

# Demonstration och utvärdering av dual-fuel-tekniken



Per Stålhammar, Lennart Erlandsson och Kristina Willner (AVL MTC Motortestcenter AB); Staffan Johannesson (Ecoplan AB)

Juni 2011



## SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller dylikt i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC:s hemsida [www.sgc.se](http://www.sgc.se).

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD).

SGC har följande delägare: Energigas Sverige, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

AGA Gas AB

Biogas Syd

Biogas Öst (bussdelen)

Göteborg Energi AB

Lunds Energikoncernen AB (publ)

Nobina Sverige AB (bussdelen)

NSR AB

Stadspartner

UL (bussdelen)

Öresundskraft AB

Statens energimyndighet

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held



AVL MTC Motortestcenter AB  
P.O. Box 223  
SE-136 23 Haninge  
Sweden

Visiting Address: Armaturvägen 1

Phone: +46 8 500 656 00  
Fax: +46 8 500 283 28  
e-mail: [se\\_info@avl.com](mailto:se_info@avl.com)

Web: <http://www.avl.com/mtc>

## **ASSESSMENT OF THE DUAL-FUEL TECHNOLOGY**

**AVL MTC 9913**

PER STÅLHAMMAR

CO WRITERS

LENNART ERLANDSSON

KRISTINA WILLNER

AVL MTC AB

2011/05

A REPORT FOR

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER/SWEDISH GAS CENTRE (SGC)

## SUMMARY

There is an increased interest for Dual Fuel (methane-Diesel) applications in Sweden since this technology is seen as one of the more interesting options for a fast and cost effective introduction of biomethane as fuel for HD engines.

The Dual Fuel technology has been used for many years, mainly for stationary purpose (generators, pumps and ships) while the Spark Ignited (SI) "Otto" technology has been used for trucks and busses. One obstacle for introducing Dual Fuel technology for busses and trucks is the EU legislation that don't allow for HD on road certification of Dual Fuel applications. Challenges with the Dual Fuel technology is to develop cost effective applications that is capable of reaching low emissions (especially CH<sub>4</sub> and NO<sub>x</sub>) in combination with high Diesel replacement in the test cycles used for on road applications.

AVL MTC Motortestcenter AB (hereinafter called AVL) has on commission by SGC (Swedish Gas technical Centre) carried out this project with the objectives to analyze the Dual Fuel (Diesel-methane) technology with focus on emissions, fuel consumption and technical challenges.

One important part of this project was to carry out emission tests on selected Dual Fuel applications in Sweden and to compile experiences from existing Dual Fuel technology.

This report also summarizes other commonly used technologies for methane engines and compares the Dual Fuel with conventional Diesel and Otto technologies.

The major challenges with Dual Fuel applications for on road vehicles will be to develop robust and cost effective solutions that meet the emission legislations (with aged catalysts) and to increase the Diesel replacement to achieve reasonable reduction of green house gases (GHG). This is especially important when biomethane is available as fuel but not Bio-Diesel.

It will probably be possible to reach EURO V emission limits with advanced Dual Fuel systems but none of the tested systems reached EURO V emission levels for HD gas engines when tested according to the FIGE chassis test cycle on vehicle. Our conclusion is however that most Dual Fuel systems for HD on road applications will need further development to meet existing emission limits and to increase the Diesel replacement.

## SVENSK SAMMANFATTNING

Det finns ett ökande intresse för Dual Fuel (metan-Diesel) applikationer i Sverige eftersom denna teknologi anses möjliggöra en snabb och kostnadseffektiv introduktion av Bio-metan som fordonsbränsle för motorer som används i tunga fordon.

Dual Fuel teknologin används sedan många år för stationära motorer (pumpar, generatorer och fartygsmotorer) medan Ottomotorer har använts i fordons applikationer. En utmaning med Dual Fuel teknologi i fordonsapplikationer är lagstiftningen som i dagsläget inte möjliggör EU godkännande av Dual Fuel applikationer i vägfordon. Andra utmaningar med Dual Fuel teknologin är svårigheten att ta fram kostnadseffektiva lösningar som klarar låga emissioner (speciellt CH<sub>4</sub> och NO<sub>x</sub>) i kombination med hög Diesel ersättning i de provcykler som gäller för vägfordon.

AVL MTC Motortestcenter AB (härefter kallat AVL) has på uppdrag av SGC (Svenskt Gastekniskt Center AB) utfört detta uppdrag med syfte att utvärdera Dual Fuel (metan-Diesel) teknologin med avseende på emissioner, bränsleförbrukning och tekniknivå.

En viktig del av uppdraget var att genomföra emissionstester på utvalda Dual Fuel applikationer i Sverige samt att sammanställa erfarenheter från Dual Fuel teknologin. Rapporten beskriver även övriga teknologier som vanligtvis används för metan som fordonsbränsle samt jämför Dual Fuel med konventionella Diesel och Otto teknologier.

De största utmaningarna med Dual Fuel applikationer för vägfordon är att utveckla robusta och kostnadseffektiva system som möter emissionskraven (med åldrad katalysator) samt att öka Diesel ersättningen så att rimlig reduktion av växthusgaser uppnås. Detta är extra viktigt i de fall där Bio-metan finns tillgängligt men inte Bio-Diesel.

Det går sannolikt att möta EURO V kraven med väl utvecklade Dual Fuel system men inget av systemen som provades nådde EURO V emissionsnivåerna för SI gasmotorer vid prov på fordon. Vår slutsats är att de flesta Dual Fuel system för vägfordon kräver vidare utveckling för att möta existerande emissionsnivåer för EURO V gasmotorer samt för att öka Dieseltersättningsgraden.

## TABLE OF CONTENTS

<b>1</b>	<b>BACKGROUND</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>METHANE</b> .....	<b>8</b>
3.1	METHANE FUEL SPECIFICATIONS AND QUALITY .....	8
3.2	GHG REDUCTION POTENTIAL .....	11
3.3	METHANE STORAGE AND TRANSPORTATION .....	11
3.3.1	<i>Leakage of methane from LNG tanks</i> .....	12
<b>4</b>	<b>METHANE ENGINE TECHNOLOGIES</b> .....	<b>13</b>
4.1	SPARK IGNITED GAS ENGINE TECHNOLOGY .....	13
4.2	DUAL FUEL GAS ENGINE TECHNOLOGY .....	14
4.2.1	<i>Port injected and direct injected Dual Fuel technologies</i> .....	14
4.2.2	<i>Retrofit Dual Fuel applications</i> .....	16
4.2.3	<i>OEM Dual Fuel applications</i> .....	16
4.2.4	<i>Benefits and challenges wit the Dual Fuel technology</i> .....	17
4.2.5	<i>Dual Fuel efficiency potential</i> .....	18
4.2.6	<i>Emission formation in Dual Fuel engines</i> .....	18
4.3	AFTER TREATMENT SYSTEMS FOR METHANE ENGINES.....	19
4.3.1	<i>Oxidation catalyst</i> .....	19
4.3.2	<i>Three Way Catalyst (TWC)</i> .....	20
4.3.3	<i>Particulate filter</i> .....	21
4.3.4	<i>SCR</i> .....	21
4.4	POTENTIALS FOR FUTURE IMPROVEMENTS OF THE DUAL FUEL TECHNOLOGY .....	22
<b>5</b>	<b>EXAMPLE OF DUAL FUEL SYSTEM SUPPLIERS</b> .....	<b>24</b>
5.1	NGV MOTORI .....	24
5.2	HARDSTAFF .....	24
5.2.1	<i>Experiences from visit at Hardstaff</i> .....	24
5.2.2	<i>Description of the Hardstaff OIGI Dual Fuel Technology</i> .....	25
5.3	CLEAN AIR POWER.....	27
5.4	BOSCH.....	27
5.5	WESTPORT .....	30
<b>6</b>	<b>OVERVIEW OF LEGAL DEMANDS</b> .....	<b>32</b>
6.1	EURO VI LEGISLATIONS INCLUDING OBD .....	32
<b>7</b>	<b>SUMMARY OF EMISSION TESTS RESULTS</b> .....	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>EMISSION TESTS WITH THE HARDSTAFF DIESEL DUAL FUEL SYSTEM</b> .....	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>EMISSION TESTS WITH THE NGV MOTORI DIESEL DUAL FUEL SYSTEM</b> .....	<b>44</b>

10	EMISSION TESTS WITH THE NGV MOTORI CONVERTED SPARK IGNITED BIOGAS SYSTEM .	48
11	CONCLUSIONS.....	52
12	ABBREVIATIONS.....	53

**Bilaga: Marknadspotential för Methane Diesel Engine (MDE/Dual-Fuel) i tunga fordon i Sverige (Staffan Johannesson, Ecoplan AB)**

# 1 BACKGROUND

There is an increased interest for Dual Fuel (methane-Diesel) applications in Sweden since this technology is seen as one of the more interesting options for a fast and cost effective introduction of biomethane as fuel for HD engines.

biomethane is seen as one of the most effective fuels for green house gas (GHG) reduction according to EUCAR, JRC and CONCAWE. Both compressed biogas (CBG) and liquid biogas (LBG) has been strongly promoted by the Swedish government in their vision to make Sweden fossil independent by 2030.

The Swedish Gas Centre (SGC) which is owned by major Swedish gas utilities has financed this study with the objective to increase the knowledge and compile experiences within the Dual Fuel technology.

The objectives with this project was to summarize advantages and challenges of the Dual Fuel engines compared to Diesel and SI gas engines with focus on technology, emissions, economy and fuel supply/storage (LNG and CNG).

One part of this project was to carry out emission tests on existing Dual Fuel applications in Sweden and to compile experiences from a visit at Hardstaff technical centre in England.

## 2 INTRODUCTION

When adopting a HD Diesel engine to operate on methane there are two options, either to change the combustion system from the Diesel-cycle to the spark ignited “Otto” cycle or to use the Dual Fuel technology. The spark ignited “Otto” cycle is the most common HD gas engine technology for truck and bus applications but the Dual Fuel technology which uses Diesel injection for ignition of the methane/air mixture, offer some benefits which has led to an increased interest for this technology around the world.

Examples of benefits with the Dual Fuel technology are:

- Higher engine efficiency compared to spark ignited gas engines.
- No spark plugs needed i.e. reduced service demands.
- Possibility in some cases to run on Diesel if gas is not available.

Examples of challenges with the Dual Fuel technology are:

- Dual Fuel is not included in the present emission legislation
- Advanced emission control system is needed to meet proposed future legislations.
- Difficulties to reach high Diesel replacement in test cycles (operation modes) with high content of idle and low loads (i.e. ETC and WHTC)

The Dual Fuel technology has been used for many years, mainly for stationary purpose (generators, pumps and ships) while the Spark Ignited (SI) technology has been used for trucks and busses. One reason for this is the EU legislation that don't allow for HD on road certification of Dual Fuel applications. Other challenges with the Dual Fuel technology is to develop cost effective applications that is capable of reaching low emissions (especially CH<sub>4</sub> and NO<sub>x</sub>) in combination with high Diesel replacement in the test cycles used for on road applications. So far there has been mainly retrofit Dual Fuel truck and bus applications on the market but since the EURO VI legislation is said to include Dual Fuel technology there will probably be an increased interest also for OEM applications in the future.

Tests have been carried out as part of this assignment to verify Diesel replacement, engine efficiency and emission levels of three different retrofit Dual Fuel systems, Hardstaff OIGI, NGV Motori and the Hardstaff “new generation” OIGI system. The emission results showed that none of the tested systems reached EURO V emission levels when tested according to the FIGE chassis test cycle. Only the new generation of the Hardstaff OIGI was capable of reaching emission levels close to EURO V limits while both of the other tested systems showed high emission results and low Diesel replacement. The results also show that the efficiency compared to the original Diesel engine was decreased with approx 10 % in Dual Fuel mode.

The major challenges with the Dual Fuel technology for road applications will be to develop cost effective solutions that meets the proposed future emission legislations with aged emission control systems and to increase the Diesel replacement in low load-transient conditions.

### 3 METHANE

Methane is a very stable hydrocarbon molecule which can be produced from anaerobic digestion (fermentation) of organic material. Methane is also stored as fossil Natural Gas (NG) in vast sources around the world and is therefore attractive to use as an alternative to fossil crude oil. Methane which is a very strong Green house gas (20-30 times stronger than CO<sub>2</sub> depending on calculation method) is included in the European emission legislation for gas engines.

Compressed Natural Gas (CNG) which is the most common version of methane based fuel is also stored and transported as Liquid Natural Gas (LNG) at temperature below -161 deg C at atmospheric pressure or slightly higher temperatures at increased pressures.

#### 3.1 METHANE FUEL SPECIFICATIONS AND QUALITY

The methane fuel quality could be divided in the following categories:

- Differences in energy content (mainly effecting the A/F ratio leading to increased emissions and/or increased level of misfire)
- Differences in content of longer HC chains (i.e. ethane, propane, butane, mainly effecting knock resistance leading to engine durability problem)
- Contamination (i.e. oil, dirt etc. mainly effecting fuel system functionality and durability.)

There are large differences in the quality of methane based fuels and it's specifications around the world. The differences mainly depend on production sources, fuel storage and handling at refuelling stations (i.e. CNG compressors adding oil into the gas) Different fuel standards around the world also contributes to unwanted differences which puts high demand on quality validation for the manufacturers of gas systems and engines.

Biomethane for vehicle use in Sweden has been standardized according to SS 15 54 38, and typically contains 97-98% methane. This standard makes biomethane one of the most stable and therefore most suitable methane based fuels for vehicle use.

Both energy content and types of hydrocarbons can affect drivability and emissions since they also influence the A/F ratio. An advanced engine management system including knock control, closed loop A/F control and fuel trim is recommended to avoid these problems.

Oil contamination from compressors at filling stations is very common in CNG, especially when low cost compressors without oil separators are used. This oil will eventually come in to the fuel system and cause problems with injector sticking and pressure regulator clogging. The compressor oil may also cause knock problems and sulphur poisoning of the catalyst.

There are several indicators of energy content in the methane gas:

- Higher heating value
- Lower heating value
- Wobbe index.

The higher heating value is defined as the amount of heat released by a specified quantity of gas when it is combusted and the products have returned to the starting temperature of 25 °C.

The lower heating value is defined as the amount of heat released by combustion of a specified quantity of gas and returning the temperature of the combustion products to 150 °C. This means that the lower heating value takes into account that the water component is still in vapour state at the end of combustion as opposed to the higher heating value that takes into account the condensation of all water.

The Wobbe index is defined as the higher heating value/(square root of gas specific gravity). The gas specific gravity is the ratio between the density of the gas and the density of air. The Wobbe index is used as an indicator for the interchangeability of gases with different composition when used in a burner with fixed orifice. If two fuels have identical Wobbe indexes, then for given pressure and valve settings the energy output will also be identical.

The most common indicator for energy content of methane for internal combustion engine is the lower heating value since the combustion gases include water vapour but also the higher heating value is commonly used.

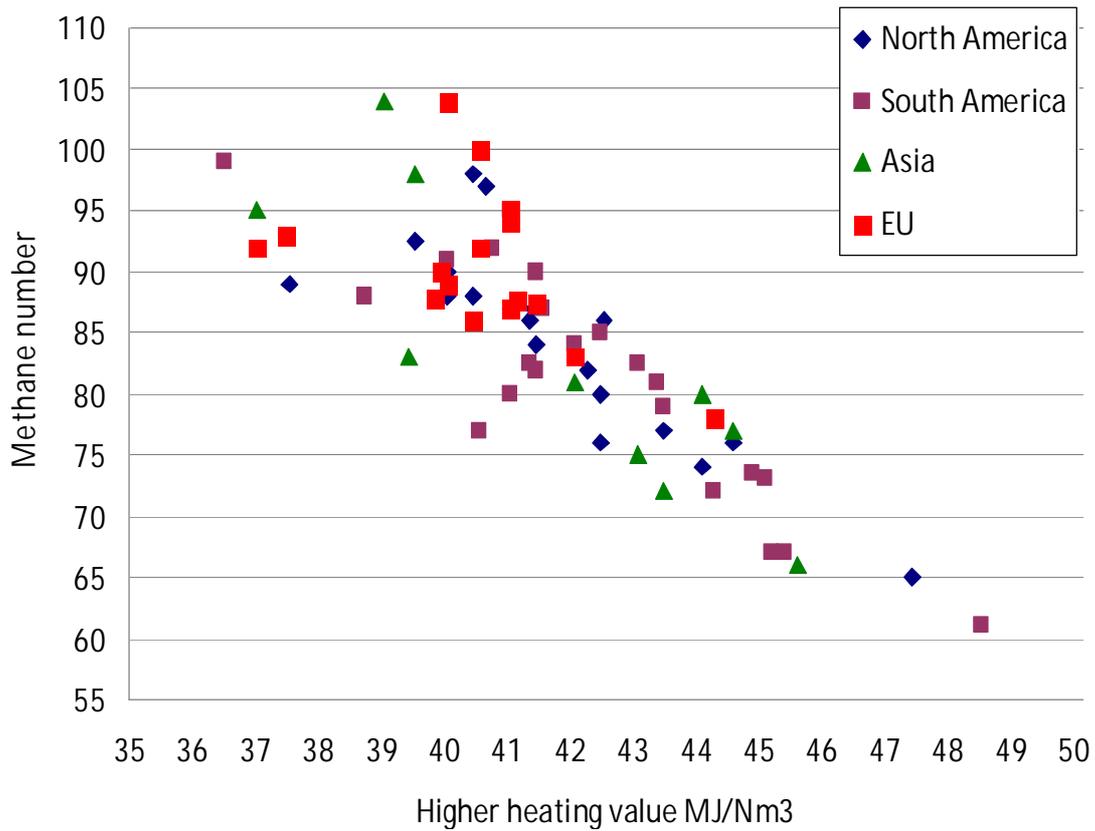
Methane number is often used to define the knock resistance in methane based fuels. Methane number 100 is close to 120-140 RON for liquid fuels. Methane with high methane number has high content of inert gases and low content of longer HC chains which also leads to low energy content (heating value).

Figure 1 shows how the methane number and higher heating value of natural gas differs between different parts of the world. As can be seen in the figure, the gas quality differs much, even when the gas comes from the same region. A world wide introduction of a fuel standard for methane based fuel would enable more optimized methane engines with less quality problems. The Swedish biomethane standard SS 15 54 38 is one good example of how such a standard could be introduced.

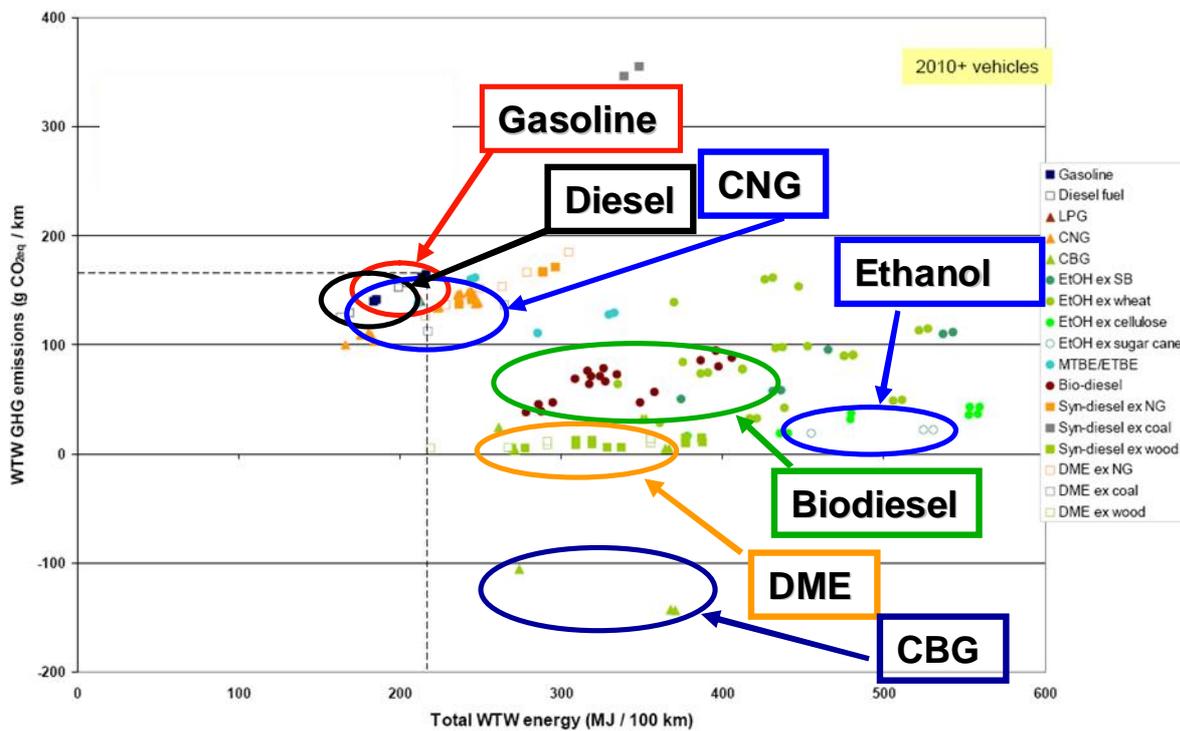
Biogas in Sweden is normally referred to as upgraded biogas (biomethane) for IC engines according to SS 15 54 38, and typically contains 97-98 % methane, the rest is CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>. Natural gas (CNG/LNG) is normally referred to as fossil methane mixed with a small fraction of “heavier” hydrocarbon gases. All these methane based gases are fulfilling similar specification when used as fuels in vehicles but the heavier hydrocarbons in natural gas will decrease the knock tolerance of the fuel which can lead to engine damages.

Natural gas from different sources and regions around the world has very different specification regarding energy content and knock resistance. Biomethane in Sweden has relatively high and stable energy content which is similar or even higher than many natural gas qualities in Europe and around the world.

*Figure 1. Methane number variations in different parts of the world*



*Figure 2. Well to Wheel (WTW) Green House Gas (GHG) study from EUCAR / JRC / CONCAWE (Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context)*



### 3.2 GHG REDUCTION POTENTIAL

The major difference between biomethane and natural gas is the effect on the green house gases (GHG). Fossil natural gas produce 20-30 % less GHG than gasoline and Diesel (at similar efficiency) while biogas can reduce the GHG by more than 100 % (if produced from sources that otherwise would released methane directly into air i.e. land fills or manure tanks)

The Well to Wheel (WTW) GHG effect strongly depends on the production method but also on transportation, the efficiency of the Internal Combustion (IC) engine and methane storage/leakage. Figure 2 is a study from EUCAR/JRC/CONCAWE that shows the WTW GHG emissions as CO<sub>2</sub> equivalents and WTW energy consumption for different fuels. The best WTW GHG reduction for CBG is reached when wet manure is used for production of biomethane.

Biogas is typically produced by breakdown of organic matter such as Biomass, manure, sewage, municipal waste etc. in the absence of oxygen which is normally referred to as fermentation or anaerobic digestion. The typical composition of “fermentation” biogas (before upgrading) is Methane 50-75 %, Carbon dioxide 25-50 %, Nitrogen 0-10 %, Hydrogen 0-1 %, Hydrogen sulphide 0-3 % and Oxygen 0-2 %. Biogas can also be produced from synthesis gas based on biogenic material like forest. Biogas from fermentation contains very little energy compared to fossil natural gas and has to be “upgraded” to biomethane before it can be used as fuel in IC engines.

### 3.3 METHANE STORAGE AND TRANSPORTATION

Methane (CH<sub>4</sub>) gas has a density of approx 0,75 kg/m<sup>3</sup> and energy content of approx 50 MJ/kg (CNG has a wider spread in density and energy content) which makes it difficult to transport and store it with reasonable energy density (compared to Diesel and gasoline). Liquefied methane on the other hand has a density of approx 430 kg/m<sup>3</sup> which give it almost equal energy density as gasoline LNG is therefore a very attractive alternative to CNG for transportation and storage of methane based fuels. NG is normally transported in pipelines and stored in high pressure tanks (200-300 bar) as CNG but still the energy density is much lower than equal volumes of LNG. The pressure in the pipelines is generally lower than the pressure in the fuel tank which means that there is a need for a compressor at the filling station to reach the required pressure in the CNG tanks normally used on vehicles. The drawback with gas compressors are low efficiency which means that energy is lost at the compressor stations. The liquefied or cryogenic methane has therefore become more and more attractive, especially in areas where it is unpractical to install NG pipelines but also for transportation with LNG ships from remote gas sources.

Methane gas from fossil wells or from biomethane production can be cooled into liquid phase at liquification station and shipped with LNG ships (normally powered by Dual Fuel engines) to large LNG storage tanks at the destination point. LNG is then either degasified and injected in the local NG pipeline or transported in liquid phase to the local fuelling station where it can be used either directly as LNG or returned to gas form in high pressure evaporators at the fuelling station. This enables high efficient LNG pumps instead of less efficient CNG pumps in order to increase the pressure to the required high pressure levels (normally 200-300 bar). This compensates for some of the energy losses from the liquification process. Locally produced biomethane can easily be mixed with fossil NG and introduced into the NG pipeline grid if it fulfils the specification for vehicle fuels.

### **3.3.1 LEAKAGE OF METHANE FROM LNG TANKS**

One challenge that has to be taken care of when handling LNG is the “boil of” methane from evaporation of LNG when the temperature is increasing. Most LNG tanks are designed as vacuum insulated thermoses with a maximum pressure of approx. 10-20 bar. When the pressure in the tank is coming close to this pressure methane is normally released to the atmosphere. One alternative to releasing methane directly to the atmosphere is “flaming” (burning) it, but this method is creating CO<sub>2</sub> emissions and wasting useful energy. Another more attractive way of taking care of this “boil of” methane is to compress it into CNG using a small compressor and intermediate CNG storage tanks that is emptied as soon as there is a use for CNG (for example when the vehicle is started or when a CNG vehicle is refuelling). This system is already in use by LNG user on both vehicles and at LNG fuel stations. Another method used by some LNG users is to re-liquefy the bleed of gases but this method is more expensive and only suitable for large LNG carriers or facilities.

The leakage of “boil off” methane from LNG tanks, both on vehicle and stationary, is strongly contributing to Green House Gases (GHG) since methane is 20-30 times stronger GHG than CO<sub>2</sub>. The leakage is also a safety risk since the gas could be trapped (under roof) and ignited leading to severe damage and risk of human injuries and/or casualties.

