

Sakari Kela

## **BIOMETAANIN LIIKENNEKÄYTTÖHANKE OULUSSA**

## **BIOMETAANIN LIIKENNEKÄYTTÖHANKE OULUSSA**

Sakari Kela  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Energiatekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä: Sakari Kela

Opinnäytetyön nimi: Biometaanin liikennekäyttöhanke Oulussa

Työn ohjaaja: Mikko Aalto

Työn valmistuslukuksi- ja vuosi: Kevät 2015

Sivumäärä: 54 + 1 liite

---

Opinnäytetyö on toteutettu osana Oulun Jätehuolto Oy:n vetämää hanketta, jonka tarkoituksena on hyödyntää bioreaktorista saatavaa biokaasua liikennepolttoaineena. Hankkeen taustalla ovat lisäksi lin Micropolis Oy, Oulun ammattikorkeakoulu ja BusinessOulu. Oulun Jätehuolto Oy on käynnistänyt tänä keväänä markkinavuoropuhelun biokaasun hyödyntämisestä liikennepolttoaineena. Markkinavuoropuhelun tavoitteena on potentiaalisten yhteistyökumppaneiden kartoittaminen ja teknisen vuoropuhelun käynnistäminen hankkeen toteuttamiseksi. Pää tavoitteena on saada ensimmäinen kaasuntankkausasema Ouluun.

Opinnäytetyön aiheena oli tutustua biometaanin liikennepolttoaineena sekä kaasuajoneuvojen teknisiin ratkaisuihin. Biometaanin hyötyjä ovat eteenkin polttoaineen hinta, ympäristöystävällisyys ja moottoritekniset mahdollisuudet. Työssä tehtiin myös muutamiin kuljetusalan yrityksiin asiakaskartoitusta, jolla pyrittiin selvittämään mahdollisia tulevia asiakkaita. Asiakaskartoitusta varten on tehty teknistä materiaalia, mikä on ollut yksi työn päätavoite. Asiakaskartoitusta on tehty jo muutamiin kuljetusalan yrityksiin.

Tekninen osa tarkastelee polttomoottorien hyötysuhdemahdollisuuksia parempilaatuisella biometaanilla sekä kaasuajoneuvojen eri vaihtoehtoja lähinnä kuljetusliikkeiden näkökulmasta. Yleisellä tasolla käydään läpi polttoaineiden ominaisuuksia liikennepolttoaineena, niiden päästöjä sekä biometaanin hyötyjä ja haittoja. Lähdeaineisto koostuu erilaisista julkaisuista, raporteista ja oppimateriaalista.

Biometaani on varteenotettava vaihtoehtoinen liikennepolttoaine. Ongelmia on kuitenkin esimerkiksi kaasuajoneuvojen hinta, politiikan sekä ottomoottorin suunnittelu rajoitteiden vuoksi. Tekniikkana kaasupolttomootorit ovat vanhoja, mutta niiden optimointi metaanipolttoaineelle nostaa ajoneuvojen hintaa. Silti suppean asiakaskartoituksen tuloksena yrityksillä on kiinnostusta biometaanin käyttöön. Nykyisillä fossiilisten polttoaineiden hinnoilla se voi tapahtua dual fuel -ajoneuvoilla, sillä yritykset painottavat ajattelussaan lähinnä kustannuksia. Ympäristöystävällisyys, polttoainekustannussäästöt ja imagoarvo ovat kuitenkin asioita, joita ei kannata vähätellä.

---

Asiasanat: biokaasu, biometaani, CBG, CNG, kaatopaikkakaasu, reaktorikaasu, mono fuel, dual fuel, termien hyötysuhde

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Energy Technology

---

Author: Sakari Kela

Title of thesis: Biomethane as Traffic Fuel Project in Oulu

Supervisor: Mikko Aalto

Spring 2015

Number of pages: 54 + 1 appex

---

The thesis was part of a project led by Oulu Jätehuolto Ltd in co-operation with Ii Micropolis Ltd, Oulu University of Applied Sciences and BusinessOulu. Purpose of the project is to utilize the biomethane as traffic fuel in Oulu. Oulu Jätehuolto Ltd is now seeking a potential partner, who is interested in to establish the first gas refueling station in Oulu. This is the main goal in the future.

This study focuses on general things around biogas and vehicles using gas technology. One essential thing is to do customer survey because of need of finding potential customers for starting activities. Therefore, some basic lecture material was done for the meetings with carrier companies. Some visits have already been done in carrier companies and results are very positive so far.

The technical part of the thesis examines the combustion engines efficiency and common used gas vehicles. Generally, the study concentrates on biomethane as traffic fuel and its possibilities in different aspects. The reference books are from different locations including reports, publications and study materials.

Biomethane is a very good option as an alternative fuel. Nevertheless, there are some problems. Even if, technic is old and reliable, but the higher price of the technology is one major disbenefit. Still according to the survey, there are companies willing to invest at least dual fuel technic because of lower investment costs. Environmental friendliness, fuel cost savings and company image are the issues which can be achieved with biomethane.

---

Keywords: biomethane, biogas, CBG, CNG, mono fuel, dual fuel, thermal efficiency

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 HANKKEEN LÄHTÖKOHTA JA TAVOITE .....	8
2.1 Oulun Jätehuolto Oy.....	8
2.2 Ii Micropolis Oy.....	9
2.3 Suomen Bioauto Oy .....	9
3 METAANI LIIKENNEPOLTTOAINEENA .....	10
3.1 Biokaasu.....	10
3.2 Biometaani ja CBG (Compressed BioGas).....	11
3.3 Maakaasu ja CNG (Compressed Natural Gas) .....	12
3.4 Nesteytetty metaani.....	13
4 POLTTOMOOTTORIN HYÖTYSUHDE.....	14
4.1 Ottomoottori.....	14
4.2 Dieselmoottori .....	18
5 KAASUAJONEUVOJA.....	21
5.1 Mono fuel.....	21
5.2 Bi fuel .....	22
5.3 Dual fuel .....	24
5.4 Tri fuel .....	26
6 BIOMETAANIN LIIKENNEKÄYTÖN YLEISTYMISEN ESTEITÄ .....	27
6.1 Kaasuajoneuvon investointikulut .....	27
6.2 Tankkausverkosto .....	27
6.3 Ajosäteen lyhentyminen .....	29
6.4 Tietämättömyys, myytit ja faktat .....	29
7 BIOMETAANIN LIIKENNEKÄYTÖN EDISTÄMINEN.....	31
7.1 Asiakaskartoitus ja sen materiaali .....	31
7.2 Taloudellisuus .....	31
7.3 Lainsäädäntö.....	33
7.4 Myytit ja faktat .....	34

8	BIOMETAANIN HYÖDYT JA MAHDOLLISUUDET .....	37
8.1	Ympäristövaikutukset .....	37
8.1.1	Pakoputkipäästöt .....	38
8.1.2	Melu .....	39
8.2	Imagoarvo .....	40
8.3	Polttoaineen ja moottorin energiatehokkuus.....	40
9	TULOKSET JA POHDINTA .....	41
9.1	Asiakaskartoituksen tulokset .....	41
9.2	Ottomoottorin kehittyminen.....	42
9.3	Kaasuajoneuvon kannattavuusesimerkki .....	44
10	YHTEENVETO .....	48
	LÄHTEET .....	50
	Liite 1 Asiakaskartoituksen materiaali (11 kpl)	

# 1 JOHDANTO

Ouluun on valmistunut helmikuussa 2015 biokaasulaitos, josta saatavaa biokaasua voitaisiin jalostaa liikennekäyttöön. Laitoksen tuottama kokonaiskapasiteetti on 13 000 MWh, josta liikennekäyttöön jäisi noin 8 000 MWh vuodessa. Oulun Jätehuolto Oy on pitkään tutkinut kaatopaikalta talteen otetun biokaasun saamista liikennekäyttöön, mutta ongelmana on ollut kaasun korkea typpipitoisuus ja muut epäpuhtaudet. Oulun Jätehuolto Oy on käynnistänyt tänä keväänä markkinavuoropuhelun biokaasun hyödyntämisestä liikennepolttoaineena, minkä tavoitteena on potentiaalisten yhteistyökumppaneiden kartoittaminen ja teknisen vuoropuhelun käynnistäminen hankkeen toteuttamiseksi. Pää tavoitteena on saada ensimmäinen kaasuntankkausasema Ouluun. Investointien kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti myös investointituet, joita myönnetään tämän kaltaisille hankkeille.

Haasteena asematoiminnan aloittamiselle on kysynnän ja tarjonnan luominen yhtä aikaa. Tämän vuoksi toteutettava asiakaskartoitus antaa tietoa potentiaalisista biokaasuautoilusta kiinnostuneista asiakkaista. Asiakaskartoituksessa on ollut mukana Oulun ammattikorkeakoulun lisäksi lin Micropolis Oy, jolla on menossa EnergiaPlus-hanke. Hankkeen yhtenä tarkoituksena ovat toimenpiteet biokaasun liikennekäytön edistämiseksi.

Biokaasun jalostaminen liikennepolttoaineeksi olisi kansantaloudellisesti ja ympäristövaikutuksiltaan järkevää, koska biokaasu on kotimainen uusiutuva polttoaine ja sitä käyttämällä voidaan vähentää öljyn tuontia. Kun raha jää kiertämään paikalliseen aluetalouteen, se vaikuttaisi uusien työpaikkojen syntyymiseen ja kasvattaisi taloudellista aktiviteettia muissa sidosryhmissä. Hankkeella edistetään myös lainsäädöllisiä tavoitteita, sillä EU:ssa on julkaistu vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden infrastruktuuridirektiivi (2014/94/EU) lokakuussa 2014. Direktiivi edellyttää tankkausverkoston luomisen kaikkiin jäsenmaihiin puhtaimmille liikenteen käyttövoimille eli uusiutuvalle sähkölle, vedylle ja metaanille.

Opinnäytetyö on osa Oulun Jätehuolto Oy:n vetämää hanketta, jossa perehdytään biometaaniin liikennepolttoaineena ja tutustutaan kaasujoneuvojen teknisiin ratkaisuihin. Tuotettua teknistä materiaalia on esitelty asiakaskartoituksien yhteydessä hankkeen aikana. Opinnäytetyössä käydään läpi erilaisia aihealueita, jotka eivät ole välttämättä hankkeen päätarkoituksia, mutta esiintyneet osa-alueina teknisen materiaalin tuottamisessa.

## 2 HANKKEEN LÄHTÖKOHTA JA TAVOITE

Oulun Jätehuolto Oy:n Ruskon jätekeskukseen on valmistunut Biotehdas Oy:n investoima ja ope- roima mädätyslaitos. Oulun Jätehuolto Oy ostaa biojätteen käsittelypalvelun ja osan mädätyslai- toksen tuottamasta biokaasusta. Tulevaisuudessa kaikkea mädätyslaitoksen biokaasua ei saada hyödynnettyä tai myytyä nykyisille asiakkaille.

Oulun Jätehuolto Oy on käynnistänyt 17.3.2015 markkinatutkimuksen biokaasun hyödyntämises- tä liikennepolttoaineena. Tutkimuksessa kartoitetaan biokaasuliikennepolttoaineen käyttäjäpoten- tiaalia ja pyritään saamaan biokaasuliikennepolttoaineelle alustavasti sitoutuneita käyttäjiä. Oulun Jätehuolto Oy on selvittämässä liikennepolttoaineen jakeluaseman sijoitusvaihtoehtoja ja tontin vuokrausta.

Oulun Jätehuolto Oy:n tavoitteena on löytää yhteistyökumppani biokaasun hyödyntämiseksi lii- kennepolttoaineena. Käytännössä tämä tarkoittaa yritystä, jonka tehtävänä on tankkausaseman ylläpito. Yhteistyökumppani voi ostaa Oulun Jätehuolto Oy:ltä mädätyslaitoksella tuotettua bio- kaasua joko puhdistamattomana tai puhdistettuna ja jalostettuna biometaanina. Yhteistyökump- panin on ajateltu vastaavan tankkausaseman investoinneista ja polttoaineen myymisestä. Halu- tessaan yhteistyökumppani voi puhdistaa ja jalostaa raakabiokaasun liikennepolttoaineeksi sovel- tuvaksi.

Yhteistyöorganisaatioita opinnäytetyön aikana ovat olleet pääasiassa Oulun Jätehuolto Oy ja lin Micropolis Oy. Lisäksi Suomen Bioauto Oy:n kanssa on tehty läheistä yhteistyötä. Hankkeen taustalla toimii myös BusinessOulu.

### 2.1 Oulun Jätehuolto Oy

Oulun Jätehuolto Oy toimii Oulun alueella sekä alueen lähikunnissa ja tarjoaa jätehuoltopalveluja yksityis- ja yritysasiakkaille. Tärkeimmät hyötyjätteen jätehuoltopalvelut ovat ekopisteet eri puolilla kaupunkia ja Oivapiste Ruskon jätehuoltoalueella. Lare lajitteluareenalla hyödynnetään seka- ja rakennusjätteet, joista 80 % hyödynnetään nykyisin energijätteenä Laanilan jätteenpolttolaitok- sella. Muita palveluja ovat mm. vaarallisten jätteiden- ja sähkö- ja elektroniikkajätteiden kierrätys. (Palvelut. 2015.)



Oulun Jätehuolto Oy tuottaa nykyisin vuodessa noin 5,3 miljoonaa kuutiota kaatopaikalta talteen otettua, niin sanottua kaatopaikkakaasua, jota kerätään putkistojen avulla vanhoista jätepenkoista. Kaasun vuotuinen energiasisältö vastaa noin 2,8 miljoonaa litraa öljyä. Syntynyt kaasu hyödynnetään energiana, jota myydään Ruskossa toimiville yrityksille, Paroc Oy:lle ja Lindström Oy:lle, mutta myös Oulun Energian välityksellä Oulun yliopistolliselle sairaalalle. Osa kaasusta ohjataan jätekeskuksen omalle mikroturbiinilaitokselle, joka tuottaa kaiken jätekeskuksen tarvitseman sähkön ja lämmön. (Tekninen info. 2015.)

## **2.2 li Micropolis Oy**

lin Micropolis Oy on asiantuntijayritys, joka edistää uuteen teknologiaan ja osaamiseen perustuvaa yritystoimintaa Oulun seudulle. Yhtiö pyrkii vauhdittamaan yritysten kasvua ja kansainvälistymistä. Kehittämisen ja markkinointiyhtiö lin Micropolis Oy:n asiantuntijat toimivat erityisesti uusiu-tuvan energia- ja ympäristöalan liiketoimintaedellytysten ja -mallien sekä yritys- ja tutkimusver-kostojen kehittäjinä. Kehittämistoiminnan alueena on koko Suomi ja työtä tehdään yhteistyössä yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa. (Etusivu. 2015a.)

liin Micropolis Oy:n EnergiaPlus-hankkeen yksi osa-alue on arvioida biokaasun liiketoimintamah-dollisuuksia liikennepolttoaineena Oulun seudulla. Tässä tärkeimpinä tehtävinä ovat potentiaalis-ten asiakkaiden kartoittaminen, kannattavuuslaskelmat ja yhteistyö biokaasun tuottajien ja käyttä-jien kanssa. Hankkeen tavoitteena on edistää biokaasun liikennekäyttöä Oulun seudulla. (Takalo 2015.)

## **2.3 Suomen Bioauto Oy**

Suomen Bioauto Oy tekee räätälöityjä ratkaisuja erilaisiin kestävästi liikkumisen tarpeisiin. Yritys tekee jälkiasennuksena bi fuel- ja dual fuel -konversioita ajoneuvoihin. Suomen Bioauto Oy:n edustaja on auttanut hanketta muun muassa antamalla syvällisempää tietoa jälkiasennuksista ja niiden käyttökokemuksista. Suomen Bioauto Oy tarjoaa myös koulutusmahdollisuutta muunnos-toihin, mikäli joku oululainen autohuoltoyritys haluaisi ryhtyä tekemään niitä.

### 3 METAANI LIIKENNEPOLTTOAINEENA

Polttomootoreiden yleisimpiä polttoaineita ovat nestemäiset fossiiliset polttoaineet, kuten bensiini ja diesel, joita valmistetaan raakaöljystä. Raakaöljyn saatavuus ja runsaus on muodostanut siitä vuosisadan kuluessa ehdottomasti yleisimmän polttoaineen maailmassa kivihiilen ohella. Tosin viime vuosikymmeninä on havahduttu öljyn rajalliseen riittävyteen ja sen ympäristövaikutuksiin. Voidaan ajatella, että öljyn ajallinen vaikutus ihmisen historiassa on kuitenkin lyhyt ja korvaavia polttoaineita tulisi etsiä nimenomaan uusiutuvan energian puolelta.

Polttomootoria voidaan käyttää myös kaasumaisilla polttoaineilla. Tyypillisimmät liikennepolttoaineena käytettävät kaasut ovat metaani, hiilimonoksidi ja nestekaasu, joka on propaanin ja butaanin kaasuseos. Kaasun käyttäminen on kannattavaa, jos sitä on paikallisesti helposti saatavilla tai sen hinta on muita polttoaineita halvempi. Yleensä kaasumaiset polttoaineet ovat luonnostaan vähäpäästöisempiä kuin öljypohjaiset nestemäiset polttoaineet ja ovat siksi ympäristön kannalta parempia. Uusiutuvat polttoaineet ovat tässä mielessä parhaita, koska ne ovat hiilidioksidineutraaleja ja kestäviä vaihtoehtoja ympäristön kannalta. (Kaasuautot. 2015.)

#### 3.1 Biokaasu

Biokaasu (engl. BioGas, BG) on kaasuseos, jota tuotetaan mikrobiologisesti mädättämällä nopeasti hajoavaa biomassaa anaerobisissa eli hapettomissa olosuhteissa. Biokaasu on uusiutuvaa energiaa. Mädätysprosessi voidaan luoda biokaasureaktorissa tai muulla tavalla esimerkiksi synteettisesti kaasuttamalla ja luonnostaan sitä tapahtuu esimerkiksi suolla anaerobisissa olosuhteissa. Puhutaan myös raakabiokaasusta, joka on siis kaasun lähteestä esimerkiksi biokaasureaktorista saatavaa kaasua, jota ei ole käsitelty. Termiä reaktorikaasu käytetään biokaasusta, kun sitä tuotetaan biokaasureaktorissa, ja termiä kaatopaikkakaasu, kun sitä talteen otetaan kaatopaikalta putkistojen avulla. Biokaasu sisältää useita eri kaasuja, joiden tyypillinen koostumus on esitetty taulukossa 1. (Lampinen 2012, 13.)

