydelle vaarallinen tai reaktiivinen ilmassa. Se hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi noin 12 vuodessa. Metaani muodostuu eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa: kosteikoissa, soilla, vesistöjen pohjakerroksissa, pelloilla, märehittijöiden suolistoissa ja kaatopaikoilla. Metaanin määrä ilmassa on noussut tasaisesti 1980 -luvulta lähtien. (Metaani n.d.) Metaani luokitellaan erittäin helposti syttyväksi ja palavaksi aineeksi, koska se reagoi voimakkaasti useiden hapettimien kanssa muodostaen räjähdysvaaran. Veden kanssa reagoidessaan nesteytetty metaani kiehuu ja höyrystyy nopeasti. Metaanin kiehumispiste on  $-162\text{ °C}$  ja itsesyttymispiste  $595\text{ °C}$ . Päästessään ilmaan kaasuna, metaani korvaa hapen ja on siksi hengenvaarallinen. Palon syttyessä tärkeintä on sulkea kaasuvuoto palon taltuttamiseksi, mutta jos palosta ei ole vaaraa ympäristölle, tulisi kaasun antaa palaa loppuun. Liekit voi sammuttaa hiilidioksidilla, jauheella tai vesisumulla. Metaanisäiliöiden palaessa suurin vaara on säiliöiden räjähtäminen ja sinkoutuminen kauas (jopa 200 metrin päähän). (OVA-ohjeet: metaani, 2012.)

#### 4.1 Maakaasun ominaisuudet ja tuotanto

Maakaasua pidetään fossiilisista polttoaineista puhtaimpana, koska se ei sisällä rikkiä, pienhiukkasia, raskasmetalleja eikä pölyä. Maakaasun palaminen aiheuttaa kuitenkin hiilidioksidipäästöjä, jotka ovat suurempia kuin dieseliä poltettaessa vaikkakin pienempiä kuin bensiiniä poltettaessa. Maakaasun itsesytyminen tapahtuu  $650\text{ °C}$ :n lämpötilassa. Metaanin kiehumispiste on alhainen,  $-161,5\text{ °C}$ . Maakaasu nesteytetäänkin alentamalla sen lämpötila noin  $-162\text{ °C}$ :een. (Maakaasun koostumus ja ominaisuudet 2010.) Maakaasu on seos, joka muodostuu metaanista, etaanista ja propanista. Näiden kolmen lisäksi muutamia raskaampia hiilivetyjä, kuten butaania, esiintyy hyvin pieniä määriä. Maakaasun tuotannosta syntyy myös muun muassa hiilidioksidia ja heliumia. Suomessa maakaasua käytetään liikennepolttoaineena,

lämmitykseen ja sähköntuotantoon sekä kotitalouksissa ruoan valmistukseen. (Klemola 2013, 2-3.)

Maakaasuesiintymät etsitään gravimetrisin, magneettisin ja seismisin menetelmin. Lähteet sijaitsevat kolmessa kerroksessa 1000–1400 metrin syvyydessä. Maakaasun saamiseksi porataan niin kutsuttu tuotantoreikä. Poratun reiän päälle asetetaan venttiilit ja keräilyputket. Maakaasu puhdistetaan epäpuhtauksista ja kaasukondensaateista sekä kuivataan vedestä ennen sen syöttämistä paineistettuihin jakelu- ja siirtoputkistoihin. Tutkimuksien mukaan metaanivuodot siirrossa ovat vähäisiä. (Maakaasun tuonti ja siirto Venäjältä n.d.) Suomessa tuotu maakaasu paineistetaan 200 bar:iin, jolloin se vie vähemmän tilaa kuin paineistamattomana. (Puhtaampaa liikennettä n.d.) Maakaasua saadaan sivutuotteen muodossa myös öljynporauksen yhteydessä. Näin saadun maakaasun hyötykäyttö on lähes 100 % (Klemola 2013, 6).

### **Maakaasun päästöt**

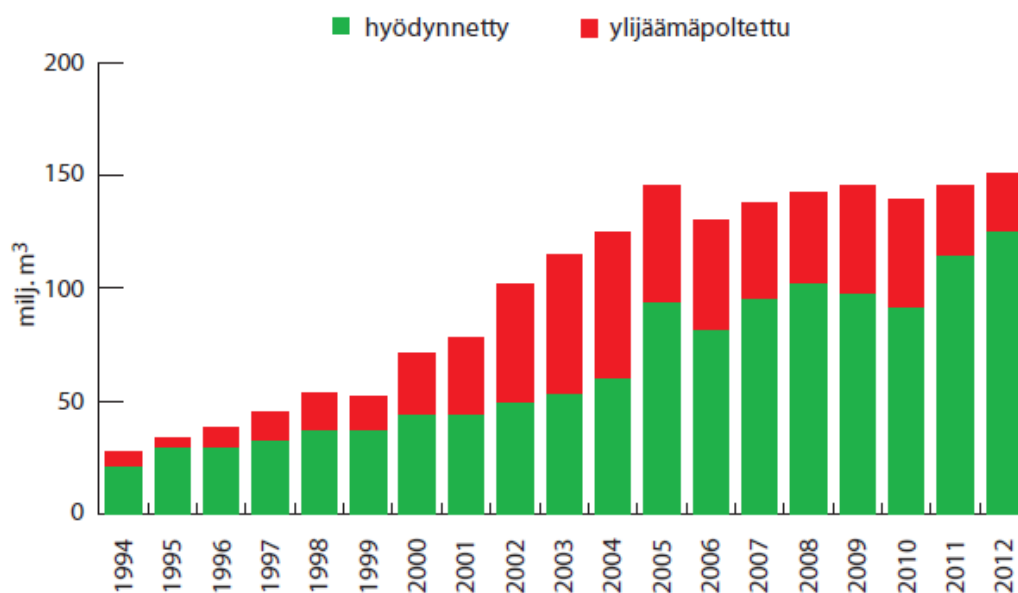
Suomeen tuotu maakaasu ostetaan pääosin Venäjältä. Tämän vuoksi laskettaessa hiilidioksidipäästöjä on hyvä huomioida myös tuotannosta ja siirrosta johtuvat päästöt. Ruonakosken (2011, 14) mukaan 86 % maakaasun hiilidioksidipäästöistä syntyy kaasun loppukäytöstä, kuten esimerkiksi käytöstä liikennepolttoaineena. Jäljelle jäävästä osuudesta lähes kaikki, 13 %, aiheutuu Venäjän puoleisen verkoston siirrosta ja viimeinen osa, 1 %, jakautuu tuotannon ja Suomen puoleisen verkoston siirron kesken.

Maakaasukäyttöisten ajoneuvojen ylivoimaisesti paras ominaisuus ympäristön kannalta on ilmanlaatuun – ja siis myös ihmisiin, eläimiin, kasveihin ja eliöihin – vaikuttavien päästöjen vähäisyys. Suurin hyöty saadaan, kun bensiinikäyttöiset ajoneuvot korvataan maakaasua käyttäviksi. Maakaasukäyttöiset ajoneuvot varustetaan kolmi-toimikatalysaattorilla, joka vähentää pakokaasumääräyksien mukaisesti metaanipäästöjä. Suuritehoisesti käyvä maakaasumoottori tuottaa hiilidioksidia 20 % vähemmän kuin bensiinimalli ja 10 % vähemmän kuin dieselmalli. Pienillä tehoilla

dieselmoottori saastuttaa ilmaa hiilidioksidin osalta saman verran kuin maakaasumoottorikin. Dieselmoottorin hyötysuhde on kuitenkin korkeampi. Hiilidioksidia maakaasun on laskettu tuottavan 56,2 g/MJ. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 24.)

## 4.2 Biokaasun ominaisuudet ja tuotanto

Biokaasu on uusiutuva biopolttoaine ja energialähde. Sitä syntyy, kun mikrobit hajottavat hapettomissa oloissa orgaanista ainesta. Suomessa käytettävä biokaasu valmistetaan mädättämällä kotimaisista jätevesilietteistä, energiakasveista (metsähake) ja maatalouden sivutuotteista (lanta). Biokaasun tuotanto on ollut kasvussa vuodesta 1994 asti. Biokaasun kokonaistuotannon sekä hyötykäytetyn biokaasun osuudet näkyvät kuviossa 4. (Biokaasua pääkaupunkiseudun busseihin, n.d.)



Kuvio 4. Biokaasun kokonaistuotanto ja sen hyödyntäminen vuosina 1994–2012. (Huttunen & Kuittinen 2012, 18).

Raaka-aineen alkuperän mukaan biokaasut jaetaan kolmeen luokkaan: jäte- ja peltopohjaisiin, puupohjaisiin ja kaatopaikkapohjaisiin biokaasuihin. Biokaasun lämpöarvo on 5,0–5,5 kWh/m<sup>3</sup>n ja tehollinen lämpöarvo noin 10 kWh/m<sup>3</sup>n. Ennen syöttöä maa-

kaasuverkkoon biokaasu jalostetaan vastaamaan maakaasua. Valmistus tapahtuu märkä- tai kuivaprosesseissa reaktorin lämpötilan ollessa 35–38 °C. (Biokaasun tuotanto n.d.)

#### **Jäte- ja peltopohjainen biokaasu**

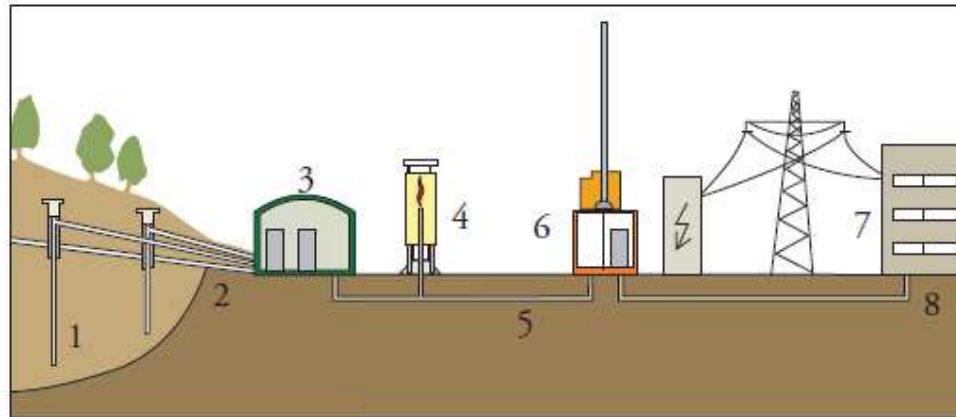
Jäte- ja peltopohjainen biokaasu on puhdistamattomana pääasiassa metaania (40–75 %) ja hiilidioksidia (30–45 %). Lisäksi biokaasu voi sisältää pieniä määriä muita yhdisteitä, kuten ammoniakkia. Maatiloilla tuotettu biokaasu valmistetaan lietelannasta sekä tuore- ja säilörehusta kaasureaktorissa. Lietelanta pumpataan esisäiliöstä varsinaiseen reaktorisäiliöön, jossa lannasta erotetaan metaanikaasu. Reaktorista jäännös siirretään erillisiin varastoihin. Jäännöstä käytetään peltojen lannoitteena. (Huttunen & Kuittinen 2012, 27.)