There is normally no indication of methane leakage from LNG tanks since methane is odourless. This increases the risk of undetected leakage when using LNG compared to CNG where mercaptan (a hydrogen sulphide) is added for detection of gas leakage. Methane detector is therefore recommended in vehicles and in garages where LNG are used.

## 4 METHANE ENGINE TECHNOLOGIES

Natural gas (~ 80-99 mol% methane), upgraded biomethane (~ 97-99 mol% methane) and LNG (Liquefied Natural Gas) can be used in a similar way as fuel for an internal combustion engine optimized for methane. The difference is that natural gas also contains heavier hydrocarbons such as ethane and propane which to some extent deteriorate the high knock resistance of pure methane. Methane has a very high research octane number (RON >130) and a low cetane number which makes it a good fuel for spark ignited engines.

The most commonly used gas engines on the market today are passenger car gasoline engines which are modified to run on either gasoline or methane (Bi-fuel engines). These engines use the original gasoline engine including ignition system which makes it very cost effective to convert them to gas operation even though they are not optimized for gas. It is also possible to convert Diesel engines to run on gas but this is more difficult and includes more changes to the base engine and combustion process.

The most common method to implement methane on HD Diesel engines includes conversion from the Diesel-cycle (compression ignited) to the spark ignited “Otto” cycle. This method is normally used only by vehicle manufactures (OEMs) and is both complicated and expensive since the whole combustion system has to be redesigned.

An alternative method to implement methane combustion on Diesel engines is the Dual Fuel technology which is more common for retrofit solutions. This technology uses a small Diesel injection as liquid spark plug to ignite the methane gas. The drawback with this technology is a lack of legislation for homologation/certification and also relatively high levels of methane slip from the combustion.

The major population of methane vehicles around the world are retrofit passenger car conversions since they are generally less expensive to develop and easier to certify compared to OEM vehicles. The drawbacks with retrofit solutions are generally decreased quality and decreased emission durability compared to OEM solutions.

After treatment systems for methane engines are covered separately in chapter 4.3

### 4.1 SPARK IGNITED GAS ENGINE TECHNOLOGY

There are many different types of SI (spark ignited) engines that are suitable to use with methane. The most common types are either bi-fuel passenger car engines or mono-fuel HD truck engines. The bi-fuel passenger car engines are normally gasoline engines which are using the same combustion and emission technology for gas as for gasoline. HD truck engines are rebuilt Diesel engines where the Diesel injector has been replaced with a spark plug. HD gas engines are normally developed by the OEM engine manufacturer since it includes major modifications on the base engine.

Passenger car bi-fuel SI engines always operates with stoichiometric ( $\lambda=1$ ) A/F ratio and TWC (Three Way Catalyst) which gives the possibility to reach very low tailpipe emission if properly optimized. HD truck SI engines may either operate at stoichiometric ( $\lambda=1$ ) or lean burn ( $\lambda>1$ ) conditions but a lean burn engine need advanced NO<sub>x</sub> after treatment to reach

EURO VI emission limits which makes the stoichiometric engine more effective than lean burn for meeting future emission levels.

When operating a truck engine in stoichiometric conditions, a TWC is used as to reduce HC, CO and NO<sub>x</sub> to very low levels. The downsides with stoichiometric engines are slightly decreased part load efficiency, higher thermal load and higher knock sensitivity compared to lean burn engines. The reason for increased thermal load and knock sensitivity is less dilution (with air) compared to lean burn engines. This can partly be solved with cooled EGR that “dilute” and cool down the combustion chamber without changing the AFR allowing for a TWC. Stoichiometric HD gas engines normally also use lower compression ratio compared to a lean burn engine to avoid knocking.

When operating in lean burn conditions an oxidation catalyst is used to reduce CO and HC. NO<sub>x</sub> is not reduced by an oxidation catalyst which means that lean burn engines normally emits higher “tail pipe” NO<sub>x</sub> emissions compared to stoichiometric engines which benefits from the high NO<sub>x</sub> reduction in the TWC. To reach lower NO<sub>x</sub> emissions than EURO V with a lean burn engine a NO<sub>x</sub> after treatment system such as SCR (Selective Catalytic Reduction) have to be used. The cost and complexity of the SCR after treatment system makes the lean burn system less attractive to meet future emission legislations limits.

To make full use of methane as fuel for IC engines, a turbo or super charged engine should be used. This compensates for the loss in volumetric efficiency (gas displaces air) and also takes full advantage of the high knock resistance of methane.

Durability challenges when using methane in SI HD gas engines:

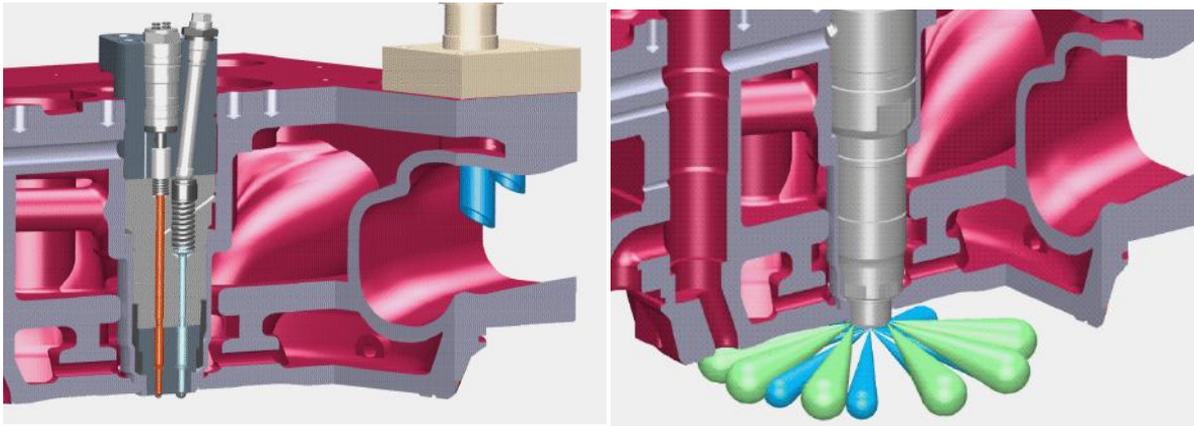
- Ignition system durability
- Catalyst durability
- High thermal loads
- Increased valve and valve seat wear.

## **4.2 DUAL FUEL GAS ENGINE TECHNOLOGY**

In Dual Fuel engines, a small amount of Diesel fuel is injected and used to ignite the air/methane mixture like a “liquid” spark plug. This “micro pilot” Diesel injection introduces far more energy than a spark from the spark plug which increases the lean burn capability compared to SI concept. The major markets for Dual Fuel applications are stationary engines like ship engines, compressor stations and power stations. All these applications are suitable for Dual Fuel since they are running with relatively stable engine speeds at high load which is the preferred conditions for Dual Fuel combustion. The emission legislation for stationary engines are also more favourable for Dual Fuel compared to the emission legislation for HD vehicles which include transient test cycles from EURO III, On Board Diagnostics (OBD) from EURO V and cold start, not to exceed zones, in service conformity from EURO VI.

### **4.2.1 PORT INJECTED AND DIRECT INJECTED DUAL FUEL TECHNOLOGIES**

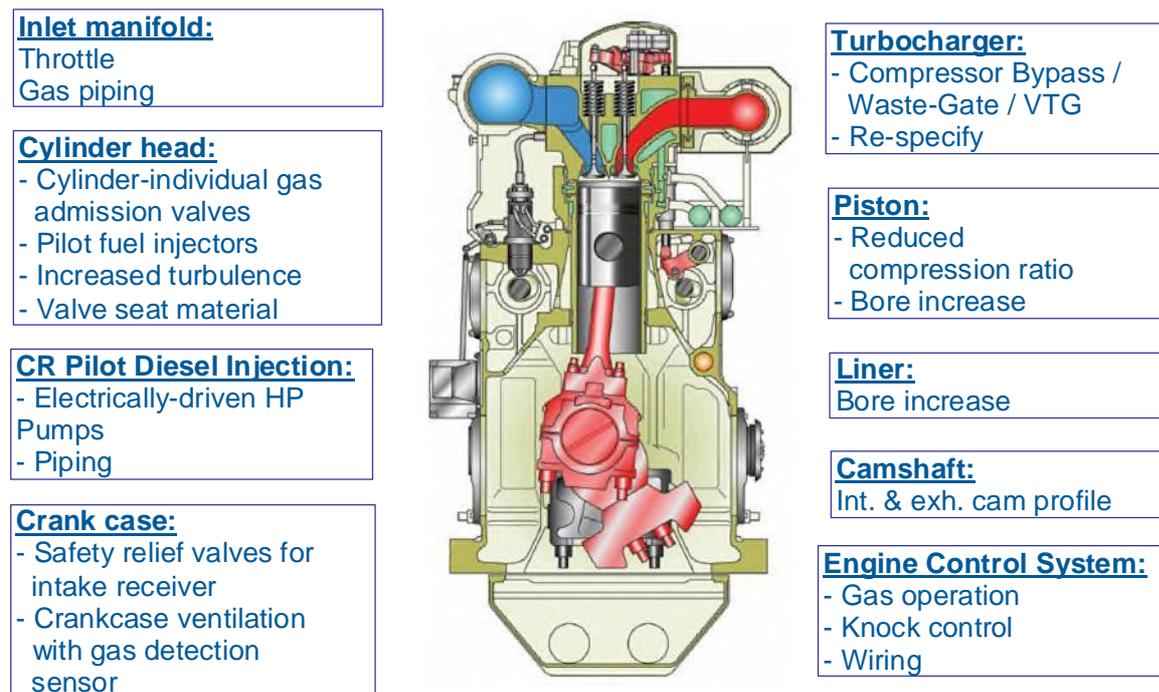
There are generally two different types of Dual Fuel combustion systems, one uses a port injected air/methane mixture which is ignited by the Diesel injection and burns with a flame propagation (like the Otto combustion). The second type uses direct injected (DI) methane which burns with diffusion controlled combustion (like the Diesel combustion). The technologies are demonstrated below in Figures 3 from Wärtsilä who is one of the pioneers within the Dual Fuel area.



*Figure 3. Port injected methane (left) and direct injected (DI) methane (Source: Wärtsilä)*

The most common system is the port injected concept which is relatively cost effective, simple to install and enable the Diesel engine to operate on “Diesel fuel only” mode with full performance (when the gas tank is empty). The major drawbacks with the port injected system are high levels of unburned methane (methane slip) and knock limited gas replacement at full load. The direct injected (DI) system has the potential for less methane slip but has limited performance in Diesel (only “limp home” mode) when the gas tank is empty. Further, the system is generally more expensive than the port injected system because it demands a separate fuel system for methane and Diesel, including engine controller, high pressure fuel pumps (methane and Diesel) and specially designed fuel injectors.

One important advantage with port injected engines is the ability to operate with 100 % Diesel if there is no gas available. Direct injected Dual Fuel engines like the Westport HPDI system will need to limit the performance in Diesel mode since the same injector is used for the injection of both methane and Diesel.



*Figure 4. Examples of design changes for a large OEM Dual Fuel engine (section 4.2.3)*

Dual Fuel engines for ships and stationary engines are normally designed and optimized for Dual Fuel operation by OEM see chapter 4.2.3 “OEM Dual Fuel applications”. The most common solutions for HD truck engines however are retrofit applications with Dual Fuel capabilities. The retrofitted engines are mostly conventional Diesel engines equipped with special gas injectors and a separate control unit for the gas distribution.

The major challenges with port injected Dual Fuel engines are high levels of methane slip and high sensitivity for knocking when using high Diesel replacement at high loads. The major challenges with DI Dual Fuel engines are high costs, limited performance when running on Diesel and relatively high levels of engine out NO<sub>x</sub> and soot (from diffusion controlled flame).

#### **4.2.2 RETROFIT DUAL FUEL APPLICATIONS**

Retrofit Dual Fuel applications are mainly used for truck and bus engines where it enables the use of methane with limited changes to the base Diesel engine compared to SI gas engines. It also enable pure Diesel mode when gas is not available which is appreciated in markets with unstable gas distribution. The drawbacks are generally high emission levels (especially methane) and limited Diesel replacement (40-60%). There is no common legal framework that allows certification of retrofit Dual Fuel applications at this moment but some countries have allowed for retrofit Dual Fuel vehicles based on local national requirements.

There are generally four different types of HD Diesel engines on the market which all can be retrofitted with different results:

- Diesel engines with mechanically controlled in line Diesel pump
- Diesel engines with electronically controlled Diesel pump
- Diesel engines with electronically controlled Unit injectors
- Diesel engines with electronically controlled Common rail injectors

Diesel engines with mechanically controlled in line pump are not suitable for Dual Fuel applications since they are limited in the capability of controlling injection timing, quantity and multiple injection that is required to fulfil emission, efficiency and Diesel replacement demands.

Diesel engines with electronically controlled Diesel pump are more flexible to control than mechanically controlled in line pumps but they are also limited in the capability of controlling injection timing, quantity and multiple injection.

Diesel engines with unit injectors are more suitable for Dual Fuel applications but they have still limitations in their flexibility of controlling the Diesel injection.

Diesel engines with common rail injection offers the greatest flexibility of controlling injection timing, quantity and multiple injection that is required to optimize efficiency and Diesel replacement demands in Dual Fuel applications. The drawback with the latest Diesel engines is the complexity of the Diesel injection system, including complex diagnostic, which increases the demands on the retrofit systems to work without negatively affecting these diagnostic functionalities that are normally unknown to the retrofit manufactures.

#### **4.2.3 OEM DUAL FUEL APPLICATIONS**

OEM Dual Fuel applications are mainly used on stationary engines with suitable load and engine speeds. The optimized combustion system and Diesel injection in combination with

suitable engine speeds and loads allows for high Diesel replacements (90-95 %). These Dual Fuel engines are especially attractive in applications where methane is available at low cost and where high efficiency and high durability are requested.

Typical OEM Dual Fuel applications are:

- Ship engines (especially for LNG carriers with high amount of bleed of methane)
- CHP (Combined Heating Power) units (especially in areas where methane is available i.e. coal mines, close to CNG pipelines or at CNG wells)
- Pump engines (especially for CNG pipelines)

OEM Dual Fuel engines are generally based on large Diesel engines but redesigned and optimized to reach very high Diesel replacements and high efficiency in Dual Fuel mode.

Examples of areas which are optimized for Dual Fuel purpose are:

- Pistons
- Diesel pilot injectors
- Gas injectors and gas distribution pipes
- Inlet system
- Exhaust system

Examples of design changes on a large Dual Fuel engines are demonstrated in Figure 4.

#### **4.2.4 BENEFITS AND CHALLENGES WIT THE DUAL FUEL TECHNOLOGY**

**Benefits with Dual Fuel technology:**

- Normally higher efficiency compared to spark ignited gas engines. (but less than Diesel)
- Similar thermal load as Diesel
- No need for spark plugs i.e. reduced service demands.
- Possible to continue running on Diesel if gas is not available (port injected).
- Possible to convert a Diesel engine to Dual Fuel without major changes to base engine. (retrofit)

**Challenges with the Dual Fuel technology (port injected):**

- The combustion chamber is not optimized for port injected “premixed” combustion leading to high levels of methane slip from flame quenching and crevices.
- Difficult and expensive to meet stringent emission requirements. (compared to SI)
- Difficult to reach high Diesel substitution in transient driving conditions.
- Not possible/suitable to run gas at idle and low loads.
- Limited Diesel replacement at full load. (knock limitations)
- Low exhaust temperature leading to poor CH<sub>4</sub> conversion in methane catalyst.
- Methane catalyst sensitive for poisoning and high temperature from methane slip.
- High Diesel injector tip temperatures when/if high Diesel substitutions are used.
- High exhaust temperatures after methane oxidation catalyst leading to risk of aging or damaging vanadium based SCR systems.

**Challenges with the Dual Fuel technology (direct injected):**

- Not possible to run the vehicle on Diesel only. (with known systems)
- Difficult and expensive to meet stringent emission requirements. (compared to SI)
- More complex system than port injected leading to higher costs.
- Few known system suppliers.
- Low exhaust temperature leading to poor CH<sub>4</sub> conversion in methane catalyst.

- Methane catalyst sensitive for poisoning.

#### 4.2.5 DUAL FUEL EFFICIENCY POTENTIAL

Large OEM Dual Fuel engines for stationary purpose with optimized combustion system and “micro pilot” Diesel injection have stated 45-48 % Brake thermal efficiency for their Dual Fuel engines which is slightly lower than similar engines with Diesel combustion.

Many retrofit Dual Fuel companies claim similar efficiency for Dual Fuel as for the base Diesel engines since they use the same compression ratio. The high compression ratio can however not be fully utilized in port injected Dual Fuel engines since the methane/air mix is sensitive to knock when high Diesel replacement is used. The relatively high levels of methane slip from crevices and flame quenching in port injected Dual Fuel engines is further decreasing the efficiency compared to Diesel mode.

The Dual Fuel combustion is a mix of Diesel and Otto combustion but more complex since it includes two different fuels with different burning properties. The port injected Dual Fuel combustion with high Diesel replacement is mainly controlled by flame propagation in the port injected and homogenous methane/air mixture. The same port injected Dual Fuel combustion with low Diesel replacement is more Diesel like but with added energy from the methane that burns close to the Diesel diffusion flame. The direct injected Dual Fuel system is however more Diesel like since it burns with diffusion controlled flame propagation controlled by the fuel (gas) injection.

Studies on the efficiency of the Dual Fuel engines indicate that it is very dependant on the base engine configuration and type of Dual Fuel system. The test results indicate that under light and part load conditions there is relatively high specific energy consumption in comparison to Diesel engines which is showing the difficulty and complexity of Dual Fuel combustion.

The highest efficiency reported from dedicated large OEM Dual Fuel engines is in the range of 45-50 % at high load with high Diesel replacements (90-95 %).

The recorded efficiency of retrofit HD Dual Fuel truck engines is normally 8-12 % lower than the original Diesel engine in a transient test cycle which shows that there is still potential for improvements.

#### 4.2.6 EMISSION FORMATION IN DUAL FUEL ENGINES

Dual Fuel (especially port injected) engines generate high levels of unburned methane which makes them dependent on a highly efficient methane catalyst. Direct injected Dual Fuel engines do not emit the same levels of CH<sub>4</sub> emission but still need a methane catalyst to fulfil European emission legislation (from EURO III). Both port injected and DI Dual Fuel engines emit particulates and NO<sub>x</sub> emissions which mean that SCR and/or DPF (Diesel Particulate Filter) systems are needed to reach EURO V and EURO VI emission limits.

**HC (methane) emission formation in Dual Fuel engines:** The main reasons for HC emissions (methane slip) in port injected Dual Fuel engines are poor combustion of methane at part load due to very lean methane/air mixture, unfavourable piston design for flame propagation, large crevice volumes where the flame can not propagate and “blow-by” of unburned methane during valve overlap. This is due to the fact that conventional Diesel combustion system is not designed for port injected flame propagation. Direct injected Dual

Fuel engines do not suffer from these methane slip problems since they are using “diffusion” controlled combustion similar to the Diesel engine.

**PM emission formation in Dual Fuel engines:** The main source of PM (Particulate Matter) emissions formation are the diffusion part of the Dual Fuel combustion which takes place during Diesel pilot injection in port injected engines and during the main injection in DI engines. Port injected engines have generally potential for decreased PM emission compared to DI engines but some retrofit port injected Dual Fuel systems generates higher levels of PM in Dual Fuel mode than in Diesel mode. The reason for this is believed to be negative changes to the Diesel part of the combustion in Dual Fuel mode (i.e. decreased Diesel injection pressure, less available oxygen, methane present in the Diesel spray)

**NO<sub>x</sub> emission formation in Dual Fuel engines:** NO<sub>x</sub> emissions are generated during high combustion temperatures which takes place in the “fuel rich” areas of the combustion. NO<sub>x</sub> formation is generally higher in DI Dual Fuel engines than in port injected but some port injected engines emits high levels of NO<sub>x</sub>. The reason for this is believed to be poor optimization of the Diesel part of the combustion.

## 4.3 AFTER TREATMENT SYSTEMS FOR METHANE ENGINES

### 4.3.1 OXIDATION CATALYST

When operating a gas engine in lean conditions such as the lean burn SI or the Dual Fuel technologies, an oxidation catalyst is used to oxidize HC and CO (manly methane). Reduction of NO<sub>x</sub> in lean conditions is only possible by using a lean NO<sub>x</sub> system like SCR or NO<sub>x</sub> trap which increases cost and complexity. The engine out NO<sub>x</sub> from lean burn engines can be reduced by running very lean and by phasing the combustion late to decrease the in cylinder temperature.

Methane is a very stable gas and is therefore hard to oxidise in a catalyst. It also has a high light-off temperature (approximately 400-450 °C when aged). All of this in combination with the fact that methane engines (especially lean burn concepts and Dual Fuel) suffer from high engine-out HC emissions puts high demands on the efficiency and durability of the oxidation catalyst.

In Figure 5, the catalytic conversion rate can be seen as function of exhaust temperature. It is shown that methane has higher light-off temperature compared to other hydrocarbons and carbon monoxide. This might cause increased methane emissions during cold start and idle, especially for lean burn engines which have lower exhaust temperatures than stoichiometric. Lean burn methane engines which are running on the lean burn limit normally also suffer from relatively high levels of misfire which is a major cause for deteriorated catalyst. This is especially common for HD SI applications where the ignition and combustion system is not fully optimized for Otto combustion as in passenger car bi-fuel applications.

Oxidation catalysts (especially Palladium based) also suffer from decreased catalyst efficiency by sulphur poisoning (from mercaptant) which results in drastic reduction of conversion rate of the catalyst over time. Sulphur poisoning (sulphates) can be removed by sulphate regeneration which occurs during rich operation and high temperatures. This operation conditions is easily managed during stoichiometric operation but more difficult during lean burn operation.

Catalysts (especially Palladium (Pd) based) also suffer from aging by sulphur poisoning which results in drastic reduction of conversion rate of the catalyst over time. Sulphur

poisoning (sulphates) can be removed by sulphate regeneration which occurs during rich operation and high temperatures. This operation conditions is easily managed during stoichiometric operation but more difficult during lean burn operation.

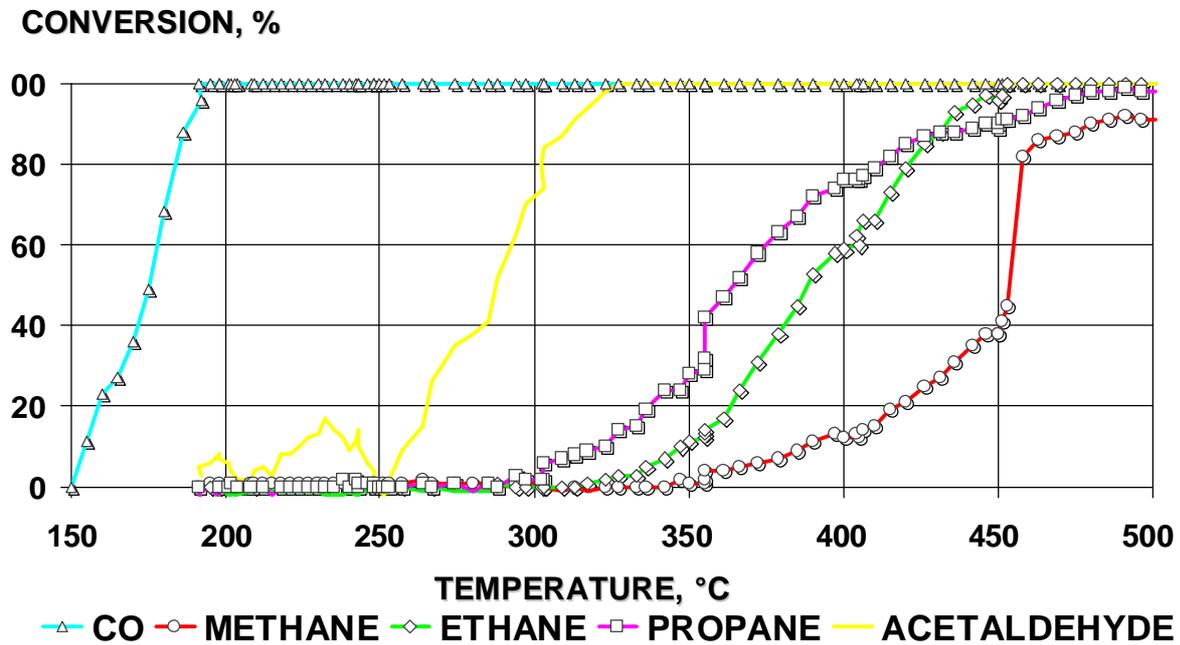


Figure 5. Conversion rate vs. exhaust temperature with aged catalyst (Source: Kemira)

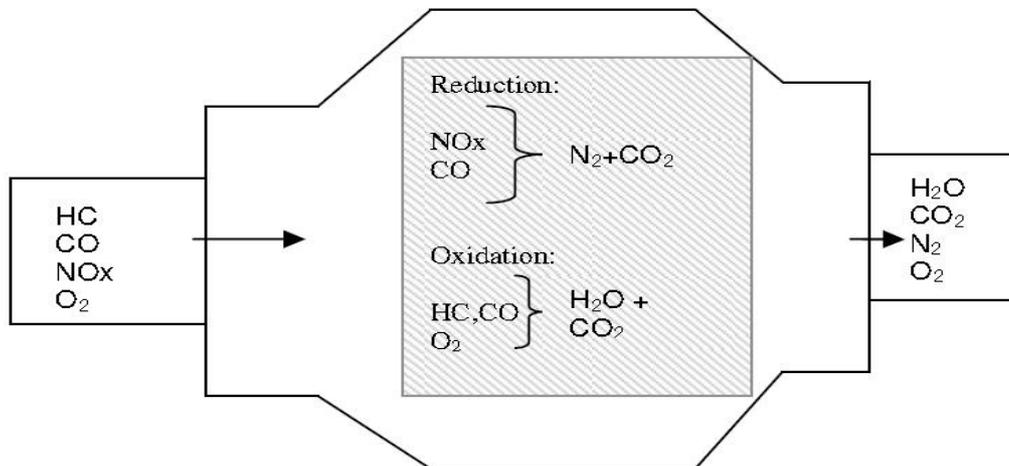


Figure 6. Chemical processes in a three way catalyst (simplified)

#### 4.3.2 THREE WAY CATALYST (TWC)

When operating a methane engine in stoichiometric conditions ( $\lambda=1$ ), a three-way catalyst (TWC) can be used. The TWC is a passive system after treatment that reduces HC, CO and  $\text{NO}_x$ . Stoichiometric operation is not suitable in Dual Fuel engines because it decreases the oxygen concentration needed for the pilot Diesel combustion to burn without soot.