TAULUKKO 1. Biokaasun, biometaanin ja maakaasun koostumus (Torri 2012)

Ainesosa	Raakabiokaasu (kaatopaikka- tai reaktorikaasu)	Biometaani	Maakaasu
Metaani	45-75 %	95-98 %	98,10 %
Hiilidioksidi	25-50 %	0-3 %	0,04 %
Typpi	0-20 %	0-2 %	0,80 %
Happi	0-10 %	0-1 %	0,01 %
Rikkivety	0-1000 mg/m <sup>3</sup>	jälkiä	-
Siloksaanit	0-50 mg/m <sup>3</sup>	jälkiä	-
Kosteus	on	jälkiä	-
Halogenoidut hiilivedyt	0-1600 mg/m <sup>3</sup>	jälkiä	-
Raskaat hiilivedyt	-	-	1 %

Biokaasu ei suoraan sovellu liikennepolttoaineeksi. Sitä voidaan kuitenkin hyödyntää suoraan muun muassa kaasuturbiinissa tai kaasumootoreissa, joilla voidaan tuottaa sähköä ja lämpöä. Rikkiyhdisteiden poisto on suositeltavaa savukaasupäästöjen vähentämisen, ja mahdollisen veden poisto energiasisällön nostamisen vuoksi.

### 3.2 Biometaani ja CBG (Compressed BioGas)

Biometaani (engl. BioMethane, BM) on uusiutuvaa polttoainetta. Biometaani on lähes kokonaan metaania sisältävä polttoaine, jota käytetään liikennekäytössä polttomootorien polttoaineena. Biometaania valmistetaan puhdistamalla raakabiokaasua, minkä jälkeen se jalostetaan. Puhdistuksen tarkoituksena on poistaa vettä ja epäpuhtauksia, kuten rikkiyhdisteitä, jotta energiatuotantolaitokset ja jalostuslaitteet eivät varioidu ja päästöt pysyvät raja-arvoissa.

Jalostaminen tarkoittaa metaanipitoisuuden nostoa, jolloin raakakaasusta poistetaan hiilidioksidi ja muut kaasut, koska ne alentavat kaasun energiasisältöä ja vievät tilaa kaasuväylästä. Puhdistus ja jalostus ovat erityyppisiä prosesseja, joilla on eri tarkoitus, mutta yleensä jalostusprosessit vähentävät myös epäpuhtauksia eli puhdistavat biokaasua. Jalostaminen tapahtuu yleisimmin vesipesumenetelmällä, joka perustuu veden kykyyn imeä eli absorboida kaasuja. Muita menetelmiä ovat mm. kalvoerotus eli membraanisuodatus ja adsorptio, josta tyypillisin esimerkki on aktiivihiihisuodatin. Polttoaineen puhtaus ja tasainen laatu ovat tärkeitä, sillä jos polttoaineen laatu vaihtelee, ei palamista voida hallita riittävän tarkasti. Polttomoottorista saatavaan tehoon sillä on myös vaikutusta. Hiilidioksidi ja typpi eivät aiheuta haittoja moottorille, mutta ne alentavat kaasun energiasisältöä. (Lampinen 2012, 13, 17; Aalto 2011, 2–6.)

CBG on paineistettua biokaasua (biometaania) ja se on yleisimmin käytetty termi polttoaineesta kaasuajoneuvojen yhteydessä. Biokaasu tässä yhteydessä on tarkemmin sanottuna biometaania, mutta puhekielessä puhutaan yleensä aina biokaasusta. Oulussa biometaani olisi aluksi kaasuajoneuvoliikenteen pääpolttoaine. Varalle on suunnitteilla maakaasun käyttömahdollisuus. Jalostettu biometaani paineistetaan noin 200 barin paineeseen tankattaessa sitä ajoneuvon kaasusäiliöön. Paineistettuna kaasun tiheys kasvaa ja sitä saadaan varastoitua enemmän.

### 3.3 Maakaasu ja CNG (Compressed Natural Gas)

Maakaasu (engl. Natural Gas, NG) on fossiilinen polttoaine, joka sisältää luonnostaan suurimaksi osaksi metaania. Maakaasu on syntynyt miljoonien vuosien saatossa maan sisällä biomassan hajotessa ja maaperän lämmön yhteisvaikutuksessa. Suomeen tuotava maakaasu on peräisin Venäjän Urengoista (taulukko 2) ja sen metaanipitoisuus on 98 %, joten se soveltuu suoraan liikenteen energianlähteeksi. Suomeen kaasuputkia pitkin tuotava maakaasu on jalostettu Venäjällä. Maakaasua porataan tyypillisesti syvältä maasta ja yleensä sitä saadaan raakaöljyn sivuporaustuotteena öljykentiltä. Maakaasun koostumus vaihtelee alueellisesti kohtalaisen paljon. Esimerkiksi Hollannin Groningenista saatavan maakaasun pitoisuus on noin 81,3 %. Tällöin maakaasussa on yleensä typen osuus suurempi ja se vaatii jalostamista. Suomessa maakaasu ja biometaani ovat käytännöllisesti katsoen lähes puhdasta metaania, mutta polttoaineiden syntyta- pa on erilainen. Paineistettuna maakaasusta käytetään termiä CNG eli paineistettu maakaasu. (Maakaasu käsikirja. 2014, 6.)

TAULUKKO 2. Esimerkkejä eri alueilta saatavien maakaasujen koostumuksia (Maakaasu käsikirja. 2014, 6)

Kenttä	Venäjä Urengoi	Hollanti Groningen	Norja Troll
Metaani	98 %	81,3 %	93,2 %
Etaani	0,8 %	2,8 %	3,7 %
Propaani	0,2 %	0,4 %	0,4 %
Butaani	0,02 %	0,4 %	0,5 %
Typpi	0,9 %	14,3 %	1,6 %
Hiilidioksidi	0,1 %	0,9 %	0,6 %

### 3.4 Nesteytetty metaani

Kun metaania nesteytetään, käytetään nimitystä LNG (Liquefied Natural Gas) eli nesteytetty maakaasu tai LBG (Liquefied BioGas) eli nesteytetty biokaasu. Kun metaanin laatua ei eritellä, nesteytettyä metaania kutsutaan LMG:ksi (Liquefied Methane Gas). Nesteytetyn metaanin energiatiheys on suurempi kuin kaasumaisen paineistetun metaanin energiatiheys. Tämä on nesteytetyn metaanin merkittävin etu. Metaani nesteytetään jäähdyttämällä kaasu noin  $-162\text{ °C}$ :seen (metaanin kiehumispiste), jolloin sen tilavuus on vain 1/600 alkuperäisestä tilavuudesta ja 1/3 paineistetun metaanin tilavuudesta. Nesteytettyä metaania voidaan varastoida, kuljettaa ja käyttää nestemäisen polttoaineen tavoin kätevästi ja tehokkaammin, jolloin ei olla riippuvaisia kaasuputkista. Lisäksi nesteytettyä metaania voidaan tuottaa syrjäisemmillä alueilla, mikä mahdollistaa paikallisten maakaasuvarantojen hyödyntämisen. Nesteytyksen haittana on sen vaatima kylmätekniikka, jonka investointikustannukset ovat yleensä korkeammat kuin paineistetun metaanikaasun. (Nesteytetty maakaasu. 2015.)

Raakabiokaasu voidaan nesteyttää ja samalla puhdistaa ja erottaa hiilidioksidista kryo-tekniikan avulla. Tekniikka perustuu siihen, että metaanin kiehumispiste on normaalissa ilmanpaineessa  $-162\text{ °C}$ , kun taas hiilidioksidi kiehuu jo  $-78\text{ °C}$ :ssa. Kryojalostuksen lopputuotteena saadaan nestemäistä biometaania ja nestemäistä hiilidioksidia. Nesteytynyt hiilidioksidi voidaan haluttaessa ottaa talteen uusiokäyttöön. Kryojalostus sopii hyvin kaatopaikkakaasun jalostamiseen, sillä se on ainoa jalostusmenetelmä, jolla typpi ja happi saadaan erotettua raakakaasusta. (Biokaasunjalostus biometaaniksi. 2015; Aalto 2011, 7.)

Nesteytettyä metaania säilytetään termospullon kaltaisissa, tyhjiöeristeisissä säiliöissä, joiden kaksoisvaipparakente eristää hyvin lämpöä ja minkä vuoksi kaasujen höyrystyvyys säiliöissä on alhainen. (Nesteytetty maakaasu. 2015.)

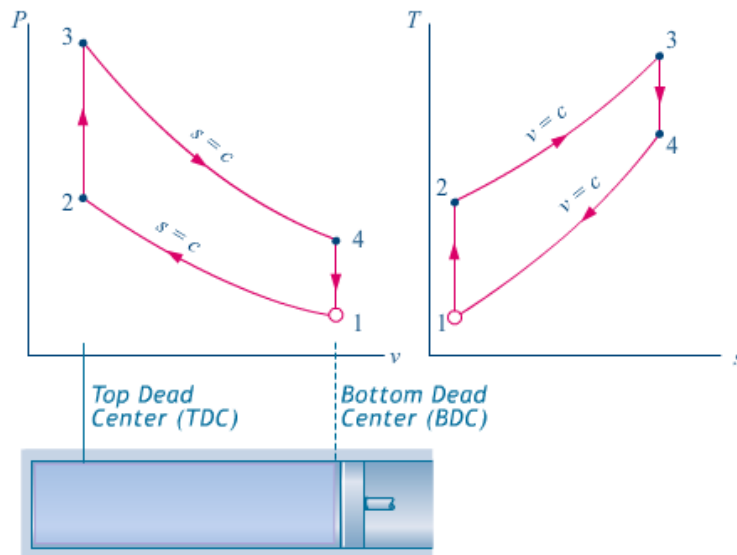
## 4 POLTTOMOOTTORIN HYÖTYSUHDE

Polttomootorit ovat lämpövoimakoneita, joissa polttoaineen kemiallinen energia muutetaan palamisen kautta lämpöenergiaksi ja sen jälkeen hyötysuhteen verran liike-energiaksi. Energiaa ei häviä mihinkään, se vain muuttaa muotoaan. Polttomootorien hyötysuhteet ovat karkeasti väliltä 25–55 %. Polttomootorit ovat joko kaksi- tai nelitahtisia. Nelitahtimoottorissa on neljä eri moottorin toimintavaihetta, jotka toistuvat moottorin käydessä. Ne ovat imu-, puristus-, työ- ja poistotahti. Työkierto esitetään termodynamiikassa pV- tai Ts-kuvaajalla, josta nähdään männän liikkeet kuvaajassa ja paineen sekä tilavuuden muutokset niiden eri vaiheissa. Sylinterin lukumäärä vaihtelee ajoneuvoissa neljän ja kahdentoista välillä. (Niskanen 2013, 74.)

### 4.1 Ottomoottori

Saksalainen Nicolaus Otto (1832–1891) aloitti nelitahtimoottorin kehityksen ja patentoi ottotyökierron 1876. Alun perin Otto kehitti moottoria muun muassa hiilimonoksidin avulla eli häkäkaasulla. Nykyisin ottomoottori tunnetaan paremmin bensiinimoottorina. Ottomoottorin hyötysuhde ajoneuvoissa on noin 30 %. (Niskanen 2013, 7.)

Ideaalinen ottoprosessi on esitetty kuvassa 1. Ideaalinen prosessi kuvataan termodynamiikassa ilmastandardianalyysinä. Polttomoottorin sisällä oleva ilma on ajateltu ideaalikaasuna, joka tekee työtä. Palaminen polttomoottorissa on korvattu lämmöntuontina systeemiin. Analyysissä ei huomioida tavallisen moottorin polttoaineentuontia ja pakokaasujenpoistoa, vaan pakokaasujenpoisto on korvattu lämmönvientinä systeemistä. Kiertoprosessi loppuu vakiotilavuuden lämmönsiirtoon, kun mäntä on yläkuolokohdassa. Kaikki prosessit ovat reversiibeileitä eli palautuvia, jolloin todellisuudessa esiintyviä häviöitä, kuten kitkaa, ei huomioida. (Moran – Shapiro – Boettner - Bailey 2012, 448–449.)



KUVA 1. Ideaalinen ottoprosessi, jonka koordinaatiston termit ovat  $p$  = paine,  $v$  = ominaistilavuus,  $T$  = lämpötila,  $s$  = entropia,  $c$  = vakio (Moran – Shapiro – Boettner - Bailey 2015)

Kuvaajissa on neljä prosessia, jotka ovat sisäisesti palautuvia prosesseja. Kuvassa on havainnollistettu sylinteri ja sen sisällä liikkuva mäntä. Ylä- ja alakuolokohdat ovat merkitty kuvaajaan. Tilamuutokset ovat seuraavat:

- Tila 1-2 Isentrooppisessa puristuksessa mäntä liikkuu alakuolokohdasta yläkuolokohdastaan.
- Tila 2-3 Vakiotilavuuksissa lämmönviennissä mäntä on yläkuolokohdassa. Tässä tapahtuu kipinäsytytys polttoaine-ilmaseokselle ja siitä seuraava nopea palaminen.
- Tila 3-4 Isentrooppisessa paisunnassa mäntä työntyy takaisin alakuolokohdastaan räjähdysmäisen palamisen voimasta.
- Tila 4-1 Vakiotilavuuksissa lämmönpoistossa mäntä on alakuolokohdassa. (Moran ym. 2015.)

Terminen hyötysuhde määritellään kaavalla 1 (Moran ym. 2012, 449, 452)

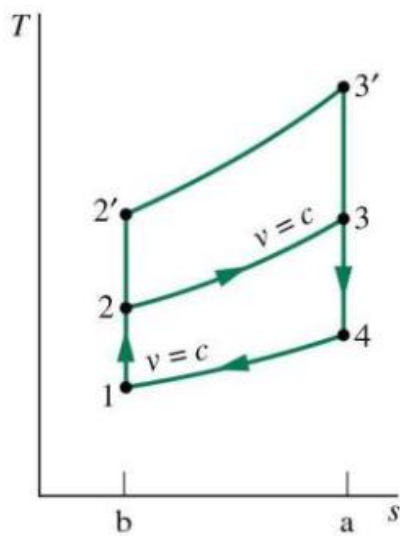
$$\eta = \frac{(u_3 - u_2) - (u_4 - u_1)}{u_3 - u_2} = 1 - \frac{\frac{Q_{41}}{m}}{\frac{Q_{23}}{m}} \quad \text{KAAVA 1}$$

$u_x$  = sisäenergia

$Q_{xx}$  = lämpöenergia

$m$  = massa

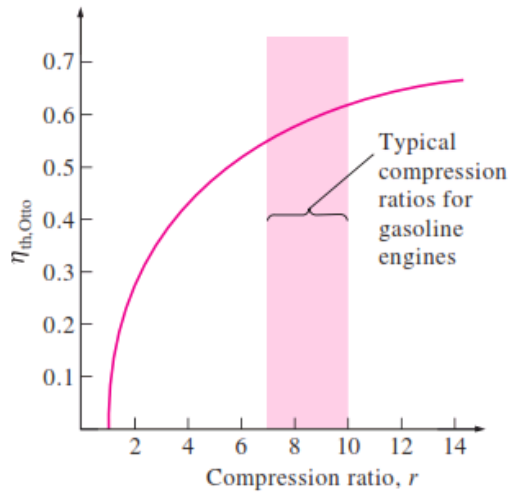
Puristussuhde kuvaa, kuinka monta kertaa puristustilavuus mahtuu koko sylinterin tilavuuteen. Puristussuhdetta kasvattamalla saadaan nostettua termistä hyötysuhdetta. Kuvassa 2 on tilanne, jossa puristussuhdetta on kasvatettu pisteisiin 2' ja 3' asti. Tällöin puristus ja paisunta eli työtä osoittavat prosessit ovat suurentuneet ja aiheuttavat termisen hyötysuhteen kasvamisen. Tämä havaitaan työpinta-alan kasvuna kuvaajassa. Puristussuhdetta ei voi kasvattaa loputtomasti. Polttoaineen puristuskestävyys eli oktaaniluku määrittelee korkeimman mahdollisen puristussuhteen, joka pyritään moottorin suunnittelussa valitsemaan. Liian suuri puristussuhde nostaa puristuslämpötilan liian suureksi, mikä aiheuttaa polttoaineen itsesyttymisen. Itsesytyminen eli naku tusilmiö rasittaa moottorin rakennetta ja on siksi haitallinen. Metaanilla on luonnostaan korkea oktaaniluku.



KUVA 2. Ts-kuvaaja, jossa puristussuhdetta on nostettu (Moran ym. 2012, 448)

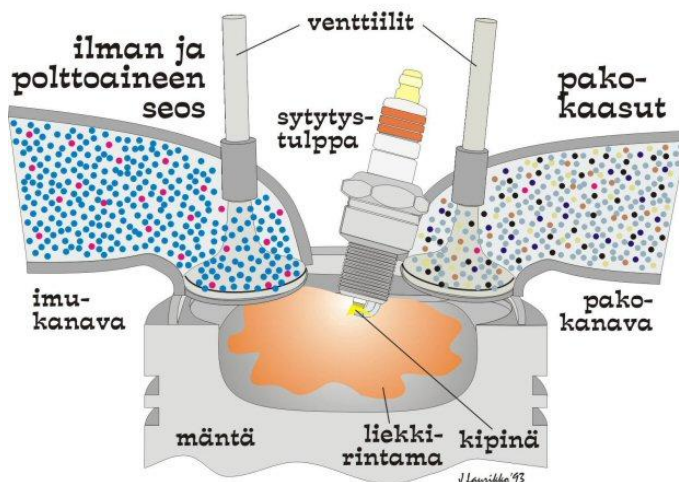
Kuvassa 3 on esitetty kuvaaja, josta ilmenee puristussuhteen vaikutus hyötysuhteeseen. Tyypillinen puristussuhde bensiinikäyttöisissä ottomoottoreissa on noin 7:1–10:1.





KUVA 3. Termisen hyötysuhteen vaikutus, kun puristussuhde muuttuu ottomoottorissa. (Sounak Bhattacharjee. 2015.)

Ottomoottorin polttoaineen palaminen on esitetty kuvassa 4. Polttoaineen ja ilman kaasuseos puristetaan suljetussa sylinterissä olevan männän avulla korkeaan paineeseen. Nestemäinen polttoaine pyritään saamaan kaasumaiseen olomuotoon eli se hajotetaan hyvin pieniksi pisaroiksi. Syntynyt kaasuseos sytytetään ulkoisen energian, yleensä sytytystulpan antaman kipinän avulla. Mäntä saa kiertovoimansa räjähtävästä palamisesta, ja sitä hyödynnetään liike-energiaksi kampaikselin avulla.