#### **Puupohjainen biokaasu**

Puupohjaista biokaasua saadaan kaasuttamalla biomassaa. Kiinteä massa muutetaan kaasuksi termokemiallisella prosessilla kaasutuksen ja metanoinnin avulla. Kaasutus tuottaa kaasua, joka koostuu vedystä ja hiilimonoksidista. Epäpuhtauksien puhdistuksen ja metanointikatalyyttia heikentävien aineiden poiston jälkeen kaasun koostumus muokataan ja muutetaan metaaniksi nikkelikatalyytin avulla. Tämän jälkeen kaasusta poistetaan vettä ja hiilidioksidia, jolloin metaanipitoisuus on vähintään 95 %. Kaasuttamalla puuraaka-aineesta saadaan talteen 90 % energiasisällöstä. (Biokaasun tuotanto n.d.)

#### **Kaatopaikkapohjainen biokaasu**

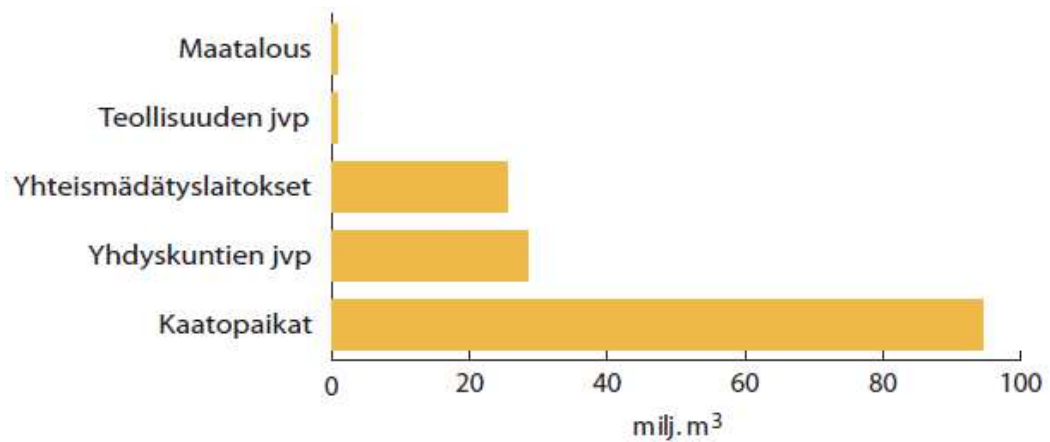
Kaatopaikkakaasu syntyy jätteiden hajotessa sisältäen metaania, hiilidioksidia, vesihöyryjä ja rikkiyhdisteitä. Kaatopaikoilta kaasu kerätään talteen keräysjärjestelmällä (ks. kuvio 5) ja pyritään hyötykäyttämään. Jos hyötykäyttöä ei löydy metaanille, se poltetaan. Kaatopaikkajäte on usein lajittelematonta ja siksi saatava kaasu on koostumukseltaan erittäin vaihtelevaa. Suomessa kaikista kaatopaikkajätteistä voisi saada biokaasua jopa 200 miljoonaa kuutiometriä. (Biokaasun tuotanto n.d.)



(1) Kaasukaivot jätepenkassa (2) Imuputkisto (3) Pionppaamo  
(4) Soihutpoltin (5) Jakeluputki (6) Kaasuturbiini jaltai lämpökattila

Kuvio 5. Kaatopaikkalaitosten toimintakaavio (Huttunen & Kuittinen 2012, 35).

Biokaasua kerättiin Suomessa talteen tai jalostettiin vuoden 2012 lopulla yhteensä lähes 80 eri laitoksella. Puolet näistä oli kaatopaikkoja, joiden energian tuotanto oli 312,2 GWh. Kuviossa 6 on esitetty eri laitostyyppien tuotantojakauma Suomessa vuonna 2012 (Huttunen & Kuittinen 2012, 3, 18).



Kuvio 6. Biokaasutuotannon laitostyytit vuonna 2012 (Huttunen & Kuittinen 2012, 18).

Pääkaupunkiseudun asukkaiden jätevesistä saadaan 20 GWh biokaasua, joka tuotetaan Espoon Suomenojalla. Kymen Bioenergia Oy:n biokaasulaitos käyttää Kouvolan

alueen jätevesilietettä ja biojätettä sekä pelloilta saatua biomassaa ja tuottaa vuodessa 14 GWh kaasua. Yhteensä tämä 34 GWh riittää 95 linja-auton vuositarpeiksi. (Biokaasua pääkaupunkiseudun busseihin n.d.)

### 4.3 Nesteytetyn kaasun ominaisuudet ja tuotanto

Maa- ja biokaasu ovat olomuotonsa vuoksi hyvin vaikeita varastoida ja kuljettaa. Siksi niitä nesteytetään. Nesteytetynä kaasu mahtuu pienempään tilaan ja on huomattavasti houkuttelevampi vaihtoehto raskaan liikenteen tulevaisuuden polttoaineeksi. Nesteytetyn kaasun tilantarve on 1/600. (Maakaasun koostumus ja ominaisuudet 2010.)

Suomessa nesteytettyä maakaasua (LNG) tuotetaan Porvoon Kilpilahdessa. Laitos valmistui 2010 ja sen tuotantokapasiteetti on 20 000 tonnia vuodessa. Laitokselta LNG toimitetaan asiakkaille yhdistelmäajoneuvoilla, tai asiakas voi tulla noutamaan sen omalla kalustollaan. LNG:a varastoidaan -150 °C:ssa. Tuotantolaitosta suunniteltaessa otettiin huomioon myös muita käyttötarkoituksia; LNG:n lisäksi laitokselta voidaan toimittaa myös nestemäistä biokaasua eli LBG:a. (Porvoon tuotantolaitos n.d.)

LNG:n käytön lisääminen on Euroopassa tärkeä tavoite. Sen edistämiseksi Euroopan komissio sekä useat muut yhteisöt ja yritykset ovat tehneet suunnitelman LNG Blue Corridors -asemaverkoston luomisesta valtateiden solmukohtiin Euroopassa. (Kaasun käyttö raskaassa liikenteessä n.d.)

### 4.4 Liikennekaasujen saatavuus

Suomeen maakaasun hankkii Gasum Oy pääasiassa Venäjältä, jonka maaperällä sijaitsee kolmannes kaikesta maailman maakaasusta. Suomen omassa maaperässä ei ole maakaasuesiintymiä. (Maakaasun hankinta n.d.) Maakaasua on arveltu riittävän

vielä sadaksi vuodeksi, jollei käyttö kasva eksponentiaalisesti. Maakaasun tankkaus-  
pisteitä on Etelä-Suomessa kattavasti, mutta muualla Suomessa vain muutamalla  
paikkakunnalla. (Mitä maakaasu ja biokaasu on 2011.) Suomen Gasum Oy:n tank-  
kausasemilla (kuviossa 7, siniset nuolet) on mahdollista tankata sekä maakaasua että  
biokaasua. Biokaasun jakelu liikennepolttoaineena aloitettiin Suomessa vuonna  
2011. (Huttunen & Kuittinen 2013, 14–16.) Liikennebiokaasun jalostamoita vuoden  
2012 lopulla oli viisi niiden kapasiteetin ollessa yhteensä 28 GWh. Julkisia tank-  
kausasemia on 16 ja yksityisiä kaksi kappaletta. Elokuussa 2013 jäljellä oli vain yksi  
julkinen tankkausasema, josta ei saanut maakaasun ohella biokaasua.



Kuvio 7. Maa- ja biokaasun tankkauspisteet Suomessa (Tankkausasemaverkosto Suomessa n.d.).

### **Kaasuverkosto**

Suomen kaasun siirtoverkosto on toistaiseksi rajoittunut kattamaan vain eteläisim-  
mät rannikkoalueet. Venäjältä tuleva kaasuputki yhtyy Suomen verkostoon Imatralla.  
Kuvion 8 mukaisesti Gasum Oy on suunnitellut laajentavansa verkostoaan myös Tur-  
kuun, mikä mahdollistaisi kaasun käyttöönoton julkisessa liikenteessä myös Länsi-  
Suomessa.



Kuvio 8. Kaasun siirtoverkosto Suomessa (Torri 2010, 5.)

Gasum Oy on suunnitellut nesteytetyn kaasun hankintaa Venäjältä, josta maakaasukin tulee (Maakaasun hankinta n.d.). LNG:n saatavuus polttoaineena Suomessa on olematonta, mutta tähän voi tulla muutos hyvinkin pian: LNG tuontiterminaalia on suunniteltu rakennettavaksi Suomeen joko Inkooseen tai Porvooseen. Investointipäätös pyritään tekemään vuonna 2014. Viroon on suunniteltu samanlaista terminaalia, eikä ole varmaa antaako EU investointitukea molempiin hankkeisiin, sillä yhden terminaalin tulisi palvella useita EU-maita. (Tavoitteena suuren mittakaavan LNG-terminaali n.d.) Myös Torniossa on vireillä LNG:n tuontiterminaali. Tämän tuontiterminaalin olisi tarkoitus palvella myös Ruotsia. Terminaalin valmistumisvuoden on suunniteltu olevan 2017. (Tornio LNG-hankkeen kehitysyhtiö perustettu n.d.)

#### 4.5 Liikennekaasujen hinta ja verotus

Toisin kuin dieselin, maakaasun hinta ilmoitetaan euroina kilolta. Vuoden 2013 lopulla yksi kilo maakaasua Gasumin tankkausasemilla maksoi 1,405 € ja litra 0,899 €. Yksi kilo metaanikaasua vastaa energialtaan 1,56 litraa bensiiniä ja 1,39 litraa dieselinä. Maakaasun hinta vaihtelee asemasta ja päivästä riippuen. Sen hinta on sidottu dieselin hintaan; hinta nousee saman verran kuin dieselin hinta. Maakaasun verotus on sama kuin dieselin eli käyttövoimavero riippuu käytettävän auton akselien määrästä. Maakaasun valmisteveronkorotus vuoden 2015 alusta on 0,04 euroa kilolta, mikä



lisätään suoraan polttoaineen hintaan. (Liikennekaasun hinta tankkausasemilla 2013.) Valmistevero nousee 13,724 euroon kilovattitunnilta, ja se on vuonna 2013 alussa voimaan tullutta veroa 2,20 euroa suurempi. (Saastamoinen 2010, 3.)

Biokaasun hinta ilmoitetaan euroina kilolta, kuten maakaasunkin. Vuoden 2013 lopulla yksi kilo biokaasua maksoi 1,505 € ja litra maksoi 0,963 €. Biokaasua saa Gasumin lisäksi myös muutamilta yksityisiltä toimijoilta. Esimerkiksi Forssassa toimivan *Envor Biotechnin* biokaasun hinta on sidottu Gasumin biokaasun hintaan. (Biokaasun jakeluasema liikennekäyttöön 2013). Biokaasun verotus on sama kuin dieselin, mutta biokaasu on valmisteverotonta. (Liikennekaasun hinta tankkausasemilla n.d.)

Nesteytetyn kaasun hinta ilmoitetaan sen sijaan euroina litralta. Nesteytettyä kaasua ei ole saatavilla tieliikennepolttoaineena Suomessa, mutta sitä käytetään melko paljon meriliikenteessä. (Nesteytetty maakaasu LNG n.d.) Nesteytetyn kaasun valmisteveronkorotus on sama kuin maakaasulla (Saastamoinen 2010, 3).