An electronically controlled engine management system is used to keep the engine at  $\lambda=1$  during various modes of operation, which is needed to keep a high conversion rate of all emissions. Figure 6 shows the chemical processes in a three-way catalyst.

Pt (Platinum), Pd (Palladium) and Rh (Rhodium) is the most commonly used precious metals in TWC catalysts. Rh is used to enhance the  $\text{NO}_x$  conversion, Pt is used for a larger  $\lambda$ -window and Pd for cold start light off improvements. The ratio between Pt, Pd and Rh is normally 1:5:1 but to some degree affected by the market price for the precious metals which is highest for Rh followed closely by Pt. Pd is far less expensive which makes this attractive to use. Rh and Pt as well as Pd are needed to get effective conversion of CO, HC and  $\text{NO}_x$ .

The loading (amount) of precious metals in a TWC catalyst for a stoichiometric HD gas engine is normally 50-100 g/ft<sup>3</sup> which is much less than the methane oxidation catalyst (150-250 g/ft<sup>3</sup>) making the TWC catalyst less expensive than lean burn catalyst.

The TWC is a well known and cost effective emission after treatment system that has been used for gasoline vehicles with good results for many years. The stoichiometric technology with TWC will therefore most probably be the most common technology for European (on road) HD gas engines in the near future.

### **4.3.3 PARTICULATE FILTER**

Particulate Filter is used in modern Diesel engines to remove particulate matter and/or soot. Methane which has a very short carbon chains is normally a “clean burning fuel” which doesn’t produce soot emissions and thereby doesn’t need particulate filter. This is valid for most SI methane engines but since the Dual Fuel engines uses pilot Diesel ignition it will most probably both need particulate filter and SCR to fulfil upcoming emission legislation.

The soot produced by SI methane engines is normally coming from lubrication oil that is entering the combustion chamber through the crankcase ventilation system, valve stems or piston rings. Some soot will have it’s origin from the process to compress the gas before it is filled in the vehicle. Since future emission limits gets more stringent, including also PN (Particulate Number) limits, some SI methane engines in the future might also need a DPF to pass certification limits.

### **4.3.4 SCR**

Selective Catalytic Reduction is a technology used by the vehicle manufacturers in order to reach the emission limits for Euro V.

The SCR system injects urea – a liquid-reductant agent – through a catalyst into the exhaust stream of the Diesel engine. The urea sets off a chemical reaction that converts nitrogen oxides into nitrogen and water, which is then expelled through the vehicle tailpipe.

To reach future emission levels for  $\text{NO}_x$  a Dual Fuel engine could use selective catalytic reduction (SCR) which uses urea as reagent to reduce  $\text{NO}_x$  in lean conditions (implying selective reduction). This is a very effective process which is also used for conventional Diesel engines to reach present emission levels. The design of the exhaust emission control system is however slightly different since methane fuelled engines need a highly efficient oxidation catalyst to reduce methane slip. There are also challenges to reduce ammonia slip and to reach acceptance by the drivers of vehicles equipped with SCR systems since there is an extra tank to fill.

In addition, the regulation also requires a sophisticated system for control of vital functions in the exhaust emission control system by the use of on board diagnostic system (OBD). Special

concerns are given the operation of the SCR system and the tank with the reagent (urea). As one example, the level of liquid in the tank is supervised as well as the quality of the liquid. In case the OBD system is detecting faults in the SCR system there will be fault codes in the engine control unit, a check engine lamp illuminated on the dash board and limited performance of the engine forcing the driver to take suitable actions.

One challenge with SCR is the necessity to tune the SCR system to the engine operating cycle. Small differences in the route such as speed variations, hills, payload etc, can make the engine loads and exhaust temperature different enough that efficiency of the SCR system will suffer.

The exhaust gas temperature must be above 200 °C in order for the SCR system to work. If the temperature is below 200 °C the reduction of NO<sub>x</sub> is equal to zero. This is a problem especially in cold-start conditions and when the engine load is limited.

There is also an upper limit for the exhaust gas temperature in SCR systems. Temperatures above approximately 580-600 °C will destroy Vanadium based SCR catalysts which makes these systems unsuitable for the Dual Fuel applications, where the temperature most likely will rise above 600 °C after the methane oxidation catalyst (before the SCR system). There are other types of SCR systems that are more suitable for high temperature applications (i.e. Cu zeolite based).

Another common problem with all SCR systems is the release of ammonia which has not been consumed in the SCR catalyst (ammonia slip). Ammonia slip can occur when catalyst temperatures are not in the optimal range for the reaction or when too much ammonia is injected into the process. Ammonia slip is limited in the emission legislation legislations

#### **4.4 POTENTIALS FOR FUTURE IMPROVEMENTS OF THE DUAL FUEL TECHNOLOGY**

The major challenges with Dual Fuel technology for on road applications will be to develop robust and cost effective solutions that meet the emission legislations with aged catalysts without effecting the original Diesel system negatively (i.e. OBD fault codes, deteriorated SCR catalyst, damaged Diesel injectors etc.). Meeting legal emission demands and achieving low GHG emissions is especially difficult in the new EURO VI transient test-cycle and in real world driving condition which include cold climate.

Since methane has a very strong GHG effect (20-30 times CO<sub>2</sub>) there is a need to limit methane slip, not only from vehicle emissions but also from fuel storage such as boil-off methane to achieve the full GHG reduction potential from methane based fuels.

There will probably also be a request to increase the Diesel replacement to achieve further reduction of green house gases (GHG) compared to other technologies like SI gas, ethanol, Bio-Diesel, DME and hybrids. When fossil Diesel is used in combination with biomethane (as probably will happen in Sweden) mono-fuel SI gas technologies or DI Dual Fuel technologies will have lower GHG emissions than most port injected Dual fuel technologies.

See more in chapter 4.2.4. “Benefits and challenges with the Dual Fuel technology”

##### **Potentials for future improvements.**

There are large OEM port injected Dual Fuel engines for stationary purpose with optimized combustion system and “micro pilot” Diesel injection claiming 90-95 % Diesel replacement and 45-48 % Brake thermal efficiency for their Dual Fuel engines which show that there are still potential for improvement for the Dual Fuel truck engines. The major difference between

these large dedicated Dual Fuel engines and “rebuilt” truck engines are the reengineering effort on the base engine including pistons, air path, cylinder head and fuel injection system. These changes on the base engine are most likely only possible for an OEM and demands major engineering resources and costs.

One area for improvements of present system will be to further develop the gas engine control unit to take full control and optimize the Diesel injection in Dual fuel mode without affecting the original Diesel engine control unit negatively (i.e. generating OBD fault codes). One solution could be to introduce a communication between the two controllers allowing the Diesel controller to take proper actions but this solution will demand changes in the original Diesel controller software.

Another area that needs improvements is the emission strategy and durability. There is a small temperature window where the methane catalyst is capable of converting methane and still not produce excessive heat that damage the SCR system down stream of the methane catalyst. One way of solving this is to introduce temperature measurements downstream of the methane catalyst and take suitable actions when the temperatures are outside of the preferred window. One action can be to avoid Dual Fuel mode (like the new Hardstaff system) but this will decrease the Diesel replacement in cold climate. Another method would be to introduce thermal management strategies that increase the temperatures in the methane catalyst similar to the methods already used for DPF (Diesel Particulate Filter) regeneration in modern Diesel engines. Both these methods have to take into account that the temperature for reaching methane conversion is increasing when the catalyst is aging.

#### **General design recommendations.**

- Design robust electrical interfaces between the Dual Fuel system and the original Diesel system to avoid electrical problems.
- Optimize the Diesel injection starting point, duration and pressure for Dual Fuel mode.
- Optimize the gas injection to avoid gas blowing trough the engine at valve overlap and also to avoid methane peaks in transient conditions. (two injectors per cylinder close to inlet valves is recommended)
- Avoid high peaks of methane slip with warmed up catalyst since this will severely damage the catalyst.
- Avoid Dual Fuel mode when the methane catalyst is not active.
- Develop strategies for warming up the methane catalyst when not active
- Avoid high temperatures after the methane catalyst when a SCR system is present since this will severely damage the SCR system.
- Avoid high Diesel injector tip temperatures in Dual Fuel mode since this will potentially damage the injector and possibly cause pre-ignition.
- Avoid boil off methane into atmosphere from LNG tanks by balancing the tank pressure and/or reuse the boil-off methane by using a compressor or liquefier.

Finally it is our recommendation that both manufactures and authorities agree to certification and in-service test procedures to avoid that bad Dual Fuel applications find their way to the market and destroy the reputation of the Dual Fuel technology.

## **5 EXAMPLE OF DUAL FUEL SYSTEM SUPPLIERS**

### **5.1 NGV MOTORI**

NGV Motori is an Italian gas conversion company focusing on retrofit conversion kits and gas components for markets all over the world. The company has affiliates in growing markets like South America and Asia but also in Europe and USA. The main business is conversion of Diesel engines into natural gas engines and NGV Motori is offering both spark ignition and Dual Fuel conversion kits for busses and stationary engines.

The company has converted vehicles in Argentina, Croatia and in 95/96 it converted 27 buses to natural gas for Egypt. On the home page there are also examples from Chinese Dual Fuel conversion projects.

### **5.2 HARDSTAFF**

Hardstaff Dual Fuel Technologies which is a part of The Hardstaff Group offers dual fuel systems for heavy duty vehicles using the OIGI Dual Fuel system.

In 2008 Hardstaff released the second generation of their OIGI (Oil Ignition Gas Injection)

Dual Fuel conversion system developed mainly for HD Diesel engines with unit injectors. During 2008 the version 1 common rail system was released using rail pressure reduction technology. In 2010 a new common rail system was developed with more advanced functionality. During the emission test at AVL we tested both the version 1 and the latest “new generation” OIGI system optimized for HD Diesel engines with common rail systems.

The results from our tests with the two Hardstaff systems showed that the “new generation” of OIGI system works better with the actual test vehicles. One reason for this could be that both vehicles were equipped with common rail Diesel engines that need the new systems features to work properly. For more information please see chapter 8 “Emission tests with the Hardstaff Diesel Dual fuel system”

#### **5.2.1 EXPERIENCES FROM VISIT AT HARDSTAFF**

The visit at Hardstaff’s facilities and the nearby Loughborough University was requested by SGC as a part of this project to get a better understanding of the Hardstaff technology and development recourses.

Hardstaff have a chassis dynamometer and emission measurement systems which enabled them to run simplified steady state emission tests to test their Dual Fuel applications. Since there is a lack of legal certification procedures for Dual Fuel engines in Europe, these steady state emission results were accepted by legal authorities in UK according to Hardstaff.

Loughborough University which is well known for its research within fluid dynamics has been studying Dual Fuel combustion in several projects and is planning to investigate this technology further in cooperation with Hardstaff. Unfortunately very few studies have been performed during transient conditions which are necessary to comply with future legal demands.

Hardstaff is converting several different truck engines to Dual Fuel but their main focus at the time for the visit (28-29 April 2010) was to convert Daimler trucks which are requested in UK and in some other EU countries for example Austria. These conversions are performed on new trucks for Mercedes Benz UK which is selling them to the end customer. Mercedes Benz UK and Hardstaff provide a bespoke Dual Fuel insurance warranty specifically designed for Mercedes Benz products.

The main differences between the Daimler and the tested Volvo engines is that the Daimler engine uses unit injectors for Diesel when the Volvo (with Deutz engines) uses common rail Diesel injectors. The present Hardstaff Dual Fuel control unit was developed for unit injectors where it performs much better than the common rail system available at the time of the visit according to Hardstaff. The new generation OIGI system intended for common rail Diesel engines was under development at that time.

The new system will, according to Hardstaff, allow full control of the Diesel injectors and gas injectors with minimum influence on the original Diesel control unit and diagnose functionality. Hardstaff was building two new engine test cells at the time of the visit and they also have the possibility to build methane catalysts in their own workshop using catalyst substrates from suppliers.

## **5.2.2 DESCRIPTION OF THE HARDSTAFF OIGI DUAL FUEL TECHNOLOGY**

The Hardstaff OIGI system is a retrofit dual fuel system with a dedicated methane control unit that works alongside the original diesel control unit. Hardstaff promotes the system as unique in the meaning that it does not require access to the manufacturers ECU in order to control diesel reduction and injection timing. The Diesel injector signals are intercepted, allowing control of the quantity of fuel injected and the timing at which each fuel is injected.

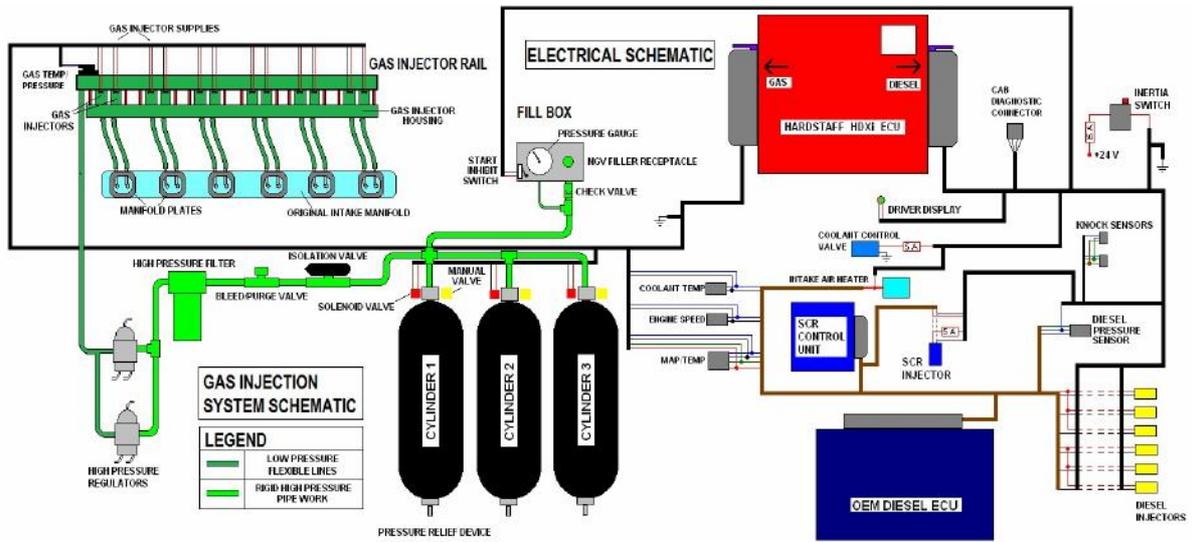
Hardstaff claim that this approach “preserves the integrity and control mechanisms designed by the manufacturer, and does not affect safety, braking control, or intelligent gear box systems”. The risk with this approach is to influence the original Diesel control systems diagnose functionality and set unwanted fault codes.

The principle layout of the second generation of the Hardstaff OIGI Diesel Dual Fuel system is presented in Figure 7.

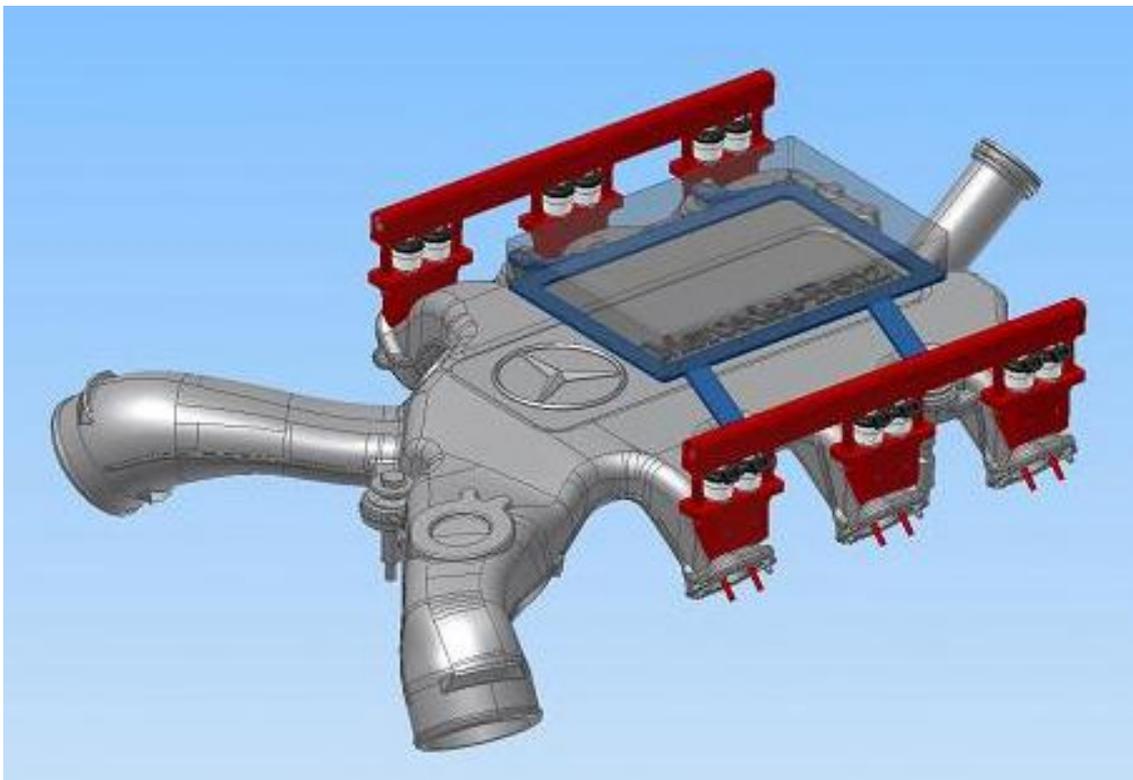
The OIGI system is presently used in different retrofit H-D truck applications, mainly in the UK but also intended for other European countries. When converting a vehicle with the Hardstaff OIGI system a methane oxidising catalyst is installed between the turbo outlet and the SCR system. The original SCR exhaust system is retained.

The latest Hardstaff OIGI system uses a multi point gas injection system with two gas injectors per cylinder allowing a range of injection strategies. This enables a strategy where gas injection only occurs when the inlet valves are open and the exhaust valves have closed to minimize methane slip.

An example of the gas injector application is shown in figure 8.



*Figure 7. Principle lay-out of the Hardstaff OIGI system*



*Figure 8. Hardstaff OIGI Dual Fuel Technology (Oil Ignition Gas Injection)*

### **5.3 CLEAN AIR POWER**

Clean Air Power (CAP) was founded in 1991 and is one of the leading retrofit companies with several patents within the Dual Fuel area. CAP has a retrofit product line called Genesis Dual Fuel retrofit products which was initially developed for EURO III truck applications in Europe.

Clean Air Power has their R&D facility in Leyland UK, where the company focus on further development of its retrofit Dual fuel technology and also on OEM applications. They have recently announced that they are entering into a supply and development agreement with Volvo Powertrain with planned fleet tests in Sweden.

Clean Air Power has converted more than 1 600 vehicles around the world (according to CAP) with a major part of their business in Europe, US and Australia where they have tested new technologies like the secondary intercooler. See Figures 9-10.

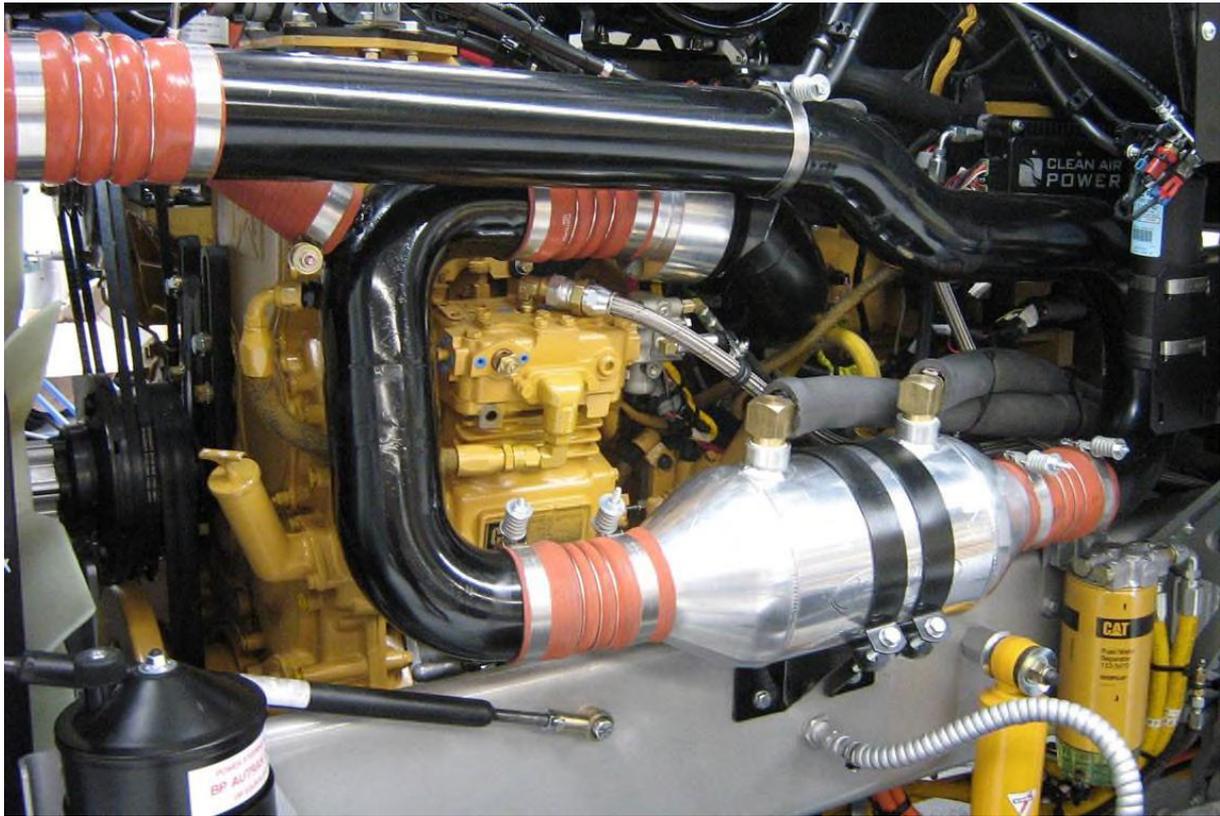
### **5.4 BOSCH**

Bosch is the one of the largest supplier in the world for engine management systems and fuel components with a long history as Tier 1 supplier to most leading OEM vehicle and engine manufacturers.

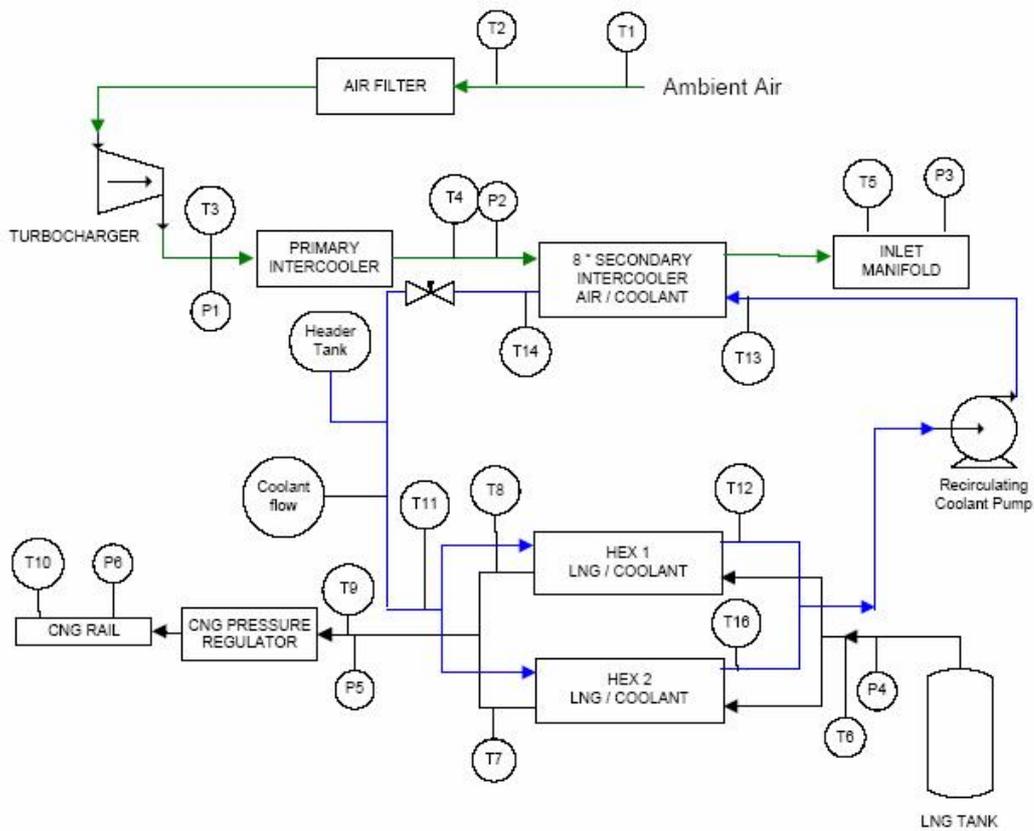
Bosch has recently started series production of a number of engine management systems and injection components for methane fuelled engines called NG-Motronic. These gas EMS components are developed for both spark ignited (mono-fuelled) and Dual Fuelled engines which makes them very attractive for the Dual Fuel market which have up to recently only been supported by retrofit companies.

The Dual Fuel product line from Bosch is called DG Flex and is based on technology originally developed by DieselGas in New Zealand. The main market has so far been Brazil where the system was launched for retrofit HD Dual Fuel Conversions in 2008.