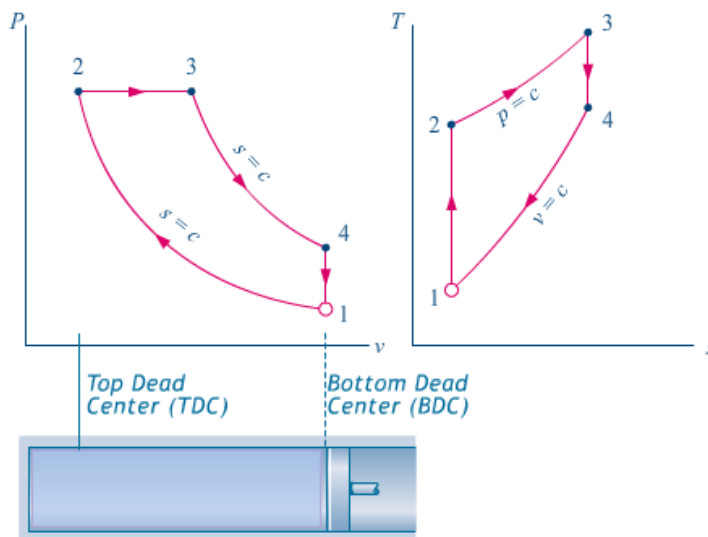
**Ottomoottorin palotila**

KUVA 4. Polttoaineen palaminen ottomoottorissa (Palaminen polttomoottorissa. 2011)

## 4.2 Dieselmoottori

Saksalainen Rudolf Diesel (1858–1913) kehitti lähes nykyisenkaltaisen dieselmoottorin vuonna 1886. Diesel kehitti moottoria käyttäen polttoaineena bioöljyä. Nykyisin dieselmoottorit toimivat lähes pelkästään raakaöljystä jalostetulla dieselöljyllä tai kevyellä polttoöljyllä. Teknisesti nämä ovat lähes sama asia, mutta dieselöljyä verotetaan enemmän. (Niskanen 2013, 8.)

Dieselmoottori kuluttaa paremman hyötysuhteensa ansiosta vähemmän polttoainetta kuin otto-moottori. Sen vuoksi se tuottaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin ottomoottori. Dieselmoottorin hyötysuhde on noin 40 %, ja isoissa hidaskäyntisissä laivojen moottoreissa se nousee yli 50 %:n. Dieselmoottorit ovat yleensä nelitahtisia, ja sylintereiden lukumäärä vaihtelee tyypillisesti neljän ja kahdentoista välillä. Ideaalinen dieselprosessi on esitetty kuvassa 5. (Niskanen 2013, 62)



KUVA 5. Ideaalinen dieselprosessi (Moran ym. 2015)

Kuvaajissa on neljä prosessia, jotka ovat ideaalisia eli sisäisesti palautuvia prosesseja. Kuvaaja mallintaa puristusytteistä polttomoottoria. Tilamuutokset ovat seuraavat:

- Tila 1-2 Isentrooppisessa puristuksessa mäntä liikkuu alakuolokohdasta yläkuolokohdastaan.
- Tila 2-3 Vakiopaineisessa lämmönniennissä mäntä on yläkuolokohdassa. Tässä tapahtuu puristusytitys polttoaineilmaseokselle ja siitä seuraava nopea palaminen, joka aiheuttaa liikevoiman.

Tila 3-4 Isentrooppisessa paisunnassa mäntä työntyy takaisin alakuolokohtaan liikevoiman seurauksena.

Tila 4-1 Vakiotilavuuksisessa lämmönpoistossa mäntä on alakuolokohdassa. (Moran ym. 2015.)

Terminen hyötysuhde määritellään kaavalla 2 (Moran ym. 2012, 454).

$$\eta = 1 - \frac{u_4 - u_1}{h_3 - h_2} = 1 - \frac{\frac{Q_{41}}{m}}{\frac{Q_{23}}{m}} \quad \text{KAAVA 2}$$

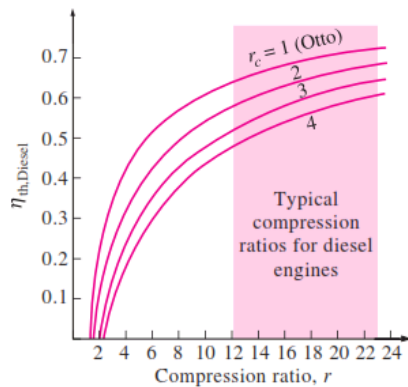
$u_x$  = sisäenergia

$Q_{xx}$  = lämpöenergia

$m$  = massa

$h_x$  = entalpia

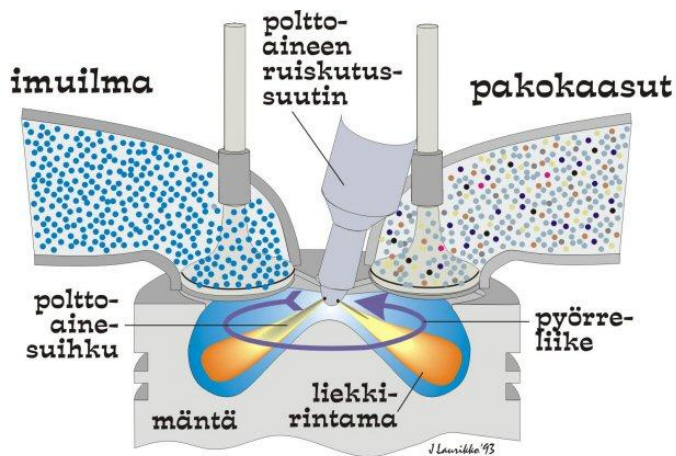
Kuvassa 6 on esitetty kuvaaja, josta ilmenee puristussuhteen vaikutus hyötysuhteeseen. Tyypillinen puristussuhde dieselmootoreissa on noin 12:1–23:1.



KUVA 6. Termisen hyötysuhteen vaikutus, kun puristussuhde muuttuu dieselmootorissa. (Sou-nak Bhattacharjee. 2015.)

Kuvasta 7 ilmenee dieselmootorin polttoaineen palaminen. Dieselmootorin imutahdin aikana imetään puhdasta ilmaa sylinteriin. Puristustahdin aikana sylinterin paine nousee ahtamattomissa moottoreissa noin 30–55 bariin, jolloin ilman lämpötilan nousee 700–900 asteeseen. Puristus-tahdin lopussa korkeaan lämpötilaan ruiskutettava dieselpolttoaine syttyy itsesyttymällä. Dieselmoottori vaatii suuremman puristussuhteen, joka on tyypillisesti noin 20:1. Tämä aiheuttaa die-

selmoottorille lujemman rakenteen kuin ottomoottorille. Dieselmoottori tuottaa merkittävästi hiukaspäästöjä, sillä suihkun sisin osa palaa ruskealla liekillä ja muodostaa suuren määrän nokea.



### Dieselmoottorin palotila

KUVA 7. Polttoaineen palaminen dieselmoottorissa (Palaminen polttomoottorissa. 2011)

## 5 KAASUAJONEUVOJA

Henkilö- ja pakettiautokokoluokan kaasujoneuvoissa on yleensä kaksoispolttoainejärjestelmä, joka perustuu ottomoottoritekniikkaan. Polttoaineena käytetään maakaasua tai biometaania sekä tarvittaessa bensiiniä. Kaasu tankataan ajoneuvoon yleensä paineistettuna. Markkinoilla on usean valmistajan eri kaasujoneuvomalleja eri ajoneuvoluokissa. Dieselkäytössä ajoneuvot toimivat kaksoispolttoainejärjestelmällä, jolloin molempia polttoaineita syötetään yhtä aikaa sylinteriin. (Kaasuautot. 2015.)

### 5.1 Mono fuel

Kaasuautoja on monenlaisia, joista paras vaihtoehto on mono fuel -kaasuauto. Se on tarkoitettu yhden polttoaineen käyttöä varten. Suomessa lähes kaikki autot ovat mono fuel -autoja eli ne toimivat joko bensiinillä tai dieselillä. Biometaania ja maakaasua käyttävät raskaan kaluston autot ovat myös mono fuel -autoja, jotka on yleensä varustettu ottomoottorilla. (Lampinen 2011b, 10.) Kuvassa 8 on MAN Lion's City CNG -kaasulinja-auto, joka on valittu 2015 vuoden linja-autoksi.



KUVA 8. MAN Lion's City CNG bussi (MAN Lion's City CNG. 2015)

## 5.2 Bi fuel

Henkilökaasuautot ovat yleensä bi fuel -ajoneuvoja eli kaksoispolttoainejärjestelmällä toimivia. Bi fuel -ajoneuvot ovat yleensä ottomoottorilla varustettuja ajoneuvoja, jotka toimivat biometaanilla tai maakaasulla sekä lisäksi nestemäisellä polttoaineella, kuten bensiinillä. Polttoainejärjestelmät ovat erillisiä, ja niiden valinta tapahtuu yleensä nappia painamalla auton kojelaudasta (Lampinen 2011b, 10). Polttoaineita ei voi käyttää samanaikaisesti. Bi fuel -ajoneuvoja saa tehdastekoisena, josta esimerkkinä on Skoda Octavia Combi G-TEC kuvassa 9. Kuvassa on havainnollistettu sini-  
sellä värillä kaasusäiliöt ja nestemäinen polttoainesäiliö punaisella värillä.



KUVA 9. Tehdastekoinen bi fuel -kaasuauto (Skoda Octavia Combi G-TEC. 2015)

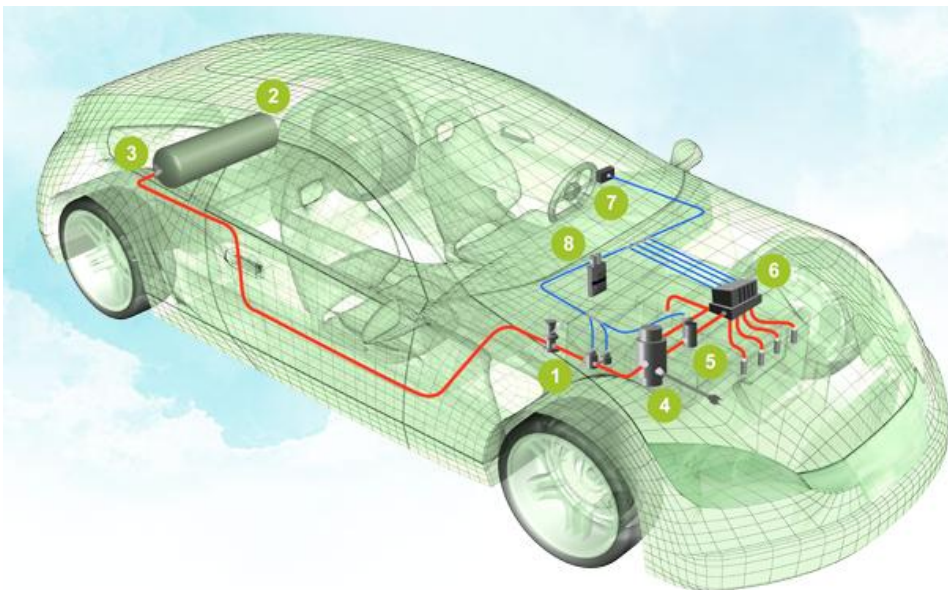
Octavia G-TEC on hinnaltaan vain 454 euroa vastaavaa bensiinimallia kalliimpi, joten kaasumallin hintaero säästyy noin 13 000 kilometrin ajolla, kun huomioidaan polttoaineen hinta ja käyttövoimavero.

Bi fuel -ajoneuvojen haittana voidaan kokea alemmat tehot kuin bensiiniä käytettäessä. Tämä johtuu siitä, että ottomoottori on optimoitu bensiinille. Kaasukäytössä palaminen on täydellisempää ja moottori lämpenee enemmän, joten kaasukäytössä tehoja on täytynyt varmuussyistä hieman laskea. Bensiiniä käytettäessä saadaan siis hieman enemmän tehoa kuin kaasukäytössä. Tosin sanoen autoihin on haluttu saada hyvin pienellä vaivalla kaasunkäyttömahdollisuus sa-

maan bensiinijoneuvoon. Skoda Octavia G-TEC on tästä yksi esimerkki. Biometaanin laadulla on myös merkitystä moottorin tehoihin, mutta jalostamalla biokaasu noin 96-prosenttiseksi biometaaniksi tällä ei ole enää merkitystä. Ruotsissa tehdastekoisten bi fuel -autojen tarjonta on huomattavasti kattavampaa kuin Suomessa. Tämä johtuu muun muassa paremmasta biometaanin saatavuudesta sekä ympäristöystävällisille autoille annetuista verohelpotuksista. Monet suomalaiset ovat hankkineet bi fuel -autonsa Ruotsista.

Uuteen tai vanhaan bensiiniautoon voidaan tehdä kaasukonversio eli muunnostyö. Tällöin mono fuel -bensiinijoneuvo muutetaan bi fuel -ajoneuvoksi, jossa biometaanin tai maakaasun lisäksi voidaan edelleen käyttää myös bensiiniä. Konversioita tehdään myös Suomessa. Kaasukonversioita tekee esimerkiksi Suomen Bioauto Oy, joka on ollut hankkeessa mukana kertomassa konversiotöistä ja niiden toiminnasta käytännössä. (Lampinen 2011.)

Kuvassa 10 on esitetty kaasukonversiossa lisättävät osat, joita ovat täyttöventtiili (1), kaasusäiliö(t) (2), säiliöventtiili (3), paineenalennusventtiili (4), suodatin (5), ruiskutuskisko (6), polttoaineen valintakytkin ja mittari (7), kaasunohjausyksikkö eli ECU (8). Henkilöauton kaasukonversio maksaa avaimet käteen -hintana 2 350 € vuonna 2015. Hinta sisältää katsastuksen. (Laitteiston asennus. 2015.) Konversion takaisinmaksuaika on noin kaksi vuotta, kun huomioidaan ajokilometrimäärän mukaan säästynyt polttoaineen hyöty. Kuvassa 11 on asennettu Subaru-henkilöautoon kaasukonversio.



KUVA 10. Kaasukonversion osat (Laitteiston asennus. 2015)



KUVA 11. Subaru henkilöauton kaasukonversion osat ottomoottorissa

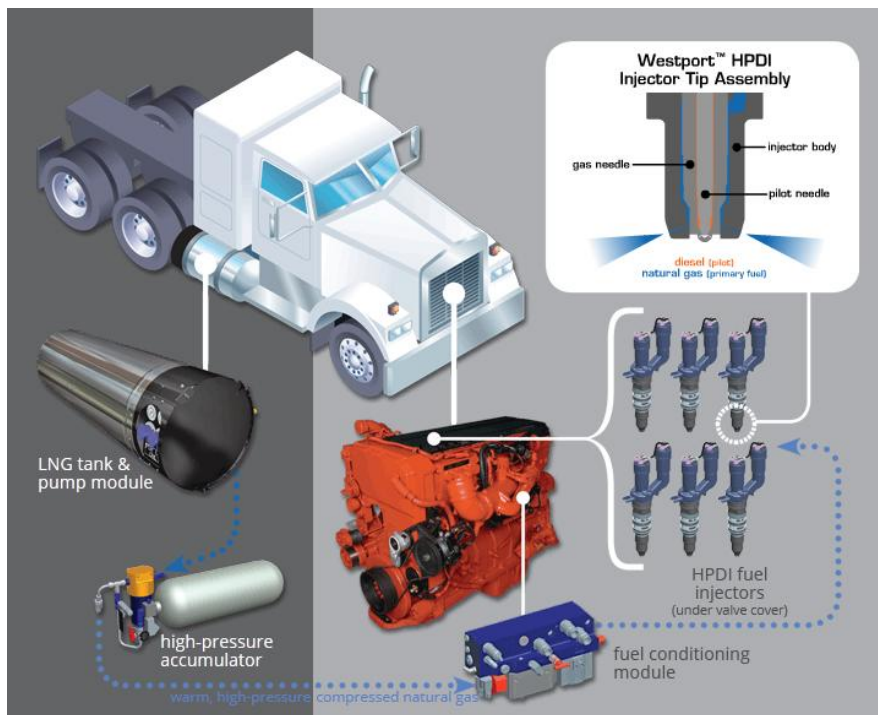
### 5.3 Dual fuel

Dual fuel -ajoneuvot ovat yleensä dieselmoottorilla varustettuja ajoneuvoja, jotka toimivat biometaanilla sekä dieselpolttoaineella eli molempia polttoaineita käytetään samanaikaisesti yhdessä. Yleensä ajoneuvoa voidaan käyttää myös pelkästään dieselpolttoaineella. Metaania käytettäessä moottorin sytytys tapahtuu nestemäisellä dieselpolttoaineella, jolloin autoissa 50–95 % polttoaineen energiasta tulee metaanista. (Lampinen 2011b, 11.)

Dual fuel -ajoneuvoja on saatavana sekä tehdastekoisina että konversioina. Imutahdin aikana imusarjaan syötettävä metaani kulkeutuu ilman mukana sylinteriin, jossa ilma-kaasuseos puristetaan korkeaan paineeseen ja lämpötilaan puristustahdin aikana. Puristustahdin lopussa syötetään diesel-ilma-kaasuseos sylinteriin. Työtahdissa ilma-kaasu-dieselseos syttyy räjähdysnomaisesti ja pakottaa männän liikkumaan alaspäin, jolloin saadaan liike-energia kampiakseliin. Poistotahdin aikana pakokaasut poistuvat sylinteristä. Metaanikaasun yhteiskäytössä palamisen laatu on parempi, minkä vuoksi dieselmoottorin teho ja vääntö nousevat noin 20 % (Laitteiston asennus. 2015).



Kanadalainen teknologiayhtiö Westport on kehittänyt oman patentoidun HPDI-tekniikan (High Pressure Direct Injection). Siinä sytytykseen käytettävä diesel ja metaani syötetään palotilaan saman suuttimen kautta (kuva 12). Tekniikka mahdollistaa korkeamman metaanin käyttöasteen (95 %) ja sitä kautta entistä täydellisemmän palamisen dieselmoottorissa. HPDI-tekniikkaa hyödyntävä dieselmoottori tarjoaa täysin dieseliä vastaavat suoritusarvot, ja sitä käytetään rekkavetu-reissa USA:ssa ja Kanadassa. Riittävän toimintamatkan takaamiseksi kaasu on nesteytettyä (LBG/LNG). (Engine & Fuel System Integration. 2015.)



KUVA 12. HPDI-tekniikan polttoaine- ja moottorijärjestelmä (Engine & Fuel System Integration. 2015)

Dual fuel -konversiot ovat hinnaltaan kannattavia vasta niin sanottuihin sprintter-luokan pakettiautoihin ja niissäkin ajettu kilometrimäärä täytyy olla luokkaa 60 000 kilometriä. Kun kulutus kasvaa, kasvaa myös kannattavuus. Dual fuel -konversioita on hyvin vähän autokannasta, ja siitä syystä kokemukset puuttuvat. Raskaaseen kalustoon konversio on laskennallisesti perusteltua, koska normaali 6-sylinterinen konversio maksaa tällä hetkellä 3 850 €. Laskentaesimerkki on luvussa 9.3.