#### 4.6 Maakaasukäyttöisten linja-autojen päästöt

Maakaasun käytön etu on se, että sen sisältämä energia pystytään käyttämään hyödyksi lähes täydellisesti (Mitä maakaasu ja biokaasu on 2011). Helsingin lähiliikenteen maakaasukäyttöisiä linja-autoja on tutkittu melko paljon. Taulukossa 2 on keskiarvoiset määrät erimerkkisten ja -tyyppisten (akselien lukumäärä) linja-autojen päästöistä ja kulutuksesta. Taulukon hiilidioksidiekvivalentin arvo kuvaa sitä, kuinka paljon kasvihuonekaasut yhteensä lämmittävät ilmastoa ja näin ollen vaikuttavat siihen sadan vuoden tarkastelujaksolla (Heljo, Nippala & Nuutila 2005).

Taulukko 2. Linja-autojen päästöt ja kulutus (Laine, Erkkilä & Laurikko 2012, 10, muokattu).

HELSINGIN LÄHILIIKENTEEN LINJA-AUTOT										
Merkki	Taso	Tyyppi	CO <sub>2</sub> EQV	CO <sub>2</sub>	FC (kg/100km)	CO (g/km)	HC (g/km)	No <sub>x</sub>	PM	Kulutus (MJ/km)
MB	EEV	2 axle	1641	1586	58,4	0,14	2,53	4,89	0,016	28,7
MAN	EEV	2 axle	1168	1156	43	2,61	0,53	2,40	0,004	21,1
Iveco	EEV	2 axle	1070	1044	38,3	2,62	1,17	2,16	0,008	18,8
MAN	EEV	3 axle	1433	1406	52,3	4,36	1,25	5,65	0,013	25,7

#### 4.7 Biokaasun päästöt

Biokaasu on metaania, joten sillä on teoriassa samat päästöt kuin maakaasullakin. Hiilidioksidipäästöjen katsotaan kuitenkin olevan olemattomat, sillä sen raaka-aineet ovat elinkaarensa alkupäässä sitoneet lähes saman määrän hiilidioksidia. Tämän lisäksi biokaasun käyttö ehkäisee kaatopaikkojen ja jätevedenpuhdistamoiden prosesseissa syntyneen metaanin pääsyn ilmakehään (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 32.) Mädätyksen aikana aromaattiset yhdisteet voivat vähentyä 80 % rasvahappopitoisuuden pienentyessä. Hajujen vähentyminen mahdollistaa myös lannan käytön peltojen lannoitteena. Tämä taas vähentää kemiallisten lannoitteiden käyttöä ja niiden valumista vesistöihin. Lannan käsittely vähentää myös metaanipäästöjä, joita lietelannan varastointi synnyttää. (Tuomisto 2005, 28.)

Biopolttoaineilla ja niiden tuotannolla saavutetaan suurin ympäristöhyöty, kun niillä korvataan jokin fossiilinen polttoaine, sen tuotanto ja jakelu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto on tehnyt laskelmia siitä, kuinka paljon biokaasun tuottaminen ja hyödyntäminen vähentäisi hiilidioksidipäästöjä Lappeenrannassa. Tutkimuksen taustalla on sekä Suomen että EU:n kuin myös Lappeenrannan kaupungin omat ilmasto-ohjelmat. Tutkimuksen (Kiviluoma-Leskelä 2010, 111) mukaan hiilidioksidipäästöjä voitaisiin alentaa Lappeenrannan alueella taulukon 3 mukaisesti, jos biokaasun tuo-

tantoa lisättäisiin. Suurin hyöty saataisiin silloin, jos jätteistä saatava metaani otettaisiin talteen ja sillä korvattaisiin bensiiniä tai dieselöljyä.

Taulukko 3. Biokaasun tuotannon kasvihuonepäästöjä vähentävä vaikutus korvattavasta polttoaineesta riippuen (Kiviluoma-Leskelä 2010, 111).

Biokaasulaitos	Päästöjen vähentämismahdollisuudet t CO <sub>2</sub> -ekv.		
	Turve	Maakaasu	Bensa tai diesel
Toikansuo	49 - 55	24 - 29	292 - 304
Puhdistamo	72 - 143	29 - 76	352 - 769
Kunnallinen	230 - 363	74 - 193	892 - 1599
Jäte	1045 - 1735	474 - 923	5696 - 9550
Kaikki	2947 - 4152	1484 - 2209	17927 - 24013
Lisäksi 1512 t CO <sub>2</sub> -ekv. vältetty metaanipäästö			

Liikennebiokaasun ympäristöhyödyt perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin ovat erittäin suuret. Vaihdettaessa dieselistä biokaasuun varsinkin kasvihuonepäästöt tulevat alenemaan vähintään 95 %. Taulukossa 4 on kuvattu eri päästöjen vähenemäprosentit kun diesel (D) tai bensiini (B) korvataan biokaasulla (CBG). Erityisesti linja-autoilla kaikki typenoksidit alenevat yli 90 %.

Taulukko 4. Päästöjen vähenemä siirryttäessä käyttämään biokaasua liikennepolttoaineena (Tuomisto 2005, 23, muokattu).

Päästölaji	Bussi	Henkilöauto	
	D → CBG	D → CBG	B → CBG
Kasvihuonekaasut (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O)	96 %	95 %	95 %
PM	94 %	99,90 %	66 %
SO <sub>2</sub>	94 %	99 %	98 %
NO <sub>x</sub>	39 %	88 %	57 %

## 5 Biokaasun käytön yhteiskunnalliset hyödyt

Biokaasun käyttö liikennepolttoaineena vähentää ilmanpäästöjä niin ilmakehässä kuin pienilmastossa, jota hengitetään. Biokaasua on runsaasti tarjolla, sillä maatilat,

kaatopaikat, jätevesien puhdistamot ja muu teollisuus tuottavat bioperäistä metaania oman tuotantonsa sivutuotteena. Maatiloilla biokaasun käyttöönottoon houkuttelee taloudellinen hyöty: energiaomavaraisuus ja biokaasun käyttö polttoaineena. Energian ja sähkön kallistuessa omavaraisuus on houkuttellut vireille biokaasulaitoshankkeita varsinkin eri opetuslaitosten maatiloilla. Uusia biokaasun tuotantolaitoksia on vireillä tai suunnitteilla paljon: maatiloilla 10 ja yhteismädätyslaitoksilla 20. (Huttunen & Kuittinen 2013, 25–33.)

Koska biokaasua voidaan tuottaa niin jätteistä, eläinten lannasta kuin erilaisista kasveista, on mahdollista ottaa kesannolla, luonnonhoidolla ja suojakaistoina toimivat pellot hyötykäyttöön. Pelloilta korjataan nurmi vaarantamatta rehun- ja ruoantuotantoa. Biokaasureaktoriin syötettävä biomassa mädätetään ja loppuainees voidaan palauttaa pelloille lannoitteeksi. Prosesseissa kasvimassan ravinteet eivät katoa, vaan muuttuvat kasveille käyttökelpoisempaan muotoon. (Peltoenergiaan pohjautuvan biokaasun tuotannon tuotantoketjun kestävyys 2013, 3-4.)

Bensiini- ja dieselkäyttöiset autot voidaan muuttaa käyttämään kaasua polttoaineena. Suomessa toimiikin jo monia yrityksiä, jotka ovat erikoistuneet tähän. Osa yrityksistä tekee myös tavanomaisia katsastus- ja korjaamotöitä bensiini- ja dieselkäyttöisille autoille. Kaasujärjestelmätarvikkeiden maahantuojana CNG House Oy (Tuotteet n.d.) myy kaasusäiliöitä, paineensäätimiä, mikserisarjoja, ruiskusarjoja sekä voiteluaineita ja -öljyjä. Asennuksia maahantuojana ei tarjoa. Asennuksia tekee muutama, pääosin Etelä-Suomessa sijaitseva, yritys. Yrityksistä ainakin FinGasAuto Oy tekee muutostöitä myös raskaille ajoneuvoille. (Maakaasulaitteiston asennus autoon n.d.)

Kaasutankkausasemien perustaminen ja niiden ylläpitäminen on suurimmaksi osaksi yritysten kontolla. Jotkut yksityishenkilöt ovat perustaneet tankkausaseman, mutta ne ovat tarkoitettu pääasiassa yksityiskäyttöön. Biokaasun tankkausasemien tulee sijaita tuotantolaitoksen läheisyydessä, ja siis kaasuputkiverkoston ulkopuolella, mikä takaa nykyisten huoltoasemien yhteyteen ei saada kaasun tankkauspaiketta. Kaa-

suverkoston laajentaminen olisi järkevää myös energian jakelun vuoksi, mutta toiseksi verkostoa ei ole suunniteltu laajentaa pohjoisen suuntaan. Sen sijaan länteen verkosto tulee laajentumaan. Nesteytettyä biokaasua voisi kuljettaa ja jakaa normaaliin nestemäisten polttoaineiden tavoin, mutta tällaisten tankkausasemien perustaminen maksaa kymmenkertaisesti kaasumaisen biokaasun tankkausaseman perustamiseen verrattuna.

## **6 Kaasun lisääminen liikennepolttoaineena**

Kaasun saatavuus on varmaa vain Etelä-Suomessa. Kaasupullot vievät paljon tilaa ja ne ovat painavia. Niiden sisältämällä kaasumäärällä kilometrejä taitetaan kulutuksesta riippuen enintään 500. Tehdasvalmisteisissa autoissa säiliöille on suunniteltu oma paikka, jolloin ne eivät vie tilaa esimerkiksi takaluukusta. (Suurimmat haasteet n.d.)

Kaasulla oli aikoinaan Suomessa 20-kertainen käyttövoimavero dieseliin verrattuna. EU vaati kuitenkin veron poistamista ja vuoden 2003 lopulla kaasusta ei enää maksettu käyttövoimaveroa. Kaasuautoilun kiinnostus lähti heti nousemaan ja yksityisiä tankkauspisteitä perustettiin kymmenessä vuodessa lähes 20. (Kymmenen vuotta kaasuautoilua Suomessa 2013.) Suomen valtio asetti kuitenkin jälleen vuoden 2013 alussa kaasulla kulkevat ajoneuvot käyttövoimaveron piiriin ja henkilöautoveroja maksetaan painon mukaan, kuten dieselkäyttöisillä ajoneuvoillakin. (Liikennekaasun hinta tankkausasemilla n.d.) Nähtäväksi jää, loppuuko mielenkiinto kaasuautoiluun valtion päätöksen vuoksi.

## 7 Vaihtoehtoiset liikennepolttoaineet

### 7.1 Biodiesel

Biodieseliksi kutsutaan kaikkia orgaanisesta raaka-aineesta valmistettuja metyylieste-reitä. Niistä käytetään myös nimeä FAME (fatty acid methyl ester). Pääosin biodiesel valmistetaan erilaisista rasvoista ja öljyistä, joita saadaan viljelykasveista. Yleisin täl-lainen kasvi on rypsi. Euroopan maista Ranska ja Saksa ovat biodieselin suurimmat tuottajat ja kehittäjät. Pääasiassa biodieseliä käytetään 5 %:n seoksena fossiilisen dieselin kanssa, kuten etanolia bensiinissä. Tämä seos vähentää hiilidioksidipäästöjä noin 2 % verrattuna siihen, että dieseliä ei korvattaisi biodieselillä lainkaan. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 27–28.)