In 2006, Bosch Brazil started researching the Dual Fuel technology with mechanical Diesel injection systems and in 2008 the first emissions homologation in Brazil of a Dual Fuel engine was performed. In 2008, Bosch started the development of a Dual Fuel system application for electronically controlled Diesel injection systems. The system layout of the latest Bosch Dual Fuel system is shown in Figure 11 and the system components in Figure 12.

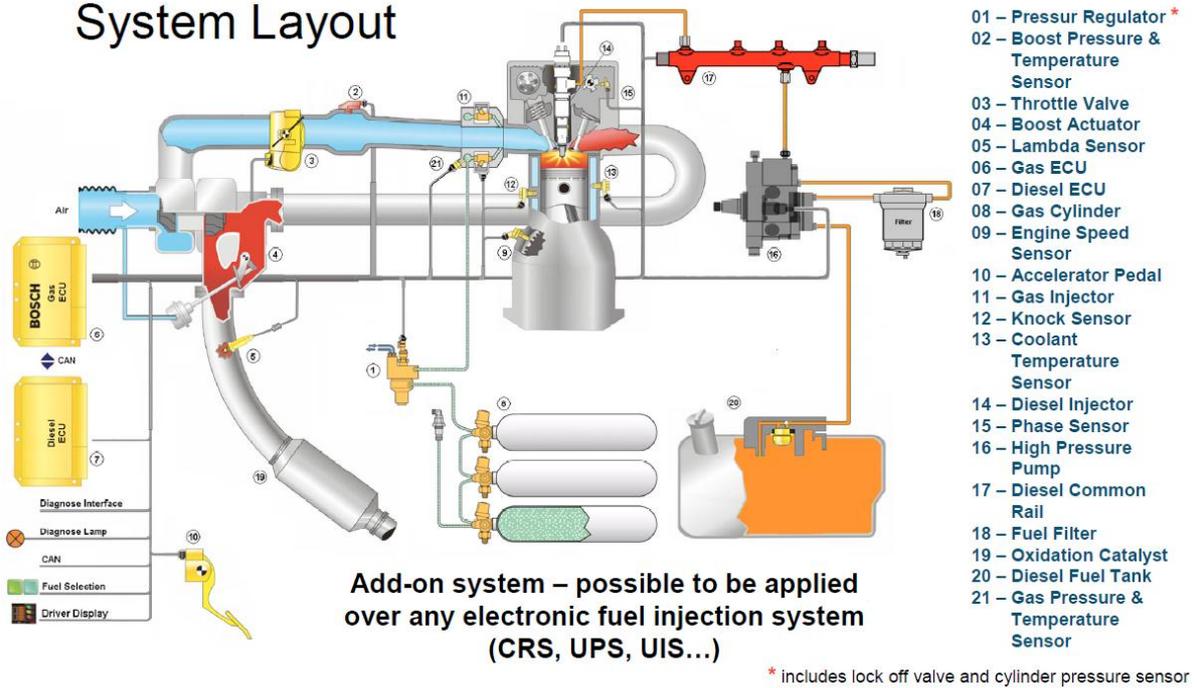


*Figure 9. Clean Air Power secondary intercooler.*

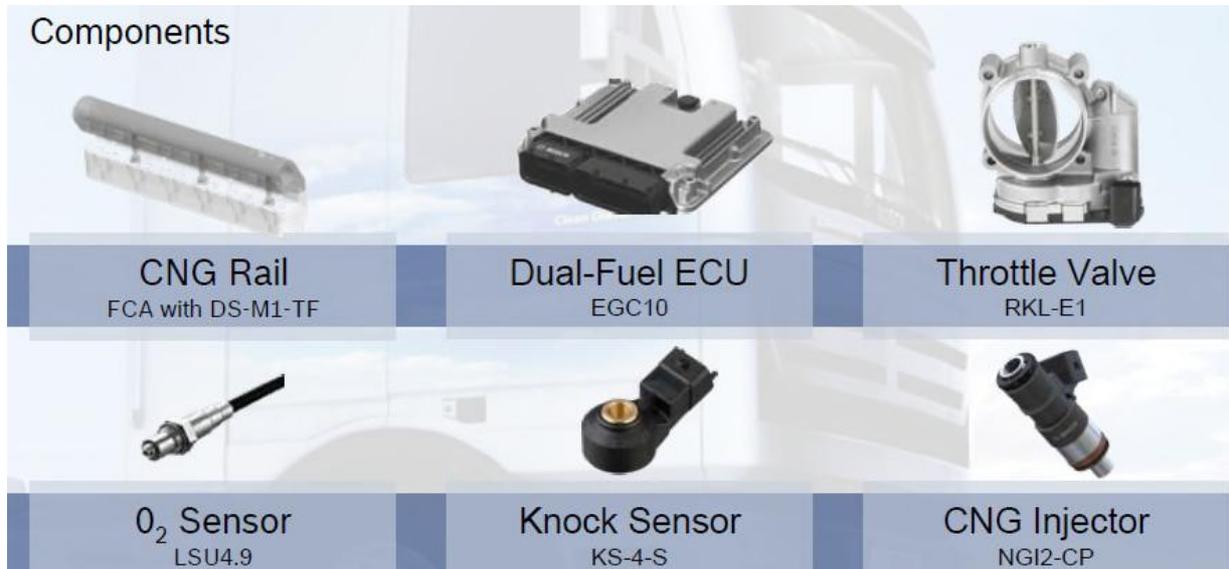


*Figure 10. Clean Air Power secondary intercooler system flow chart.*

# System Layout



*Figure 11. Bosch Dual Fuel system layout*



*Figure 12. Bosch Dual Fuel components*

## 5.5 WESTPORT

Westport is a Canadian based company that has been developing Direct injected Dual Fuel systems, SI gas engines and gas components since the mid 1990`s. Westport claims to be the market leader in alternative fuels technology and has formed several joint ventures and strategic partnerships with major OEMs.

Westport is divided into four different companies with slightly different products and ownership.

**Westport HD** which is a fully owned subsidiary of Westport and originates from Westport Innovations Inc. Westport HD is the only part of Westport that is focusing only on Dual Fuel technology and is also the owner of several patents within this area of technology. The most important technology that they are marketing is the HPDI (High Pressure Direct Injection) system which is very similar to the Wärtsilä DI gas system showed in chapter 4.2.1.

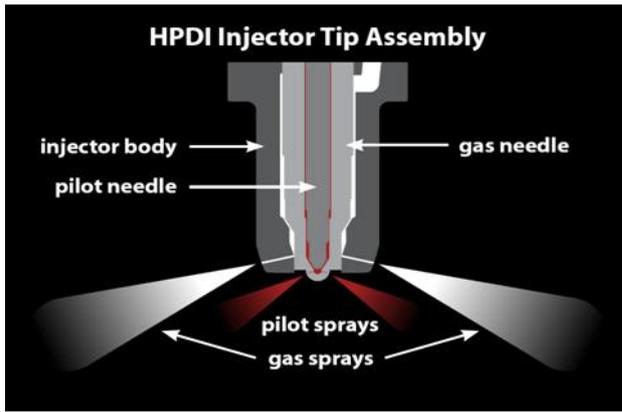
**Juniper Engines** which is a fully owned subsidiary of Westport. (Juniper started as a 50/50 joint venture between OMVL and Westport) Juniper produces and sells alternative engines in the sub 5 litre class to OEMs in the light duty industrial and automotive markets.

**Cummins Westport** is a 50/50 joint venture between Cummins Inc. and Westport that is developing, producing and marketing Cummins spark ignited gas engines (not the Dual Fuel engines). Cummins Westport has produced more than 25 000 SI gas engines and engine kits up to date (according to Westport) which makes them one of the world`s largest gas engine producers. The largest markets for Cummins Westport are USA, China and India where they also have production sites. Cummins Westport stands for more than 90 % of the total Westport turn-over.

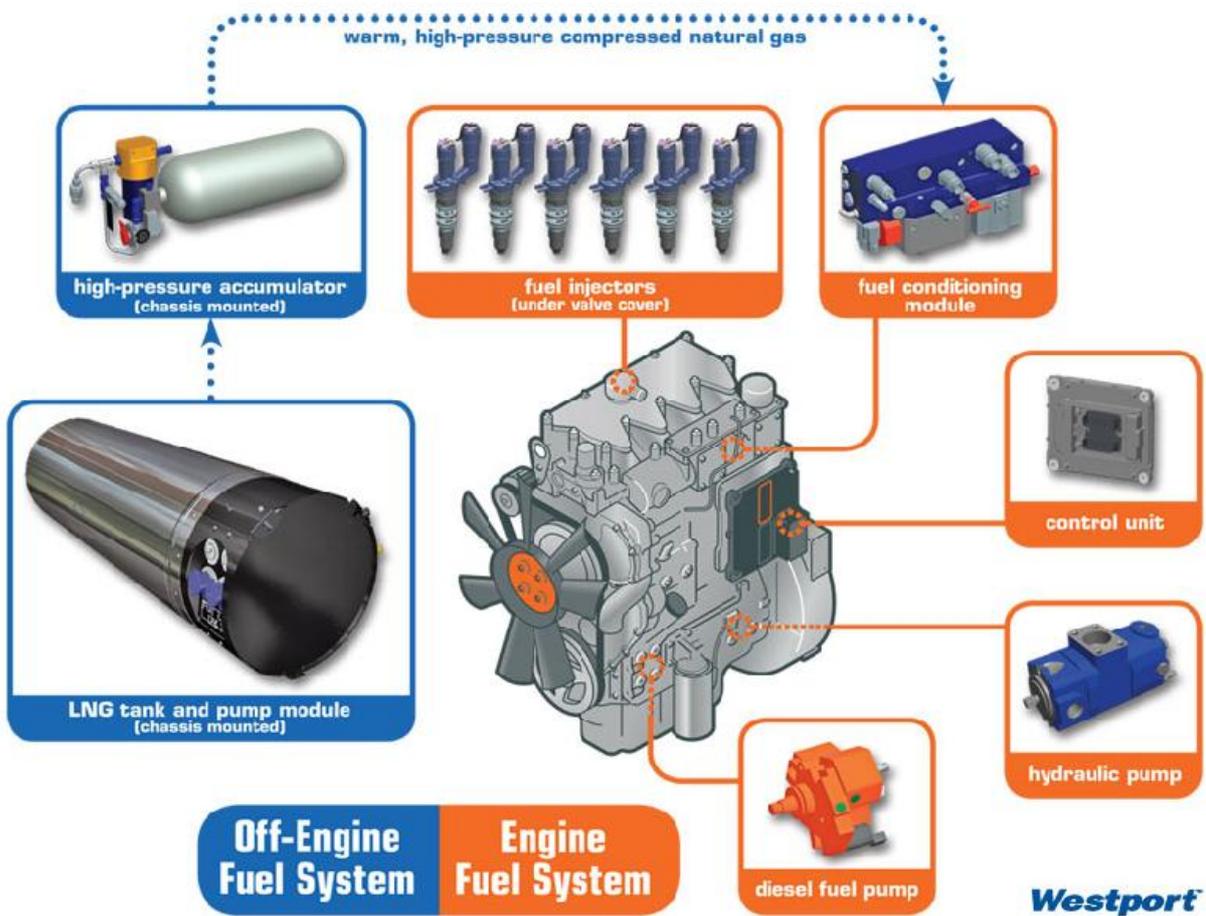
**Weichai Westport Inc. (WWI)** which is a 35 % owned by Westport develops, manufactures, and market alternative fuel engines and systems for automobiles, HD trucks, power generation and ships with a focus on the fast growing markets in China and India.

Westport has also several partnerships and collaborations with strategic OEMs. One example of such collaboration is with Volvo AB where there is an agreement since 2009 between Westport and Volvo to mutually develop and commercialize a HD (Dual Fuel) gas engine. Another example is a production agreement with Delphi which is one of the world's largest Diesel injector manufacturers, to produce the HPDI injectors.

The Dual Fuel system from Westport HD includes the HPDI injectors, (combined gaseous fuel/pilot fuel injectors) complete fuel delivery system (cryogenic tanks and cryogenic pumps) and the Engine Control Unit (for both Diesel and gas) se Figure 14 and 15. The major markets for the Dual Fuel system are Canada, Australia and USA and the target engines are large HD engines for trains, gensets and long haulers which can benefit from the fuel efficiency and driving range of the DI Dual fuel system and LNG tank even if the cost is generally higher for the DI system than for the port injected Dual Fuel systems.



*Figure 13. Westport HPDI (High Pressure Direct Injection) Dual Fuel injector*



*Figure 14. Westport complete HPDI Dual Fuel system*

## 6 OVERVIEW OF LEGAL DEMANDS

There are separate emission limits and test cycles for HD Diesel and SI gas (positive ignition) engines in the European emission legislation from EURO III and onwards. The European Transient Cycle (ETC) applies for gas engines and there are separate limits for methane which are not valid for Diesel engines. The major difference however is that HD gas engines from EURO III have to fulfil the ETC transient cycle with specific CH<sub>4</sub> limits while Diesel engines (without advanced after treatment) only have to fulfil the European Stationary Cycle (ESC) where only NMHC (Non Methane Hydrocarbon) is specified. The upcoming EURO VI test cycle will be changed to World Harmonized Transient Cycle (WHTC) which also includes a cold start test.

*Table 1. European emission legislation for gas engines*

	<b>CO</b> (g/kWh)	<b>NMHC</b> (g/kWh)	<b>CH<sub>4</sub></b> (g/kWh)	<b>NO<sub>x</sub></b> (g/kWh)	<b>NH<sub>3</sub></b> (ppm)	<b>PM</b> (g/kWh)	<b>PM#</b> (10 <sup>12</sup> /kWh)	<b>Test cycle</b>
<b>Euro III</b>	<b>5.45</b>	<b>0.78</b>	<b>1.6</b>	<b>5.0</b>		<b>0.16</b>		<b>ETC</b>
<b>Euro IV</b>	<b>4.0</b>	<b>0.55</b>	<b>1.1</b>	<b>3.5</b>		<b>0.03</b>		<b>ETC</b>
<b>Euro V</b>	<b>4.0</b>	<b>0.55</b>	<b>1.1</b>	<b>2.0</b>	<b>-</b>	<b>0.03</b>		<b>ETC</b>
<b>EEV</b>	<b>3.0</b>	<b>0.40</b>	<b>0.65</b>	<b>2.0</b>	<b>-</b>	<b>0.02</b>		<b>ETC</b>
<b>Euro VI</b>	<b>4.0</b>	<b>0.16</b>	<b>0.5</b>	<b>0.46</b>	<b>10</b>	<b>0.01</b>	<b>0.6*</b>	<b>WHTC</b>

### 6.1 EURO VI LEGISLATIONS INCLUDING OBD

Dual Fuel is discussed to be included in the upcoming EURO VI legislation which then will open up the possibility for vehicle and engine manufactures to develop and certify Dual Fuel engines for the first time.

The main objective for introduction of the EURO VI regulation for HD vehicles is to further reduce the emission limits and to introduce more stringent in service conformity (ISC) demands and On Board Diagnostics (OBD) demands. Compared to the EURO V emission regulation, a reduction in NO<sub>x</sub> of 80 % and a reduction of particulate matter of 66 % are decided by the European Commission. The current European Transient Cycle (ETC) which is valid for gas engines will be replaced by the Worldwide Harmonized Transient Cycle (WHTC) also including a cold start test. The emission durability demands are 700 000 km and Portable Emission Measurement System (PEMS) will be used for in service validation tests on normal roads. The new more stringent OBD demands will include diagnostic control of all emission related systems and components. The OBD system will be checked for In Use

Performance Ratio (IUPR) meaning that all OBD control strategies have to work during all driving conditions.

## 7 SUMMARY OF EMISSION TESTS RESULTS

Tests have been carried out as part of this assignment to verify Diesel replacements, efficiency and emission levels of three different retrofit Dual Fuel systems, Hardstaff OIGI, NGV Motori and the Hardstaff “new generation” OIGI system. Tests have also been carried out on vehicle equipped with a retrofit converted spark ignited (SI) gas system from NGV Motori. The test cycle used for these tests were the FIGE test cycle which is the chassis dynamometer version of the ETC test cycle used for HD gas engine certification in Europe.

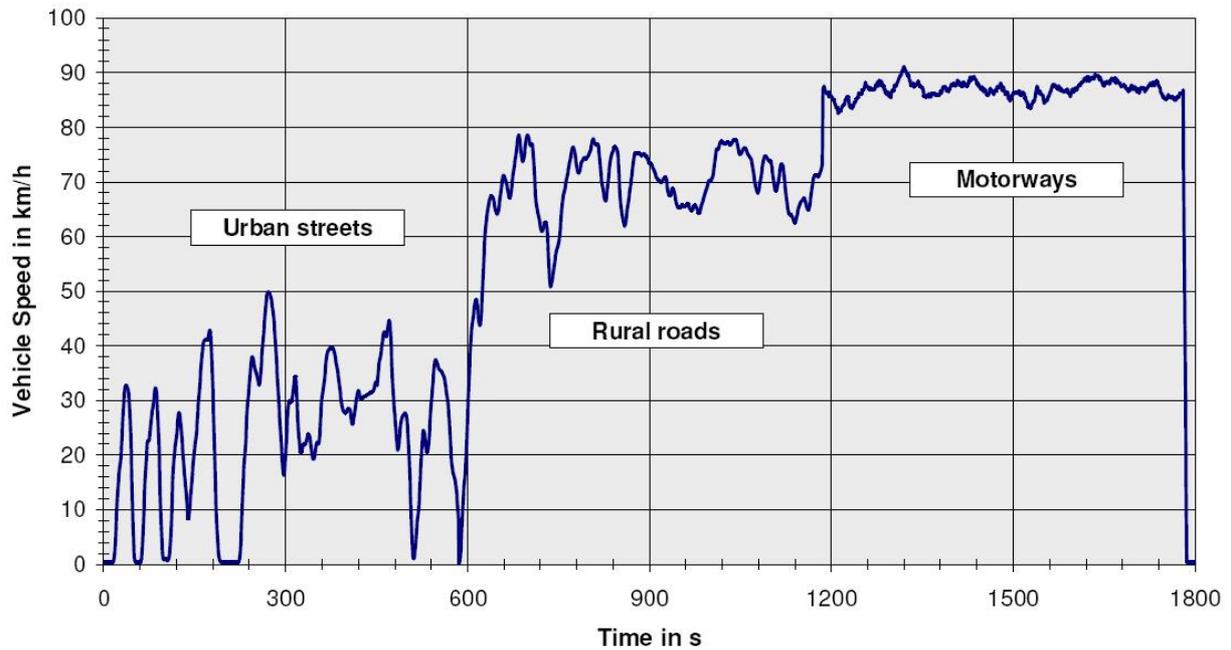
The emission results shows that the main challenge with Dual Fuel applications is the high “engine out” methane slip in combination with relatively low catalyst (methane) conversion efficiency. This is due to low exhausts temperatures since effective methane conversion in the oxidation catalyst needs a temperature of approx 400-450 °C (when aged) in order to convert methane when aged. These high temperatures are only reached in the last high speed phase of the tests with the Dual Fuel vehicles.

The results also shows that the efficiency of the engine was decreased with approx 8-12 % in Dual Fuel mode compared to Diesel mode and that the Diesel replacement was approx 40-60 % in the transient FIGE test cycle (The FIGE chassis dynamometer test is a transformation of the ETC engine dynamometer test used for certification of engines to be used in heavy duty vehicles).

The emission results from the first tests with the Hardstaff OIGI system and the NGV Motori systems were high in both Diesel and Dual Fuel mode and neither one of these applications reached EURO V gas engine emission limits when tested according to the FIGE test cycle.

The best emissions results were found with the latest version of the Hardstaff Dual Fuel system. The results from these tests showed a clear improvement compared to the first tests and almost reached EURO V emission levels when tested in the FIGE test cycle. (see table 9 chapter 8)

Our estimations from the study is that it could be possible to meet EURO V HD gas engine emissions with the most advanced Dual Fuel systems on the market but also that most Dual Fuel systems will need further development to reach acceptable emission levels and Diesel replacement rates. There is also a need for certification and test procedures, including in service conformity test procedures, with defined emission limits to enable further development of the Dual Fuel technology.



*Figure 15 The FIGE driving cycle*

The FIGE test cycle has been developed by the FIGE Institute, Aachen, Germany, based on real road cycle measurements of heavy duty vehicles. FIGE Institute developed the cycle in two variants: as a chassis and an engine dynamometer test. The engine dynamometer version of the test is the so called ETC cycle (European Transient Cycle) which today is used for certification purposes of Diesel engines to be used in heavy duty vehicles. The chassis dynamometer version is normally referred to as the FIGE test cycle.

Different driving conditions are represented by three parts of the ETC/FIGE cycle, including urban, rural and motorway driving.

The duration of the entire cycle is 1800s. The duration of each part is 600s.

- Part one represents city driving with a maximum speed of 50 km/h, frequent starts, stops, and idling.
- Part two is rural driving starting with a steep acceleration segment. The average speed is about 72 km/h
- Part three is motorway driving with average speed of about 88 km/h.

## 8 EMISSION TESTS WITH THE HARDSTAFF DIESEL DUAL FUEL SYSTEM

Two different Volvo trucks which have been converted by Hardstaff and the Swedish company Stadspartner to the Hardstaff OIGI (Oil Ignition Gas Injection) Dual Fuel Technology were tested in our emission laboratory. The first truck (Volvo FL 260) was using the older generation of Hardstaff Dual Fuel system which only has the possibility to adjust Diesel fuel rate by controlling Diesel fuel rail pressure on this common rail Diesel engine. The second truck (Volvo FE 340) was using the latest Hardstaff Dual Fuel system which is capable of taking control over the original Diesel common rail injection system allowing for a better optimization of the Dual Fuel combustion and after treatment system temperature control which allows for higher Diesel replacement and less emissions. According to Hardstaff and Volvo, all of the older generation trucks on the field have or will be upgraded to the latest technology.

The vehicles were tested according to the transient FIGE test cycle which is the chassis dynamometer version of the ETC test cycle. ETC is the test cycle that is used for certification of gas fuelled HD truck engines according to European legislation. (EURO III to EURO V)

Regulated emissions of carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC and methane slip), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and particulates (PM) were measured as well as Diesel consumption and gas consumption in both Diesel mode and Dual Fuel mode. The emission results and fuel consumption are presented in g/km. The emission results were also converted from g/km to g/kWh using estimations of executed work during the total test cycle.

The first tests were carried out with the previous generation OIGI system which was primarily developed for engines with “unit injectors” and not optimized for engines with common rail injection system (like the Volvo FL 260). One of the drawbacks with the old version of the OIGI system (used in test nr 1) is that it does not allow full control of the common rail Diesel injectors which means that this system would not allow for the most optimal control strategy for Dual Fuel combustion when used in common rail engines. The new version of the OIGI system (used in test nr 2) will allow for better control over the Diesel common rail injectors which will open up the possibilities for improving Diesel replacement and emissions in Dual Fuel mode.

When converting a vehicle to Dual Fuel there is a need for an additional (or upgraded) oxidation catalyst with high methane oxidation efficiency. There is however a risk that this new oxidation catalyst also will affect the NO/NO<sub>2</sub> ratio which may lead to decreased NO<sub>x</sub> efficiency in the Diesel SCR system.

## Test vehicle 1

*Table 2. Vehicle data*

Type	VOLVO FL 260
Max engine power	260 hp
Maximum torque	1010 Nm
Gross weight	18 000 kg
Maximum load	~ 9 180 kg
Emission class	Euro V
Aftertreatment system	SCR

The vehicle was tested at curb weight with extra weight of 4 500 kg, which is approximately half loaded and corresponds to a test weight of approximately 13 500 kg

## Test vehicle 2

*Table 3. Vehicle data*

Type	VOLVO FE 340
Max engine power	340 hp
Gross weight	26 000 kg
Maximum load	14 540 kg
Emission class	Euro V
Aftertreatment system	SCR

The vehicle was tested at curb weight with extra weight of 7 300 kg which is approximately half loaded and corresponds to a total weight of approximately 18 800 kg

## Test fuel

The Diesel fuel used for the testing was commercially available Mk1 (Swedish environment class 1 with 10 ppm sulphur) Diesel. The gas (CNG) used for test vehicle 1 was supplied by Stadspartner AB and delivered in the tank of the vehicle. For the second vehicle the gas used (CNG) during the testing was partly delivered in the tank of the vehicle and partly filled with gas supplied by AGA (methane content 97 %  $\pm$  1 %). The lower heating values 43 MJ/kg for Diesel and 45,48 MJ/kg for gas have been used.

## Test results

The emission results and fuel consumption (Fc) are presented in g/km. The emission results and fuel consumption are also converted from g/km to g/kWh using estimations of executed work during the transient test cycle.

### Results from vehicle 1

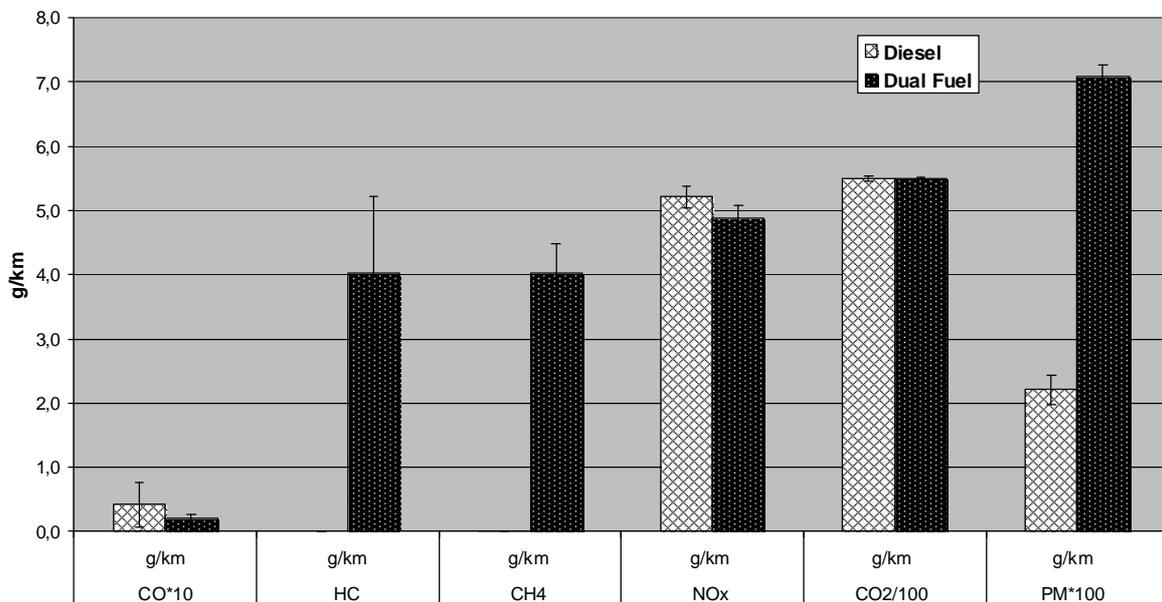
The average emission test results in g/km are presented in Table 4. The average emission test results in g/km for each mode are compared in Figure 16.