Dual fuel -ajoneuvot aiheuttavat pakoputkipäästöjä, koska dieseliä käytetään rinnan biometaanin kanssa. Ne saadaan kaikkien normien alle samalla tavalla kuin dieselautot eli pakokaasujen puhdistustekniikoilla. Tämän vuoksi dual fuel -ajoneuvot eivät ratkaise pakoputkipäästöongelmaa.

Oletettavasti se voisi pienentyä. Biometaanin yhteiskäytöllä voidaan kuitenkin vaikuttaa hiilidioksidipäästöjen vähenemiseen (kuva 17).

#### **5.4 Tri fuel**

Uusi merkittävä henkilöautouutuus Suomessa vuonna 2015 on Saabin 9-3 tri fuel, jossa on mahdollista käyttää metaanin lisäksi nestemäistä etanolia ja tavanomaisesti käytettävää bensiiniä. Autoliike Keijo Lehtonen Oy on erikoistunut tällaisien kaasuautojen maahantuontiin. Merkittävää on myös ajoneuvon moottoritekniinen etu. Siirryttäessä bensiinistä metaanille nappia painamalla saadaan tehoja lisää 30 hevosvoimaa ja vääntöä 40 Nm. Metaanilla voidaan käyttää korkeampaa ahtopainetta kuin bensiinillä ja siten saadaan suuremmat tehot. Ahtopaineen nostoa on hyödynnetty hyvin. Saab 9-3 tri fuel on ollut saavilla Ruotsissa vuodesta 2010. Valitettavasti ajoneuvoja ei saa enää uutena, koska Saab ajautui konkurssiin. Ajoneuvoja ehdittiin valmistaa vain pieni määrä eikä Saabin uusi omistaja ole toistaiseksi ottanut niitä uudestaan tuotantoon. Nettiautossa 6.6.2015 on myynnissä Saab 9-3 SportCombi 1.8t TriFuel Linear. (Lampinen 2011b, 21.)

## 6 BIOMETAANIN LIIKENNEKÄYTÖN YLEISTYMISEN ESTEITÄ

Suurimpana haasteena asematoiminnan aloittamiselle on kysynnän ja tarjonnan luominen yhtä aikaa. Tämä niin sanottu muna-kanaongelma on yleinen, kun uusia liiketoimintoja aloitetaan. Käyttäjät vetoavat tankkausasemien puuttumiseen ja asemanperustaja ei halua tehdä korkeita investointeja ja ottaa riskiä ilman perusmenekkiä.

Muita haasteita ovat investointitarpeet, tankkausverkoston vähäisyys tai sen puuttuminen, ajoneuvosta johtuva ajosäteen pienentyminen sekä tietämättömyys. Lisäksi perinteisen teollisuuden vastustus uusiutuvia polttoaineita kohtaan on Suomessa ollut vahvaa. Maailmanlaajuisesti ehkä etanoli on kärsinyt tästä eniten. Poliittiset päätökset eivät jostain syystä tue uusiutuvia polttoaineita.

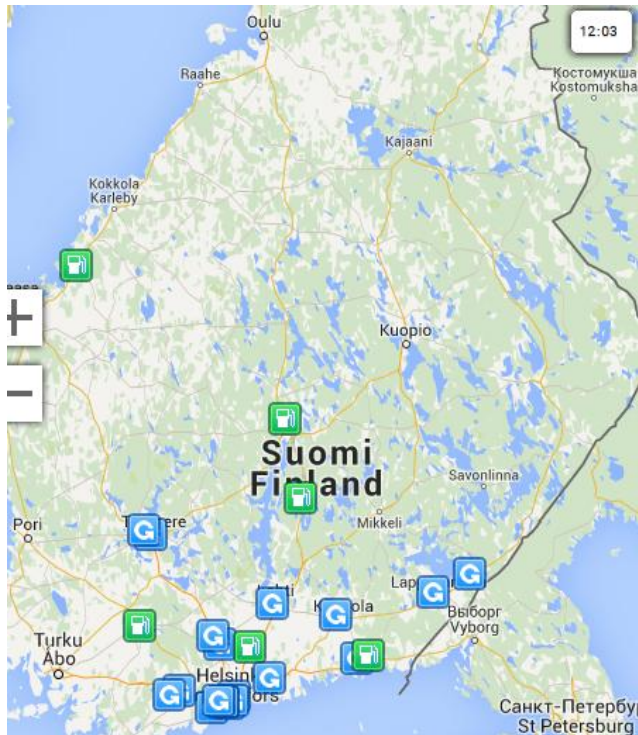
### 6.1 Kaasuajoneuvon investointikulut

Talousjärjestelmässä yritysten liiketoiminta perustuu voitolliseen tulokseen, joten kaikki ylimääräinen investointikulu koetaan yleensä tarpeettomaksi. Tämänkaltainen toiminta korostuu niin sanottuina lamavuosina. Tämän vuoksi ylimääräinen investointi ajoneuvojen hankinnassa ei juuri kiinnosta yrityksiä. Investointikulut selvitetään kannattavuuslaskennalla, jossa pyritään huomioimaan polttoaineesta syntyvät säästöt suhteessa investointiin, jolloin voidaan määritellä takaisinmaksuaika. Raskaan kaluston kaasuajoneuvot ovat kalliimpia kuin perinteiset ajoneuvot.

### 6.2 Tankkausverkosto

Tankkausverkoston puuttuminen on luonnollinen syy olla käyttämättä biometaaniam. Käyttäjät valitsevat tankkausasemien puuttumista ja toisaalta asemanperustaja ei halua tehdä korkeita investointeja ilman perusmenekkiä. Tämän vuoksi kunnalliset päätökset esimerkiksi bussiliikenteessä auttaisivat tukemaan toiminnan aloittamista, kuten Ruotsissa on menestyksellisesti tehty. Vuonna 2014 Ruotsin koko bussikannasta 31 % on uusiutuvan energian busseja, joista kaupunkibusseja lähes puolet. Biometaaniam näistä käyttää noin puolet ja toinen puoli bioetanolia tai biodieseliä. Tämä on johtanut biometaanin käyttöönottoon myös sidonnaisajoneuvoissa, jotka kokonaan tai valtaosin liikennöivät yhden kunnan alueella eli lähellä tankkausverkostoa. Kuvassa 13 näkyvät

Suomen julkiset kaasuntankkausasemat ja kuvassa 14 biometaanin tankkausaema. (Lampinen 2014a.)



KUVA 13. Suomessa on tällä hetkellä 24 kaasuautojen julkista tankkausasemaa, joista 18 on Gasumin omistamia. Vihreällä värillä on merkitty biometaanin tankkauspisteet. Lisäasemille olisi tarvetta. (Etusivu. 2015b, linkit puhtaampi liikenne -> tankkausasemat.)



KUVA 14. Biometaanin tankkausasema Itävallassa (kuva: Mikko Aalto)

### 6.3 Ajosäteen lyhentyminen

Ajosäteen pienentyminen on mahdollinen haitta, kun siirrytään kaasujoneuvoihin. Tämä riippuu siitä, kuinka paljon kaasupulloja saadaan mahtumaan ajoneuvoon. Tehdastekoisissa kaasujoneuvoissa on pyritty yleensä maksimoimaan varastointikapasiteetti, jotta päästään tyydyttävään ajosäteeseen, mutta yleensä toimintasäde on pienempi kuin nestemäisellä polttoaineella. Henkilöautoissa se on noin 300 kilometriä ja raskaassa kalustossa yleensä suurempi. Muunnosajoneuvoissa ongelma on todellisempi, sillä kaasusäiliöiden sijoittelu voi olla hankalaa. Yleensä kaasupulloja sijoitetaan niin, ettei tavaratilan käyttö häiriinny liikaa. Tämä on ongelmana lähinnä henkilöautoissa. Raskaammassa kalustossa kaasupullojen sijoittelu on hieman helpompaa. Ajosäde voi kasvaa, koska kaasun rinnalla voi olla mahdollisuus käyttää myös nestemäisiä fossiilisia polttoaineita, jolloin polttoainevarastoja on kaksi.

### 6.4 Tietämättömyys, myytit ja faktat

Tietämättömyys on yksi merkittävä tekijä kaasuautoilun jarruna. Yleensä ihmiset, joilla on kokemusta kaasujoneuvoista, suhtautuvat niihin positiivisemmin kuin ihmiset, jotka kuulevat niistä ensimmäistä kertaa. Tämän rinnalla kulkee yleensä muutoksesta aiheutuva epätietoisuus, joka on tyypillistä ihmisille. Lisäksi eri teknologioiden kilpailu alalla aikaansaa tiettyä intressietuajattelua, jota käytetään tapauskohtaisesti puolesta tai vastaan. Luodaan niin sanottuja myyttejä, joita pitää perustella faktoilla. Esimerkiksi USA:n energiaministeriö on tehnyt julkaisun dieselbussiteollisuuden tuottaman disinformaation oikaisemiseksi. (Fact sheet. U.S Department of Energy. 2000). Disinformaatio johtaa usein misinformaatioon eli sen levittäjä ei tiedosta informaation olevan virheellistä. Suomessa myyttejä on jouduttu myös oikaisemaan. Esimerkiksi dokumentissa liikennebiokaasulainsäädäntö löytyy liikenteen biopolttoaineet – myytit vastaan faktat (sivut 172–176) eräitä esimerkkejä, joilla on pyritty oikaisemaan asiantuntijoiden vastustusargumentteja (Lampinen 2008).

*”Myytti: Autokalusto vaihtuu niin hitaasti, yli 10 vuodessa, että sen kehittämisen kautta on vaikea vaikuttaa (Mäkinen, Sipilä, Nylund/VTT/Mäkinen ym. 2005).*

*Fakta: 10 vuotta on hyvin lyhyt aika verrattuna voimalaitosten ja lämpökattiloiden ikään. Siten juuri liikenteessä voidaan nopeimmin saada uusi teknologia käyttöön. Esim. Brasiliassa tuotiin FFV -autot (Flexible Fuel Vehicle, etanolikäyttöinen ajoneuvo) markkinoille*

*vuonna 2003 ja 2,5 vuodessa ne saavuttivat yli 80 % osuuden uusien autojen markkinoista” (Lampinen, 2008).*

## 7 BIOMETAANIN LIIKENNEKÄYTÖN EDISTÄMINEN

### 7.1 Asiakaskartoitus ja sen materiaali

Lopullinen hankkeen päätavoite on saada ensimmäinen biokaasun tankkausasema Ouluun. Jotta tuleva asemayrittäjä näkisi liiketoiminnan järkevänä, tulisi löytää potentiaalisia asiakkaita jo ennen aseman rakentamista. Tämän vuoksi tehdään asiakaskartoitusta, jonka tarkoituksena on selvittää biokaasuautoilusta kiinnostuneita asiakkaita. Asiakaskartoituksessa päävastuu on lin Micropolis Oy:llä ja Oulun jätehuolto Oy:llä, mutta Oulun ammattikorkeakoulu on ollut osassa kartoituksia mukana tämän opinnäytetyön kautta. Sovittiin, että opinnäytetyöhön kuuluva asiakaskartoitusmateriaali olisi teknistä ja hankkeessa mukana olevat saisivat siitä myös perustietoa. Asiakaskartoitusmateriaalia on käytetty yrityksien tapaamistilanteissa, ja sen tarkoituksena on johdatella aiheeseen teknisten perusasioiden kautta.

Asiakaskartoitusmateriaali keskittyy siis perusasioihin, joista kuljetusalan yritykset ovat kiinnostuneita. Asiakaskartoitusmateriaalissa on mukana sanastoa, ajoneuvojen kaasuautokäsitteitä, polttoaineiden ominaisuuksia, biometaanin liikennehyötyjä, verotusvaikutuksia, nykyiset asemasijainnit ja kaasuaajoneuvon toimintasäteitä. Asiakaskartoitusmateriaalia on etsitty verkkolähteistä ja asiakaskartoitusmateriaali löytyy liitteestä 1.

Ajosäteen pienentymiseen vaikuttaminen on hankalaa. Tämä on ongelma, jos halutaan ajaa pelkästään kaasulla. Rekkavetureissa käytetään tämän vuoksi yleensä nestemäistä metaania (LBG/LNG), koska nestemäistä metaania voidaan varastoida enemmän kaasusäiliöön kuin paineistettua metaania. Kaksoispolttoainejärjestelmissä ajosäde kasvaa, koska nestemäistä fossiilista polttoainetta voidaan käyttää rinnakkain kaasun kanssa.

### 7.2 Taloudellisuus

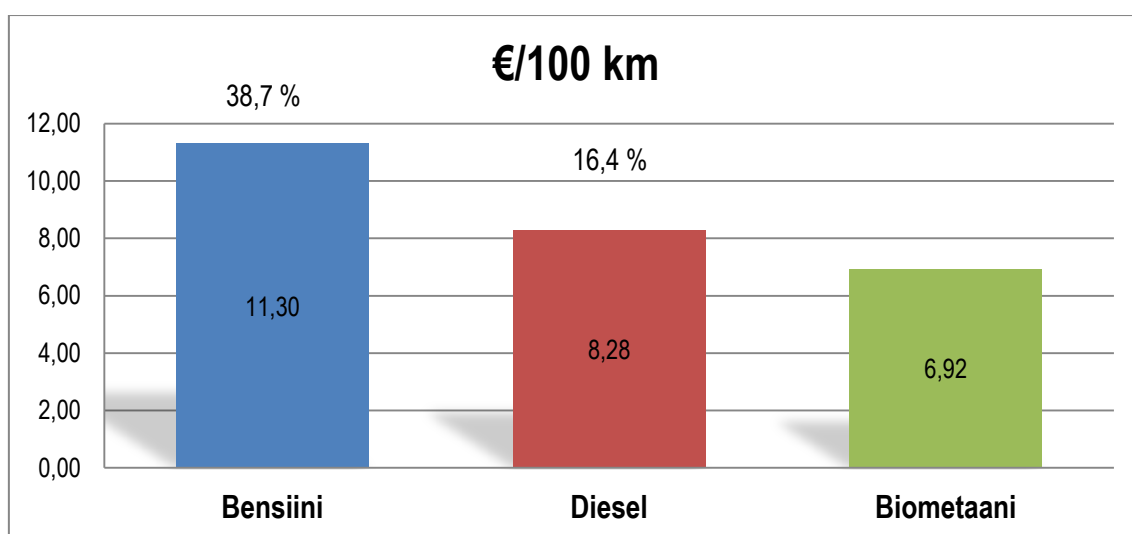
Investointikuluja voidaan vähentää metaanikaasun halvemmalla pistoolihinnalla. Biometaanin taloudellinen hyöty bensiiniin verrattuna on tämän päivän hinnoilla alle yhden euron per vertailulitrahinta energiasisältönä laskettuna. Tällä hetkellä raakaöljyn maailmanmarkkinahinta on alhainen. Biometaanin hinta ei ole toistaiseksi maailman markkinahintoihin sidoksissa eikä siitä käydä

kauppaa pörssissä. Taulukossa 3 on laskettu energiasisällön perusteella vertailuhinta biometaanille ja maakaasulle verrattaessa bensiinin litrahintaan. Biometaanin energiasisältö vastaa laskennallisesti 1,55:tä litraa bensiiniä ja 1,38:aa litraa dieselöljyä.

TAULUKKO 3. Vertailuhinta bensiinille

Vertailuhinta bensiinille	€/kg	€/L	1 L = kg CH <sub>4</sub>
Biometaan	1,45	0,935	1,55
Maakaasu	1,33	0,858	1,55

Pelkällä polttoaineen hinnoilla saadaan kuvan 15 mukainen vertailu, joka on tehty dieselin kulutuksen perusteella bensiinin ja biometaanin energiasisällön vastaaviin kulutuksiin per 100 kilometriä. Vertailuhinnat ovat näkyvissä taulukossa 4. Moottorin hyötysuhde-erot on huomioitu bensiinimoottorilla ja biometaanilla 15 % huonommaksi kuin dieselmoottorilla. Tämä seikka vaikuttaa polttoaineen kulutukseen.



KUVA 15. Polttoainehinta vertailu per 100 kilometriä

TAULUKKO 4. Polttoaineiden hinnat ja kulutus vertailua tehtäessä keväällä 2015

Kulutus L/100km	[L/kg]	Hinta [L/kg]	€/100 km
Bensiini	7,74	1,46	11,30
Diesel	6	1,38	8,28
Biometaan	4,78	1,45	6,92



Biometaanin saataisiin yleiseen tietouteen, jos valtion ja kunnan päättäjät tukisivat sen toimintaa. Kansantaloudellisesti paikallisalueiden kannalta vaikutukset voisivat olla huimat. Ruotsissa näin on tehty menestyksellisesti. Alueellisten jätteiden hyödyntäminen puhdistetuksi biokaasuksi ja biometaaniksi mahdollistaisi paikallisen liikenne-energian omavaraisuuden kasvattamisen. Jätteistä huolehtiminen järjestyisi samalla. Taloudellinen toimeliaisuus paikallisella alueella lisääntyy, kun raha jää kiertämään paikallisesti. Työllisyys lisääntyy, eikä ainoastaan biokaasualalla vaan myös yrityspalveluissa, maataloudessa ja kuljetuspalveluissa. Positiiviset ympäristövaikutukset maksimoituvat liikennekäytössä, koska tieliikenne on lähes kokonaan raakaöljyn varassa. (Lampinen 2012, 38.)

### 7.3 Lainsäädäntö

Lainsäädäntö on yhä enenevässä määrin alkanut hyödyttämään uusiutuvien energioiden käyttöä Suomessa. Osaltaan tässä ovat auttaneet EU:n direktiivit, joita jäsenvaltioiden velvoitetaan noudattavan. Vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden infrastruktuuridirektiivi (2014/94/EU) on julkaistu lokakuussa 2014. Direktiivin tarkoituksena on saada uusiutuvien polttoaineiden tankkausverkosto kaikkiin jäsenmaihiin, mitä ovat muun muassa uusiutuva sähkö, vety ja metaani. Direktiivin tarkoituksena on liikenteen ympäristövaikutuksien pienentäminen ja öljyriippuvuuden vähentäminen. Ohjeellisesti tankkauspisteiden välisen keskietäisyyden olisi oltava noin 150 kilometriä. Julkisia paineistetun metaanin (CBG/CNG) tankkauspisteitä tulisi olla käytettävissä viimeistään 31. päivänä joulukuuta 2020 asianmukainen määrä. Oulusta katsottuna lähin kaasuntankkausasema on tällä hetkellä Jepualla, jonne on matkaa noin 260 kilometriä. Direktiivin perusteella tankkauspisteelle olisi tarvetta Oulussa ja sen lähialueilla. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/94/EU. 2014.)