Suomessa Neste Oil tuottaa ja kehittää omaa NexBTL-biopolttoaine. NexBTL:n tuo-tannossa voidaan käyttää kirjavaa valikoimaa erilaisia rasvoja, myös heikkolaatuisia. Tavanomainen biodiesel vaatii lähes yksinomaan rypsiä. NexBTL:n hiilidioksidiekviva-lenttipäästö on 0,5–1,8 kiloa hiilidioksidia polttoaineen öljyekvivalenttikiloa kohti. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 29.) Biodieselin tuotanto on kaksi kertaa kalliim-paa kuin tavallisen fossiilisen dieselin. Tämän vuoksi valtioiden myöntämät verohel-potukset auttaisivat hyvin paljon tuotteen päätymistä kuluttajamarkkinoille. Suomes-sa biodieselin verotus ei poikkea fossiilisen dieselin verotuksesta. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 28.)

### 7.2 Sähkö

Sähköllä käyvät ajoneuvot ovat ajettaessa päästöttömiä, sillä pakokaasua ei muodos-tu. Tämän vuoksi kaupungeissa ajettaessa sähköautot olisivat paras vaihtoehto il-manlaadun parantamiseen. Sen sijaan sähköntuotannossa joudutaan turvautumaan kasvihuonepäästöjä tuottaviin energianlähteisiin, ja siksi sähkökäyttöisten henkilöau-tojen hiilidioksidipäästöjen on laskettu olevan noin 90 g kilometriltä. Akkujen valmis-

tus tarvitsee energiaa ja niiden hävitys voi saastuttaa maaperää huomattavasti. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 36.)

Suurin osa niin kutsutuista hybridautoista ovat sekä sähköä että bensiiniä tai dieseliä polttoaineenaan käyttäviä ajoneuvoja. Hybridautojen käyttökustannukset ovat alhaiset ja hyötysuhde on bensiini- ja dieselautoja parempi. Sähkömoottori ottaa jarrutusenergiaa talteen ja tasaa polttomoottorin käyntiä. Sähkömoottoreita on kolmenlaisia: mikrohybridi, mietohybridi ja täyshybridi. Mikrohybridin toiminnasta esimerkkinä ovat ”stop-start-moottorit”, jotka sammuttavat itsensä liikennevaloissa ja käynnistyvät kaasua polkaisemalla. Nämä moottorit eivät ole tarkoitettu voimansiirtoon, vaan tasaamaan polttomoottorin toimintaa. Polttoainetta mikrohybridi säästää noin 10 %. Mietohybridi ei niin ikään toimi varsinaisena voimansiirtona, vaan se antaa polttomoottorille tehoja esimerkiksi kiihdytettäessä. Polttoainetta mietohybridi säästää noin 25 %. Täyshybridillä auto voi kulkea joko polttomoottorilla, sähkömoottorilla tai molemmilla samaan aikaan. Ruuhkassa ajettaessa polttomoottori sammuu kokonaan ja sähkömoottori toimii akun varassa. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 15–16.)

Nykytekniikalla yksi puolen tunnin verkkovirtalataus riittää noin sadan kilometrin matkaan henkilöautolla. Toistaiseksi latausmahdollisuuksia on rajallisesti. Latausasemia on valtakunnallisesti 45 ja ne sijoittuvat pääosin Seinäjoki-Lahti akselin eteläpuolelle ja Ouluun. (Sähköautojen julkiset latauspisteet 2014.) Sähkön hinta tulee luultavasti vaihtelevaan niin latausinvestointien kuin sähkön hinnankehityksen mukaan. Raskaan kaluston valmistajilla (Volvo) on tarjolla dieselillä ja sähköllä käyviä malleja. Mallit ovat kevyitä (26 000 kg) jakeluun tai jätekuljetuksiin tarkoitettuja autoja ja linja-autoja. (Volvo Trucks Finland n.d.)

### 7.3 Etanoli

Bioetanoli valmistetaan biodieselin tavoin viljelykasveista. Vehnästä, sokerijuurikkaasta ja sokeriru'oista saatavaa etanolia tuotetaan laajasti niin Amerikassa kuin Euroopassakin. Etanolia on käytetty Suomessa bensiinin seassa vuodesta 2011. Tämän seoksen etanolipitoisuus on enintään 10 %. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 29.) Etanolia polttoaineenaan käyttävien autojen tekniikkana on Flex-fuel (FFV). Flex-Fuel -järjestelmä käyttää etanolin lisäksi bensiiniä. Siksi seoksessa olevan etanolin suhde voi vaihdella 0–85 %:n välillä. Lisäämällä etanolin suhdetta saavutetaan helposti hiilidioksidivähennelmä bensiiniin verrattuna. Tekniikka ei ole kallis henkilöautoihin asennettuna, ja tehdashinta jääkin 500 euroon. Kaasulla käyviin dual-fuel tai bi-fuel -järjestelmiin verrattuna Flex-fuel on siis moninkertaisesti halvempi. Moottorin muutokset rajoittuvat materiaaleihin, mutta niiden tulisi kestää etanolia. Lisäksi järjestelmän tulee tunnistaa etanolipitoisuus, jotta moottorin säädöt saadaan kohdilleen. Flex-fuel -järjestelmän voi asentaa tehdasvalmisteiseen bensiiniautoon jälkiasennuksena. Tässä ongelmana ovat väärät, eli etanolille sopimattomat, materiaalit, päästötasot ja etanolin vaikutus polttoainejärjestelmään. (Laurikko & Nylund toim. 2011, 23.)

Bioetanolia tuotetaan Suomessa ainakin ohrasta. Punkaharjulla sijaitseva Suomen Bioetanoli Oy:n tehdas tuottaa vuosittain 75 000 m<sup>3</sup> etanolia ja sivutuotteena rehua lihakarjalle 90 000 tonnia. Punkaharjusta tuleva etanoli menee kokonaan liikennekäyttöön. (Bioetanolin käyttö n.d.) E85-polttoaineen jakelu on laajentunut lähes koko valtakunnan kattavaksi. Sekä ST1-huoltamoketju että ABC-huoltamoketju ovat avanneet useita tankkausasemia aina Oulun korkeudelle asti. Molemmilla ketjuilla tankkauspaikkojen määrä on noussut yli 40:ään. (ABC asemat n.d., Asemat ja palvelut n.d.) Helsingissä toimivan Helsingin bussiliikenne oy:n linja-autokalustossa on kaksi etanolia käyttävää Scania-linja-autoa. Ne operoivat Helsingin lähiliikenteen linjoilla ja niistä saadut kokemukset ovat hyviä. Linja-autot käyttävät nimenomaan bioetanolia, joka valmistetaan kotimaassa. Kulutukseltaan etanoli vie 1,9 kertaa dieseliä enem-



män. Näin ollen hyöty riippuukin täysin etanolin hinnasta. Pienhiukkaspäästöt ovat noin 80 % pienemmät kuin dieselillä ja toimintavarmuus on Suomen oloissa hyvä. (Hellberg 2014.)

#### 7.4 Vety

Vetyä voidaan käyttää kahdella tekniikalla: polttokennoilla ja vetypolttomootoreissa. Vetypolttomootoreilla on kaikki vedyn hyödyt ja moottoritekniikka on sama kuin bensiinikäyttöisen moottorin. Vetypolttomootorilla käyviä ajoneuvoja on valmistettu jopa Suomessa, vaikka sen uskotaan toimivan lähinnä vain kannustimena polttokennotekniikan käytölle. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 39.)

Polttokennotekniikalla käyvät ajoneuvot tarvitsevat vetyä polttoaineekseen. Polttokennossa vety yhdistyy hapen kanssa tuottaen vettä, lämpöä ja sähköä. Vedyn lisäämiseksi on tehty merkittäviä aiesopimuksia autonvalmistajien kanssa. Siitä povataankin hyvin kilpailukykyistä tekniikkaa nykyisille dieseliä käyttäville tekniikoille jopa raskaassa liikenteessä. Vety valmistetaan pääosin maakaasusta, mutta vetykennojen toiminta poistaa hiilidioksidin lähes kokonaan. Vetykennot käyttävät vedyn kaasun muodossa, minkä takia autoihin täytyy asentaa muunnin, mikäli nestemäisille polttoaineille rakennettua infrastruktuuria halutaan käyttää hyödyksi. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 37–38.)

Autonvalmistajien allekirjoittamassa aiesopimuksessa vetykennolla toimivien henkilöautojen valmistusmäärä on yli 100 000 autoa vuodelle 2015. Polttokennoautojen tekniikkaa on kehitetty jo hyvin pitkään. Tällä hetkellä ne antavatkin tyydyttävän suorituskyvyn ja toimintamatkan käyttäjälleen. Tekniikka ei ole edullinen eikä vedyn jakeluverkosto ole laisinkaan kattava. Jakeluverkoston laajentaminen sen sijaan vaatii erittäin suuria investointeja, joita harvoilla yrityksillä on varaa tehdä. Takaisinmaksu ei tapahdu nopeasti, sillä ennen kuin polttokennoautot yleistyvät, on polttoaineen saannin oltava taattu. (Laurikko & Nylund toim. 2011, 24.)

## 8 Työn toteutus

Työn aineisto kerättiin haastatteluilla ja aiempien tutkimusten tietojen pohjalta. Päästömittaukset saatiin koostetusti VTT:n julkaisuista. Niissä oli myös tietoa huoltojen, kulutuksen ja osin myös luotettavuuden osalta. Varsinaiset käyttökokemukset saatiin kaasua polttoaineena käyttävältä liikennöitsijältä, Helsingin bussiliikenne Oy:ltä (Helb). Haastattelut ja kyselyt olivat luonteeltaan sekä määrällisiä että laadullisia. Yhteydenotot tapahtuivat pääosin sähköpostilla ja puhelimella. Tämän lisäksi kävin tutustumassa Helbin Ruskeasun varikkoon, tankkauspisteisiin, huoltohalliin sekä näin muutama maakaasulla toimiva linja-auto omin silmin. Haastateltavana Helbiltä oli yhtiön huoltoinsinööri Hellberg. Koska aineisto saatiin osin toisista tutkimuksista, aineistoa oli saatavilla rajoitetusti. Käytössä olevia kaasukäyttöisiä linja-autoja löytyy vain pääkaupunkiseudulta.

Tutkimuksessa olivat mukana Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT) ja Helb. Scania Suomi Oy antoi tietoja oman yhtiönsä tilanteesta kaasutekniikan osalta niukasti, muut raskaan kaluston valmistajat Suomessa eivät vastanneet yhteydenottoihin lainkaan. Amsterdamissa vuoden 2013 lopulla pidetyssä kaasun käyttöön liittyvässä seminaarissa ajoneuvovalmistajien puhujat antoivat käyttöönsä omat tietonsa; nämä eivät kuitenkaan ole suoraan verrannollisia Suomeen, sillä mittaukset ja kustannuslaskelmat vaihtelevat maittain.