*Table 4. Emission test results [g/km] from FIGE chassis dynamometer test*

	CO	HC	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	PM
	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
<i>Average Diesel</i>	0.04	0	0	5.21	549	0.02
<i>Stdv</i>	0.03	0	0	0.17	4	0.00
<i>Average Dual Fuel</i>	0.02	4.02*	4.02*	4.87	551	0.07
<i>Stdv</i>	0.01	1.20	0.47	0.20	0.5	0.00

\* The higher emission results for CH<sub>4</sub> compared to HC is a consequence of counting HC with an average H/C ratio of (1,85) and CH<sub>4</sub> with the correct H/C ratio of (4). The reason for this is that HC is calculated as Diesel when it in fact is methane.

**Emission results from FIGE chassis test  
Hardstaff VOLVO FLH 260 42R Dual Fuel vs Diesel**



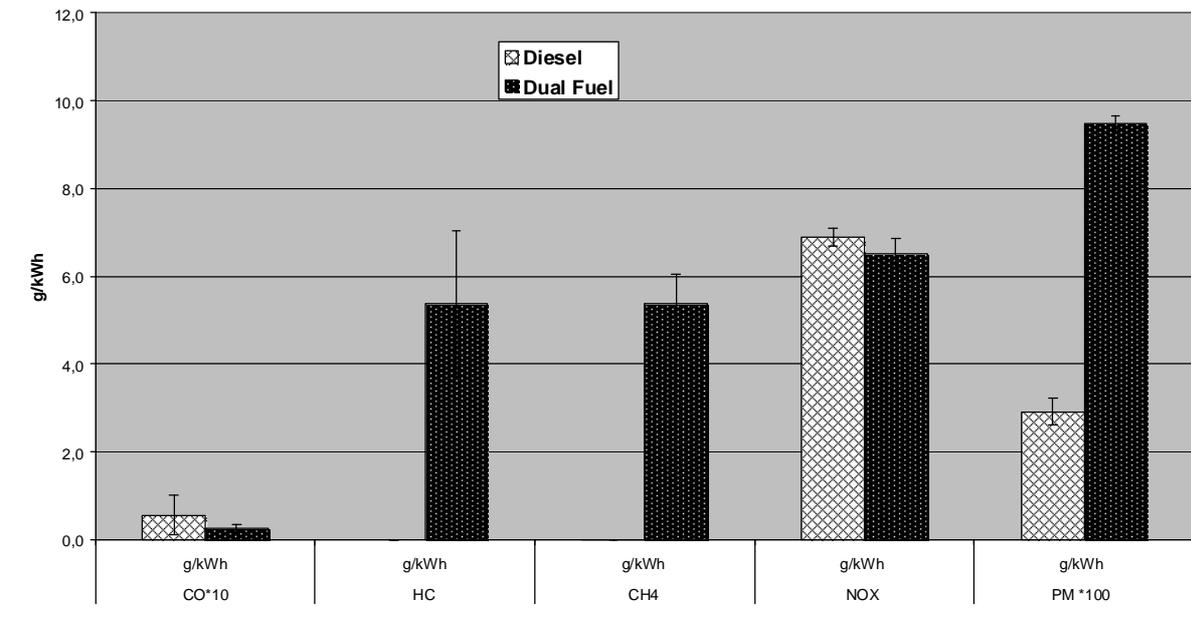
*Figure 16. Emission test results [g/km]*

The emission test results in g/kWh are presented in Table 5. The average emission test results in g/kWh for each mode are compared in Figure 17.

*Table 5. Emission test results [g/kWh] from FIGE chassis dynamometer test*

	CO	HC	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	PM
	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
<i>Average Diesel</i>	0.06	0	0	6.89	727	0.03
<i>Stdv</i>	0.05	0	0	0.20	2	0.00
<i>Average Dual Fuel</i>	0.03	5.39	5.39	6.53	738	0.09
<i>Stdv</i>	0.01	1.65	0.67	0.32	5	0.00

**Emission results from FIGE chassis test  
Hardstaff VOLVO FLH 260 42R Dual Fuel vs Diesel**



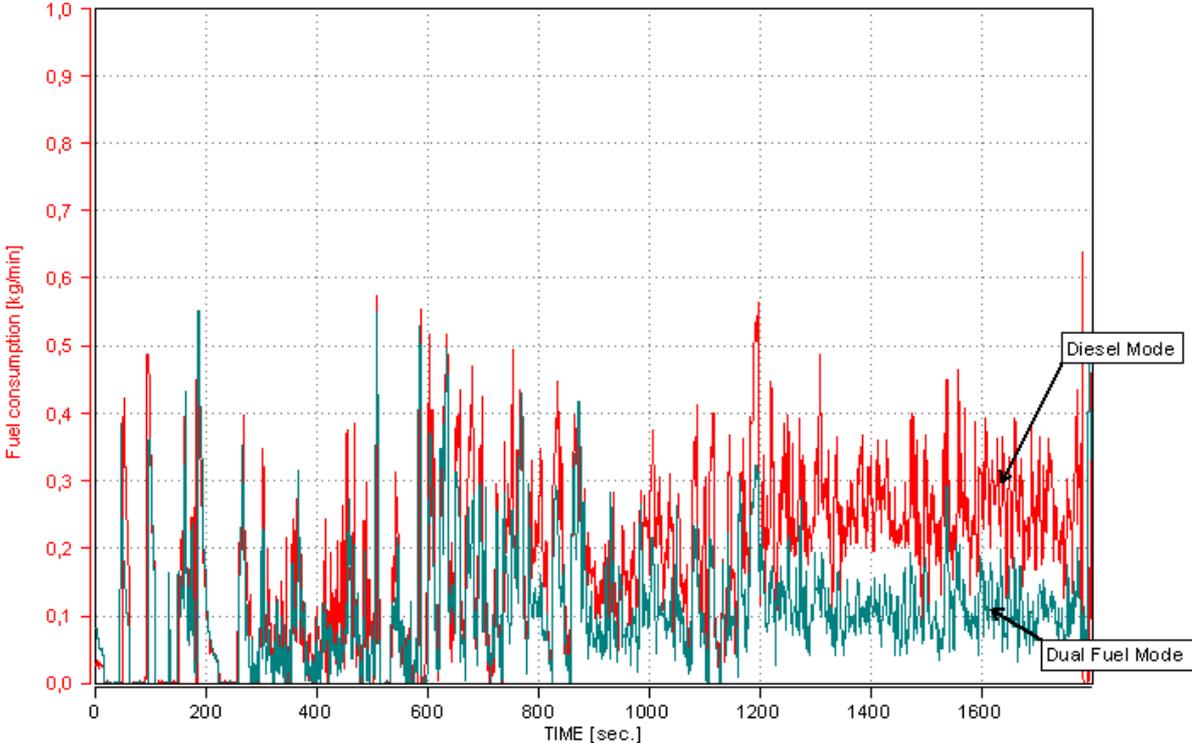
*Figure 17. Emission test results [g/kWh]*

The average fuel consumption test results in g/km and g/kWh are presented in table 6.

*Table 6. Fuel consumption test results from FIGE chassis dynamometer test*

	Diesel consumption	Gas consumption	Diesel consumption	Gas consumption	Diesel replacement	Energy consumption	Change of efficiency
	[g/km]	[g/km]	[g/kWh]	[g/kWh]		[MJ/km]	
<i>Average Diesel</i>	186	0	246	0		8.00	
<i>Stdv</i>	2	0	1	0		0	
<i>Average Dual Fuel</i>	109	100	146	135	-41.5%	9.25	-12.7%
<i>Stdv</i>	1.17	2.92	0.45	4.95	0.6%	0.08	3.0%

The Diesel consumption second by second over the whole cycle in kg/min are presented in Figure 18



*Figure 18. Diesel consumption [kg/min] second by second over the test cycle measured with PLU flow meter*

## Results from vehicle 2

The vehicle number 2 (Volvo FE 340) was equipped with a further developed version of the OIGI Dual Fuel system from Hardstaff.

Several tests were performed during a “development phase” with different calibration data. The test results presented below are from the final calibration only.

No measurement of Diesel substitution was performed for vehicle 2 with the final calibration but during the “development phase” we measured up to 58 % Diesel substitution which was clearly higher than for the first vehicle.

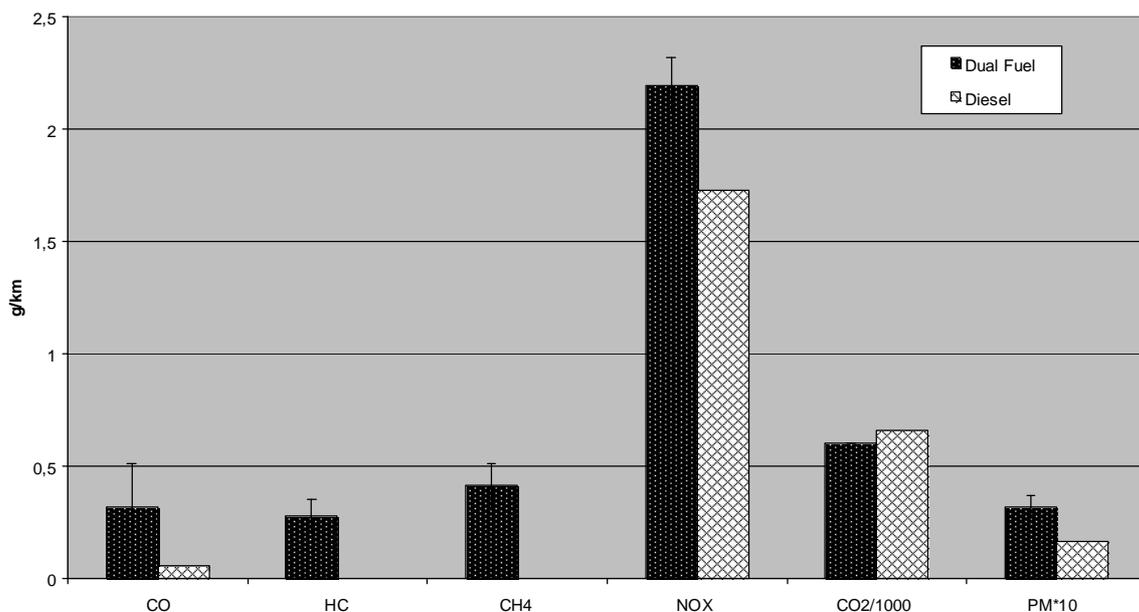
The average emission test results in g/km are presented in table 7. The average emission test results in g/km for each mode are compared in Figure 19.

*Table 7. Emission test results [g/km] from FIGE chassis dynamometer test*

	CO	HC*	CH <sub>4</sub> *	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	PM
	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
Diesel	0.06	0.00	0.00	1.72	660	0.02
<i>Average Dual Fuel</i>	<i>0.32</i>	<i>0.28</i>	<i>0.41</i>	<i>2.19</i>	<i>604</i>	<i>0.03</i>
<i>Stdv</i>	<i>0.19</i>	<i>0.07</i>	<i>0.10</i>	<i>0.12</i>	<i>1</i>	<i>0.01</i>

\* The higher emission results for CH<sub>4</sub> compared to HC (THC) is a consequence of counting HC with an average H/C ratio of (1,85) and CH<sub>4</sub> with the correct H/C ratio of (4). The reason for this is that HC is calculated as Diesel when it in fact is methane.

**Results from FIGE chassis dyno tests  
Hardstaff Volvo FE-340 Dual Fuel vs Diesel**



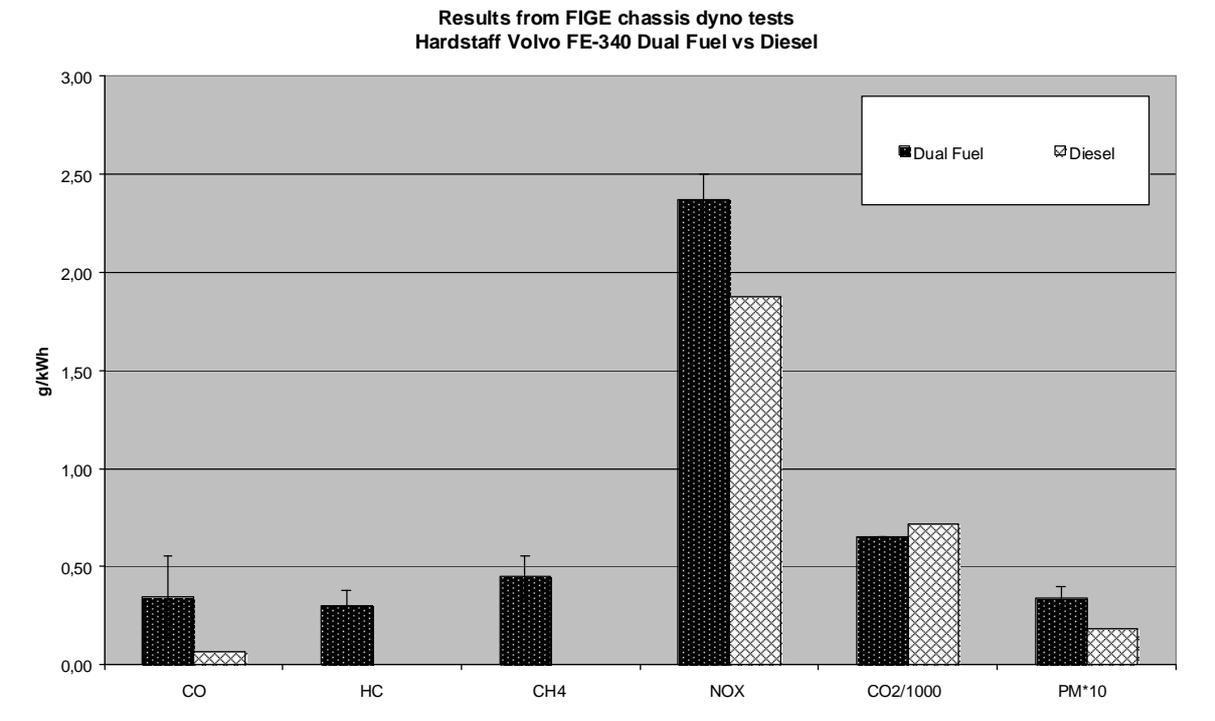
*Figure 19. Emission test results [g/km]*

The emission test results in g/kWh are presented in Table 8. The average emission test results from the tests with the final calibration in g/ kWh for each mode are compared in Figure 20.

*Table 8. Emission test results [g/kWh from FIGE chassis dynamometer test]*

	CO	HC*	CH <sub>4</sub> *	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	PM
	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
Diesel	0.07	0.00	0.00	1.88	718	0.02
<i>Average Dual Fuel</i>	<i>0.34</i>	<i>0.30</i>	<i>0.45</i>	<i>2.37</i>	<i>652</i>	<i>0.03</i>
<i>Stdv</i>	<i>0.21</i>	<i>0.08</i>	<i>0.11</i>	<i>0.13</i>	<i>1</i>	<i>0.01</i>

\* The higher emission results for CH<sub>4</sub> compared to HC (THC) is a consequence of counting HC with an average H/C ratio of (1,85) and CH<sub>4</sub> with the correct H/C ratio of (4). The reason for this is that HC is calculated as Diesel when it in fact is methane.



*Figure 20. Emission test results [g/kWh]*

## 9 EMISSION TESTS WITH THE NGV MOTORI DIESEL DUAL FUEL SYSTEM

AVL has carried out emission tests of a Volvo bus with the Volvo 121 Diesel EURO III engine that has been retrofitted with the NGV Motori Dual Fuel system. These emission validation tests were carried out on commission by Nobina AB and SGC to validate how well the NGV Motori Dual Fuel system fulfils the EURO V emission legislation when used on a Volvo bus and to compare the results with the Hardstaff system.

Regulated emissions, carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC and methane), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and particulates (PM) were measured on a vehicle tested on a chassis dynamometer during the FIGE test cycle. In addition was the Diesel consumption and gas consumption measured in both Diesel mode and Dual Fuel mode. The emission results and fuel consumption (Fc) are presented in g/km. The emission results are also converted from g/km to g/kWh using estimations of executed work during the transient test cycle.

The emission results from the NGV Motori Dual Fuel conversion when tested according to the FIGE vehicle test cycle at AVL in Sweden was not fulfilling EURO V nor EURO III emission limits but since also the Diesel emissions were above EURO III we can not exclude that this specific vehicle was suffering from technical failures.

### Test vehicle

*Table 9. Vehicle data*

Type	Volvo Carrus B12M
Effect	250 kW
Gross weight	20 330 kg
Maximum load	5 490 kg
Emission class	EURO III
Aftertreatment system	CRT-filter

The vehicle has been tested at curb weight with extra weight of 4 000 kg which corresponds to a test weight of approximately 18 840 kg

### Test fuel

The Diesel fuel used for the testing was commercially available Mk1 Diesel. The gas (LNG) used during the testing was supplied by the customer and delivered in the fuel tank of the vehicle. There have been no fuel specifications available for the test result calculations.

## Test results

The emission results and fuel consumption (Fc) are presented in g/km. The emission results are also converted from g/km to g/kWh using estimations of executed work during the transient test cycle.

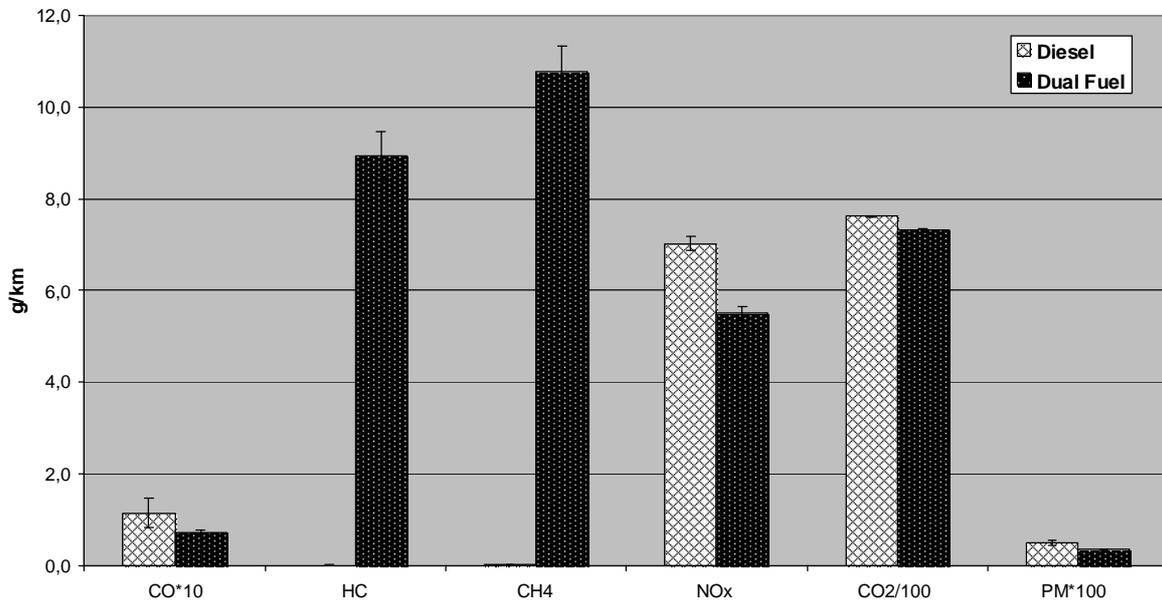
The emission test results in g/km are presented in table 10. The average emission test results in g/km for each mode are compared in Figure 21.

*Table 10. Emission test results in [g/km] from FIGE chassis dynamometer test*

	CO	HC*	CH <sub>4</sub> *	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	PM
	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
<i>Average Diesel</i>	<i>0.11</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>7.02</i>	<i>762</i>	<i>0.005</i>
<i>Stdv</i>	<i>0.03</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.15</i>	<i>3</i>	<i>0.001</i>
<i>Average Dual Fuel</i>	<i>0.07</i>	<i>8.94</i>	<i>10.77</i>	<i>5.50</i>	<i>731</i>	<i>0.003</i>
<i>Stdv</i>	<i>0.01</i>	<i>0.54</i>	<i>0.57</i>	<i>0.16</i>	<i>3</i>	<i>0.000</i>

\* The higher emission results for CH<sub>4</sub> compared to HC is a consequence of counting HC with an average H/C ratio of (1,85) and CH<sub>4</sub> with the correct H/C ratio of (4). The reason for this is that HC is calculated as Diesel when it in fact is methane.

**Emission results from FIGE chassis test  
Volvo Carrus B12M Dual Fuel vs Diesel**



*Figure 21. Emission test results in [g/km]*

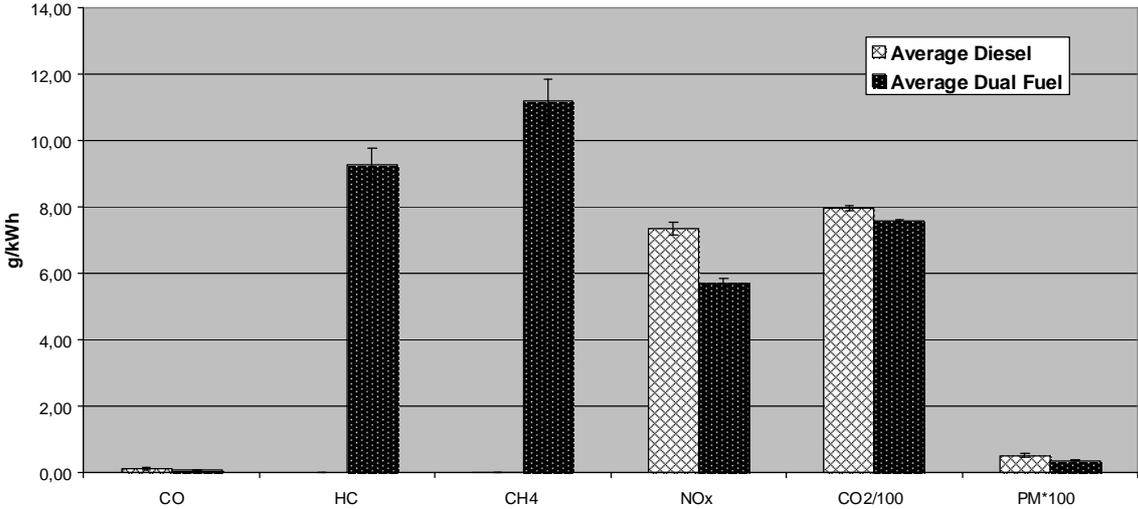
The average emission test results in g/kWh are presented in Table 11. The average emission test results in g/kWh for each mode are compared in Figure 22.

*Table 11. Emission test results in [g/kWh] from FIGE chassis dynamometer test*

	CO	HC*	CH <sub>4</sub> *	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	PM
	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
<i>Average Diesel</i>	<i>0.12</i>	<i>0.00</i>	<i>0</i>	<i>7.34</i>	<i>796</i>	<i>0.005</i>
<i>Stdv</i>	<i>0.03</i>	<i>0.00</i>	<i>0</i>	<i>0.20</i>	<i>9</i>	<i>0.001</i>
<i>Average Dual Fuel</i>	<i>0.08</i>	<i>9.28</i>	<i>11.18</i>	<i>5.71</i>	<i>759</i>	<i>0.004</i>
<i>Stdv</i>	<i>0.00</i>	<i>0.49</i>	<i>0.68</i>	<i>0.12</i>	<i>2</i>	<i>0.000</i>

\* The higher emission results for CH<sub>4</sub> compared to HC is a consequence of counting HC with an average H/C ratio of (1,85) and CH<sub>4</sub> with the correct H/C ratio of (4). The reason for this is that HC is calculated as Diesel when it in fact is methane.

**Emission results from FIGE chassis test  
Volvo Carrus B12M Dual Fuel vs Diesel**



*Figure 22. Emission test results [g/kWh] from FIGE chassis dynamometer test*

The fuel consumption test results in g/km and g/kWh are presented in table 12.

*Table 12. Fuel consumption test results from FIGE chassis dynamometer test*

	Diesel consumption	Gas consumption	Diesel consumption	Gas consumption	Diesel replacement	Energy consumption	Change of efficiency
	[g/km]	[g/km]	[g/kWh]	[g/kWh]		[MJ/km]	
<i>Average Diesel</i>	243	0	254	0		10.44	
<i>Stdv</i>	2	0	0.3	0		0.08	
<i>Average Dual Fuel</i>	144	118	149	123	-40.7%	11.57	-10.8%
<i>Stdv</i>	0	1.6	0.8	0.7	0.1%	0.09	0.8%

## 10 EMISSION TESTS WITH THE NGV MOTORI CONVERTED SPARK IGNITED BIOGAS SYSTEM

AVL has carried out emission test of a Volvo bus which has been converted to from Diesel to stoichiometric SI (Spark Ignited) methane using liquid biomethane as fuel and TWC (Three Way Catalyst) for emission reduction.

The emissions of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), hydrocarbons (methane) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) were measured during the FIGE test cycle but due to shortage of gas in the LNG tank of the delivered test vehicle, there is only limited set of test results for this vehicle. The vehicle ran out of fuel after approx. 1 100 seconds of the first FIGE cycle but the on-line logging of the emissions continued for the complete test cycle. The test results are therefore not comparable to a complete FIGE test cycle but can only be used as an indicator of the function of this biomethane powered bus before the fuel shortage.

Our experiences from other applications using stoichiometric SI (Spark Ignited) methane engines with TWC has shown however that that it is possible to meet very low emission levels with this technology. SI gas engines is the only technology allowing for 100 % biomethane but the drawback is higher fuel consumption compared to Diesel and Dual Fuel.