Valtioneuvoston ilmasto- ja energiapolitiittisen tulevaisuusselonteon (2009) visiona on leikata Suomen päästöjä vähintään 80 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteena on leikata henkilöautokannan ominaispäästöjä enintään tasolle 80–90 grammaa (CO<sub>2</sub>/km) vuonna 2030, 50–60 grammaa vuonna 2040 ja 20–30 grammaa vuonna 2050. Nykyisin keskikokoisen bensiinikäyttöisen henkilöauton keskimääräinen ominaispäästö on noin 185 grammaa alle viisi vuotta vanhoissa autoissa. Tämä tarkoittaa, että nyt olisi tehtävä toimenpiteitä, jotta tavoitteet voidaan saavuttaa. (VNK. 2009, 146.)

Vuonna 2013 liikenne- ja viestintäministeriö (LVM) julkaisi raportin ”Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä”. Tehtävänä oli luoda tiekartta liikenteen käyttövoimien kehityksestä vuoteen 2050 asti ja tuottaa ehdotuksia tiekartan toteuttamiseksi jo vuodelle 2020. Vuoden 2050 tavoitetilassa henkilöautoliikenne on lähes täysin riippumaton öljystä. Raskaassa liikenteessä nestemäisten ja kaasumaisten biopolttoaineiden osuus olisi vähintään 70 %. (Lampinen 2013, 8.)

#### **7.4 Myytit ja faktat**

Hankkeen aikana aiheeseen tutustuminen paljasti paljon ristiriitaista tietoa, mikä ilmenee joko puolesta tai vastaan. Pääasiallinen syy näissä on intressiedut, koska eri moottoritekniikat kilpailevat keskenään. Tuotetaan ristiriitaista tietoa, jossa pyritään osoittamaan toisen teknologian heikkous. Toisaalta dis- tai misinformaation vuoksi voidaan tehdä oman alueen strategian vastaisia päätöksiä. Sähköhybridi-joukkoliikennebussit lienevät tulevaisuudessa yleisiä suurten kaupunkien katukuvassa. Ainakin niiden puolesta viime aikoina on käyty varsin näkyvää positivistisistä kampanjointia muita teknologioita syrjien. Sähköajoneuvojen akku- tai polttokennotekniikka ei suoraan ratkaise hiilidioksidipäästöjä, jos niiden tarvitsema energia tuotetaan fossiililla polttoaineilla. Toisaalta akkutekniikkaa hyödyntävä ajoneuvo on kestävä vaihtoehto, jos sen tarvitsema sähkö tuotetaan esimerkiksi tuulienergialla tai uusiutuvalla polttoaine-energialla perinteisissä voimalaitoksissa. Vastaavasti polttokennoajoneuvot voivat käyttää esimerkiksi vetyä polttoaineena, jonka avulla tuotetaan kemiallisesti sähköenergiaa ajoneuvon sähkömoottoriin. Vedyn tuottaminen voisi tapahtua samalla periaatteella eli kestävästi. Akku- ja polttokennoteknologioita täytyy vielä kehittää tulevaisuudessa vastaamaan Suomen olosuhteita. Mahdollisuudet niissä ovat hyvät. Seuraavat kaksi myytti-faktakohtaa on tehty hankkeen aikana ilmenneisiin olettamuksiin.

**Myytti:** Päästöongelmat ratkeavat, kun siirrytään käyttämään EURO 6 -päästöluokituksen täyttäviä dieselbusseja ja ladattavia sähköhybridibusseja.

**Fakta:** EURO 6 -päästövaatimus on tiukka ja sitä myötä pakoputkiepäpuhtaudet vähentyvät. EURO 6 on pakollinen minimiraja säännellyille pakokaasukomponenteille. Uusien dieselbussien on täytettävä se, kuten kaikkien muidenkin eri käyttövoimia käyttävien bussien (Lampinen 2015). Muutos merkitsee monissa dieselmoottorityypeissä siirtymistä lisäaineelliseen pakokaasun jälkikäsittelyyn. Jälkikäsittelyjärjestelmässä käytetään lisäaineena muun muassa AdBlue-nimellä myy-

tävää urealiuosta, jota lisätään erilliseen säiliöön (Henkilöautojen päästömääräykset. 2015). Sen jäätymispiste on noin  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , joten sitä täytyy lämmittää pakkasilla. Lisäksi hiukkassuodattimia joudutaan käyttämään tiukemman pakoputkipäästövaatimuksen takia. Kokemukset näiden käytöstä ovat olleet toistaiseksi ongelmallisia Suomen olosuhteissa.

Suurin ongelma ovat kuitenkin hiilidioksidipäästöt, joita ei ole saatu vähenemään muiden pako- kaasupäästöjen tavoin (Henkilöautojen päästömääräykset. 2015). Monen kaupungin tai kunnan hiilidioksidipäästöjen vähentämisstrategiaan perustuen EURO 6 -vaatimus ei ole ratkaisu. Jos bussin polttoaineenkulutusta voidaan pienentää, vähenevät samalla myös hiilidioksidipäästöt. Monet autonvalmistajat vastustavat hiilidioksidirajoituksia, sillä suunnitellut sanktiot haittaisivat varsinkin suurten ja paljon kuluttavien autojen valmistajia (Henkilöautojen päästömääräykset. 2015). Siirtymällä uusiutuviin polttoaineisiin, kuten biometaaniin, voidaan molemmat päästöongelmat ratkaista.

Myytti: Bussien käyttövoimavaihtoehtojen ympäristökustannukset ovat kalleimmat biokaasulla, kuten vertailu kuvassa 16 osoittaa.



KUVA 16. Käyttövoimavaihtoehtojen ympäristökustannuksia busseissa (Korte. 2013)

Fakta: Kaasubussien elinkaaren kalleus kuvassa 16 perustuu EU:n puhtaiden ajoneuvojen hankintadirektiivin toissijaiseen kilpailutusvaihtoehtoon. Tämä kilpailutusvaihtoehto on käyttökelpoi-

nen biokaasuautojen hankinnassa vain, mikäli kilpailutus rajataan pelkästään biokaasuautoihin tai ainakin dieselmono fuel -autot rajataan kilpailutuksen ulkopuolelle (Lampinen 2011a, 19–20). Kyseinen kuvaaja on siis laadittu virheellisesti. Toissijainen kilpailutusvaihtoehto on erittäin puutteellisesti suunniteltu, koska se on toissijainen. Se soveltuu vain sellaisiin kilpailutuksiin, joissa mukana on vain yhden käyttövoiman edustajia (Lampinen 2015). Laskentamalli on täysin kelvoton biokaasu- ja dieselbussien välisessä vertailussa, koska sen tuottamat kustannukset tosiasiallisesti tarkoittavat vain elinkaaren energiankulutusta (Lampinen 2015). Tämän vuoksi ottomootorilla varustetut bussit häviävät dieselmoottoreilla varustetuille busseille riippumatta todellisista kustannuksista (Lampinen 2015). Vaikka biokaasubussi, sen polttoaine ja huolto olisivat ilmaisia, se häviäisi dieselbussille riippumatta siitä, kuinka paljon dieselbussi, sen polttoaine ja huollot maksaisivat ja kuinka paljon kustannuksia sen päästöt aiheuttavat (Lampinen 2015). Tämä antaa dieselbusseille ratkaisevan edun kilpailustilanteissa, huolimatta biokaasubussien selvästi alemmista päästöistä. Bussikilpailutuksissa ei pitäisi käyttää toissijaista, vaan ensisijaista kilpailutusvaihtoehtoa. Tällöin hankinnoissa otetaan huomioon todelliset yhteiskunnalliset kokonaiskustannukset. (Lampinen 2011a, 19–20.)

Volvo konsernina ei kuitenkaan ole lopettanut kaasuaajoneuvojen valmistusta, kuten kuvaajasta voisi päätellä. Esimerkiksi Volvon rekkayksikössä se on kasvava liiketoiminta-alue. Volvon linja-autoyksikkö on lopettanut kaasulinja-autojen valmistuksen, oletettavasti resurssisyistä. Usean teknologian kehittäminen rinnan vaatii resursseja ja pääomaa, jolloin pääoman puutteen vuoksi täytyy keskittyä vain yhteen teknologiaan. Tämä on normaalikäytäntö nykyään kaikissa liiketoimintaa harjoittavissa yrityksissä alaan katsomatta. Volvo on viime vuosina tuonut markkinoille useita erityyppisiä nesteytettyä metaania käyttäviä kuorma-autoja ja rekkvoja. Paineistetun metaanin (CNG) moottoreita on myös saatavilla, mistä esimerkkinä mainittakoon vuonna 2015 markkinoille tuotu kuorma-auto Volvo FE CNG, jonka suorituskyky on hyvä. Volvo konsernina ei vastusta kaasuaajoneuvoja. Itse asiassa Volvo pyrkii edistämään niitä aktiivisesti ja kansainvälisesti, eikä pelkästään omia mallejaan, mutta myös teknologiaa yleisesti. Volvon johtokuntaan kuuluva henkilö valittiin vuonna 2014 NGVA European (Natural & bio Gas Vehicle Association) pääsihteeriksi ja toinen Volvon johtokuntaan kuuluva henkilö on NGVA European hallituksen varapuheenjohtaja. NGVA Europe on suuri metaanin liikennekäytön edistämisyhdistys, joka myös toimii Euroopan edustajana maailman metaaniaajoneuvoyhdistyksessä. (Lampinen 2015.)

## 8 BIOMETAANIN HYÖDYT JA MAHDOLLISUUDET

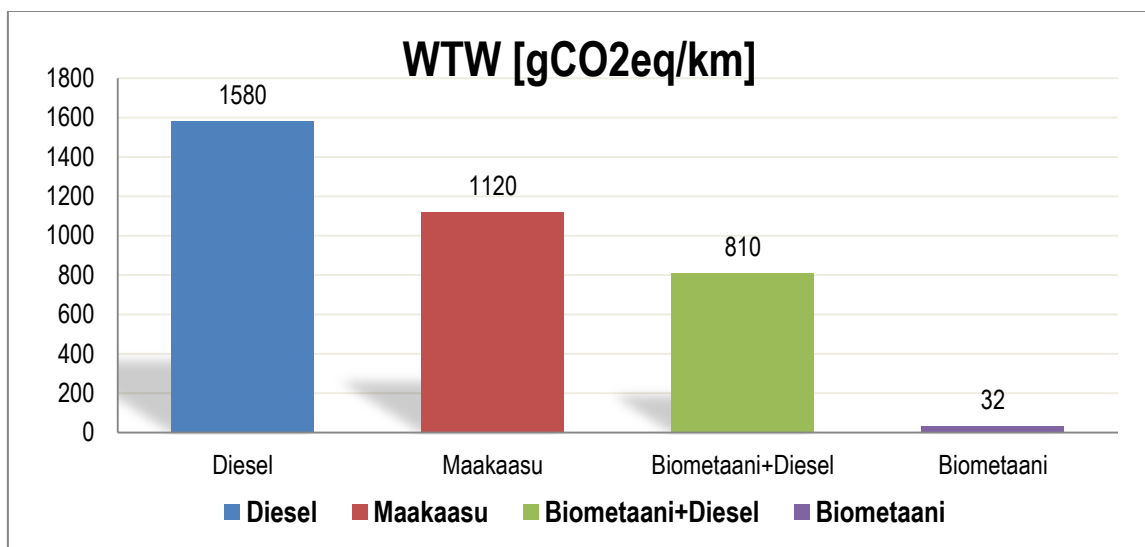
Biometaanin hyötyjä ja mahdollisuuksia on hyvin monenlaisia ja tässä opinnäytetyössä niitä on käsitelty suppeasti. Liikennepolttoaineena biometaanin hyödyt ovat ekologisia ja paikallista taloutta hyödyttäviä. Eletään kapitalistisessa kvartaalimarkkinataloudessa, jossa ehdottomasti tärkein painoarvo jokaisessa päätöksenteossa on raha. Kestävä kehitys ja pitkän tähtäimen kokonaisvaikutukset jäävät usein taka-alalle.

### 8.1 Ympäristövaikutukset

Positiivinen ympäristövaikutus on merkittävä, kun puhutaan biometaanin käytöstä liikennepolttoaineena. Tieliikenteen suurimmat päästöt ovat hiilidioksidi, typen oksidit ja hiukkaspäästöt. Biometaanille tärkeää on paras mahdollinen polttoaineen ja ilman sekoittuminen ja sitä kautta täydellisempi palaminen ja pienemmät päästöt kuin nestemäisillä fossiilisilla polttoaineilla. Yleisesti tämä pätee kaikkiin polttoaineisiin ja niiden palamiseen. Kemiallisen palamisreaktion seurauksena laskennallisesti metaani tuottaa luonnostaan 25 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin bensiini. Biometaani uusiutuvana polttoaineena tuottaa laskutavasta johtuen lähes 100 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin bensiini. Kun biokaasu hyödynnetään esimerkiksi biometaanina liikenteessä, sen sisältämä metaani muuttuu palaessaan hiilidioksidiksi. Hiilidioksidi on kasvihuonekaasuvaikutukseltaan noin 20 kertaa heikompi kuin metaani, kun tarkastelujaksona käytetään 100 vuoden aikajaksoa. Tästä seuraa, että suurimmillaan keskikokoisen biokaasuauton elinkaari-päästöt ovat negatiiviset. (Lampinen 2012, 19, 29.)

Kaasun pienen molekyylipainon takia palamisessa ei synny aromaattisia tai muita raskaita yhdisteitä, jotka ovat terveydelle vaarallisia. Biometaani palaa puhtaasti, koska siinä ei ole esimerkiksi rikkiä ja raskasmetalleja eikä palamisessa vapautuvia kiinteitä epäpuhtauksia. Useimmat pako-putkipäästöt vähenevät merkittävästi, muun muassa hiukkaspäästöt, joita vastaavasti dieselin palamisessa syntyy runsaasti. Fysikaalisista perussyistä johtuen kaasut tarjoavat parhaan poltto-prosessin hyötysuhteen ja alimmat päästöt. Yleisesti hiilidioksidipäästöjen kannalta maakaasu on fossiilisista polttoaineista ympäristöystävällisin ja kivihiili haitallisin. Biometaani on fossiiliin polttoaineisiin verrattuna ylivoimainen, koska se on uusiutuvaa polttoainetta. (Lampinen 2012, 29.)

Kuvassa 17 näkyy liikenteen käyttövoimien koko elinkaaren kasviuonekaasupäästöjä (engl. Well To Wheel, WTW) keskikokoiselle kaupunkilinja-autolle ilman matkustajia. Sama on sovellettavissa myös kuorma-autoille. WTW-tarkastelussa otetaan huomioon energialähteiden kasviuonekaasuintensiteetin (KHK-intensiteetti) lisäksi ajoneuvotekniikan vaikutus. Biokaasuautolla saavutetaan 98 % vähemmän päästöjä verrattuna vastaavaan dieselajoneuvoon. Maakaasulla vähemmän on 29 %. Kuvasta nähdään myös se, että biometaanin ja dieselin yhteiskäytössä voidaan hiilidioksidipäästöt puolittaa. KHK-intensiteetti tarkoittaa polttoaineen elinkaaren hiilidioksidipäästöjä hiilidioksidiekvivalenteina grammoina polttoaineen energiasältöä kohti. (Lampinen 2014b.)

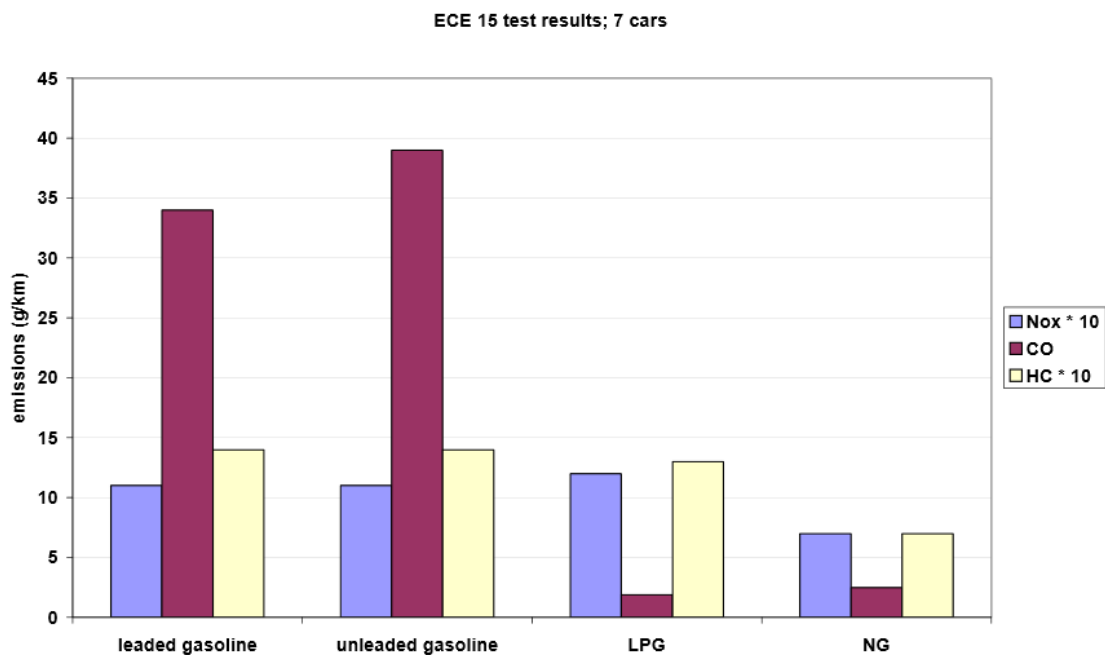


KUVA 17. Liikenteen käyttövoimien koko elinkaaren kasviuonekaasupäästöjä keskikokoisella kaupunkilinja-autolla ilman matkustajia (Lampinen 2014b)

### 8.1.1 Pakoputkipäästöt

Jaksottaisesti tapahtuva palaminen aiheuttaa edelleen enemmän ei-toivottuja palamistuotteita kuin jatkuva palaminen. Tästä aiheutuu epätäydellistä palamista ja pakoputkipäästöjä. (Palaminen polttomoottorissa. 2011). Kuvassa 18 on polttoaineiden päästövertailu vanhasta (1977) TNO-tutkimuslaitoksen tekemästä analyysistä (Nylund – Aakko-Saksa 2007). Testit ovat autoista, joissa ei ole katalysaattoria. Vaikka testi on vanha ja testeissä on käytetty maakaasua, tulokset osoittavat hyvin sen, että metaani on luonnostaan vähäpäästöinen. Testissä on käytetty lyijyllistä ja lyijytöntä bensiiniä, nestekaasua (LPG) ja maakaasua (NG). Biometaanilla korkeat hiilivedyt

puuttuvat ja näin ollen HC (HydroCarbon) -päästöt ovat merkittävästi alemmat. Biometaanin käyttö ei aiheuta PAH-päästöjä (Polysykliset Aromattiset Hiilivedyt). Tilanne on nykyään muuttunut päästövaatimuksien tiukennuttua, jolloin moottori- ja puhdistustekniikkaa on täytynyt kehittää. Myös polttoaineiden laatua on jalostettu pidemmälle, minkä seurauksena päästöerot ovat pienentyneet. Metaanipolttoaineen vähäiset pakoputkipäästöt ovat luonnostaan paremmat verrattuna fossiilisiin nestemäisiin polttoaineisiin. Katalysaattoreihin käytettävää kehitystyötä voitaisiin suunnata metaanipolttoaineelle oleellisimpiin päästökomponentteihin. Näin voitaisiin säästää ajoneuvojen kokonaiskustannuksissa.