## 9 Opinnäytetyön tulokset

### 9.1 Helsingin Bussiliikenne Oy

Kaasua käyttävien linja-autojen saapuminen Suomeen ennen 2000-lukua oli otollinen. Dieselkäyttöisten moottoreiden päästöt olivat EURO 2 -luokkaa ja siksi ympäristöhyöty oli ilmeinen. EEV-luokituksen omaavilla kaasukäyttöisillä linja-autoilla myös

haju- ja meluhaitat olivat huomattavasti pienemmät kuin dieselkäyttöisillä linja-autoilla. Dieselmoottorit ovat kuitenkin kehittyneet erittäin paljon reilussa kymmenessä vuodessa ja maakaasulla saatava ympäristöetu on kaventunut olemattomaksi.

Helbin nykyinen 40 auton kaasukalusto koostuu MANin valmistamista linja-autoista. Ensimmäiset käyttöön otetut kaasulla toimivat linja-autot olivat merkiltään Volvoja. Helbin kaikki maakaasulla toimivat linja-autot ovat päästöluokitukseltaan EEV. Päästötasoltaan EEV sijoittuu EURO 5:n ja EURO 6:n välille. Jokaisella linja-autolla on tehdasvalmisteinen kaasumoottori ja niiden käyttöönotot sijoittuvat vuosille 2006–2009. Vierailu Helsingissä Ruskeasuolla antoi hyvän kuvan Helbin tilanteesta kaasukäyttöisten linja-autojen osalta. HSL on panostanut kaasukäyttöisiin linja-autoihin jo vuodesta 1998. Kaasulla toimivien linja-autojen käyttöönoton syy oli päästöjen alentaminen sekä polttoaineenkulutuksen alentaminen ja siitä saatava taloudellinen säästö. (Kytö, Rantanen & Nylund 2012, 21). HSL:n liikennöitsijöistä kaasulla toimivia linja-autoja on kahdella: Tammelundin Liikenne Oy:llä ja Helbillä.

### 9.1.1 Kulutus ja investointi

#### **Polttoaineen kulutus ja tankkaus**

Helbin linja-autot ovat joko kaksi- tai kolmeakselisia. Kolmeakseliset ovat telillä varustettuja. Telillisillä linja-autoilla moottoreiden tehot ovat 228 kilovattia ja kaksiakselisilla 180 kilovattia. Kaasusäiliöiden lukumäärä vaihtelee autoittain, mutta jokaisella autolla säiliötilavuus on yhteensä 200 kilogrammaa. Tämän on laskettu riittävän yhden päivän tarpeisiin. Taulukossa 5 on VTT:n mittauksissa saatuja polttoaineen kulutusmääriä eri moottorien päästöluokissa. Polttoainekulutus sadalla kilometrillä vaihtelee 42 ja 52 kilogramman välillä teliautojen kuluttaessa kaksiakselisia enemmän. Taulukosta voi nähdä, että moottoriluokkien kehittyessä polttoaineenkulutus on saatu pysymään lähes samana dieselkäyttöisillä linja-autoilla, mutta kaasukäyttöisten linja-autojen tekniikka ei ole samaan kyennyt. Kulutuksia mitattaessa tulee pitää mielessä se, että kaasua kuluu vähemmän dieseliin verrattuna suurikierroksisil-

la nopeuksilla, mutta varsinkin kaupunkiajossa kulutus on dieseliin verrattuna suurempaa.

Taulukko 5. Diesel- ja kaasukäyttöisten linja-autojen kulutus moottoriluokittain (Erkilä ym. 2012, 39, muokattu).

Kaksiakseliset linja-autot			Kolmeakseliset linja-autot		
Moottori	Diesel	CNG	Moottori	Diesel	CNG
Euro I	38,6		Euro V	44,8	
Euro II	40,7	42,1	EEV	47,6	52,4
Euro III	38,4	43,7			
Euro IV	38,2				
EEV	36,6	46,3			

CNG-linja-auton tankkauksen kesto vie hieman kauemmin kuin dieselikäyttöisen linja-auton tankkaus. Tankkauksen varsinainen ongelma on se, että se täytyy suorittaa ulkotiloissa räjähdysvaaran takia. Dieselikäyttöiset autot siivotaan samaan aikaan kun ne tankataan, minkä jälkeen ne ajetaan hallin toiseen päähän pesuun. Kaasukäyttöiset autot sen sijaan täytyy siivota erikseen tankkauksen jälkeen, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia ajankäytön suhteen.

Maakaasun käytöstä saatava hienoinen euromääräinen polttoainesäästö ei auta huoltokustannusten ja erillisten ylläpitokustannusten noustessa suuriksi. Kaasusäiliöt tarkastetaan säännöllisin väliajoin. Tätä varten täytyy investoida telineisiin, jotta katolla sijaitsevien säiliöiden tarkastus on mahdollista. Linja-autojen korjaamoon ei saa ajaa täysien säiliöiden kanssa, vaan ne on tyhjäkäytettävä puolilleen, jotta korjaamo ottaa ne vastaan. Mikäli kaasun tankkausaseman haluaisi sisätiloihin (kuten dieselin tankkaus tapahtuu), olisi hallin investointi erittäin suuri. Seinät tulisi voida kaataa osittain ketjujen varaan ilmanvaihdon takaamiseksi kaasuvuodon sattuessa.

### **Kaasu- ja dieselikäyttöisten linja-autojen ylläpitokustannukset**

VTT:n tutkimuksen (Kytö, Rantanen & Nylund 2012, 24) mukaan dieselikäyttöisen linja-auton etuina suhteessa kaasukäyttöiseen linja-autoon ovat hankintahinta, jään-

nösarvo ja huoltokustannukset. Taulukossa 6 on eriteltyä dieseliä ja (maa)kaasua käyttävän linja-auton kustannukset. Laskelmat on tehty vuoden 2012 kustannuksilla, jotka ovat ainakin polttoaineen ja huoltokustannusten osalta ehtineet nousta hie- man. Kaasukäyttöisten linja-autojen käyttö suhteessa dieseliä käyttäviin linja-autoihin on kalliimpaa, sillä huoltokustannukset ovat 1,5-kertaiset kilometriä kohden ja han- kintahinta on noin 18 % suurempi. Mikäli huoltokustannukset ja polttoaineenkulutus laskisivat, kaasukäyttöinen linja-auto olisi dieseliä käyttäviä linja-autoa kannattavampi. Kaasun hinnan lasku 0,10 eurolla kilolta kääntäisi kannattavuuden pääläelle eli 0,20 euron ero polttoaineen yksikköhinnassa kaasun hyväksi puoltaisi kaasun käyt- töä. (Kytö, Rantanen & Nylund 2012, 24.) Alkuvuonna 2014 Helbin huoltokustannuk- set olivat kaasukäyttöisillä linja-autoilla 35 senttiä kilometriltä ja dieseliä käyttäviä 30 senttiä kilometriltä. Huoltokustannusten ero kilometriltä on tasoittunut huomatta- vasti ja kaasukäyttöisen linja-auton huoltokustannukset ovatkin enää 17 % kalliim- mat. Huoltokustannuksiin vaikuttaa suuresti auton ikä, ajatut kilometrit ja linja, jolla ajoneuvo operoi. Helsingin keskustassa ajettaessa keskinopeus on erittäin pieni ja ajokilometrejä kertyy vähän. Tällöin huoltokustannus kilometriä kohden nousee. Huoltokustannusten osuus koko Helbin liikevaihdosta on noin 10 %. (Hellberg 2014.)

Taulukko 6. Linja-autojen hankinta- ja ylläpitokustannukset eri polttoaineilla (Kytö, Rantanen & Nylund 2012, 24, muokattu).

	Diesel	CNG
Hankintahinta (0 % alv)	225 000,00 €	265 000,00 €
Km/a	85 000 km/a	85 000 km/a
Polttoaine (0 % alv)	1,10 €/L	1,00 €/kg
Korko %	4 %	4 %
Pitoaika, a	10 a	10 a
Jäännösarvo, %	10 %	8 %
Polttoainekulutus L/100 km	45,00 L/100 km	42,00 kg/100 km
Polttoainekulutus L/km	0,45 L/km	0,42 kg/km
Huoltokustannus, km	0,10 €/km	0,15 €/km
Huoltokustannus, a	76 441,00 €/a	79 356,00 €/a

## 9.1.2 Moottori ja alusta

### Moottorien toiminta

Moottorit käyvät erittäin kuumina ajon aikana. Tämä aiheuttaa 50 % enemmän huoltokustannuksia dieselkäyttöisiin autoihin verrattuna. Kuumuus sulattaa helposti muovi- ja kumiosia sekä kipristää jopa maalipintaa (ks. kuvio 9).



Kuvio 9. Kuumuuden aikaansaama maalipinnan eläminen linja-auton kyljessä (Tähti 2014).

Talvisin moottorien kuumeneminen on lähes yhtä suuri ongelma kuin kesäisinkin. Tästä kertoo se, että varikkovierailun aikana 40 kaasuautoa kaksi oli korjaamossa moottorivikojen takia. Talvisin ongelmia aiheuttaa myös teiden suolan tarttuminen moottorin tuuletusaukkoihin (ks. kuvio 10). Kuuma ilma kovettaa suolakerroksen, jolloin ne eivät irtoa kuin normaalia tarkemmalla pesulla.



Kuvio 10. Suolan aikaansaama likakovettuma moottorin tuuletusaukon päällä (Tähti 2014).

Paineventtiilien jäätyminen pakkasella on varsinkin MANin Lion City-autojen ongelma. Kaasu purkautuu säiliöistä 200 bar:in paineella paineenttiiliin, joka alentaa paineen 8 bar:iin. Tämän paineenttiilin jäätyminen on saatu kuriin esimerkiksi polttoainekäyttöisen lisälämmittimen avulla. Aiemmissa Volvon autoissa paineenttiileitä oli kaksi, joista ensimmäinen puolitti säiliöistä tulevan paineen ja toinen alensi sen moottorille sopivaan paineeseen. Kaasuautojen vanhentuuessa huoltojen määrä kasvaa entisestään ja elinikä jää dieselautoista muutaman vuoden.

### **Alustan rakenne**

Rakenteeltaan kaasukäyttöiset linja-autot ovat matkustajille miellyttäviä. Lattia on tasainen keulasta aina perään asti, eikä linja-autosta poistuessa tarvitse astua yhdellekään portaalle. Tämä ominaisuus vähentää moottorille jäävää tilaa, mikä voi aiheuttaa kuumenemistä. Kuljettajat ovat huomanneet kaasuautojen olevan hieman ”laiskoja lähtemään”. Tähän voi olla syynä kaasun heikko syttyminen tai se, että paineen säädöt eivät ole olleet kohdillaan. Hidas liikkeellelähtö ei sinänsä tuota ongel-

maa verrattain hitaassa (20 km/h) kaupunkiajossa, mutta kuljettajan tuleekin omak-sua hieman tavanomaista erilaisempi ajotyyli.