### The test vehicle

*Table 13. Vehicle data*

Type	Volvo Carrus B12M
Effect	250 kW
Gross weight	20 330 kg
Maximum load	5 490 kg
Emission class	EURO III
Aftertreatment system	CRT-filter

The vehicle has been tested at curb weight with extra weight of 4 000 kg which corresponds to a test weight of approximately 18 840 kg

### The test fuel

The gas (liquefied natural gas) used during the testing was supplied by the customer and delivered in the tank of the vehicle. There have been no fuel specifications available for the test result calculations. The lower heating value 45,48 MJ/kg for gas have been used.

### Test results

The total emission results from the SI biomethane bus are not representative since the vehicle ran out of fuel after approx 1 100 seconds. We have instead chosen to present the emissions as second by second results measured in the Dilution tunnel where the total exhaust and dilution flow is constant. This presentation enables the results to be compared between the SI, the reference Diesel and the Dual Fuel converted bus (which all was of similar type).

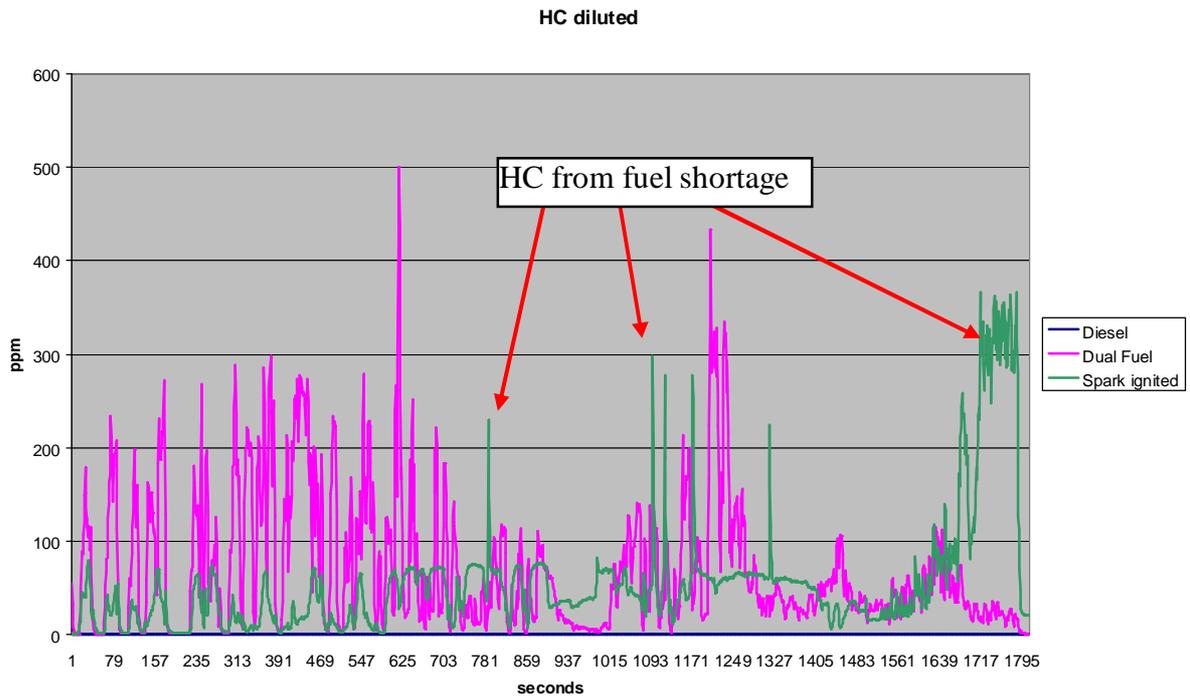
**HC emissions (Figure 23):** The HC emission levels which are presented in Figure 23 indicates that the HC emissions are lower for the SI gas engine compared to the Dual Fuel engine during the first 1 100 seconds when the engine was running properly. The Diesel version however shows the lowest HC emission in these tests.

**NO<sub>x</sub> emissions (Figure 24):** The NO<sub>x</sub> emission levels which are presented in Figure 24 indicates that the NO<sub>x</sub> emissions are much lower for the SI gas engine compared to both the Dual Fuel version and the Diesel version.

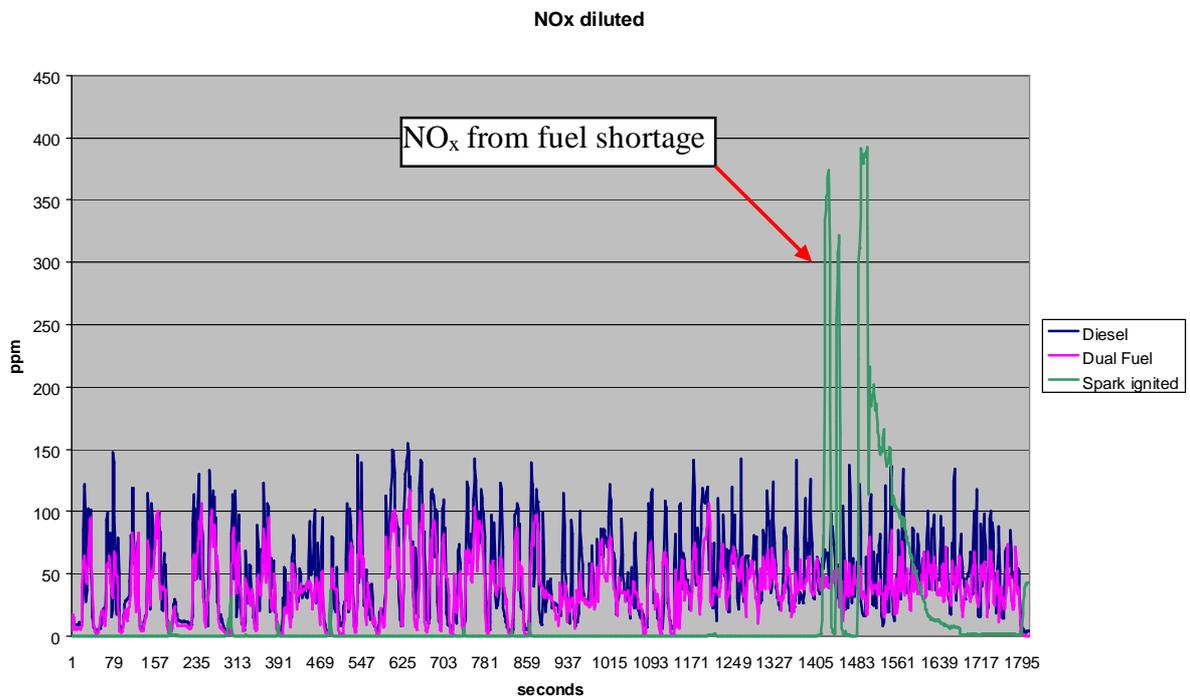
**CO emissions (Figure 25):** The CO tailpipe emissions which are presented in Figure 25 indicates that the vehicle was running with richer A/F ratio than stoichiometric which leads to higher CO emissions and also higher HC emissions than expected from a SI stoichiometric engine. According to our experiences there is a clear potential to reduce both CO and HC emission if the A/F ratio is controlled more precise and closer to stoichiometric.

**CO<sub>2</sub> emissions (Figure 26):** The CO<sub>2</sub> emissions which are presented in Figure 26 indicates that the SI engine running on 100 % methane has the lowest “peak” emissions of CO<sub>2</sub> followed by the Dual Fuel and finally Diesel which shows the highest peaks of CO<sub>2</sub> during the test cycles. The main reason for this is believed to be the lower carbon to hydrogen ratio in CH<sub>4</sub> compared to Diesel leading to lower CO<sub>2</sub> emissions for the mono fuelled methane engine followed by the Dual Fuel which uses 50-60 % methane and finally Diesel with 100 % Diesel.

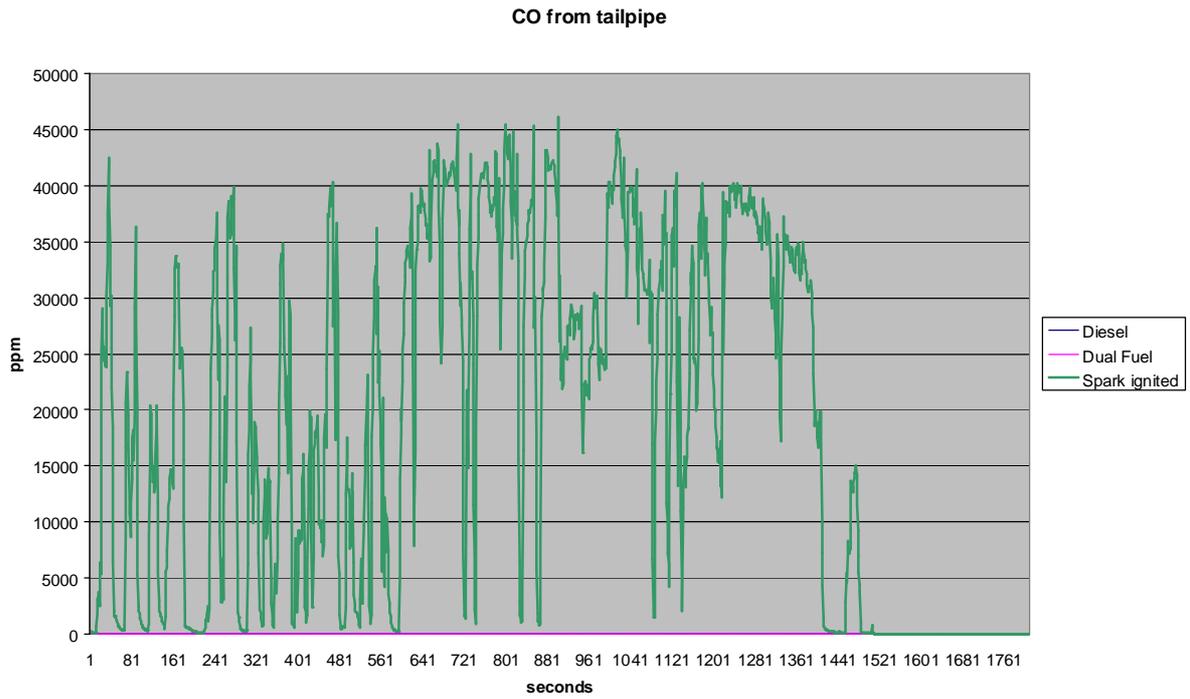
The total accumulated level of CO<sub>2</sub> is however difficult to estimate from this diagram since the Spark ignited engine show higher levels of CO<sub>2</sub> at part load. This is explained by the potentially higher efficiency at part load for Diesel and Dual Fuel compared to the Spark ignited technology.



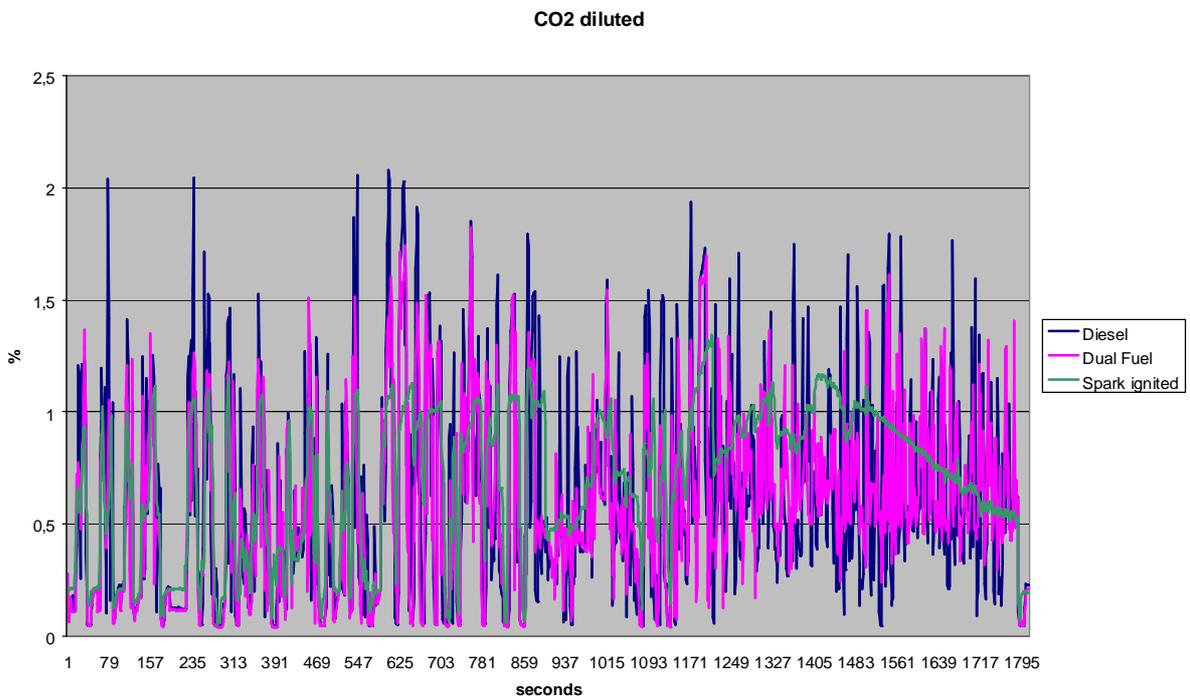
*Figure 23. HC Emissions during test cycle*



*Figure 24. NO<sub>x</sub> Emissions during test cycle*



*Figure 25. CO Emissions during test cycle*



*Figure 26. CO<sub>2</sub> Emissions during test cycle*

## 11 CONCLUSIONS

The conclusion from the study is that it may be possible to meet EURO V HD gas engine emissions with the most advanced Dual Fuel systems on the market but also that most Dual Fuel systems will need further development to reach acceptable emission levels and Diesel replacement rates. There is also a need for certification and test procedures, including in service conformity test procedures, with defined emission limits to enable further development of the Dual Fuel technology.

So far there has been mainly retrofit Dual Fuel truck and bus applications on the market but if the EURO VI legislation will include separate limits for Dual Fuel technology there will probably be an increased interest also for OEM applications in the future.

**The conclusions could be summarized as follows.**

- Dual Fuel is a very attractive technology for retrofit CNG applications.
- Dual Fuel is today not included in the ECE nor the EU emission legislation and therefore not possible to certify.
- Dual Fuel will most probably be included in the EURO VI regulations from 2013 or 2014.
- It seems feasible to reach EURO V and also EURO VI emission levels but only with advanced combustion control, thermal management and upgraded exhaust after treatment system.

There are several areas with potential for improvements to make the Dual Fuel technology more attractive to the market in the future, for example.

- The total system costs need to be reduced.
- The Diesel replacement and total “energy” consumption need improvements to reduce CO<sub>2</sub> and total fuel cost.
- The emissions compliance with aged emission systems need to be verified.
- The robustness and durability needs to be verified.
- The compliance with the original Diesel controller needs to be verified (especially OBD)

## 12 ABBREVIATIONS

A/F Ratio	Air / Fuel Ratio
BMEP	Brake Mean Effective Pressure
BSFC	Brake Specific Fuel Consumption
CBG	Compressed Biogas
CH <sub>4</sub>	Methane
CI	Compression Ignited
CHP	Combined Heating Power unit
CNG	Compressed Natural Gas
CO	Carbon Monoxide
CO <sub>2</sub>	Carbon Dioxide
COV	Covariance of IMEP
CR	Compression Ratio
DF	Dual Fuel
DDF	Diesel Dual Fuel
DI	Direct Injection
DISI	Direct Injection Spark Ignited
ECU	Electronic Control Unit
EGR	Exhaust Gas Recirculation
EGT	Exhaust Gas Temperature
EOE	Engine out Emissions
EVAP	Evaporative emissions
GHG	Green House Gases
HC, THC	Hydrocarbons, Total Hydrocarbons
H/C	Hydrogen to Carbon ratio
HD	Heavy Duty
IC	Internal Combustion
IMEP	Indicated Mean Effective Pressure
JRC	Joint Research Centre
LBG	Liquefied Biogas
LDV	Light Duty Vehicle
LNG	Liquefied Natural Gas

MBT	Min ignition advance for Bests Torque
MDV	Medium Duty Vehicle
NA	Naturally Aspirated
NG	Natural Gas
NGV	Natural Gas Vehicle
NMHC	Non-Methane Hydrocarbons
NO <sub>x</sub>	Oxides of Nitrogen
OBD	On-Board Diagnostics
OEM	Original Equipment Manufacturer
OIGI	Oil Ignition Gas Injection
Pd	Palladium
PFP	Peak Firing Pressure
PHEV	Plug in Hybrid Electric Vehicle
PM	Particulate Matter (when used for emissions)
PM	Precious Metals (when used for catalyst)
Pt	Platinum
Rh	Rhodium
RON	Research Octane Number
SCR	Selective Catalytic Reduction
SGC	Swedish Gas Centre
SI	Spark Ignited
TPE	Tail Pipe Emissions
TWC	Three Way Catalyst
WHTC	World Harmonized Transient Cycle
WTW	Well To Wheel

Bilaga, SGC-rapport 233 Demonstration och utvärdering av dual-fuel-tekniken:

# Marknadspotential för Methane Diesel Engine (MDE/Dual-Fuel) i tunga fordon i Sverige

Rapport 2010-05-03

Staffan Johannesson, Ecoplan AB, på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center

## INNEHÅLL

1	SAMMANFATTNING .....	4
1.1	Sammanfattning - Svenska.....	4
1.2	Summary - English .....	4
2	BAKGRUND OCH SYFTE.....	5
3	ARBETETS METOD OCH UPPLÄGG .....	5
4	PRODUKTSPECIFIKATION .....	6
5	FORDONSMARKNADEN I SVERIGE - STATISTIK.....	7
5.1	Totalt antal lastbilar .....	7
5.2	Fördelning mellan karosstyper.....	7
5.3	Antal fordon som är i leasingavtal.....	8
5.4	Antal lastbilar efter karosstyp.....	9
5.5	Antal registrerade lastbilar per år.....	9
5.6	Lastbilarnas körsträckor .....	10
5.7	Fordonstillverkarnas marknadsandelar.....	11
5.8	Summering: Fordonsmarknaden i Sverige – Statistik.....	11
6	KRAV OCH STIMULANS FRÅN SAMHÄLLET.....	12
6.1	Miljöstyrningsrådet - upphandlingskriterier för tunga fordon .....	12
6.2	Miljöstyrningsrådet - upphandlingskriterier för godstransporter – Miljökrav.....	12
6.3	Trafikverket och de tre storstäderna - upphandlingskriterier för entreprenader – Miljökrav .....	12
6.4	Kommunala miljökrav på renhållningstjänster.....	12
6.5	Statliga stimulanser för tunga miljölastbilar .....	13
6.6	Lokala stimulanser för tunga miljölastbilar .....	13
6.7	Summering – Krav och stimulans från samhället.....	14
7	KUNDEFTERFRÅGAN PÅ MDE-LASTBILAR.....	14
7.1	Vem är kunden?.....	14
7.2	Transportköpare.....	14
7.3	Speditörer .....	15
7.4	LASTBILSCENTRALER.....	15
7.5	Åkerier.....	15
7.6	Förare.....	16
7.7	Summering: Kundefterfrågan på MDE-lastbilar .....	16
8	MDE I FÖRHÅLLANDE TILL ANDRA POTENTIELLA ALTERNATIV .....	17
8.1	MDE i korthet .....	17

8.2	Tillverkarnas syn på alternativen.....	18
8.3	SUMMERING – MDE I FÖRHÅLLANDE TILL ANDRA ALTERNATIV .....	18
9	OEM VS. QVM VS. EFTERKONVERTERING.....	18
9.1	Vad är skillnaden mellan OEM, QVM och Efterkonvertering? .....	18
9.2	MDE i förhållande till OEM, QVM och Efterkonvertering.....	19
9.3	Myndigheternas syn på efterkonvertering.....	19
9.4	Summering OEM vs. QVM vs. Efterkonvertering.....	20
10	TANKSTÄLLEN FÖR MDE-FORDON.....	20
10.1	Komprimerad gas.....	20
10.2	Flytande gas.....	20
10.3	Summering komprimerad vs flytande gas (infrastrukt.).....	21
11	EKONOMI.....	21
11.1	MDE vs konventionellt dieselfordon.....	21
11.2	Summering ekonomi.....	22
12	ANALYS OCH SLUTSATSER .....	23
13	REFERENSER: .....	25

# 1 SAMMANFATTNING

## 1.1 SAMMANFATTNING - SVENSKA

SGC har inom ramen för projekt ”SGC 09.11: Demonstration och utvärdering av dual-fuel-tekniken” bett Ecoplan utföra ett arbete gällande bedömning av hur stor marknadspotentialen är för Dual-Fuel/MDE (Methane Diesel Engine). Arbetet inkluderar MDE i kombination med flytande metangas respektive komprimerad metangas för tunga fordon inom distribution, fjärrtrafik och sopinsamlingsfordon på den svenska marknaden.

Studien konkluderar att:

*MDE har en stor potential att nå genomslag på svenska marknaden.*

Detta baseras på: Ekonomi, Tillförlitlighet, Miljö samt Fordonstillverkarnas intresse

*För att MDE skall nå sin marknadspotential krävs att ett flertal förutsättningar är uppfyllda.*

De viktigaste faktorerna är: Tekniken håller vad andra lovat, Hög andel gas, Lågt gaspris

*MDE kan fungera som alternativ i kombination både med komprimerad gas och med flytande gas, där avsaknad av tankställen för flytande gas är en avgörande begränsning i marknadspotentialen åtminstone de kommande 5 åren.*

Detta beror på att: Applikationen avgör när LMG passar bättre än CMG. Flytande gas är ett ekonomiskt fördelaktigt sätt att distribuera fordonsgas som slutanvänds i komprimerad form samt att brist på tankställen för flytande gas ger begränsad användning av fordonen.

*Marknaden kommer främst bestå av försäljning av nya fordon.*

Denna slutsats baseras på: Tillverkarnas intresse, Trolig utebliven styrning för att stimulera efterkonvertering samt Teknisk utmaning.

*De efterkonverteringar som trots allt kommer att utföras kommer att kräva fordonstillverkarens godkännande - alternativt ske på äldre fordon. I båda fallen är antalet konverteringar mycket litet.*

Slutsatsen baseras på: Kostnad, Äldre fordon kan komma att konverteras vid brist på OEM-erbjudanden, entusiaster konverterar.

## 1.2 SUMMARY - ENGLISH

SGC has within the ”SGC 09.11: Demonstration and evaluation of dual-fuel-technology” asked Ecoplan to execute a study regarding market potential

The study concludes:

*MDE-technology has a large potential to develop within the Swedish market.*

Statement based upon: Economy, Durability, Environment as well as interest from OEMs

*Several criteria must be fulfilled to ensure MDE can reach its market potential*

Most important criteria: Technology delivers to expectations, High share of gas, Low fuel price for gas.

*MDE can find market shares both in combination with LMG and with CMG. Lack of LMG infrastructure will limit the potential for at least the 5 next years.*

Due to: Vehicle application will decide when LMG is a better choice than CMG. Liquid gas is an economic way of distributing biogas and natural gas with end-use in the compressed form. And lack of LMG refueling stations will limit use of the vehicles.

*Market for MDE will mainly consist of new vehicles.*

Statement based upon: OEM interest, lack of economic regulations to support after market solutions together with the challenge to deliver MDE-technology.

*After conversions that will be done will require acceptance from OEM:s or be done on old vehicles. In both cases the numbers will be small.*

Statement based upon: Cost, older vehicles converted due to lack of OEM offers. Conversions made by enthusiasts.

## **2 BAKGRUND OCH SYFTE**

SGC har inom ramen för projekt SGC 09.11: Demonstration och utvärdering av dual-fuel-tekniken bett Ecoplan utföra ett arbete gällande bedömning av hur stor marknadspotentialen är för Dual-Fuel/MDE, hädanefter kallat MDE (Methane Diesel Engine). Arbetet inkluderar MDE i kombination med flytande metangas respektive komprimerad metangas för tunga fordon inom distribution, fjärrtrafik och sopinsamlingsfordon på den svenska marknaden. I rapporten används LMG (Liquefied Methane Gas) respektive CMG (Compressed Methane Gas) som term för att särskilja flytande från komprimerad gas och inkluderar då både fossil och förnyelsebar källa om inget annat anges.

Rapporten skall fungera som ett underlag för marknadspotential för tunga transportfordon på efterkonverteringsmarknaden och nybilsmarknaden i Sverige med avseende på medellånga, och långa vägtransporter samt sopinsamlingsfordon. Fokus har legat på lastbilar men då intresse under uppdragets gång uppkommit kring bussar återfinns en del om detta i bilaga.

## **3 ARBETETS METOD OCH UPPLÄGG**

Ecoplan har utfört arbetet utifrån objektiva data där så finns att tillgå. Till objektiva data har studien kompletterats med relevanta tillgängliga prognoser och studier avseende framtid (t.ex. myndigheters konjunkturprognoser, studier om bränsle, andra utförda marknadsbedömningar). Enstaka samtal med aktörer inom transportnäringen har gjorts, bl.a. åkeriägare, speditörer, tillverkare och andra aktörer. Dessa data har legat till grund för analys och bedömningar utifrån tänkbara scenarion. Skanning av tillgänglig relevant dokumentation har gjorts och resultatet av dessa har inkluderats i analysen tillsammans med egen tidigare erfarenhet. Därmed baseras detta arbete i huvudsak på tillgängliga data och prognoser, kompletterad med en hög grad av egna bedömningar. Uppdragets omfattning är 30 arbetstimmar varför detta är att anse som en skanning och inte en djupanalys med alla resonemang slutgiltigt förda i bevis. Staffan Johannesson har varit ansvarig för uppdraget och utfört merparten av det. Maria Losman har bistått.

## 4 PRODUKTSPECIFIKATION

För att kunna göra en bedömning av potentialen för MDE tekniken har antaganden gjorts avseende hur produkterbjudandet ser ut.