KUVA 18. Polttoaineiden pakoputkipäästövertailu (Nylund – Aakko-Saksa 2007)

### 8.1.2 Melu

Liikenne on voimakas melun aiheuttaja kaupungeissa. Korkeimmat melutasot tulevat dieselmoottorikäyttöisistä linja-autoista ja kuorma-autoista. Kun ne vaihdettaisiin mono fuel -ottomoottoreilla toimiviin vastaaviin ajoneuvoihin, laskisi meluintensiteetti noin 50 %. Tämä on ollut yksi syy siirtyä linja-autoliikenteessä kaasubusseihin. (Lampinen 2012, 33; Saarela 2015.)

## 8.2 Imagoarvo

Biometaanin liikennekäyttö tarjoaa liiketoiminnassa kaiken olemassa olevan imagoarvon liiketoimintaketjun kaikissa vaiheissa. Tällä voidaan edistää markkinointia ja saada uusia asiakkaita yritysten käyttöön. Imagoarvon merkitys ja potentiaali ovat siksi valtava kaupungeille, kunnille ja yrityksille, varsinkin jos niiden liiketoiminta on keskittynyt ympäristö- ja energiasektorille. (Lampinen 2012, 52.)

## 8.3 Polttoaineen ja moottorin energiatehokkuus

Teknisessä mielessä biometaanin oktaaniluku on korkea. Oktaaniluku tarkoittaa polttoaineen puristuskestävyyttä. Mitä suurempi on oktaaniluku, sitä enemmän sitä voidaan puristaa ilman, että se syttyy itsestään. Polttoaineen itsesytyminen ottopolttomoottoreissa aiheuttaa nakutusilmiön, jota pyritään välttämään, koska se rasittaa moottorin rakennetta. Taulukossa 5 on vertailtu polttoaineiden ominaisuuksia. (Lampinen 2012, 30.)

TAULUKKO 5. Polttoaineiden ominaisuuksia (Lampinen 2012, 30)

Polttoaine	Oktaaniluku	Lämpöarvo [MJ/kg]	Energiasisältö [kWh/kg]
Biometaani (3% CO <sub>2</sub> )	140	50	13,9
Maakaasu (3% C <sub>2</sub> H <sub>x</sub> )	130	50	13,9
F1-bensiini	102	43,0	11,9
Tavallinen benssiini	95-98	43,0	11,9
Diesel	(Setaaniluku > 50)	42,6	11,8

F1-bensiinin oktaaniluku on korkein, mitä raakaöljystä voidaan jalostamalla saada. Ennen oktaanilukua yritettiin nostaa erilaisilla kemikaaleilla, mutta niiden käytöstä on luovuttu myrkyllisyyksien takia. Biometaanin oktaanilukua nostaa siihen mahdollisesti jalostuksesta huolimatta jäänyt hiilidioksidi, ja maakaasussa olevat raskaat hiilivedyt alentavat oktaanilukua. Polttoaine, jolla on korkea oktaaniluku mahdollistaa ottopolttomoottoreissa korkeamman puristussuhteen suunnittelun. Korkeampi puristussuhde nostaa termistä hyötysuhdetta, jolloin polttoaineen ominaiskulutus pienenee ja kokonaishyötysuhde paranee. Vastaavasti lämpörasitukset kasvavat. (Lampinen 2012, 29–30; Niskanen 2013, 98.)



## 9 TULOKSET JA POHDINTA

### 9.1 Asiakaskartoituksen tulokset

Asiakaskartoituksia on tehty opinnäytetyön aikana muutama. Yrityksiä on etsitty kuljetusalalta. Oulun kaupungin roolia suunnannäyttäjänä on pyritty saamaan alulle, mutta toistaiseksi sen parissa riittää haastetta. li Micropolis Oy:llä on päävastuu asiakaskartoituksissa, jotka jatkunevat ensi vuoden puolelle. Vuotta aikaisemmin Oulussa on tehty kuusi asiakaskartoituskäyntiä, jotka olivat toteuttaneet BusinessOulu, Gasum Oy ja Suomen Bioauto Oy. Opinnäytetyön aikana haastatellut kuljetusyrietykset valittiin niin, ettei samoja yrityksiä käyty enää tapaamassa.

Ensimmäinen yritys, jonka kanssa saatiin sovittua tapaaminen, on pääasiassa paikallisesti toimiva kuljetusyriety. Yrityksellä on 8 omaa jakelukuorma-autoa. Tapaamisessa oli mukana opinnäytetyön kirjoittajan lisäksi lin Micropolis Oy ja Oulun Jätehuolto Oy. Yrityksellä ei ollut aikaisemmin tietoutta kaasuautoilusta. Tapaamisessa esiteltiin omat aiheet, minkä jälkeen keskusteltiin. Opinnäytetyössä liitteenä olevaa aineistoa käytettiin tässä tapaamisessa ensimmäistä kertaa. Kuljetusyrietyksen edustaja esitti kysymyksiä, joihin kaikkiin ei luonnollisesti osattu vastata, mutta jotka selviteltiin jälkikäteen. Yritys oli kiinnostunut biometaanin käytöstä polttoaineena ja valmis kokeilemaan sitä tulevaisuudessa. Dieselkaluston ongelmana koettiin pakoputkipäästöjen puhdistustekniikka, missä urean käyttö koetaan hankalana ja hiukkassuodattimien tukkeutuminen aiheuttaa huoltotarvetta. Tankkausasemien sijainti haluttiin saada lähelle päivittäisiä kulkureittejä. Ajoneuvojen takuuajan mahdollinen menettäminen aiheuttaa ongelmaa yritykselle. Yritykselle päätettiin tehdä omat todellisiin polttoainekulutuksiin perustuvat laskelmat.

Toinen yritys, jossa vierailtiin, on paikallinen jätehuoltoyritys. Heillä kaasuaajoneuvoista oli ennestään tietoutta, joten suhtautuminen oli positiivista ja asiallista. Yritykselle on tehty räätälöidyt laskelmat lin Micropoliksen kanssa ja ne esiteltiin heille. Yritys on erittäin kiinnostunut käyttämään tulevaisuudessa biometaanin liikennepolttoaineena. Tämän kaltaisille yrityksille imagoarvo on merkittävä ja tällä tavalla ne saivat luotua yritykseensä ympäristöystävällistä brändiä.

Seuraavaksi päätettiin järjestää biokaasutilaisuus, johon kutsuttiin muutamia kuljetusyrietyksiä. Tilaisuus järjestettiin Oulun Jätehuolto Oy:n tiloissa ja paikalla oli Oulun Jätehuolto Oy:n henkilös-

tön lisäksi edustajia myös Oulun ammattikorkeakoululta ja lin Micropolis Oy:stä. Tilaisuuteen pyydettiin mukaan myös Suomen Bioauto Oy:n edustaja, koska haluttiin saada syvällisempää tietoa dual fuel -muunnostöistä. Tilaisuuden tarkoituksena oli esitellä aihetta ja Oulun hankkeen aikataulua sekä kertoa mahdollisuudesta saada kannattavuuslaskentaa. Paikalle saatiin neljän eri toimialan kuljetusyritystä. Omat aihealueet esiteltiin kuljetusyrityksille ja esitelmien jälkeen yrityksillä oli mahdollisuus kysellä aiheesta. Muutostyöstä saatiin eniten kysymyksiä ja niihin myös vastauksia Suomen Bioauto Oy:n edustajalta. Yleisesti ottaen yritykset olivat kiinnostuneita biometaanin käyttömahdollisuudesta. Yrityksillä on jakelureittien osalta pieniä eroavaisuuksia, mikä tekee yrityksiä tarpeista monimuotoisia.

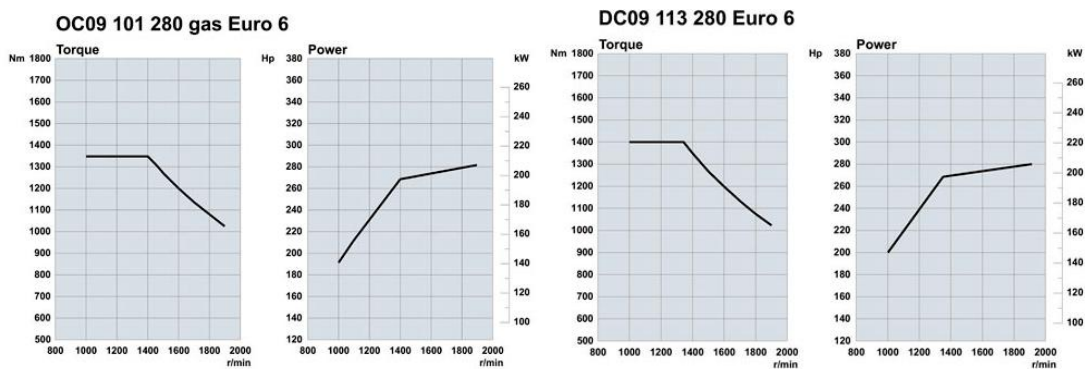
Yhteenvedon näistä voidaan sanoa, että asiakaskartoitukset olivat erittäin positiivisia. Kaikki yritykset eivät vastanneet yhteydenottopyyntöihin, joten kaikille asia ei ole vielä ajankohtainen ja kaasuautoilu voi olla vielä tuntematon asia. Arveluttavana seikkana koetaan myös kokemusten puuttuminen dual fuel -ajoneuvoista, joten niiden hankinnassa voi yleisesti olla olemassa pieni riskitekijä. Polttoaineen hinta ja hinnan kehitys täytyisi sopia kuljetusyrityksen ja asemanpitäjän välillä, jotta mahdollisia esisopimuksia voitaisiin tehdä. Näyttää selvästi siltä, että dual fuel -hankinnan voidaan kokea olevan taloudellisesti kiinnostava ja sen vuoksi vartenotettava vaihtoehto aluksi. On todennäköistä, että muutama kartoituksessa mukana ollut yritys lähtee kokeilemaan kaasuautoilua. Toivottavasti heidän esimerkinsä kannustaa muita mukaan jatkossa.

Ylivoimainen vaihtoehto olisi mono fuel -kaasuajoneuvo, mutta ajoneuvojen investointiin tarvittava ylimääräinen raha rajoittaa kiinnostusta niiden käyttöönottoon. Lisäksi täytyisi olla koko auton elinkaarenpitäinen sopimus kaasun saatavuudesta ja biometaanin mahdollisten tuotantohäiriöiden vuoksi varapolttoainejärjestely esimerkiksi maakaasulla järjestettynä.

## **9.2 Ottomoottorin kehittyminen**

Mono fuel -kaasuajoneuvot ovat tehdastekoisia, jolloin suunnittelu on valmistajakohtaista. Esimerkiksi Scania on ilmeisen hyvin onnistunut käyttämään resursseja moottorisuunnitteluun metaanipolttoaineella. Vuonna 2012 esitellyillä EURO 6 -hyväksytyillä 9 litran ottomoottoreilla on epätavallisen korkea vääntömomentti. Pienemmän moottorin teho ja vääntömomentti kasvoivat Euro 5 -arvoista 270 hv / 1100 Nm arvoihin 280 hv / 1350 Nm. Tehokkaamman moottoriversion suorituskyky kasvoi vielä enemmän Euro 5 -version arvoista 310 hv / 1250 Nm arvoihin 340 hv /

1600 Nm. Vertailuna voidaan käyttää Volvo FE CNG -kuorma-autoa, jonka 9 litran ottomoottorin tehot ovat 320 hv / 1356 Nm. Moottorit soveltuvat kuorma- ja linja-autokäyttöön ja soveltavat puhdistustekniikkana lambda-säädintä ja hapetuskatalysoittoria. Moottorin toimintaperiaate on stoikiometrinen ottoprosessi sytytystulpilla, hukkaportilla varustettu turboahdin, EGR-venttiili, jossa on pakokaasujen takaisinkierrätys 5–20 -prosenttisesti, monipistesuihkutus ja kolmitoimikaatalysoittori. Kuvassa 19 on vertailu Scanian metaanikäyttöisen ottomoottorin (OC09 101) ja dieselmootorin (DC09 113) suorituskykyä. Dieselmootorin hyötysuhteeksi optimaalisella polttoaineen ja ilman seoksella ilmoitetaan 44 % ja ottomoottorin 38 % (Panuma 2012; Nordström 2012.)



KUVA 19. Scania EURO 6 hyväksytyjen diesel- ja ottomoottoreiden suorituskyky (Nordström 2012)

Ajettavuuden suhteen dieselien veroisia uusia Scania-kaasumoottoreita voidaan käyttää esimerkiksi aluejakelussa ja kaukoliikenteessä. Kaasuauton toimintasäde voidaan lähes kaksinkertaistaa noin 600 kilometristä jopa 1100 kilometriin asentamalla valinnaiset nestekaasusäiliöt, jotka ovat tarjolla tehdasasennettuina kuorma-autoihin. (Nordström 2012.)

Tehdastekoisena kaasukäyttöiset mono fuel -ajoneuvot ovat kalliimpia kuin dieselversiot. Riippuen valmistajasta, raskaan kaluston kaasuottomoottori on noin 45 000 € kalliimpi ja näin ollen vähentää kiinnostusta lisäinvestointeihin. Scanian mukaan moottori nostaa 16 000 € hintaa, jolloin säiliöille ja kaasujärjestelmälle jää loppuosa hintaerosta. Tosin saatavilla on vain täysautomaattivaihteisto, jonka lisähinta on muutamia tuhansia euroja. Kaasusäiliövaihtoehtoja on tulossa lisää, minkä seurauksena hinnoittelu muuttuu. Kaasumoottoreiden valmistusmäärät ovat vain murtoosa dieselmootoreiden vastaavista määristä, minkä vuoksi hinnat ovat toistaiseksi dieselmootoreita kalliimpia. (Panuma 2012.)

Oulun ammattikorkeakoululla on Volter Oy:n toimittama pien-CHP-laitos (Combined Heat and Power), joka käyttää polttomoottorina Sisun dieselmoottoria lämmön- ja sähköntuotannossa. Moottori on muunnettu ottomoottoriksi muun muassa lisäämällä siihen sytytystulpat. Laitetta on käytetty biometaanilla. Moottorivalmistajat voisivat käyttää tätä menetelmää laajamittaisemmin ajoneuvoteollisuudessa. Ainakin se vaatii tuotekehitystä ja resursseja ja sitä kautta hinta saattaa nousta kannattavuuden ulkopuolelle.

Ottomoottoria on vuosisadan saatossa kehitelty nimenomaan bensiiniä varten, jolloin sitä on täytynyt optimoida nestemäistä polttoainetta varten, mitä ei välttämättä tarvitsisi kaasumaisilla polttoaineilla. Esimerkiksi polttoaineen suihkutuslaitteisto on pitänyt rakentaa monimutkaisemmin, koska syttymiskelpoinen bensiini-ilmaseos täytyy olla kaasumaista. Bensiinin heikohko laatu, verrattuna esimerkiksi metaaniin, on estänyt korkeamman puristussuhteen hyödyntämisen ottopolttomoottoreissa. Toinen tapa nostaa ottopolttomoottorin tehoja on käyttää ahdinta, jolloin biometaanilla voidaan käyttää korkeampaa ahtopainetta.

Puristussuhteen nostamisessa tulee huomioida tarkasti mekaanisten osien kestävyys. Vaihtamalla parempilaatuisiin polttoaineisiin, kuten biometaaniin, ottopolttomoottorien suunnittelulle annetaan paremmat mahdollisuudet. Ottopolttomoottorin hyötysuhde voitaisiin nostaa lähemmäs dieselpolttomoottorin hyötysuhdetta. Tämä aiheuttaa sen, että bensiiniä ei voida enää käyttää rinnakkaispolttoaineena. Ottomoottorin tekninen kehitys kaasujoneuvoissa on selkeästi parantunut viimeisten vuosien saatossa. Tämä on positiivinen asia. (Lampinen 2012, 29–30; Niskanen 2013, 98.)

### **9.3 Kaasujoneuvon kannattavuusesimerkki**

Kannattavuustarkastelulla voidaan laskea investoinnin takaisinmaksuaika. Laskenta tehdään dieselin energiasisällön ja kulutuksen perusteella taulukkolaskentaohjelmalla. Vastaavat energiasisällöt saadaan sen perusteella metaanille ja kulutuksen osalta käytetään noin 10–15 % suurempaa kerrointa metaanille johtuen ottomoottorin huonommasta hyötysuhteesta. Dual fuel -käytössä arvio voidaan tehdä suhteessa 50 % / 50 % eli dieseliä ja metaania kuluu oletettavasti tässä suhteessa. Todellisuudessa suhde vaihtelee kuormituksen mukaan.

Esimerkkinä käytetään biometaanikäyttöisen kuorma-auton taloudellisuutta verrattuna diesel-käyttöiseen. Kuorma-auton käyttöikä on määritelty kuudeksi vuodeksi. Kuorma-auton dieselkulutus on 15 000 litraa vuodessa ja sillä ajetaan 60 000 kilometriä, jolloin sen keskipolttokulutukseksi saadaan 25 litraa / 100 kilometriä. Jos dieselin hinta on 1,3 € litralta, saadaan polttoainekuluiksi 19 500 € vuodessa. Biometaaninhintana on käytetty keskimääräistä halvempaa hintaa keväällä 2015, mikä on ollut 1,37 €/kg. Laskelmat näkyvät taulukossa 6 ja ne tehty lin Micopolis Oy:n toimesta hankkeeseen liittyen.

TAULUKKO 6. Esimerkkilaskelma dieselin polttoainekustannuksista (Takalo 2015)

Vuosikulutus		
<b>Polttoaineen kulutus/vuosi</b>	MWh/a	151
diesel	l/a	15 000
biometaan	kg/a	10 854
polttoaineen kulutus	l/a/auto	15 000
keskipolttokulutus	l/100 km	25
<b>Polttoainekustannus/vuosi</b>	€	19 500

Polttoaineiden kustannukset vuodessa mono fuel- ja dual fuel -ajoneuvoissa näkyvät taulukossa 7. Dieselillä kustannukset ovat 19 500 €, dual fuel -käytössä 17 185 € ja mono fuel -käytössä 14 870 € vuodessa.