## 9.2 Hiilijalanjälki

Eri autojen hiilijalanjäljen voi laskea useammalla eri menetelmällä. Laskettaessa hiili-dioksidipäästöjä polttoaineille, täytyy valita käyttövoimapohjainen (energy-based) lähestymistapa. Polttoainekulutus sadalla kilometrillä, kuljettu matka muutettuna sadasosiin ja muuntokerroin kerrotaan keskenään. Muuntokerroin on jokaiselle polttoaineelle eri. Dieselöljyn muuntokerroin on 2,9 kg CO<sub>2</sub>/ litra ja CNG:n 3,3 kg CO<sub>2</sub>/ kg. Ajettaessa 200 kilometriä ja kulutuksen ollessa dieselillä 45 l/100 km ja CNG:lla 40 kg/100 km dieselin hiilidioksidipäästöt jäävät hieman alle maakaasusta. Yhden ajatun kilometrin hiilidioksidipäästöt ovat samoilla kulutuksilla dieselillä 1,305 kg ja CNG:lla 1,32 kg. Kulutukset vaihtelevat suuresti sen mukaan, millaista ajo on. Pidemmät ajo-matkat pysähdysten välillä, maantieajon ja kaupunkiajon suhde sekä ajoneuvon rakenne ja alusta muuttavat kulutusta. (Guidelines for measuring and managing CO<sub>2</sub> emission from freight transport operations 2011, 4–5.)

### **HSL:n pisteytysmalli**

HSL pisteyttää linja-autojen ominaisuudet voittavan tarjouksen ollessa se, joka saa eniten pisteitä. Tällä tavoin tarjousten vertaileminen on helpompaa kuin ilman pisteytystä. Jokaiselta liikennöivältä linja-autolta vaaditaan useita ominaisuuksia, jotta ne hyväksytään liikennöimään HSL:n linjoille. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi istuinten ja ovien lukumäärä sekä niiden mitat ja linja-autojen ja niiden käytävien sisäpituus ja -leveys. Melun suhteen alle 75 desibelin meluarvosta saa huomattavan edun. Pienempiä pisteitä (alle 1) saa lisävarusteista, kuten liikennekamerasta ja automaattisesta sammuksjärjestelmästä. Päästöjen suhteen HSL on tehnyt pisteytysmallin (taulukko 7), jonka mukaan dieselkäyttöinen EURO 6 -päästöluokan linja-auto on paras valinta päästöjen suhteen. Hellbergin (2014) mukaan ei ole järkevää hankkia uusia EEV-päästötason CNG-autoja, sillä niistä saatavat pisteet ovat lähtökohtaisesti



heikommat kuin EURO 6 -luokituksen dieselautoista saatavat pisteet. Sähköllä käyvät linja-autot tekevät tuloaan, mutta eivät ole vielä käytännöllisiä.

Taulukko 7. Päästöluokituksen mukainen pisteytys HSL:n liikennöitsijöille (Hellberg 2014).

HSL-päästöluokka	Euroluokka	Pisteraja
1	Euro 2	0
2	Euro 3	2
3	Euro 4	2,8
4	Euro 3 CNG	3,2
5	Euro 5	3,5
6	EEV Di	4,2
7	EEV energiatehokas*	5,5
8	EEV CNG	6,1
9	Euro 6	6,5
10	Sähköbussi**	7,5

### 9.3 Metaanikaasu verrattuna dieseliin

Vertailtaessa maakaasua ja dieseliä, voidaan sääntönä pitää sitä, että yksi kuutiometri maakaasua vastaa yhtä litraa dieseliä. Hiilidioksidia yhdessä kuutiometrissä maakaasua on 2,02 kg ja diesellitrassa sitä on 2,64 kg. Biokaasua käytettäessä ajoneuvo päästää saman verran hiilidioksidia kuin maakaasukin, mutta polttoaineeseen hiilidioksidi on sitoutunut jo aiemmin, jolloin sitä ei synny lisää ajettaessa. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 25.) VTT on tutkinut kaasukäyttöisten palveluliikenneajoneuvojen eroja dieselkäyttöisiin ajoneuvoihin verrattuna pääosin siksi, että diesel antaa riittävän tehokkuuden eikä jo saavutetuista tehoista haluta luopua. Taulukossa 8 on esitetty näiden kahden polttoaineen päästöjä ja kulutusta eri kuormituksilla. Mittauksissa palvelulinjan ajoneuvot (pienlinja-autot) ovat käyttäneet fossiilista maakaasua. Maakaasulla kulutus on ollut hieman suurempaa niin kiloissa (kg/100 km) kuin lämpöarvollisestikin (MJ/ km). Muut arvot jäävät dieselkäyttöistä ajoneuvoa pienemmiksi. Erityisesti hengitysillemalle kriittisten tyyppien oksidien ja hiukkasten osalta arvot ovat selkeästi matalammat.

Taulukko 8. Polttoaineiden päästöt ja kulutus palveluautoilla (Erkkilä ym. 2012, 47, muokattu).

	kuormitus	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> EQV	CO (g/km)	HC (g/km)	No <sub>x</sub>	PM	Kulutus (kg/100 km)	Kulutus (MJ/km)
Diesel	0 %	351,519	351,519	0,023	0,020	2,056	0,008	11,379	489,298
	50 %	382,278	382,278	0,043	0,017	2,251	0,009	12,450	535,358
	100 %	416,642	416,642	0,510	0,011	2,508	0,011	13,463	578,927
CNG	0 %	317,159	317,652	0,035	0,021	0,025	0,005	12,240	612,016
	50 %	342,236	342,732	0,02	0,022	0,034	0,005	13,429	671,448
	100 %	372,813	372,813	0,027	0,000	0,026	0,004	14,486	724,311

Erkkilä ym. (2012, 43) havaitsi vuosien 2011–2012 mittauksissa, että varsinkin maakaasukäyttöisten tavallisten linja-autojen tyyppien oksidipäästöt vaihtelevat runsaasti. 350 000 kilometrin jälkeen linja-autoon vaihdettiin useita komponentteja, kuten esimerkiksi sytytystulpat. Päästöt laskivat hieman, mutta alkoivat nousta uudelleen 450 000 ajokilometrin jälkeen. Tästä voisikin päätellä, että maakaasulla toimivat linja-autot eivät ole kovin pitkäikäisiä eikä niitä kannata muuntaa maakaasukäyttöisiksi, jos kilometrilukema on jo suurehko.

## 10 Jatkotoimenpide-ehdotukset

Henkilöautoilussa maakaasua käyttävien ajoneuvojen ongelmana ovat yhden tankillisen riittävyys ja säiliöiden viemä tila. Internetin keskustelupalstoilla kaasua käyttävät yksityisautoilijat kiittelevät polttoaineen edullisuutta, neutraalia hajua ja puhdasta palamista. Esimerkiksi öljyyn ei sekoitu likaa, jota normaalin bensiinin ja dieselin käytöstä tulee. Kaasuautoilusta on saatavilla paljon tietoa, niin tutkittua kuin käyttökokemuksen tuomaa, ja ne ovat osin ristiriitaisia varsinkin polttoaineen kulutuksen osalta.

Kaikki suuret Suomessa toimivat kuorma- ja linja-autovalmistajat eivät ole mukana kaasumoottoreiden kehittämiseen. Scanian kuorma-autojen Suomen myyntijohtajan

(Hallikainen 2014) mukaan autovalmistaja panostaa enemmän kuorma-automootoreiden tuotekehityksessä biodieseliin ja metanoliin. Kaasumootoreiden tekniikka ei hänen mukaansa ole vielä riittävän hyvällä tasolla. Silti Scaniaalla on saatavilla kaasulla toimivia EURO 6 -luokituksen moottoreita linja-autoihin ainakin teoriassa, mutta niitä toimitetaan pääosin muualle kuin Suomeen. Tämä herättääkin kysymyksen, kulkevatko automerkit ja (bio)polttoaine käsi kädessä tulevaisuudessa?

Suuret logistiikkayritykset ovat sitoutuneet omissa tavoitteissaan ympäristöystävällisempään logistiikkaan ja kaasuautoilun suosio nousee. Itella on ottanut käyttöön uusiutuvaa biokaasua käyttäviä postia kuljettavia autoja yhteensä 16. Kaasua käyttävien postiautojen osuus pyritään tuplaamaan lähivuosina. Kaasun heikon saatavuuden takia autoja käytetään vain siellä, missä tankkauspisteitä löytyy: pääkaupunki-seudulla, Lahdessa, Tampereella sekä Kotkan ja Lappeenrannan seuduilla. (Moni on jo vaihtanut Gasum biokaasuun n.d.)

EU pyrkii rajoittamaan henkilöautojen hiilidioksidipäästöt 130 grammaan kilometrillä vuoteen 2015 mennessä. Vuoteen 2020 mennessä rajan pitäisi laskea 90 grammaan. (Ekologinen auto n.d.) Tämän jälkeen päästörajoitusten asettaminen ainoana maanosana maailmassa on arveluttavaa. Useimmat autotehtaat, kuin myös muutkin yritykset, karkaavat muualle, ja verotulot sekä työnantajat katoavat Euroopasta. Tällä hetkellä Kiinassa ja Japanissa ilmanlaatu on huono. Päästörajoitukset ovat siis hyväksi, mutta varsinainen ongelma hiukkaspäästöjen suhteen on väkirikkaammissa maanosissa kuin Eurooppa.

Kaasua käyttävän Helbin huoltohenkilöstö ei pidä kaasukäyttöisiä linja-autoja parhaimpina korvaajina dieselkäyttöisille linja-autoille. Syyt johtuvat lähes yksinomaan huoltokustannuksista, joita aiheuttavat monet eri tekijät. Koska kaasua on erittäin vaikeaa varastoitava muualla kuin maanalaisessa kaasuverkostossa, voisi kaasua käyttää enemmän sähkön ja lämmön tuotannossa. Tällöin kaasu syötetään suoraan verkostosta käyttöön.

Käyttövoimavero otettiin käyttöön juuri silloin, kun kaasuautoilu alkoi kiinnostaa kuluttajia. Tällä Suomen valtio vei sen ainoan ”porkkanan” eli edullisuuden, jonka vuoksi olisi mielekästä vaihtaa ekologisempaan polttoaineeseen. Yleisesti biopolttoaineiden verotusta tai valmistusta Suomen valtio ei tue. Biokaasun tuotantoa ei kuitenkaan vielä veroteta valmisteverolla, mutta tuskin se verottomana ikuisesti säilyy – onhan lähes kaikki muutkin biopolttoaineet valmisteveron piirissä. Ilman valtion ahneutta uusiutuvia polttoaineita kaikista polttoaineista voisikin olla 20 % vuoteen 2020 mennessä. Mikäli kuljetusten tilaajat eivät erikseen vaadi ympäristöystävällisemmin kulkevaa kalustoa, eivät kuljetusten tarjoajat sitä kohoavien kustannusten vuoksi sellaiseksi muuta.

## Lähteet

ABC asemat. 2014. ABC -huoltamoketjun dieseliä ja etanolia jakavat asemat Suomessa. ABC-ketjun kotisivut. Viitattu 24.1.2014. [Http://www.abcasemat.fi](http://www.abcasemat.fi), asemat.

Asemat ja palvelut. n.d. St1- huoltamoketjun etanolia jakavat asemat Suomessa. St1-ketjun kotisivut. Viitattu 24.1.2014. [Http://www.st1.fi](http://www.st1.fi), asemat ja palvelut.

Bioetanolin käyttö. n.d. Artikkelin bioetanolin käytöstä SBe Oy:n kotisivuilla. Viitattu 20.2.2014. [Http://www.sbe.fi](http://www.sbe.fi), bioetanolin käyttö.