Marknadsbedömningen har gjorts med följande produktspecifikation som grund:

Tekniksystem:	Liknande egenskaper oberoende av teknikleverantör (Hardstaff eller Clean Air Power)
Bränsle	CMG eller LMG
Substitutionsgrad (andel gas)	
- Fjärrtrafik:	70 - 80 %
- Citytrafik	50 - 60 %
Emissionsnivå	Motsvarande Euro V och med antagandet att Euro VI löses med rimlig insats i förhållande till andra bränslen och tekniker.
Bränsleförbrukning	Samma energieffektivitet som motsvarande dieseldrivlina.
Möjligt att köra fordonet på biodiesel	Ja, 100% biodiesel möjligt.
Möjlighet att köra på diesel enbart	Ja, om gassystemet inte fungerar
Motoregenskaper	Samma som motsvarande dieseldrivlina (med restriktion att dieseldrift används vid fullast för fall med spikningsbenägen teknik)
Service och underhåll:	Samma serviceintervall och underhållskostnader som motsvarande drivlina för diesel. Med ökad risk för lägre "uptime" pga. komplexitet och åldrande som kan leda till signalfel, fukt i styrlådor, etc.
Bedömt prispålägg till kund inklusive installation (MDE med LMG)	400 kSEK för MDE och LMG 300 kSEK för MDE och CMG 250 kSEK för efterkonverterade system
Bränslekostnad	Gaspriset bedöms att ligga i ett intervall från samma till cirka 30 % lägre än motsvarande energimängd diesel.
Räckvidd	Halva körsträcka jämfört med motsvarande fordonskonfiguration för diesel enbart.
Övrigt	MDE-tekniken innebär att för fordon med tomgångskörning och mycket transienter i körningen blir andelen gas lägre och andelen dieselbränsle ökar. Därmed är utgångspunkten att tekniken är allra bäst lämpad för fjärrtrafik/regional trafik.

## 5 FORDONSMARKNADEN I SVERIGE - STATISTIK

I detta kapitel redovisas hur fordonsflottan idag är uppdelad, vilket utgör en viktig grund för efterkonvertering respektive försäljning av nya MDE-fordon.

### 5.1 TOTALT ANTAL LASTBILAR

I Sverige fanns vid årsskiftet 2009/2010 514 576 lastbilar registrerade i Sverige enligt statistik från BilSweden/SCB. Notera att huvudandelen av dessa lastbilar utgörs av fordon under 3,5 ton. Av drygt 510 000 lastbilar är drygt 430 000 av dessa fordon med totalvikt under 3,5 ton och de är i dagsläget inte bedömda som intressanta för MDE-teknik eller flytande gas. De tunga fordonen fördelas i viktklasser enligt tabell nedan.

*Källa: SIKA (bearbetad data)*

Viktklass (ton)	Antal fordon
3,5-6,0	6 649
6,0-12,0	11 368
12,0-16,0	5 707
16,0-24,0	16 097
24,0-	39 491
Totalt	79 312

### 5.2 FÖRDELNING MELLAN KAROSSTYPER

Tabell LB2

Lastbilar i trafik efter karosseri, årsvis 1999-2008

Lorries in use by type of body, by year

Vid slutet av år	Flakbilar	Skåpbilar	därav kyl och frys	Bankebilar	Tankbilar	Dragbilar	Utbytbara karosserier och containers	Övriga karosserier	Totalt
1999	169 179	153 942	6 036	1 514	2 512	6 488	2 134	18 524	354 293
2000	177 069	165 005	6 141	1 506	2 479	6 707	2 088	19 368	374 222
2001	176 866	186 198	6 142	1 510	2 446	6 648	1 969	20 056	395 693
2002	174 549	201 293	6 210	1 532	2 413	6 737	1 853	20 563	408 940
2003	171 742	216 352	6 207	1 545	2 377	6 667	1 742	21 136	421 561
2004	169 195	236 417	6 255	1 608	2 359	6 977	1 679	21 750	439 985
2005	167 213	258 462	6 316	1 714	2 302	7 156	1 645	22 669	461 161
2006	166 280	276 163	6 432	1 765	2 338	7 818	1 593	23 837	479 794
2007	167 656	297 054	6 606	1 835	2 337	8 368	1 660	25 175	504 085
2008	163 541	306 962	6 775	1 833	2 286	8 163	1 534	25 880	510 199

*Källa: Sika*

Noterbart är att antalet fordon ökat med 44 % över 10 år och det är skåpbilar som stått för nästan hela ökningen medan andra karosstyper inte ändrats nämnvärt. Men det är skåpbilar i de lättare klasserna, under 3,5 ton som utgör den stora volymen.

### 5.3 ANTAL FORDON SOM ÄR I LEASINGAVTAL

Tabell LB4

**Lastbilar i trafik efter yrkesmässig trafik, firmabilstrafik, totalvikt och leasing, årsvi 1999-2008**

Lorries in use, used in transport for hire or reward or transport on own account by permissible maximum weight and leasing, by year 199-2008

Vid slutet av år	Lastbilar i yrkesmässig trafik				Lastbilar i firmabilstrafik			
	Totalvikt i kg			därav leasing	Totalvikt i kg			därav leasing
	-3 500	3 501 -	Totalt		-3 500	3 501 -	Totalt	
1999	9 125	40 234	49 359	6 141	269 258	35 676	304 934	51 811
2000	10 091	41 118	51 209	7 235	287 116	35 897	323 013	59 678
2001	10 252	42 015	52 267	7 733	308 334	35 092	343 426	68 726
2002	10 584	41 326	51 910	8 113	322 193	34 837	357 030	77 145
2003	10 990	41 253	52 243	7 466	335 415	33 903	369 318	82 805
2004	11 126	41 723	52 849	7 657	353 379	33 757	387 136	89 547
2005	11 422	42 139	53 561	7 972	373 354	34 246	407 600	99 131
2006	12 247	44 722	56 969	9 169	388 864	33 961	422 825	109 154
2007	12 343	46 796	59 139	9 592	411 577	33 369	444 946	123 985
2008	12 976	45 631	58 607	10 642	417 911	33 681	451 592	132 466

*Källa: SIKA*

Ovanstående tabell visar att nästan 20 % av fordon i yrkesmässig trafik är leasade och trenden är att fler lastbilar går under leasingavtal. Men fortfarande ägs följaktligen lastbilarna av åkerierna själva till ca 80 %. Inga siffror på vilka leasingbolagen är har hittats inom ramen för detta uppdrag, men sannolikt är det tillverkarna själva som i hög grad står för leasingkontrakten. Detta skulle i så fall göra att efterkonvertering av leasingfordon förutsätter att tillverkarna stödjer MDE-tekniken. Lastbilar i firmabilstrafiken är leasade i än högre grad, men dessa är till största delen mindre fordon (< 3,5 ton).

## 5.4 ANTAL LASTBILAR EFTER KAROSSTYP

Tabell LB6

### Lastbilar i trafik efter totalvikt och karosseri vid slutet av år 2008

Lorries in use by permissible maximum weight and type of body at the end of year 2008

Totalvikt i kg	Flakbilar	Skåpbilar	därav kyl och frys	Banke- bilar	Tankbilar	Dragbilar	Utbytbara karosserier och containers	Övriga karosserier	Totalt
– 1 600	26 393	5 877	1	-	1	-	-	30	32 301
1 601 – 2 000	8 633	82 146	35	-	1	-	-	318	91 098
2 001 – 2 500	15 195	67 851	90	-	-	-	2	676	83 724
2 501 – 3 000	76 688	69 658	274	-	-	3	10	1 091	147 450
3 001 – 3 500	18 505	54 659	542	-	3	71	306	2 769	76 313
3 501 – 6 000	2 188	3 645	92	-	4	44	118	650	6 649
6 001 – 10 000	1 549	2 865	110	1	21	7	81	865	5 389
10 001 – 12 000	1 425	3 762	420	-	17	8	61	706	5 979
12 001 – 16 000	1 461	2 674	395	2	37	62	29	1 442	5 707
16 001 – 20 000	2 009	4 389	1 025	1	108	2 593	196	3 477	12 773
20 001 – 22 000	1 022	748	180	4	49	226	51	504	2 604
22 001 – 24 000	307	41	5	4	22	64	24	258	720
24 001 – 26 000	1 948	1 953	810	97	513	1 037	172	3 230	8 950
26 001 – 28 000	3 700	6 350	2 663	242	981	3 173	314	5 348	20 108
28 001 – 30 000	1 357	317	123	1 458	355	473	82	2 039	6 081
30 001 – Okänd	1 161 -	27 -	10 -	24 -	174 -	402 -	88 -	2 476 1	4 352 1
<b>Totalt</b>	<b>163 541</b>	<b>306 962</b>	<b>6 775</b>	<b>1 833</b>	<b>2 286</b>	<b>8 163</b>	<b>1 534</b>	<b>25 880</b>	<b>510 199</b>
därav lätta	145 414	280 191	942	-	5	74	318	4 884	430 886
tunga	18 127	26 771	5 833	1 833	2 281	8 089	1 216	20 996	79 313

*Källa: SIKA*

I tabellen ovan (LB6) syns igen förhållandet att ca 430 000 av lastbilarna är lätta och ca 80 000 av lastbilarna har totalvikt över 3,5 ton. För av ca 510 000 lastbilar i Sverige är drygt 430 000 av dessa fordon med totalvikt under 3,5 ton. I Sverige dominerar skåpbilar framför flakbilar och dragbilar. Klassen ”bankebilar” torde utgöras till huvuddelen av timmerbilar och har en förhållandevis hög siffra i de tyngre klasserna som potentiellt kan vara intressanta för MDE.

## 5.5 ANTAL REGISTRERADE LASTBILAR PER ÅR

Nybilsregistreringar vår 2009 enligt statistik sammanställd av BilSweden:

*Lastbilsregistreringar fördelade på totalviktsgrupper. Källa BIL Sweden*

	December		Jan-dec		Förändr. %	
	-09	-08	-09	-08	Dec	Jan-dec
3,5 ton (Lätta transportbilar)	2877	2985	27410	39175	-3,6	-30,0
3,5-10,0 ton (Transportbilar)	24	51	327	567	-52,9	-42,3
10,0- (Tunga transportbilar)	475	618	5192	6525	-23,1	-20,4
<b>Totalt</b>	<b>3376</b>	<b>3654</b>	<b>32929</b>	<b>46267</b>	<b>-7,6</b>	<b>-28,8</b>

Detta innebär att under ett normalår säljs i storleksordningen 5500 – 6 500 tunga lastbilar i Sverige över 10 ton.

Körsträckan per fordon och ålder är viktiga att beakta. Nedanstående tabell visar totalt antal körda mil och medelkörsträcka baserat på viktklass.

## 5.6 LASTBILARNAS KÖRSTRÄCKOR

Tabell LB11

Körsträckor och antal lastbilar<sup>1)</sup> efter årsmodell/tillverkningsår och totalvikt år 2008

10 Kilometres driven and number of lorries by year of model/construction and permissible maximum weight year 2008

Årsmodell/ tillverkningsår	Totalt antal körda mil			Antal lastbilar			Medelkörsträcka i mil		
	Totalvikt i kg			-3 500	3 501 -	Totalt	-3 500	3 501 -	Totalt
-1990	31 828 600	16 295 303	48 123 902	42 722	16 040	58 762	745	1 016	819
1991	5 839 671	2 325 592	8 165 263	6 560	1 299	7 859	890	1 790	1 039
1992	5 343 621	2 382 997	7 726 619	4 839	1 296	6 135	1 104	1 839	1 259
1993	5 943 544	1 325 356	7 268 899	4 424	631	5 055	1 343	2 100	1 438
1994	5 408 636	1 066 658	6 475 295	4 560	541	5 101	1 186	1 972	1 269
1995	9 969 560	3 845 307	13 814 867	8 480	1 406	9 886	1 176	2 735	1 397
1996	14 329 276	8 487 262	22 816 538	11 413	2 444	13 857	1 256	3 473	1 647
1997	22 359 191	9 806 990	32 166 181	16 549	2 766	19 315	1 351	3 546	1 665
1998	35 292 979	13 575 434	48 868 414	24 542	3 279	27 821	1 438	4 140	1 757
1999	39 007 925	20 838 717	59 846 641	25 864	4 453	30 317	1 508	4 680	1 974
2000	41 459 650	26 334 574	67 794 225	26 673	5 131	31 804	1 554	5 132	2 132
2001	51 245 532	27 597 097	78 842 630	30 715	4 877	35 592	1 668	5 659	2 215
2002	46 978 514	26 817 211	73 795 725	25 706	4 476	30 182	1 828	5 991	2 445
2003	41 493 084	35 691 251	77 184 335	20 788	4 949	25 737	1 996	7 212	2 999
2004	91 528 137	40 451 581	131 979 718	40 245	4 946	45 191	2 274	8 179	2 920
2005	51 392 487	51 386 944	102 779 431	22 152	5 721	27 873	2 320	8 982	3 687
2006	90 595 522	55 433 410	146 028 932	37 538	6 102	43 640	2 413	9 084	3 346
2007	102 256 229	54 221 430	156 477 659	43 280	6 731	50 011	2 363	8 055	3 129
2008	61 913 902	33 864 456	95 778 358	38 277	6 425	44 702	1 618	5 271	2 143
2009	2 682 244	1 117 467	3 799 710	5 777	1 083	6 860	464	1 032	554
<b>Totalt</b>	<b>756 868 302</b>	<b>432 865 038</b>	<b>1 189 733 340</b>	<b>441 104</b>	<b>84 596</b>	<b>525 700</b>	<b>1 716</b>	<b>5 117</b>	<b>2 263</b>

*Källa: Sika*

Den mest intressanta delen i tabellen ovan är att lastbilar över 3,5 ton körs som mest när de är 2-3 år gamla. En lastbil från 2006 kör i genomsnitt 9084 mil per år medan en lastbil från 2001 kör 5659 mil per år. I denna tabell kan inte underlaget brytas ut så skillnad görs i viktklasser från 3,5 ton och uppåt, men bedömningen är att fordon i viktklasser från 3,5 upp till ca 16 ton är inriktade på distribution varför en normal körsträcka är lägre än genomsnittet, medan fordon från 16 ton och uppåt i högre grad betjänar fjärrtransporter varför genomsnittlig körsträcka ligger högre än vad tabellen ovan visar.

## 5.7 FORDONSTILLVERKARNAS MARKNADSANDELAR

*Registreringar av tunga lastbilar 16 ton och över. Källa BIL Sweden*

	December		Jan-dec		Förändr. %		Markn. andel, % jan-dec	
	-09	-08	-09	-08	Dec	Jan-dec	-09	-08
DAF	3	5	19	59	-40,0	-67,8	0,4	1,0
IVECO	0	0	4	3		33,3	0,1	
MAN	8	30	225	320	-73,3	-29,7	4,7	5,3
Mercedes-Benz	46	34	385	493	35,3	-21,9	8,1	8,2
Scania	183	214	2074	2539	-14,5	-18,3	43,4	42,1
Volvo	186	275	2074	2612	-32,4	-20,6	43,4	43,3
Övriga	0	0	0	1		-100		
Totalt	426	558	4781	6027	-23,7	-20,7	100	100

Tabellen ovanför visar att i viktklasser över 16 ton är Scania och Volvo totalt dominerande med marknadsandel över 85 % av totala marknaden. Ingen fördelning av marknadsandelar i viktklasser 3,5 – 16 ton har hittats inom ramen för detta arbete, men exempel på vanliga produkter upp till 5-7 ton är Iveco (Daily), Mercedes (Sprinter).

## 5.8 SUMMERING: FORDONSMARKNADEN I SVERIGE – STATISTIK

Teoretiskt underlag för efterkonvertering av befintliga fordon är ca 80 000 fordon över 3,5 ton. Mest aktuella för konvertering är antagligen de tyngre viktklasserna. Flottan över 24 ton utgör cirka 40 000 fordon. Totalt finns dessutom ca 15 000 fordon i viktklasserna 16-24 ton där det också kan bli aktuellt med efterkonverteringar. I denna klass kan sopbilar vara en målgrupp, medan distributionsbilar som körs förhållandevis korta sträckor kan få svårt att få den ekonomiska kalkylen att gå ihop. Det är fordon som kör mycket som blir aktuella för efterkonvertering och det är de nya fordonen som kör de längsta sträckorna. Det gör att fordon som inte är äldre än ca 3-5 år torde bli aktuella för konvertering. Baserat på att dessa fordon då utgör i storleksordningen en tredjedel av den totala fordonsflottan skulle dessa fordon teoretiskt kunna utgöra en potential på 15 000 - 20 000 fordon för efterkonvertering.

Nybilsmarknaden för tunga fordon över 10 ton är ca 5 500 – 6 500 fordon. Av dessa torde - grovt räknat och endast bedömt ut lämplighet sett ur viktklass - cirka hälften kunna ha teoretisk potential för att vara MDE-fordon. Men inom ramen för detta arbete har ingen riktigt bra uppdelning mellan fjärrtrafik och anläggningstrafik, inklusive körsträckor och körsätt, erhållits. Här finns således ett område att ytterligare fördjupa.

Eftersom Scania och Volvo tillsammans är helt dominerande avseende tunga fordon är deras förhållningssätt till MDE avgörande för potential och avsättning.

## **6 KRAV OCH STIMULANS FRÅN SAMHÄLLET**

### **6.1 MILJÖSTYRNINGSRÅDET - UPPHANDLINGSKRITERIER FÖR TUNGA FORDON**

Sedan 2004 har MSR på regeringens uppdrag definierat förslag på upphandlingskriterier vid offentligt upphandling. Dessa krav omsätts i hög grad till krav i upphandling av fordon eller transporter som köps av kommun, landsting och stat. Så sent som 2009-12-21 gavs en uppdaterad version ut - version 3.0. I denna finns krav gällande reglerade emissioner:

Baskrav:	Euro V
Avancerat krav:	EEV
Spjutspetskrav:	Euro VI

Som ett avancerat krav finns dessutom en skrivning om alternativbränsledrift eller hybriddrift formulerat som ett utvärderingskriterium:

”Är det möjligt att köra fordonen på alternativa drivmedel (ej bensin, diesel eller gasol) eller hybridteknik eller el?”

### **6.2 MILJÖSTYRNINGSRÅDET - UPPHANDLINGSKRITERIER FÖR GODSTRANSPORTER – MILJÖKRAV**

Myndigheter köper i rätt liten omfattning fordon själva utan köper snarare transporten. När det gäller köp av varor är den vanligaste formen att dessa köps med frakten inkluderad och utan att ställa krav på transporten. Miljöstyrningsrådets kriterier för upphandling av transporter saknar dock helt krav på förnyelsebarhet utan är endast inriktade på emissioner: Euro II, Euro IV, osv. Senaste utgåvan är utgiven 2009-05-15.

### **6.3 TRAFIKVERKET OCH DE TRE STORSTÄDERNA - UPPHANDLINGSKRITERIER FÖR ENTREPRENADER – MILJÖKRAV**

En stor volym godstransporter finns i väg- och spårbyggnationer som köps på entreprenad av Trafikverket. Städerna Stockholm, Göteborg och Malmö har sedan 90-talet ställt delvis gemensamma krav på entreprenader tillsammans med Vägverket (numera Trafikverket), krav som många andra kommuner också använder. I de kraven uppmuntras lastbilar av hög Euroklass. Göteborg har ett bonussystem som uppmuntrar till förnybara drivmedel i både lastbilar och arbetsmaskiner.

### **6.4 KOMMUNALA MILJÖKRAV PÅ RENHÅLLNINGSTJÄNSTER**

Inom marknaden för sopbilar har kommunerna, som är de som upphandlar dessa tjänster, ställt krav på förnybart till stor del och i flera fall uttalat gasdrift. De nuvarande miljölastbilar över 3,5 ton som finns i Sverige idag är nästan uteslutande gasfordon, ca 500 st. med Mercedes Econic som dominerande fordonsmodell.

## 6.5 STATLIGA STIMULANSER FÖR TUNGA MILJÖLASTBILAR

Hittills har Sverige inte tagit några aktiva steg för att stimulera ökad efterfrågan på tunga miljölastbilar. Det finns inte ens en nationell definition av miljölastbilar. Den enda kända miljöfordonsdefinitionen är den som används av Göteborgs Stad. Den sin tur är lätt föråldrad och arbete pågår med att uppdatera den. Volvo och Scania har gemensamt lagt fram ett förslag på hur en definition av hybrider skall kunna göras, men andra bränslen och tekniker är inte inkluderade i detta och det är obekant hur långt Näringsdepartementet drivit frågan vidare. Göteborgs Stad för dialog med Trafikverket som är intresserade av att hitta en nationell definition som även inkluderar energieffektivitet. Det faktum att lastbilstillverkarna länge motarbetade frågan om att definiera cykler för att redovisa bränsleförbrukning på tunga fordon gör dock att energieffektivitet bedöms vara långt ifrån att kunna definieras. Process pågår inom Europa, men det bedöms ta åtskilliga år innan överenskommelse nås. Därmed bedöms det chanserna som små att regeringen inom närliggande tid lägger fram förslag på statliga subventioner för att stimulera tunga miljöfordon.

De pengar som kan finnas tillgängliga är ekonomiskt stöd som delas ut av bl.a. Energimyndigheten för att stödja biogasutveckling, eller FoI-program för att stödja fordonsteknikutveckling i Sverige. Dessa pengar har då karaktären av demonstrationsprojekt och stöd för att kommersialisera teknik.

En annan form av stöd för att underlätta introduktion av miljöalternativ och styra bort från fossila alternativ är skattebefrielse respektive beskattning av bränslen. I Sverige finns ingen tradition av långa åtaganden på samma sätt som t.ex. Tyskland använder sig av för att underlätta marknadsintroduktioner energislag/bränslen. Aktörer inom transportmarknaden uppger att det är svårt att bedöma om investeringar kan räknas hem över tiden.

Alltså kan man anta och utgå från att nya miljöalternativ behöver kunna stå på egna ben marknadsmässigt ganska snabbt.

Kilometerskatt för tunga godstransporter diskuteras med viss regelbundenhet och nuvarande opposition har gjort uttalanden om att de är positiva till kilometerskatt. Hur utformningen av detta system skulle se ut är oklart och den sittande borgerliga regeringen har avvisat förslaget med hänvisning att det skulle drabba svensk basnäring. Det finns även ett stort motstånd inom transportbranschen med Sveriges Åkeriföretag i spetsen.

## 6.6 LOKALA STIMULANSER FÖR TUNGA MILJÖLASTBILAR

Om inte regeringen lägger fram förslag att på statlig nivå hitta ett regelverk som stimulerar efterfrågan på miljölastbilar finns potentiellt en möjlighet att detta görs lokalt i städer som Stockholm, Göteborg, Malmö och eventuellt en handfull ytterligare städer. Den stad som ligger närmast med att föreslå lokala stimulanser i denna fråga är troligtvis Göteborg som i diskussioner om trängselavgifter och pga. lokala förhållanden jobbar för att bland annat låta godsfordon och bussar dela körfält. Stockholm driver demonstrationsprojektet ”Clean Trucks” för olika typer av miljölastbilar.

Noterbart är dock att det är svårare för städer och kommuner att ge fördelar till miljölastbilar utan att hamna i klammeri med EU:s krav på öppen handel. Att ge lokala fördelar till miljölastbilar begränsar möjligheten för lastbilar utifrån att konkurrera på lika villkor. Även vissa förmåner för lätta privata bilar kan av jurister anses hamna i gråzonen gällande vilken typ av förmåner som miljöfordon kan få. Men när det ställs på sin spets i kommersiellt sammanhang i en extremt konkurrensutsatt marknad är det svårare för städer och kommuner att hitta konkurrensneutrala lösningar för att stimulera miljölastbilar. Notera att det är lättare

att stimulera miljöfordon för bussar då dessa köps in genom upphandling baserad på kravspecifikation från trafikhuvudmannen. Nästintill inga lastbilar köps upp direkt av kommunen och som transportköpare utgör kommunen en förhållandevis liten kund – även om de lokalt kan vara väldigt stora uppköpare av transporter som då företrädevis är i koppling till entreprenadtransporter.

## **6.7 SUMMERING – KRAV OCH STIMULANS FRÅN SAMHÄLLET**

På kort sikt är det i upphandling av transporter som offentlig sektor bedöms ha störst möjlighet att påverka efterfrågan av fordon. Generellt finns i samhället stort fokus på att minska miljöbelastningen i godstransporter genom att effektivisera och förändra transporterarna. Men det finns få processer igång som pekar på att samhället inom kort till medellång sikt har för avsikt att styra utvecklingen aktivt med hjälp av morot och/eller piska. Myndigheterna verkar ha stor förhoppning på aktörernas frivilliga insatser som ett alternativ till lagstiftning. Men erfarenheten tyder i så fall på att det tar väldigt mycket längre tid att ställa om till bättre teknik.

## **7 KUNDEFTERFRÅGAN PÅ MDE-LASTBILAR**

### **7.1 VEM ÄR KUNDEN?**

Svaret är självklart: det är den som köper lastbilen. Men frågan behöver belysas eftersom transportmarknaden i Sverige är baserad på en kedja från transportköpare via speditörer till åkerier och hela vägen ner till enskilda chaufförer. Så även om kunden är den som köper MDE-lastbilen är det möjligt att andra står för den ökade investeringskostnaden.

### **7.2 TRANSPORTKÖPARE**

Flera grenar inom transportbranschen uppger att den ekonomiska kris som varit från hösten 2008 tills idag, våren 2010, gjort att kunder som tidigare efterfrågade miljö i sina godstransporter nu släppt detta helt och istället bara fokuserar på låg transportkostnad.

Men samtidigt finns det många kunder och branscher bland transportköpande företag där man i och med eget miljöarbete konstaterat att transporterarna står för en stor del av miljöpåverkan och därmed är i en process att börja ställa krav eller ställa hårdare krav även på miljöegenskaper i transporterarna.

Det faktum att miljökraven ”överlevde” den ekonomiska nedgången i flera branscher kan ses som ett tecken på att miljökrav i transporter är under frammarsch. Inget i den övriga samhällsutvecklingen pekar på att miljökraven kommer att minska framöver. Snarare tvärt om – kraven kan förväntas öka på miljöanpassade transporter. Inte minst stat och kommuner driver på denna förväntan genom att trycka på aktörernas eget ansvar i dessa frågor. När det kommer till myndigheters eget agerande som kunder pågår också en rörelse för att uppmuntra förnybart i transportupphandlingar, en tendens som är tydligast i vissa kommuner, svagast inom staten.