TAULUKKO 7. Esimerkkilaskelma polttoainekustannuksista dual fuel- ja mono fuel -ajoneuvoissa (Takalo 2015)

<b>Polttoaineen käyttö kaasuaajoneuvolla</b>		
biokaasun osuus polttoaineen kulutuksesta*	%	50 %
	MWh/a	75
	l/a	7500
	kg/a	5 427
dieselin osuus polttoaineen kulutuksesta	%	50 %
	MWh/a	75
	l/a	7 500
<b>Polttoaineen hinta</b>		
Biokaasu	€/kg	1,37
	€/MWh	98,6
	€/vuosi	7 435
Diesel	€/l	1,30
	€/MWh	129,4
	€/vuosi	9 750
Dualfuel	€/vuosi	17 185
<u>monofuel</u>	€/vuosi	14 870
Diesel	€/vuosi	19 500

TAULUKKO 8. Polttoainesäästöt prosentteina dual fuel- ja mono fuel -ajoneuvoissa (Takalo 2015)

<b>Säästö polttoainekuluissa</b>		
Säästö dualfuel	€/vuosi	2 315
	%	12 %
Säästö monofuel	€/vuosi	4 630
	%	24 %

Säästöt prosentteina ovat dual fuel -käytössä 12 % ja mono fuel -käytössä 24 % vuodessa. Dual fuel -muutoksen takaisinmaksuaika on laskettu taulukossa 9, jonka mukaan esimerkki-investointi maksaa itsensä takaisin 2,3 vuodessa. Muutoshintana on käytetty 5 000 € ja laskentakorkona 5 %:a.

TAULUKKO 9. Dual fuel -muutoksen takaisinmaksuaika (Takalo 2015)

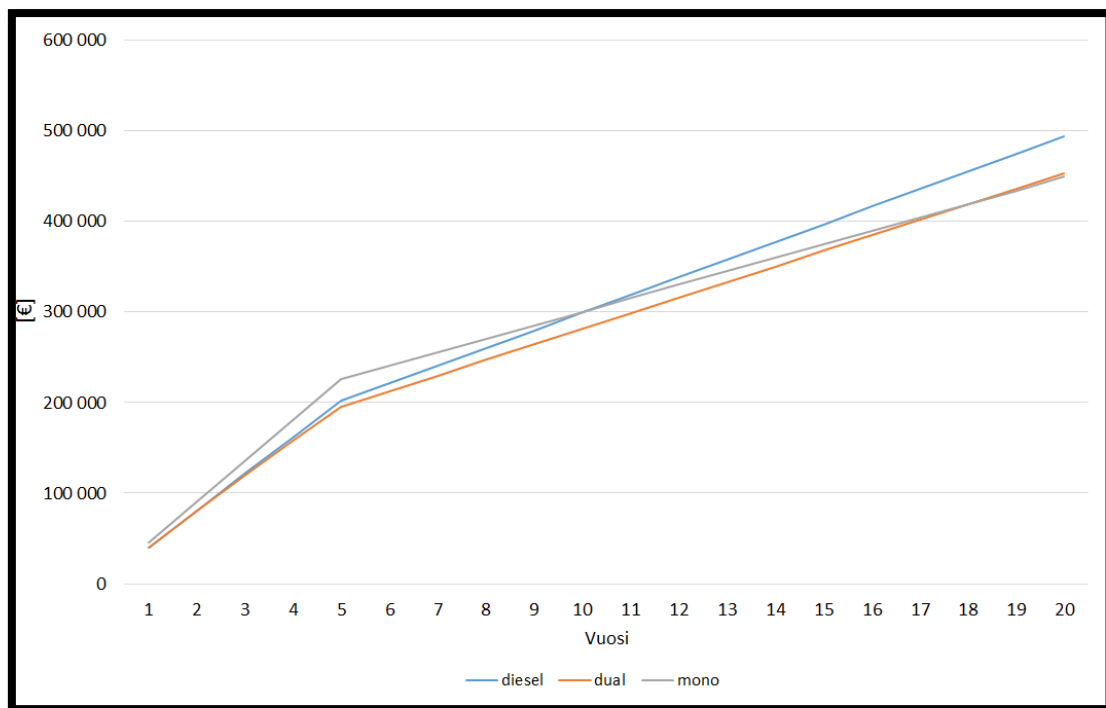
<b>Muutuskustannukset</b>		
Kuorma-auton muutostyö	€/auto	5 000
Muunnettavia ajoneuvoja	kpl	1
Kokonaisinvestointi		5 000
<b>Takaisinmaksuaika</b>	<b>vuotta</b>	<b>2,3</b>
Laskentakorko	%	5 %
Annuiteetti		0,4630
Pääomakulut (annuiteetti)		2 315

Tehdastekoisien mono fuel -ottomootorilla varustetun kuorma-auton kannattavuus on laskettu viiden vuoden takaisinmaksuajalla ja laskentakorkona on käytetty 5 %:a taulukossa 10. Lisähintana on käytetty 41 000 €, jonka kaasujoneuvotekniikka suurin piirtein maksaa. Tässä ajassa investointi ei kannata, jos auton käyttöikä on vain kuusi vuotta. Mono fuel -auto saavuttaa kumulatiivisesti laskettuna dieselauton 10 vuoden kohdalla, minkä jälkeen säästöjä syntyy polttoainekustannuksissa ja verohyötynä. Ajoneuvovero määräytyy hiilidioksidipäästöjen mukaan ja se on huomioitu kumulatiivisessa laskennassa. Investointi täytyisi olla Suomessa puolet halvempi, jotta se koettaisiin kannattavaksi, tai vaihtoehtoisesti dieselin hinnan pitäisi kallistua. Jo 10 sentin polttoaineen korotuksella saadaan 1 500 € hyötyä metaanin eduksi vuosittain.

TAULUKKO 10. Dual fuel -muutoksen takaisinmaksuaika (Takalo 2015)

Investointikustannukset		
<b>Diesel (alv 0)</b>	€	90 000
Annuiteetti		0,2310
Laskentakorko	%	5 %
Takaisinmaksuaika	vuotta	<b>5,0</b>
Pääomakulut (annuiteetti)		20 788
<b>Monofuel (alv 0)</b>	€	131 000
Annuiteetti		0,2310
Laskentakorko	%	5 %
Takaisinmaksuaika	vuotta	<b>5,0</b>
Pääomakulut (annuiteetti)		30 258
<b>Säästö polttoainekustannuksissa</b>	€/a/auto	4 630

Kuvassa 20 näkyy kumulatiivinen takaisinmaksuaika graafisena. Laskelmien mukaan mono fuel - ajoneuvo saavuttaa dieselajoneuvon 10 vuoden kuluttua keväällä 2015 käytetyllä hintatasolla. Raakaöljyn maailmanmarkkinahinta oli tällöin alhainen.



KUVA 20. Kumulatiivinen takaisinmaksuaika (Takalo 2015)

## 10 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin biometaanin liikennepolttoainemahdollisuutta Oulussa, mistä on meneillään Oulun Jätehuolto Oy:n vetämä hanke. Biokaasua saadaan Oulussa Biotehdas Oy:n hallinnoimasta bioreaktorista, josta saatavissa oleva kaasukapasiteetti on liikennekäyttöön noin 8 000 MWh vuodessa. Biometaanin etuina perinteisiin öljypohjaisiin nestemäisiin polttoaineisiin ovat moottoritekniset mahdollisuudet, ympäristövaikutukset ja edulliset polttoainekustannukset. Kokonaisvaltaisesti ajateltuna biometaanin liikennekäyttö mahdollistaa biokaasun laajentumista Suomessa ja lisää omavaraisuutta sekä paikallista taloutta.

Oulun Jätehuolto Oy on käynnistänyt markkinavuoropuhelun biokaasun hyödyntämisestä liikennepolttoaineena. Markkinavuoropuhelun tavoitteena on potentiaalisten yhteistyökumppaneiden kartoittaminen ja teknisen vuoropuhelun käynnistäminen hankkeen toteuttamiseksi. Hankkeen tavoitteena on saada ensimmäinen kaasuntankkausasema Ouluun, minkä maantieteellinen merkitys on varmasti suuri. Lainsäädäntö ja EU:n pakottamispolitiikka alkavat yhä enemmän suosimaan uusiutuvan energian muotoja Suomessa. Tällaiset lainsäädännölliset keinot tukevat hyvin hankkeen tavoitteita. Toivottavasti Suomen uusi hallitus toimillaan edistäisi entisestään samankaltaisia hankkeita.

Haasteena asematoiminnan aloittamiselle on kysynnän ja tarjonnan luominen yhtä aikaa. Tämän vuoksi hankkeen aikana tehdään asiakaskartoitusta, jossa etsitään potentiaalisia biokaasuautoilusta kiinnostuneita asiakkaita. Kaasulle tulisi saada suuri peruskulutus jo ennen tankkausaseman perustamista. Tämän vuoksi asiakaskartoitusta varten on tehty materiaalia, jolla on pyritty saamaan teknisistä perustietoja aihealueesta. Investointien kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti investointituet, joita on Suomessa myönnetty samantapaisille hankkeille aikaisemmin.

Asiakaskartoituksissa saatu palaute on ollut positiivista, ja sen seurauksena voidaan olettaa, että oululaisia kuljetusyrityksiä saadaan mukaan biometaanin liikennekäyttäjiksi. Toivottavasti heidän esimerkkinsä kannustaa muita liikennöitsijöitä, autoilijoita ja kaupunkia siirtymään jatkossa biometaanin käyttäjiksi, ainakin osittain.

Kaasuajoneuvojen vaihtoehtoja on muutamia ja niiden osalta paras vaihtoehto eli mono fuel -ottomoottori on vielä vähäisen kysynnän takia hinnaltaan korkeahko. Tämä on ratkaiseva asia



yksityisille yrityksille. Mono fuel -kaasuajoneuvo voisi olla varteenotettava vaihtoehto, jos ajoneuvojen käyttöikä on yli 10 vuotta, tai mikäli dieselin hinta nousee kevään 2015 hintatasoon verrattuna. Tällöin liiketoimintaa voitaisiin markkinoida esimerkiksi ympäristöystävällisyydellä, joka kasvattaisi yrityksen imagoarvoa. Teknisesti moottorit ovat selvästi jo kehittyneet eivätkä tiettyjen valmistajien erot dieselmoottoreihin ole suuret. Toisaalta kaikki valmistajat eivät panosta kaasu-tekniikkaan ja vaarana voi olla kilpailun puute. Dual fuel -muunnostyöhankinnat koetaan erittäin kiinnostavina alhaisemman investointihinnan takia ja lyhyemmän takaisinmaksuajan vuoksi.

Aiheeseen tutustuminen paljasti paljon ristiriitaista tietoa. Pääasiallinen syy näissä on intressiedut, mutta myös tietämättömyys. Tämä opinnäytetyö pyrkii edistämään biometaanin liikennekäyttöä. Intressiedut voisi kääntää vastakkainasettelusta positiiviseksi asiaksi, koska kaasu liikennepolttoaineena ei tule korvaamaan yksin liikennepolttoainemarkkinoita. Metaanikaasu voisi olla täydentävä optio esimerkiksi polttokennoajoneuvojen rinnalla ja työllistää alueellisesti muiden käyttövoimien kanssa. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää jatkossa perusmateriaalina, kun asiakaskartoituksia tehdään lisää tämän ja ensi vuoden aikana.

Yleisesti voidaan todeta, että uusiutuvassa energiassa on Suomessa huomattava potentiaali. Lyhyellä aikavälillä suurin lisäys voidaan saada esimerkiksi metsä- ja peltoenergian käytöstä, biokaasusta sekä lämpöpumpuista. Toivottavasti tullaan näkemään kotimainen, mahdollisesti paikallinen ja uusiutuvan energian yritys, joka jatkossa hallinnoi menestyksellisesti oululaista kaasuntankkausverkostoa.

## LÄHTEET

Aalto, Mikko 2011. Biokaasu liikennepolttoaineena. Saatavissa:

[http://www.oamk.fi/hankkeet/bioenergia/biog/docs/biokaasu\\_liikennepolttoaineena.pdf](http://www.oamk.fi/hankkeet/bioenergia/biog/docs/biokaasu_liikennepolttoaineena.pdf)

Hakupäivä 4.6.2015.

Biokaasunjalostus biometaaniksi. 2015. Biokaasuauto. Saatavissa:

<http://www.biokaasuauto.fi/biokaasu/biokaasusta-biometaania>

Hakupäivä 7.5.2015.

Engine & Fuel System Integration. 2015. WestPort. Saatavissa:

<http://www.westport.com/is/core-technologies/combustion/hpdi/integration>

Hakupäivä 12.5.2015.

Etusivu. 2015a. li Micropolis Oy. Saatavissa: <http://www.greenpolis.fi/fi/etusivu/>

Hakupäivä 4.5.2015.

Etusivu. 2015b. Gasum Oy. Saatavissa:

<http://www.gasum.fi/Puhtaampiliikenne/Tankkausasemat/>

Hakupäivä 4.5.2015.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/94/EU. 2014. Saatavissa:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0094&from=FI>

Hakupäivä 6.6.2015.

Fact Sheet. 2000. U.S DEPARTMENT of ENERGY. Saatavissa:

[http://www.kaapeli.fi/~tep/projektit/liikenteen\\_biopolttoaineet/CNGbuses\\_MythvsFact.pdf](http://www.kaapeli.fi/~tep/projektit/liikenteen_biopolttoaineet/CNGbuses_MythvsFact.pdf)

Hakupäivä 11.5.2015.

Henkilöautojen päästömääräykset. 2015. Motiva. Saatavissa:

[http://motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/henkiloautojen\\_paastomaaraykset](http://motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/henkiloautojen_paastomaaraykset)

Hakupäivä 7.5.2015.

Kaasuautot. 2015. Motiva. Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/kaasuautot](http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/kaasuautot)

Hakupäivä 4.5.2015.

Korte, Sirpa 2013. Lausunto joukkoliikenteen tulevaisuuden käyttövoimasta. Saatavilla:

<http://ah.turku.fi/kh/2013/1008023x/2977252.htm>

Hakupäivä 5.5.2015.

Laitteiston asennus. 2015. TerraGas. Saatavissa: <http://www.terragas.fi/asennus.html>

Hakupäivä 12.5.2015.

Lampinen, Ari 2008. Liikennebiokaasulainsäädäntö. Saatavissa:

<http://www.vei.fi/files/pdf/300/Liikennebiokaasulainsaadanto.pdf>

Hakupäivä 14.5.2015.

Lampinen, Ari 2011a. Kilpailutusohje kunnille ja muille julkisen sektorin organisaatioille biokaasu-ajoneuvojen ja biokaasukäyttöisten kuljetuspalveluiden hankintaan. Saatavissa:

<http://www.liikennebiokaasu.fi/images/stories/pdf/Kilpailutusohje.pdf>

Hakupäivä 11.5.2015.

Lampinen, Ari 2011b. Kansalaisen liikennebiokaasuopas. Saatavissa:

[http://liikennebiokaasu.fi/images/stories/pdf/Kansalaisen\\_opas.pdf](http://liikennebiokaasu.fi/images/stories/pdf/Kansalaisen_opas.pdf)

Hakupäivä 11.5.2015.

Lampinen, Ari 2012. Tiekartta uusiutuvaan metaanitalouteen. Saatavissa:

[http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Sektoriraportti\\_UE-metaani\\_LVM\\_2012.pdf](http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Sektoriraportti_UE-metaani_LVM_2012.pdf)

Hakupäivä 4.5.2015.

Lampinen, Ari 2013. Biokaasu. Suomen biokaasuyhdistyksen jäsenlehti 2/2013.

[http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Biokaasulehti\\_lokakuu2013.pdf](http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Biokaasulehti_lokakuu2013.pdf)

Hakupäivä 16.5.2015.

Lampinen, Ari 2014a. Kunnallispolitiikka loi Ruotsin EU-liikenteen menestystarinan. Saatavissa:

<http://www.cbg100.net/news/kunnallispolitiikka-ruotsin-ue-liikenteen-menestystarinan-salaisuus/>

Hakupäivä 5.5.2015.

Lampinen, Ari 2014b. Suomen liikenteen käyttövoimien kasvihuonepäästöt 2014. Saatavissa:

<http://www.cbg100.net/products/suomen-liikenteen-kayttovoimien-kasvihuonekaasupaastot/>

Hakupäivä 5.6.2015.

Lampinen, Ari 2015. Re: Volvo artikkeli. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Sakari Kela. 6.5.2015.

Maakaasu käsikirja. 2014. Suomen maakaasuyhdistys.

[http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/kuvakooste\\_181110.pdf](http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/kuvakooste_181110.pdf)

Hakupäivä 4.5.2015.

MAN Lion's City CNG. 2015. MAN linja-auto Suomi. Saatavissa:

<http://www.bus.man.eu/fi/fi/kaupunkibussit/man-lions-city-cng/yleista/Yleista.html>

Hakupäivä 13.5.2015.

Moran, Michael J - Shapiro, Howard N - Boettner, Daisy D – Bailey, Margaret B 2012. Principles of engineering thermodynamics. Aasia: Wiley.

Moran, Michael J - Shapiro, Howard N - Boettner, Daisy D – Bailey, Margaret B 2015. Thermodynamics, 7e. Saatavissa: <http://www.wiley.com/college/moran/0470495901/animations/>

Hakupäivä 6.5.2015.

Nesteytetty maakaasu. 2015. Aga. Saatavissa: [http://lng.aga.fi/wp-](http://lng.aga.fi/wp-content/uploads/2013/12/Nesteytetty-maakaasu.pdf)

[content/uploads/2013/12/Nesteytetty-maakaasu.pdf](http://lng.aga.fi/wp-content/uploads/2013/12/Nesteytetty-maakaasu.pdf)

Hakupäivä 7.5.2015.

Niskanen, Perttu 2013. T332103 Polttomoottoritekniikka 1 3 op. Opintojakson luennot syksyllä 2013. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö. Luentomoniste.

Nordström, Per-Erik 2012. Press info. Scania. Saatavissa:

[http://www.scania.fi/Images/IAA%202012%20Scania%20Euro%206%20moottorit\\_tcm65-336555.pdf](http://www.scania.fi/Images/IAA%202012%20Scania%20Euro%206%20moottorit_tcm65-336555.pdf)

Hakupäivä 12.5.2015.

Nylund, Nils-Olof – Aakko-Saksa, Päivi 2007. Liikenteen polttoainevaihtoehdot kehitysraportti.

Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/954/liikenteen-polttoainevaihtoehdot----kehitystilanneraportti.pdf>

Hakupäivä 11.5.2015.

Palaminen polttomootorissa. 2011. Autotieto. Saatavissa:

[http://www.autotieto.net/pakokaasukurssi/oppimateriaalit/palaminen\\_polttomootorissa.htm](http://www.autotieto.net/pakokaasukurssi/oppimateriaalit/palaminen_polttomootorissa.htm)

Hakupäivä 5.5.2015.

Palvelut. 2015. Oulun Jätehuolto Oy. Saatavissa: <http://oulu.ouka.fi/jatehuolto/palvelut/index.html>

Hakupäivä 4.5.2015.