Biokaasua pääkaupunkiseudun busseihin. n.d. Gasum Oy:n kotisivuilla oleva tietoisuus biokaasun tuotannosta ja käytöstä Suomessa. Viitattu 6.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), kaasutietoutta, biokaasu, tuotantolaitokset.

Biokaasun jakeluasema liikennekäyttöön. 2013. Artikkelin Forssassa sijaitsevan julkisen biokaasuaseman käyttöönotosta. Viitattu: 28.3.2014. [Http://www.envor.fi](http://www.envor.fi), ajankoh- taista.

Biokaasun tuotanto. n.d. Tietoa biokaasun tuotannosta erilaisilla tuotantopaikoilla. Gasum Oy:n kotisivut. Viitattu 12.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), kaasutietoutta, bio- kaasu, biokaasun tuotanto.

Crude oil prices react to a variety of geopolitical and economic events, 2014. Thomson Reutersin ja U.S. Energy Information Administratorin tietojen pohjalta tehty kaavio öljyn hintaan vaikuttaneista tapahtumista. PDF-dokumentti. Viitattu 24.1.2014. [Http://www.oil.fi/sites/default/files/sivut/sisaltosivu/liitetiedostot/crude\\_oil\\_prices\\_eia.pdf](http://www.oil.fi/sites/default/files/sivut/sisaltosivu/liitetiedostot/crude_oil_prices_eia.pdf)

Dieselpolttoaineopas. 2007. Neste Oilin julkaisema opas dieselöljystä ja diesel- moottoreista. PDF-dokumentti.

Eklund, T., Kytö, M. & Nylund, N-L. 1997. Lean-burn-kaasumoottoreiden päästöjen minimointi voimantuotannossa. VTT:n tiedotteita. VTT Energia. Espoo. PDF- dokumentti.

Ekologinen auto. n.d. Internet-artikkeli auton valinnasta ekologisesta näkökulmasta. Trafifin kotisivut. Viitattu 5.2.2014. [Http://www.trafi.fi](http://www.trafi.fi), tieliikenne, ekoautoilu, auton valinta, ekologinen auto.

Engines: ISX12 G. n.d. Moottorivalmistaja CummingsWestportin kotisivut. Moottorieristely nesteytetyllä maakaasulla toimivasta raskaan kuorma-auton moottorista. Viitattu 6.2.2014. <http://www.cumminswestport.com>, models, isx12-g

Erkkilä, K., Laine, P., Naskali, T., Rahkola, P., Karvonen, V., Isomaa, J.-M., Juhala, M., Nojonen, K., Partala, J., Liimatainen, H., Wahlsten, R., Bergman, M., Silvonen, P., Ahtiainen, M., Murtonen, T., Lappi, M., Nylund, N.-O., Laamanen, M. & Kankare, J. 2012. Energiatohokas ja älykäs raskas ajoneuvo. HDENIQ loppuraportti 2012. VTT:n kokoama raportti raskaan ajoneuvon energiatohokkuudesta. VTT:n tutkimusraportti VTT-R-08344-12.

Guidelines for measuring and managing CO2 emission from freight transport operations. 2011. Ceficin ja ECTAn kokoama opas hiilidioksidin mittaukseen kuljetusalalla. PDF-dokumentti.

Hallikainen, S. 2014. Myyntijohtaja, kuorma-autot. Scania Suomi Oy. Sähköpostiviesti 8.1.2014. Vastaanottaja R. Tähti. Tietoja Scania Suomi Oy:n kaasukäyttöisten kuorma-autojen tuonnista.

Heavy-duty truck and bus engines, 2012. EU:n asettamat päästörajat eri moottoriluokille. Viitattu 23.1.2014. <http://www.dieselnets.com>, standards, eu, hd.

Heiskanen, E. 2013. Kuorma-autonkuljettajan ammattipätevyyskirja. 1. painos. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy.

Heljo, J., Nippala, E. & Nuutila, H. 2005. Rakennusten energiankulutus ja CO<sub>2</sub>-ekv päästöt Suomessa. Tampereen teknillinen yliopisto, rakentamistalouden laitos. Ympäristöklusterin tutkimusohjelma. Rakennuskannan ekotohokkaampi energiankäyttö (EKOREM) -projektin loppuraportti 2005:4. PDF-dokumentti. Viitattu 3.2.2014. [http://webhotel2.tut.fi/ee/Materiaali/Ekorem/EKOREM\\_Loppuraportti\\_051214.pdf](http://webhotel2.tut.fi/ee/Materiaali/Ekorem/EKOREM_Loppuraportti_051214.pdf)

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2013. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 16. Publications of the University of Eastern Finland. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences, No 13. Joensuu: Kopijyvä.

Ilmapäästöt toimialoittain 2011. 2013. Tilastokeskuksen julkaisema taulukko päästöistä. Internet-artikkeli. Viitattu 15.1.2014. <http://www.tilastokeskus.fi>, tilastot, ympäristö ja luonnonvarat, ilmanpäästöt toimialoittain.

Jääskeläinen, S. 2004. Liikennesektorin ympäristökäsikirja. Luonnos. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 5/2004. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Kaasun käyttö raskaassa liikenteessä. n.d. Gasum Oy:n kotisivut. Viitattu 12.2.2014. <http://www.gasum.fi>, puhtaampi liikenne, ajoneuvot, raskas liikenne.

Kiviluoma-Leskelä, L. 2010. Biokaasun tuottaminen ja hyödyntäminen Lappeenrannassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, ympäristötekniikka. Diplomityö.

Klemola, K. 2013. Maakaasu. Teknillisen kemian laboratorio, kemiantekniikan osasto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 10.2.2014.

[Http://www3.lut.fi/webhotel/teke/ktp/2011/5.1.2-maakaasu.pdf](http://www3.lut.fi/webhotel/teke/ktp/2011/5.1.2-maakaasu.pdf)

Kymmenen vuotta kaasuautoilua Suomessa. 2013. Internet-artikkeli kaasuautoilusta Suomessa. Viitattu 12.2.2014. [Http://www.biokaasuauto.fi](http://www.biokaasuauto.fi), blogi, kymmenen vuotta kaasuautoilua Suomessa.

Kytö, M., Rantanen, P. & Nylund, N-O. 2012. Gas bus technology and operational experiences in Helsinki area. VTT:n raportti kaasukäyttöisistä linja-autoista ja niiden käyttökokemuksista Helsingin lähiliikenteestä. Osa BalticBiogas Bus –hanketta.

Laine P., Erkkilä K. & Laurikko J. 2012. Kaupunkibussien päästötietokanta 2011, yhteenveto VTT:n menetelmistä ja mittauksista. VTT:n raportti vuoden 2011 kaupunki-linja-autojen päästöistä. Osa HDENIQ Energiatehokas ja älykäs raskas ajoneuvo-hanketta. VTT:n tutkimusraportti VTT-M-02018-12.

Laurikko, J. 2008. Deseleiden ympäristöystävällisyys. Ajoneuvohallintokeskuksen tutkimuksia ja selvityksiä 12/2008. Helsinki: Edita Prima Oy

Laurikko, J. & Nylund, N-O (toim.) 2011. Transeco tutkimusohjelma: Tieliikenteen energiansäästö ja uusiutuva energia. Vuosiraportti 2011. VTT:n tutkimusraportti VTT-R-04419-12.

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2009. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020. Ohjelmia ja strategioita 2/2009, Helsinki: Edita Prima Oy

Liikennekaasun hinta tankkausasemilla. 2013. Gasum Oy:n kotisivut. Viitattu 10.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), puhtaampi liikenne, liikennekaasun hinta.

Maakaasulaitteiston asennus autoon. n.d. Internet-artikkeli kaasulaitteiston asennuksesta henkilöautoon. Kaasulaitteiston toimittajan FinGasAuto Oy:n kotisivut. Viitattu 12.2.2014. [Http://www.fingasauto.com](http://www.fingasauto.com), maakaasulaitteiston asennus.

Maakaasun hankinta. n.d. Internet-artikkeli maakaasun hankinnasta ja kaasun saataavuuden turvaamisesta. Gasum Oy:n kotisivut. Viitattu 5.2.2013.

[Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), kaasutietoutta, maakaasu, maakaasun hankinta.

Maakaasun koostumus ja ominaisuudet. 2010. Suomen kaasuyhdistyksen maakaasukäsikirja.

Maakaasun tuonti ja siirto Venäjältä. n.d. Gasum Oy:n kotisivut. Tietoa maakaasun hankinnasta. Viitattu 10.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), vastuullisuus, ympäristövastuu, tuotantoketju, maakaasun tuotanto ja siirto.

Metaani. n.d. Lämmittävät kasvihuonekaasut. Ilmatieteenlaitoksen tuottama Ilmasto-opas ilmastonmuutoksesta. Viitattu 3.2.2014. [Http://ilmasto-opas.fi](http://ilmasto-opas.fi), ilmastonmuutos ilmiönä, myös metaani lämmittää ilmastoa.

Mitä maakaasu ja biokaasu on. 2011. Internet-artikkeli maakaasun eduista. Kaasulaitteiston toimittajan FinGasAuto Oy:n kotisivut. Viitattu 3.2.2014. [Http://www.fingasauto.com/fi](http://www.fingasauto.com/fi), biokaasun edut, mitä maakaasu ja biokaasu on.

Moni on jo vaihtanut Gasum biokaasuun n.d. Gasum Oy:n kotisivut. Tietoa kaasua käyttävistä yrityksistä ja tahoista Suomessa. Viitattu 12.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), puhtaampi liikenne.

Neste Oil, n.d. Neste Oilin dieseliä jakavat Truck+ -asemat Suomessa Genimap-kartalla. Viitattu 24.1.2014. [Http://www.nesteoil.fi](http://www.nesteoil.fi), neste oil-asemaverkosto, asemahaku.

Nesteytetty maakaasu LNG. n.d. Gasum Oy:n kotisivut. Tietoa nesteytetyn kaasun käytöstä ja ominaisuuksista. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), kaasutietoutta.

Nylund, N-O., Hulkkonen, S. & Pyrrö, S. 2006. Vaihtoehtoiset polttoaineet ja ajoneuvot. Treatise-projektia varten julkaistu opas. Alkuperäisopas Cleaner Fuels and Vehicles, laatinut brittiläinen Energy Saving Trust 2005.

Nylund, N-O. & Laurikko, J. 2012. toim. TransEco strategiahanke Suomi 2020. Tieliikenteen uusiutuva energia ja kasvihuonekaasu-päästöjen vähentäminen vuoteen 2020 mentäessä. VTT:n osatutkimus TransEco –hankkeessa. PDF-dokumentti.

OVA-ohje: dieselöljy. 2011. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet – turvallisuusohjeet. Työterveyslaitoksen ylläpitämä opas. Viitattu 3.2.2014. [Http://www.ttl.fi](http://www.ttl.fi), kemikaalikortit, ova-ohjeet, dieselöljy.

OVA-ohje: metaani. 2012. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet – turvallisuusohjeet. Työterveyslaitoksen ylläpitämä opas. Viitattu 3.2.2014. [Http://www.ttl.fi](http://www.ttl.fi), kemikaalikortit, ova-ohjeet, metaani.