Panuma, Jari 2015. Re: Jäteauto Scania kaasumootorilla. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Sakari Kela. 10.4.2015.

Saarela, Juhan 2015. Kehittämisinsinööri, Stormossen. Keskustelu 25.5.2015.

Skoda Octavia Combi G-TEC. 2015. Saatavissa: <http://www.skoda-auto.com/en/models/octavia-combi-g-tec/overview>

Hakupäivä 12.5.2015.

Sounak Bhattacharjee 2015. Mechanical enegineering. Saatavissa:

<http://sounak4u.weebly.com/gas-power-cycle.html>

Hakupäivä 6.5.2015.

Takalo, Heidi 2015. Biokaasun liikennekäyttö Oulun seudulla.

Tekninen info, biokaasu Ruskon jätekeskuksessa. 2015. Oulun Jätehuolto Oy. Saatavissa:

<http://oulu.ouka.fi/jatehuolto/PDFT/Teknineninfo/nettiinbiokaasu.pdf>

Hakupäivä 4.5.2015.

Torri, Pasi 2012. Biokaasu puhdasliikenteen polttoaine. Saatavissa:

[http://www.biokaasuyhdistys.net/docs/semin2012/Pasi\\_Torri.PDF](http://www.biokaasuyhdistys.net/docs/semin2012/Pasi_Torri.PDF)

Hakupäivä 4.5.2015.

VNK. 2009. Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea. Saatavissa:

[http://vnk.fi/documents/10616/622958/J2809\\_Valtioneuvoston+tulevaisuusselonteko+ilmasto-+ja+energiapolitiikasta.pdf/c21e8c2d-eba2-4df5-a854-7eb0edb2b30c?version=1.0](http://vnk.fi/documents/10616/622958/J2809_Valtioneuvoston+tulevaisuusselonteko+ilmasto-+ja+energiapolitiikasta.pdf/c21e8c2d-eba2-4df5-a854-7eb0edb2b30c?version=1.0)

Hakupäivä 6.6.2015.

## Biometaani (tai maakaasu) liikennepolttoaineena

**Biometaani** liikennepolttoaineena = jalostettua metaania (puhdistettua biokaasua) (CH<sub>4</sub>), jota tuotetaan mädättämällä biomassaa hapettomissa olosuhteissa esim. biojätteistä. **Uusiutuva polttoaine.**

**Maakaasu** = **fossiilinen polttoaine**, joka valmiiksi koostuu lähes kokonaan metaanista ja jota tyypillisesti porataan maan uumenista.

## Biokaasu/biometaani/maakaasu koostumus

- Maakaasu Suomeen tulee Venäjän Urengoista. (Lähde Gasum)

Ainesosa	Raakabiokaasu (mädätys)	Jalostettu biokaasu	Maakaasu
Metaani	45- 75 %	95-98 %	98,1%
Hiilidioksidi	25- 50 %	0-3 %	0,04 %
Typpi	0-20 %	0-2 %	0,8 %
Happi	0-10 %	0-1 %	0,01 %
Rikkivety	0-1000 mg/m <sup>3</sup>	Jälkiä	-
Siloksaanit	0- 50 mg/m <sup>3</sup>	Jälkiä	-
Kosteus	On	Jälkiä	-
Halogenoidut hiilivedyt	0-1600 mg/m <sup>3</sup>	Jälkiä	-
Raskaammat hiilivedyt	-	-	1 %

## Sanastoa

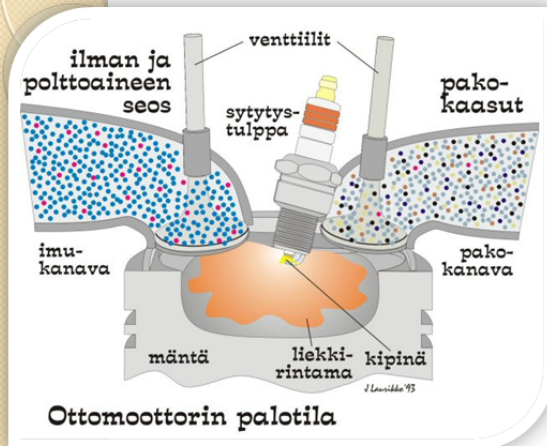
- Jalostettu biometaani = puhdistetaan vastaamaan maakaasua.
- CBG = Compressed BioGas. Paineistettua (yleensä 200 bar) kaasumaisessa muodossa olevaa jalostettua biokaasua eli biometaania.
- CNG = Compressed Natural Gas. Paineistettua maakaasua.
- Teknisesti täysin vaihtokelpoisia. Edustavat valtaosaa nykyään käytössä olevista ja kaupallisesti saatavissa olevista metaaniajoneuvoista (=kaasuautoista)

## Sanastoa

- LBG = Liquefied BioGas, nesteytettyä biokaasua.
- LNG = Liquefied Natural Gas, nesteytettyä maakaasua.
- Ovat huomattavasti CBG/CNG-ajoneuvoja harvinaisempia. Etuna on kolminkertainen energiatiheys paineistettuun metaaniin verrattuna. Haittana on alhaisen nesteytymislämpötilan (-162 °C normaali-ilmanpaineessa) vaatima kylmätekniiikka. Nesteytettyä metaania käytetään raskaissa ajoneuvoissa kuten laivat, veturit, lentokoneet, avaruusaluukset, rekat ja bussit.



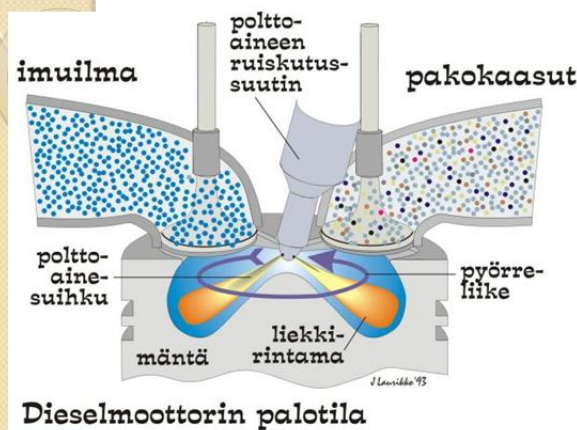
## ”Bensiini”-moottori (otto-moottori)



- Keksijänsä Nikolaus Otton mukaan nimensä saaneen ottomoottorin alkuperäinen polttoaine oli hiilimonoksidi eli häkä.

- Kipinä sytytteinen polttomoottori
- Polttoaineseos (kaasumainen ilman ja bensiinin seos) muodostetaan sylinterin ulkopuolella ja sytytetään sylinterissä sähköisellä kipinällä (=sytytystulppa).
- Hyötysuhde n. 30%
- Teknisesti kaasumoottori eli se soveltuu biometaanille ja muille kaasumaisille polttoaineille paremmin kuin nestemäisille polttoaineille.

## Diesel moottori



- Puristussytytteinen polttomoottori
- Polttoaine ruiskutetaan hienona sumuna kuumaan, paineistettuun ilmaan, jolloin se höyrystyy ja syttyy itsestään (= setaaniluku >50 = syttymisherkkyys)
- Hyötysuhde n. 40%, isoissa hidaskäyntisissä laivojen moottoreissa yli 50%
- Dieselmoottori tuottaa merkittävästi hiukkaspäästöjä, sillä suihkun sisin osa palaa ruskealla liekillä ja muodostaa suuren määrän nokea.
- Metaani parantaa palamisen laatua dual-käytössä (dieselin ja kaasun yhteiskäyttö)

## Kaasuajoneuvojen käsitteitä

(Lähde: Ari Lampinen: kansalaisbioliikenneopas)

- **Mitä ovat monofuel metaaniajoneuvot?**

Yhden polttoaineen käyttöön tarkoitettu auto tai työkone, yleensä bensiini tai diesel käyttöisiä. Myös pelkästään biometaanin ja maakaasun käyttöön tarkoitettut autot ovat monofuel-autoja (otto-moottoreita).

- **Mitä ovat bifuel metaaniajoneuvot?**

Biometaaniautot ovat useimmiten bifuel-autoja. Bifuel-ajoneuvot ovat yleensä otto-moottorilla varustettuja ajoneuvoja, jotka toimivat biometaanilla (ja maakaasulla) sekä lisäksi nestemäisellä polttoaineella (yleisimmin bensiini ja etanoli).

- **Mitä ovat dualfuel metaaniajoneuvot?**

Dualfuel-ajoneuvot ovat yleensä dieselmoottorilla varustettuja ajoneuvoja, jotka toimivat biometaanilla sekä dieselpolttoaineella ja useimmiten myös pelkästään dieselpolttoaineella. Biometaania käytettäessä moottorin sytytys tapahtuu nestemäisellä dieselpolttoaineella eli tällöin *molempia polttoaineita käytetään yhdessä.*

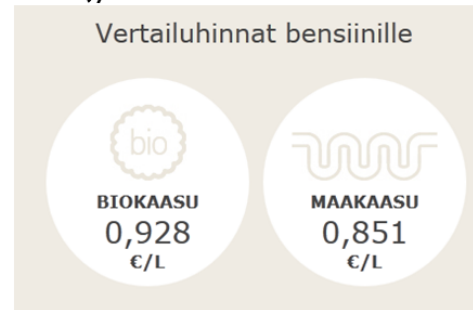
## Polttoaineiden ominaisuuksia

Polttoaine	Oktaaniluku	Lämpöarvo [MJ/kg]	Energiasäilytö [kWh/kg]
Biometaani (3% CO <sub>2</sub> )	140	50	13,9
Maakaasu (3% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	130	50	13,9
F1-bensiini	102	43,0	11,9
Tavallinen bensiini	95-98	43,0	11,9
Diesel	(Setaaniluku > 50)	42,6	11,8

- Kilo metaania vastaa energialtaan 1,55 litraa bensiiniä ja 1,38 litraa dieseliä
- Metaanilla korkea oktaaniluku -> mahdollista suunnitella korkeampi puristussuhde otto-moottoreihin -> polttoaineen ominaiskulutus pienenee ja kokonaishyötysuhde paranee. Vastaavasti lämpörasitukset kasvavat.

# Metaanikaasun liikennehyödyt

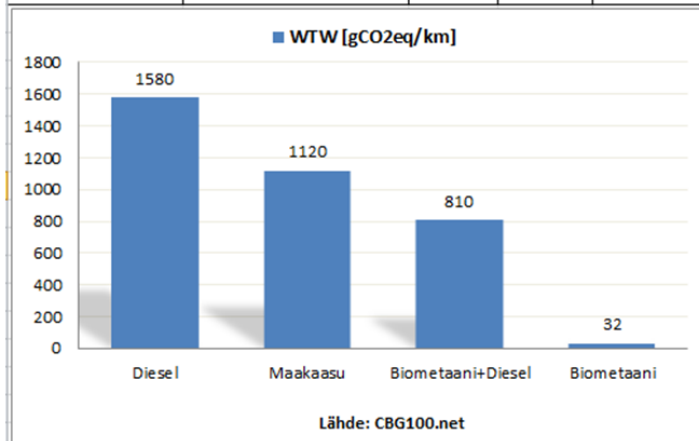
- Metaani palaa puhtaasti, koska siinä ei ole esimerkiksi rikkiä ja raskasmetalleja eikä palamisessa vapautuvia kiinteitä epäpuhtauksia. Useimmat päästökomponentit vähenevät yli 90 %:lla ja CO<sub>2</sub> n. 100% (biometaani). (Maakaasu n. 25%)
- Monofuel-ottomoottorilla varustetut bussit ja kuorma-autot alentavat meluintensiteettiä yli 50 %:lla. (Lähde: <http://www.liikennebiokaasu.fi>)
- Biometaanin tuotanto on raakaöljyn maailmanmarkkinoista riippumatonta.
- Metaanin hinta on n. 40% halvempaa kuin bensiini.



# CO<sub>2</sub>-päästöjen vaikutukset

(lähde: CBG100.net Ari Lampinen)

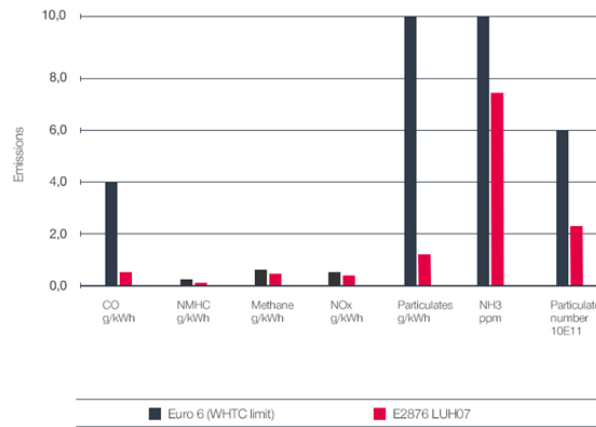
Energianlähde	Kuvaus	Moottori	Tyyppi	WTW [gCO <sub>2</sub> eq/km]
Diesel	EU:n keskimääräinen	Diesel	Monofuel	1580
Maakaasu	EU:n keskimääräinen	Otto	Monofuel	1120
Biometaani+Diesel	50% / 50%	Diesel	Dualfuel	810
Biometaani	Suomen keskimääräinen	Otto	Monofuel	32



- Taulukossa on WTW-päästöjä (well-to-wheel, koko elinkaaren ajalta) keskikokoiselle kaupunkibussille ilman matkustajia. Sovellettavissa myös kuorma-autoille. WTW-tarkastelussa otetaan huomioon energialähteiden KHK-intensiteetin lisäksi ajoneuvotekniikan vaikutus.

- Biometaanin valmistusmenetelmästä, raaka-aineista ja laskentatavasta riippuen sen hiilijalanjälki on 90-100 % pienempi kuin bensiinillä = **uusiutuva energia.**

## Päästöjen vaikutukset



- Euro 6 päästöraamien täyttäminen MAN bussin osalta, kun polttoaineena maakaasu Mono-fuel otto-moottorissa.
- NMHC-päästöt (Non Methane HydroCarbons) ovat biokaasulla oleellisesti alemmat kuin maakaasulla, koska korkeammat hiilivedyt puuttuvat biokaasusta

## Verotus, huolto

(Lähteet: Motiva, TerraGas.fi, Suomen bioauto.fi, liikennebiokaasu.fi)

- **Polttoainevero:** Ei ole (ALV kylläkin)
- **Autovero ja ajoneuvovero:** määräytyy CO<sub>2</sub> mukaan, joten ovat pienemmät kuin vastaavilla bensinikäyttöisillä autoilla.
- **Käyttövoimaverot:** koska polttoaineveroa ei ole, peritään käyttövoimaverot. Henkilöautoilla 0,031 €/ päivä/ alkava 100 kg. Vertailuna diesel 0,055 €/ päivä/ alkava 100 kg.
- Kaasukäyttöisillä pakettiautoilla on samansuuruisen käyttövoimaveron kuin dieselkäyttöisilläkin eli 0,009 €/ päivä/ alkava 100 kg ajoneuvon kokonaismassasta
- Kaasukäyttöisillä kuorma-autoilla verotus on sama kuin dieselkäyttöisilläkin.
- Kaasujärjestelmän huoltotarpeet ovat erittäin vähäiset. Kaasujärjestelmän matalapaineosaa voivat huoltaa kaikki auton asentajat, mutta korkeapaineosan huoltoon varten tarvitaan kaasuasentajan pätevyys. Parempi asiantuntemus huoltoihin löytyy yhtiöistä, jotka tekevät kaasuauto-konversioita.
- Huoltokustannuksissa ei ole käytännön eroa.
- Auton jälleenmyyntiarvo yleensä nousee

## Esimerkkejä uusista ajoneuvoista

### Volvo FE CNG

- 9 litran Euro 6 -moottori
- Otto-moottori eli tekniikka, joka soveltuu erityisen hyvin lyhyiden matkojen ajoon, jossa on useita käynnistyksiä ja pysäytyksiä.
- 320 hp ja 1 356 Nm

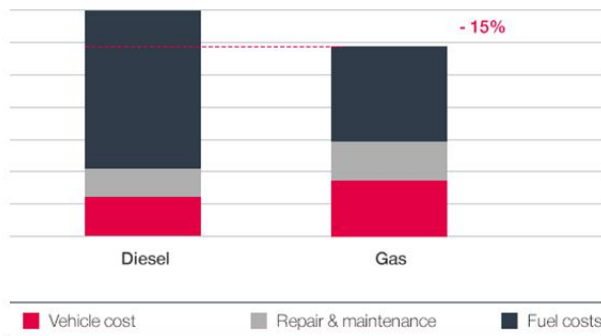


### Bus of the Year 2015

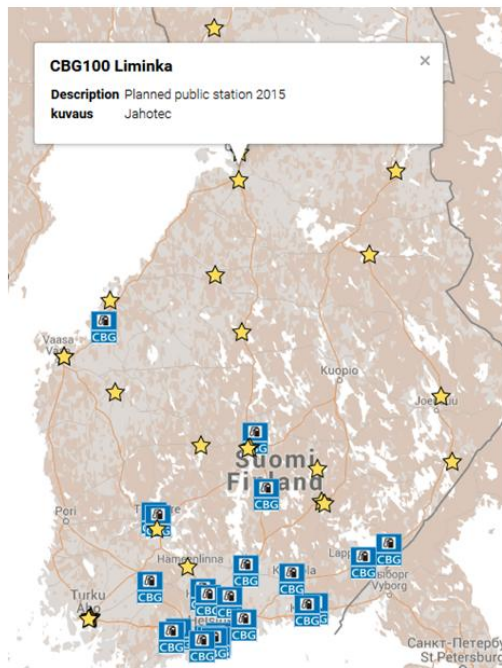
Kaupunkilinjabussi MAN Lion's City GL CNG on nimetty palkinnolla "Bus of the Year 2015".



- **MAN Lion's City CNG -bussien taloudellisuus**
- Alhaisemmilla polttoainekustannuksilla voidaan 10 vuoden käyttöajalla ja 60.000 kilometrin vuosittaisella ajomäärällä odottaa Life Cycle Cost (LCC) -kustannusten noin 15% säästö.



## Metaanin tankkausasemat Suomessa



## Toimintasäde

- 2 kpl 150 L säiliöt = 40 kg metaania = 56 litraa dieseliä

Ulkohalkaisija [mm]	Vesitilavuus [L]	Pituus [mm]	Paino [kg]
406	150	1483	149,1

Ideaalikaasun tilayhtälö: $pV=nRT$		
Tilavuus	0,3	m <sup>3</sup>
Tiheys NTP	0,72	kg/m <sup>3</sup>
CBG $\rho$	134639	kg/m <sup>3</sup>
Paine	20000000	Pa
Moolimassa (M)	16,4	g/mol
R (moolinen vakio)	8,3145	J/mol K
T (Lämpötila)	293	K
n (ainemäärä)	2462,9	g/mol
Massa	40391,6	g
Massa	40,4	kg
Dieselinä:	56	L