Peltoenergiaan pohjautuvan biokaasun tuotannon tuotantoketjun kestävyys – energiatase ja kasvihuonekaasupäästöt. 2013. Energiakasveihin pohjautuvan biokaasulai-



toskonseptin teknis-taloudelliset edellytykset pohjoisissa olosuhteissa. Osaraportti. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitos. PDF-dokumentti.

Porvoon tuotantolaitos. n.d. Tietoa nesteytetyn kaasun tuotannosta. Gasum Oy:n kotisivut. Viitattu 12.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), kaasutietoutta, nesteytetty maakaasu LNG, tuotantolaitokset.

Puhtaampaa liikennettä. n.d. Gasum Oy:n kotisivut. Tietoa maakaasun ja biokaasun tankkauksesta Gasum Oy:n asemilla. Viitattu 10.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), kaasutietoutta, liikennekaasu CNG.

Raakaöljyn hintakehitys, n.d. Thomson Reutersin tietojen perusteella luotu tilasto raakaöljyn hintaan vaikuttavista tapahtumista. Öljyalan keskusliiton kotisivut. Viitattu 24.1.2014. [Http://www.oil.fi](http://www.oil.fi), tilastot, raakaöljyn hintakehitys.

Ruonakoski, T. 2011. Suomeen tuotavan maakaasun polttoaineketjun kasvihuonepäästöt. Aalto yliopiston julkaisusarja Tiede+teknologia 9/2011. Tutkimusraportti. Helsinki: 2011.

Saastamoinen, A. 2010. Maakaasun verotus, ajankohtaista. Ajan tasalla oleva Tullin PDF-dokumentti maakaasun verotuksesta vuodesta 2010 vuoteen 2015.

Staimer, R. 2013. Clean Air Bus Transport. PowerPoint –esitys. MANin tuotepäällikkö. Maakaasukäyttöisen kaluston konferenssi ja näyttely, Amsterdam 25.11.2013.

Suurimmat haasteet. n.d. Sivusto, jossa paljon tietoa biokaasuautoilusta. Viitattu 12.2.2014. [Http://www.biokaasuauto.fi](http://www.biokaasuauto.fi), kaasuauto, suurimmat haasteet.

Sähköautojen julkiset latauspisteet. 2014. Tekesin ylläpitämä sivusto sähkön käytöstä liikennepolttoaineena. Viitattu 12.2.2014. [Http://sahkoinenliikenne.fi](http://sahkoinenliikenne.fi), latauspisteet.

Tankkausasemaverkosto Suomessa. n.d. Kartta Suomen julkisista kaasutankkausasemista. Gasum Oy:n kotisivut. Viitattu 10.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), puhtaampi liikenne, tankkausasemat.

Tavoitteena suuren mittakaavan LNG-terminaali. n.d. Tietoa nesteytetyn kaasun terminaalista Suomen ja Viron kesken. Gasum Oy:n kotisivut. Viitattu 12.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), yritystietoa, investoinnit, Finngulf LNG.

Tornio LNG-hankkeen kehitysyhtiö perustettu. n.d. Tietoa Tornioon suunnitellun LNG-terminaalin suunnittelun etenemisestä. Viitattu 12.2.2014. [Http://www.gasum.fi](http://www.gasum.fi), yritystietoa, uutiset, 2013, tornio LNG-hankkeen kehitysyhtiö perustettu.

Torri, P. 2010. Biokaasun jakelu maakaasuverkossa Suomessa. Gasum Oy:n PDF-dokumentti liikennebiokaasun käytöstä ja tuotannosta Suomessa.

Tuomisto, H. 2005. Biokaasun ja peltoenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset. Maa- ja metsätalousministeriön ”Peltobiomassa, liikenteen biopoltonesteeet ja biokaasu” –jaosto. Selvitys bioenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutuksista.

Tuotteet. n.d. Kaasukäyttöisten autojen ja kaasujärjestelmien maahantuojaja CNGHouse Oy:n kotisivut. Viitattu 12.2.2014. [Http://cnghouse.fi](http://cnghouse.fi), tuotteet.

Tähti, R. 2014. Valokuvat kaasukäyttöisistä linja-autoista Ruskeasuon varikolla ja linja-autojen korjaamolla. Otettu 14.2.2014.

Veron rakenne ja määrä. n.d. Ajoneuvojen verotustietoja. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafín kotisivut. Viitattu 27.1.2014. [Http://www.trafi.fi](http://www.trafi.fi), tieliikenne, verotus, ajoneuvovero, veron rakenne ja määrä.

Volvo Trucks Finland. n.d. Sähkö-hybridikuorma-autojen esittely. Volvon kotisivut. Viitattu 12.2.2014. [Http://www.volvotrucks.com](http://www.volvotrucks.com), finland, yritystietoja, volvo ocean race, jokainen tippa merkitsee, hybridikuorma-auto.

White paper. 2011. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. Euroopan Komission kokoama julkaisu kuljetusalan ympäristötavoitteista vuoteen 2050 mennessä. PDF-dokumentti. Viitattu 23.1.2014.

[Http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/2011\\_white\\_paper\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/2011_white_paper_en.htm)

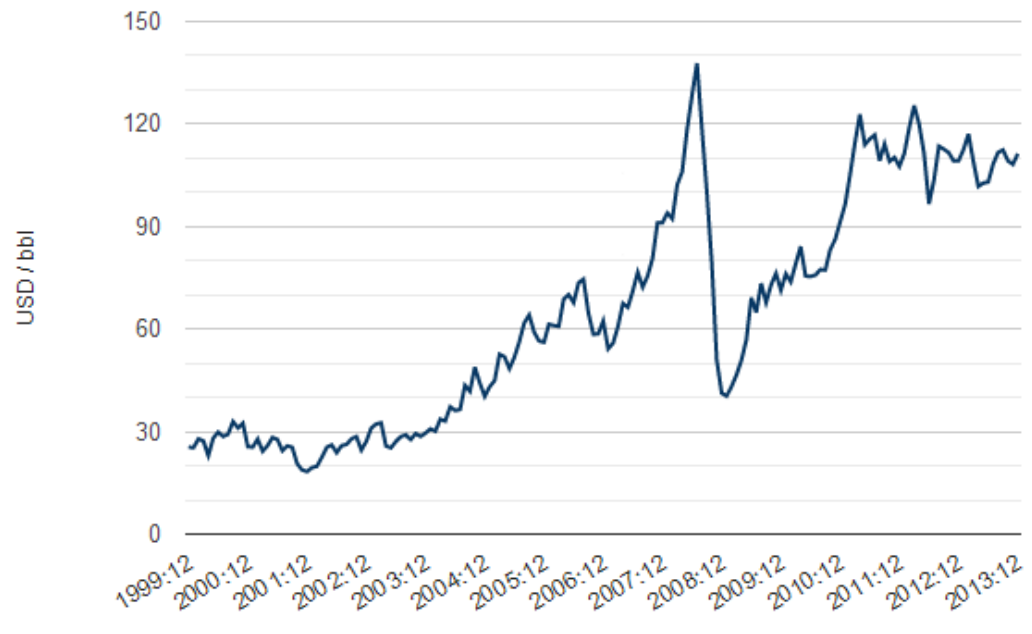
Woodward OH4 Engine Control System. n.d. CummingsWestportin maakaasumootoreissa käytettävän polttoainejärjestelmän kuvaus Woodwardin kotisivuilla. Viitattu 6.2.2014. [Http://www.woodward.com](http://www.woodward.com), products, engine control systems, vehicle control systems, oh, oh4.0.

Öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta, 2014. Suomen kuluttajahintatietojen tietojen perusteella luotu seurantatilasto. Öljyalan keskusliiton kotisivut. Viitattu 24.1.2014. [Http://www.oil.fi](http://www.oil.fi), tilastot, öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta.

## Liitteet

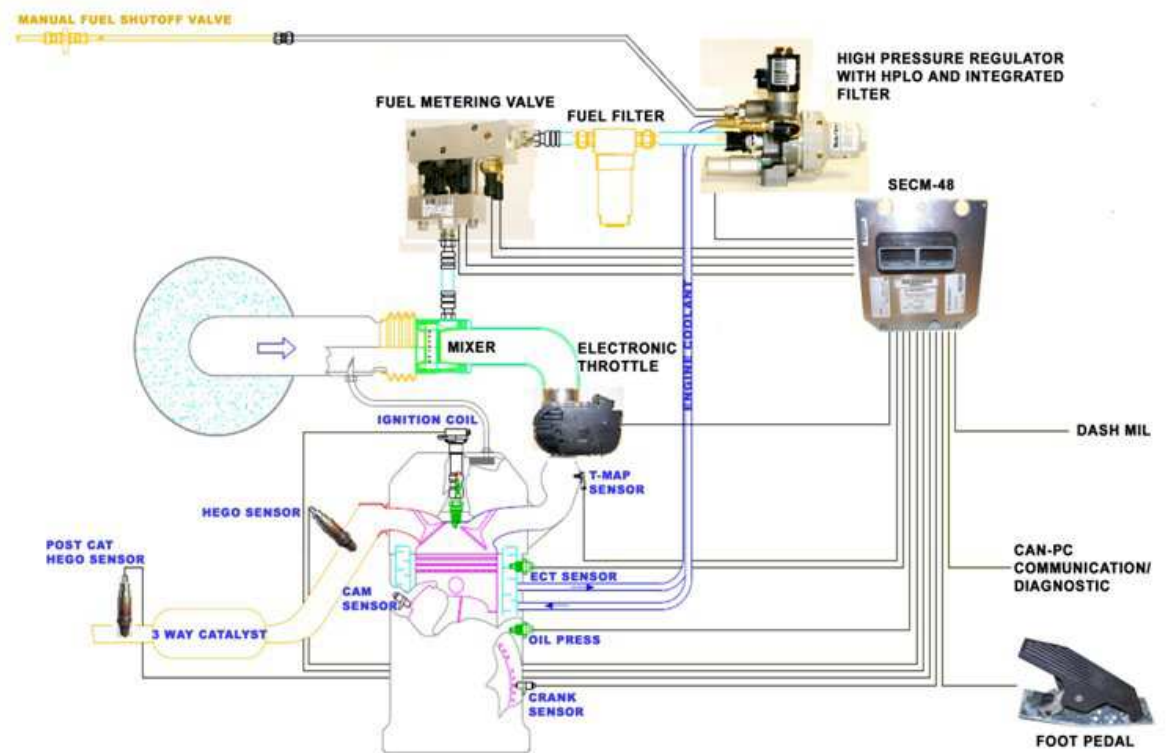
Liite 1. Raakaöljyn maailmanmarkkinahinnan kehitys vuosina 1999-2013.

(Raakaöljyn hintakehitys n.d.)



## Liite 2. Woodwardin CNG-polttoainejärjestelmä jakelukulustolle.

(Woodward OH4 Engine Control System n.d.)



### Liite 3. Haastattelukysymykset

#### **Kaasukäyttöiset ja dieselkäyttöiset**

Rekisterinumero, vuosimalli

Merkki, malli ja EURO-luokka

Moottorin teho (kv/kW)

Tankkausväli ja tankkauksen kesto

Kulutus (kg/100km)

Moottorin käyttäytyminen eri olosuhteissa, ylimääräiset toimenpiteet

Huoltojen määrä/a, huoltokustannusten osuus kokonaiskustannuksesta

Melu- ja hajuhaitat