### 7.3 SPEDITÖRER

Svensk transportmarknad domineras på fjärtrafikmarknaden av ett fåtal stora speditörer. Schenker, DSV, DHL, Posten och Green Cargo utgör en stor del av denna marknad. De har egna miljöprogram och miljömål och tävlar i vissa avseenden om att vara bäst på miljö. Här är dock viktigt att notera att många speditörer huvudsakligen använder sig av kontrakterade åkare som utför transporterna. Det är alltså inte speditörsfirmorna själva som köper in fordonen och det kan försvåra för speditörer att verkställa sina miljöprogram. Självklart styrs åkerierna till stor del via avtalskrav men det innebär att det blir en indirekt styrning, och en balansgång för hur hårda krav som kan ställas av speditör mot åkerier. De miljöfordon som idag ingår i speditörers fordonsflotta är företrädesvis lätta distributionsfordon såsom Mercedes Sprinter och Iveco Daily. Dessa fordon ingår huvudsakligen i speditörens egen fordonsflotta medan fjärtrafiken utgörs av åkerier som med egna fordon utför transporttjänster åt speditören. Idag finns i praktiken inga miljöfordon på fjärtrafik. Men efterfrågan finns och bl.a. har DHL uttalat att en av orsakerna till intresset för miljölastbilar för fjärtrafik ligger i att kundefterfrågan på ”gröna ton” är större än möjligheten att leverera gröna ton och det är i fjärtrafiken man uppnår reella minskningar av CO<sub>2</sub>-utsläppen.

### 7.4 LASTBILSCENTRALER

Lastbilscentraler består av åkare som samverkar för att ge brett kunderbjudande och gemensam administration, etc. Så länge åkarna håller sig till de givna reglerna för lastbilscentralen hjälper lastbilscentralen till som rådgivare snarare än att styra med hela handen. Lastbilscentralerna jobbar ofta aktivt med att föra ut miljöfrågor till sina anslutna åkerier. Men det är alltid i slutänden åkeriet självt som står för investeringen och eftersom flertalet åkeriägare har ett fåtal lastbilar är varje investering i ett nytt fordon en utomordentligt stor sak för den enskilde medlemmen i åkeriet. Ett 15-tal lastbilscentraler över hela landet har gått ihop och startat ett bränsledistributions-, kunskaps- och utvecklingsföretag med mål att hjälpa lastbilcentralerna som är delägare (TRB, [www.trb.se](http://www.trb.se)). I företagets uppdrag ingår att utvärdera och rekommendera alternativa bränslen.

### 7.5 ÅKERIER

Transportbranschen har i fjärtrafik en nettomarginal på i storleksordningen 3 %. Det innebär ett ekonomiskt pressat affärs läge och en generell ovilja i att investera i ny teknik som medför högre risk än konventionella lösningar. Ett exempel på detta kan sägas vara den extremt höga marknadsandel som Volvo och Scania tillsammans utgör på fordonsmarknaden i Sverige. Orsaken till hög marknadsandel är inte främst att fordonen är så mycket bättre än konkurrenternas. Istället är det tillgängligheten och tätheten i servicenätet som lockar, dvs. åkerierna vet att det är nära till en verkstad och sannolikheten att få bilen snabbt lagad är stor. *”Det är bara om man kör i storstadsregioner som man kan tänkas ha möjlighet att investera i andra märken än Volvo och Scania. För då finns det servicenät för de andra märkena såsom MAN, DAF och Mercedes”* är ett citat från en åkeriägare som sammanfattar deras läge rätt väl.

Men samtidigt som åkerinäringen med visst fog kan sägas vara konservativ är de tuffa marginalerna och det idag höga kostnadsläget för bränsle också en drivkraft att söka nya lösningar som leder till sänkta kostnader. Kort sagt: det är tufft för ny teknik att komma

innanför tröskeln, men om det finns besparingar och tekniken får åkeriernas förtroende kan genomslaget bli stort rätt snabbt. I synnerhet om produkterna erbjuds av Scania eller Volvo.

## 7.6 FÖRARE

Chaufförer har traditionellt stort inflytande på vilka fordon som införskaffas av åkerier. I hög omfattning är många hästkrafter fortfarande viktigare än låg bränsleförbrukning eller låg miljöbelastning. Ett indirekt exempel på detta kan utgöras av Volvos nyligen introducerade FH16 lastbil med 700 hästkrafter. Argumentationen i marknadsföringen var helt baserad på att detta är världens starkaste lastbil. Även om väldigt få transporter kräver sådana lastbilar är dessa fordon fortfarande i hög grad ansedda som kronjuveler i produkt erbjudandet. Det är mycket troligt att avsaknaden av relevant bränsleförbrukningsdata gjort att man lättare kunnat se förbi det faktum att övermotoriserade fordon i förhållande till det lastarbete som utförs drabbar kostnadssidan genom hög bränsleförbrukning.

Sveriges Åkeriföretag, SÅ, hade i mitten av april en webbenkät på sin hemsida med frågan om chaufförer i högre eller lägre grad kommer att kunna påverka val av lastbil i framtiden. Onlinerresultatet 2010-04-14 var på eftermiddagen 25 % (87 röster) för högre inflytandegrad och 75 % för lägre. Detta förändrades inte märkbart över tid, se resultat från juni 2011 i bilden nedan. Enkäten visar tydlig övervikt för att branschfolk själva tror att förarnas möjlighet att påverka val av fordon minskar. Detta kan långsiktigt verka för att det blir lättare att introducera ny teknik. Generellt är dock bedömningen att det faktum att tekniken baseras på dieselteknik och att fordonet kan köras på diesel enbart gör att förarnas eventuella motstånd till MDE-tekniken är underordnat förutsatt att tankningen av LMG accepteras som enkel och säker.



## 7.7 SUMMERING: KUNDEFTERFRÅGAN PÅ MDE-LASTBILAR

Ett troligt scenario är att MDE-fordon initialt kommer att köpas av åkerier kopplade till speditörer. Inköpen kommer att helt eller delvis finansieras av speditörer och deras olika miljöprogram, kompletterat med eventuellt tillgängliga stödformer från Energimyndigheten eller regionala stödpengar.

Först när och om tekniken genom dessa initiala projekt visar sig duglig kan ett bredare genomslag inom transportnäringen förväntas. Men då räcker det med stor sannolikhet att kalkylen bara behöver vara i närheten av konventionell diesel för att många åkerier av egen drivkraft och bedömd framtida konkurrensfördel väljer att köpa dessa fordon. För om tekniken bedöms av aktörer som bra – på subjektiva eller objektiva grunder – och den ekonomiska kalkylen dessutom är positiv, så kommer tekniken att få snabbt genomslag.

## 8 MDE I FÖRHÅLLANDE TILL ANDRA POTENTIELLA ALTERNATIV

För att göra en relevant bedömning av marknadspotentialen behöver jämförelser göras inte bara med konventionell dieselteknik, utan även med de alternativ som också står och knackar på dörren för att kommersialiseras. Nedanstående tabell definierar hur alternativen förhåller sig till MDE.

### 8.1 MDE I KORTHET

MDE definieras i form av för- och nackdelar med fokus på användar-/ägarperspektiv:

Teknik/bränsle	Fördelar	Nackdelar	Bedömning
MDE (LMG/CMG)	Energieffektiv dieselprocess. Kan köras på enbart diesel.	Mellanhøgt prispålägg med LMG: ca 400 SEK. Utmaning avseende reglerade emissioner och hög andel gas.	Teknik särskilt lämplig för fjärtransporter (LMG) med få transienter i körcykel och låg andel tomgångskörning.

Andra alternativ till konventionell diesel:

Teknik/bränsle	Fördelar	Nackdelar	Bedömning
Hybrid el, diesel	Bränslebesparingsvinster främst i stadskörning. Kan köras på biodiesel. Hybrid kan också användas med andra bränslen.	Prispålägg bedöms som høgt: ca 500 SEK	MDE och Hybrid kompletterar varandra
FAME/RME	Förnyelsebart.	Kräver viss konvertering och tätare serviceintervall	Kanske sin främsta användning som låginblandat i konventionell diesel.
ED95	Energieffektiv dieselprocess. Förnyelsebart. Erbjuds av Scania.	Ifrågasättande av etanol ger motstånd på marknaden.	Tekniken har förutsättningar att fungera i Sverige där Scania utgör en viktig drivande aktör. Internationellt är bränslet längre från kommersialisering.
Syntetisk diesel - Fischer tropesch	Kan användas i konventionella dieselfordon	Tänkt råvara naturgas.	Bränslet har fortsatt svårt att kommersialiseras. Kräver stora investeringar och lågt gaspris.
Talloljodiesel	Förnyelsebart.	Begränsad tillgång.	På väg att erbjudas svenska marknaden i begränsad omfattning och som inblandning i konventionell diesel. Kan utgöra förnyelsebar dieselandel i MDE-fordon.
DME	Kan vara förnyelsebart. Energieffektiv bränsleproduktion och utmärkt bränsle i motorer med diesel-cykel. Ger låga reglerade emissioner.	Motorerna är dedikerade för DME, dvs, infrastrukturen måste finnas från dag 1.	Bränsle lämpligt för tunga transporter, men med høgre tröskel för marknadsintroduktion än MDE/LMG

## **8.2 TILLVERKARNAS SYN PÅ ALTERNATIVEN**

Alla tillverkare är i grunden väldigt förtjusta i diesel både som teknik och bränsle. Alla tillverkare har någon form av hybridiseringsprojekt som pågår och testfordon ute på olika marknader. Mest positiva till metangas är Mercedes med nuvarande erbjudande med både CMG och LMG på lastbilmodellen Econic, och Volvo med presenterade bilar och en uttalat positiv syn på gas. Scania har idag inga erbjudanden på gas, men skall enligt utsago komma med ett lastbilserbjudande på gas snart, som komplement till den satsning man gjort gällande ED95, och man ser biogas som ett av flera drivmedel framöver.

Bland tillverkarna är det Volvo som uttalat sig mest positivt till MDE-tekniken. Mercedes har varit något ifrågasättande till MDE-tekniken med hänvisning till emissionsegenskaperna. Detta kan eventuellt bero på att man vill skydda nuvarande produkterbjudande innan MDE-tekniken är färdigutvecklad och kommersiellt tillgänglig. Scania har fått förfrågningar gällande MDE, främst från sopåkare, men säger sig se ett begränsat användningsområde för tekniken vilket är ett rimligt uttalande från en tillverkare som nu är på väg att lansera otto-gasmotorer.

## **8.3 SUMMERING – MDE I FÖRHÅLLANDE TILL ANDRA ALTERNATIV**

Denna bedömning är mycket förenklad, men slutsatsen blir att MDE-teknik i förhållande till övriga förnybara alternativ har förutsättningar att bli konkurrenskraftigt. Speciellt i kombination med LMG inom fjärrtransporter eller anläggningsfordon som kör långa sträckor per år. Därmed passar MDE och Hybrid in som kompletterande erbjudanden eftersom hybrid är bäst lämpat i stadstrafik med mycket tomgång och många stopp och starter. MDE är ett bränslealternativ som ligger nära kommersialisering och har bra förutsättningar att bli omtyckt av hela kedjan av aktörer inom transportsektorn såsom myndigheter, transportkunder, speditörer, lastbilscentraler, åkerier och chaufförer. Närmast konkurrent bedöms DME och eventuellt ED95 att vara. Men ED95 kan ha det svårare att få genomslag internationellt och tidshorizonten innan DME utgör ett kommersiellt alternativ bedöms vara långt fram i tiden. Det finns ingenting som talar mot att dessa bränslen skulle kunna samexistera på en marknad utifrån perspektivet att det i framtiden kommer att finnas ett än större behov av att kunna utföra transporter med förnyelsebar källa.

Positivt för MDE-teknik och LMG/CMG i Sverige är att Volvo är uttalat positiva till både tekniken och bränslet. Dessutom säger Scania att de ser biogas som ett framtida bränsle - utan att egentligen uttala sig om MDE-tekniken som sådan. Båda tillverkarna betonar att det är biogasens förnybarhet som är den stora drivkraften, men i realiteten kan man anta att en minst lika stark drivkraft är att efterfrågan på produkter för naturgas ses som ett miljömässigt/ekonomiskt bra alternativ till diesel.

## **9 OEM VS. QVM VS. EFTERKONVERTERING**

### **9.1 VAD ÄR SKILLNADEN MELLAN OEM, QVM OCH EFTERKONVERTERING?**

Ett OEM-erbjudande (Original Equipment Manufacturer) innebär att fordonstillverkare själva utvecklar och säljer sina fordon med egen garanti, till skillnad från en

efterkonverteringslösning där leverantör själva utvecklar och monterar ett tekniskt system på fordon som redan är i drift, eller i samband med köp av nytt fordon. Efterkonverteringsfirman är då helt och hållet ansvarig för systemet och står själv för garantier, service, etc..

Det finns dock en glidande skala, ibland kallat QVM (Qualified Vehicle Modifier), där externa systemleverantörer utvecklar fordon på egen hand eller med viss hjälp av tillverkaren men där fordonen till slut ändå säljs genom tillverkarens egna kanaler, ibland med två separata garantivitton. En variant på detta tillvägagångssätt är att fordonstillverkaren aktivt rekommenderar vissa specifika efterkonverteringsfirmor, men konvertering görs helt och hållet på konverterarens ansvar och garantier. Den lösning som Volvo presenterat med en 7-litersmotor för komprimerad gas kan sägas vara en QVM-lösning där Stadspartner i Linköping och systemleverantören Hardstaff med hjälp från Volvo utvecklat fordonet som säljs genom Volvos egna återförsäljarkanaler.

## **9.2 MDE I FÖRHÅLLANDE TILL OEM, QVM OCH EFTERKONVERTERING**

Den kritiska frågan för QVM-lösningar och efterkonverteringar till MDE är att få styrsystemet/styrsystemen att fungera så att emissionsnivåer uppnås och andel gas hålls hög. Hittills har efterkonvertering alltid legat ett steg efter gällande Euroklasser. Att utveckla MDE till att klara Euro VI bedöms som en stor utmaning även vid utvecklingsprojekt där tillverkarna själva medverkar. Alltså kommer med största sannolikhet inte efterkonverteringsfirmor att klara att konvertera fordon som uppnår Euro VI. QVM-lösningar kommer att behöva en hög grad av engagemang från tillverkarna själva för att klara de tekniska kraven.

Att klara Euro VI med efterkonvertering bedöms alltså som tekniskt väldigt svårt. Minst lika svårt har det visat sig att på marknaden övertyga kunder om att köpa efterkonverteringssystem. Framst gäller dessa erfarenheter lätta fordon. För att fler kunder än idealisterna skall köpa efterkonverteringssystem krävs en stark ekonomisk drivkraft, exempelvis såsom LPG stöttades i England och Holland. Saknas detta starka incitament bedöms efterkonvertering inte bli aktuellt. I synnerhet inte på kommersiella fordon där driftsäkerhet och garantifrågor är centrala.

Viktigt för svenska förhållanden är om Volvo och Scania kommer erbjuda MDE, vare sig det är som OEM- eller QVM-lösning. Volvo är som sagt redan inne på att erbjuda MDE-fordon på 7-litersfordon för komprimerad gas och har meddelat att man avser att utveckla och testa fordon med 13-liters motor för LMG. Till dags datum har Scania inte från centralt håll varit positiva till MDE, vilket även kan avläsas i vilka system som finns tillgängliga hos dagens leverantörer av MDE-teknik. Här erbjuds system för bl.a. Volvo, DAF och Mercedes vilket torde vara en spegling både i efterfrågan och hur tillverkare varit behjälpliga med information om produkternas styrsystem.

## **9.3 MYNDIGHETERNAS SYN PÅ EFTERKONVERTERING**

Det pågår en diskussion mellan fordonstillverkare och myndigheter om hur uppgradering av befintliga fordon skall klassas. Tillverkare erbjuder bl.a. uppgradering av fordon från Euro IV till att klara Euro V. Bortsett från miljömässig vinst är en drivkraft att uppgradera fordonen att livslängden därmed förlängs på så sätt att de kan köra inom städernas miljözon fyra år längre. Dock har Transportstyrelsen enligt uppgift inte ännu godkänt att klassa dessa uppgraderingar som Euro V (MK 2008). Eftersom pågående fråga om uppgradering av Euro IV till Euro V är helt fokuserad på reglerade emissioner kan man förvänta sig en liknande och kanske än mer

komplicerad diskussion hur efterkonverterade MDE-fordon skall uppgraderas i vägtrafikregistret. Frågan är om de blir klassade som gasfordon, men med samma emissionsklass som den ursprungliga, eller klassas på annat sätt. Svaret är inte givet utan dialog behöver föras med Transportstyrelsen i denna fråga.

## **9.4 SUMMERING OEM VS. QVM VS. EFTERKONVERTERING**

Bedömningen är att tekniken för MDE är så pass komplicerad att MDE-teknik måste utvecklas med tillverkarnas aktiva stöd för att systemleverantörer skall klara att erhålla låga reglerade emissioner och en hög andel gas, speciellt med tanke på kommande Euro VI. Eftersom tillverkare såsom Volvo Lastvagnar börjat erbjuda fordon med MDE-teknik och en annan stor europeisk tillverkare också undersöker tekniken är det mycket som tyder på att MDE-erbjudandena kommer att öka. Inte minst eftersom metangasen är ett internationellt sett tillgängligt och billigt bränsle. Men allt bygger på att tekniken håller för de högt ställda förväntningarna. Då är det också troligt att nuvarande QVM-lösningar snabbt kommer att integreras för att helt säljas som tillverkarnas egna, och man slutar diskutera om det är Hardstaff, Clean Air Power, Westport, eller annan systemleverantör av MDE-tekniken.

Efterkonvertering av fordon har traditionellt sett haft svårt att hävda sig såvida inte starka ekonomiska förmåner finns för detta, och de verkar i dagsläget vara rätt långt bort. Så nyckeln för efterkonvertering är att nyare fordon som är 2-5 år kan konverteras med tillverkarens godkännande, dvs. tillverkarens motorgarantier fortsätter att gälla, och emissionsklassen blir lika bra eller bättre än ursprunglig drivlina, samt att gaspriset blir så lågt att kalkylen ger rimlig återbetalning av investeringen.

## **10 TANKSTÄLLEN FÖR MDE-FORDON**

### **10.1 KOMPRIMERAD GAS**

Idag finns över 100 tankställen för komprimerad gas. Dessa ger förhållandevis god täckning söder om en linje från Karlstad till Uppsala. Jönköpings- Kronobergs- och Kalmar län tillhör dock ett undantag eftersom här finns få tankställen. Det pågår en offensiv utbyggnad av antalet tankställen och i denna studie bedöms inte infrastrukturen för komprimerad gas vara den begränsande faktorn i jämförelse med t.ex. branschens tillit till MDE generellt. Det förutsätter också att gasleveranserna i Stockholmsområdet fungerar.

Konkurrensen för att leverera komprimerad gas har fram tills nu varit begränsad eftersom aktörerna betjänat olika delar av landet. Nu är gasmarknaden på väg in i ett läge där aktörer börjar konkurrera inom samma geografiska område.

### **10.2 FLYTANDE GAS**

Det finns i Sverige idag inga tillgängliga tankstationer för flytande gas. Ett tankställe för flytande gas till bussar har öppnats av Upplands Lokaltrafik. Projekt pågår där gasleverantörerna AGA, E.ON och FordonsGas har sagt att de skall bygga minst var sitt tankställe till de fordon som Volvo tar fram testfordon till. Första tankstället för flytande gas

är planerat att öppnas i Göteborg höst 2010, med nya tankställen i Malmö och Stockholm i början på 2011.

Tekniken att tanka flytande gas är i sig förhållandevis okomplicerad, men har inte standardiserats än varför mycket arbete nu är fokuserat på att få fram lämpliga gemensamma system. Då utvecklingen av komprimerad biogas går väldigt snabbt, t.ex. i Stockholm, så är lösningar på obalanser i utbud och efterfrågan genom ekonomiskt mer effektiv distribution av biogas en viktig fråga att lösa. Det är det troligt att distribution av flytande biogas kommer att öka eftersom detta är ett billigare distributionsätt än att flytta komprimerad gas med hjälp av lastbil. Detta kommer att underlätta utbyggnad av flytande gas eftersom det är enkelt och förhållandevis billigt att komplettera tankställen för komprimerad gas som försörjs av flytande källa till att även kunna tanka flytande direkt, så kallade LCMG-tankställen.

Tidigare studier gjorda på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center AB (rapport 167, LCNG-studie – möjligheter med LNG i fordonsförsörjningen i Sverige) har indikerat att det behövs cirka 24 strategiskt utplacerade tankställen för flytande gas för att göra infrastrukturen rikstäckande för huvuddelen av de fjärrtransporter som sker i Sverige.

### **10.3 SUMMERING KOMPRIMERAD VS FLYTANDE GAS (INFRASTRUKT.)**

I denna studie bedöms inte infrastrukturen för den komprimerade gasen vara en begränsande faktor. Utbyggnad pågår och om tankställen behövs på platser för att betjäna viktiga transportkunder kommer denna utbyggnad att kunna ske förhållandevis enkelt. Detta gäller åtminstone i en linje från Uppland till Värmland, men utbyggnad har startat även i norra Sverige.

Dock bedöms den flytande gasen vara tillgänglig på ett begränsat antal tankstationer för många år framåt. Om de 24 tankstationer som i en studie har identifierats som nödvändiga för att få ett nationellt täckande nät byggs inom en 5-årsperiod är det fortfarande så få tankstationer att aktörer av rent psykologiska skäl anser antalet stationer vara begränsat, eftersom tillgängligheten i förhållande till diesel är låg. Inte minst med anledning av att åkerier har en tradition av att ha tankställen tillgängliga på den egna anläggningen.

## **11 EKONOMI**

### **11.1 MDE VS KONVENTIONELLT DIESELFORDON**

Med hjälp av Sveriges Åkeriföretag har simulering av ekonomikalkyl för MDE-fordon kunnat göras. I botten ligger SÅ Calc som är ett mjukvaruprogram SÅ utvecklat för att hjälpa sina medlemmar att räkna på kostnader vid inköp och drift av fordon. Nedanstående kalkyler är att betrakta som indikativa och baseras på flera olika antaganden gällande körtider, att AdBlue behövs för att klara emissionsnivå etc. Men de ger en indikation på hur kalkylen för MDE fordon varierar beroende på körsträcka, inköpspris och skillnad i bränslekostnad (diesel vs gas). I samtliga fall i nedan är andelen gas 70% och diesel 30% , bränslekostnaden inklusive additiv är 8,20 per liter diesel samt bränsleförbrukningen satt till 4,60 liter diesel per mil.

Scenario	Körsträcka (mil/år)	Gaspris (jmf. samma energimängd diesel)	Inköpspris - merkostnad i SEK jämfört med konventionellt dieselfordon	Genomsnittlig årskostnad MDE Beräknat resultat [SEK]	Genomsnittlig årskostnad konventionellt dieselfordon [SEK]	Skillnad i resultat MDE vs konventionell diesel (om tal positivt är MDE bättre än konventionellt dieselfordon)
1	8000	0	400000	-1491464	-1450664	-40800
2	12000	0	400000	-2117900	-2060760	-57139
3	16000	0	400000	-2744086	-2670646	-73440
4	12000	0	400000	-2117900	-2060760	-57139
5	12000	-15%	400000	-2058781	-2060760	1980
6	12000	-30%	400000	-1999662	-2060760	61099
7	12000	-15%	350000	-2051638	-2060760	9122
8	12000	-15%	400000	-2058781	-2060760	1980
9	12000	-15%	450000	-2065922	-2060760	-5162
10	16000	-15%	400000	-2665261	-2670646	5385
11	20000	-15%	400000	-3271866	-3280638	8772
12	16000	-30%	400000	-2586435	-2670646	84211
13	20000	-30%	400000	-3173334	-3280638	107304

## 11.2 SUMMERING EKONOMI

Notera att dessa kalkyler är gjorda utifrån antaganden och skall inte ses som ett givet och absolut svar på hur MDE förhåller sig till konventionella dieselfordon. Men det är inte osannolikt att åkerier som sitter och gör egna kalkyler kommer att göra liknande antaganden i använd programvara.

Tabellen ovanför indikerar att det är rimligt att kunna räkna hem MDE-fordon givet vissa antaganden. Beräkningarna indikerar att det är viktigt för MDE-tekniken att fordonen skall köra förhållandevis långa sträckor per år och att gaspriset i förhållande till dieselpriiset slår tydligt igenom vid beräkning av årskostnad. Inköpskostnaden slår igenom något mindre i beräkningar av årlig kostnad. En av de viktigaste parametrarna för att MDE skall bli kommersiellt är därmed att gaspriset är tydligt lägre än motsvarande mängd energi diesel.

## 12 ANALYS OCH SLUTSATSER

Nedan följer de sammantagna slutsatserna i studien:

*MDE har en stor potential att nå genomslag på svenska marknaden.*

Detta baseras på:

- Ekonomi: MDE ger en förhållandevis bra ekonomisk kalkyl och förutsättningar finns för att nå ungefär samma, eller bättre, kalkyl för MDE som för flera fall gällande dieselfordon.
- Tillförlitlighet: Dieselsystemet kan användas som ren back-up lösning om gassystemet fallerar.
- Miljö: Energieffektiv och CO2 reduktion tack vare biogas och drivlina baserad på diesel-cykel.
- Fordonstillverkarnas intresse: Tillverkarna har drivkraft att erbjuda tekniken eftersom naturgas har internationellt bred spridning med lågt pris. Internationellt är även naturgas ansett som miljömässigt bra i förhållande till konventionell diesel.

*För att MDE skall nå sin marknadspotential krävs att ett flertal förutsättningar är uppfyllda.*

De viktigaste faktorerna är:

- Tekniken: Höga förväntningar finns och är delvis redan kommunicerade till marknaden. Här behövs balans i marknadens förväntningar respektive faktiskt utfall, både avseende funktion och kostnad.
- Hög andel gas: För att bli miljömässigt och ekonomiskt intressant på marknaden behövs en hög andel gas. Mer än 50 % kan anses som ett krav, men 70 % gas kan behövas för att tekniken skall stå fram i positiv bemärkelse.
- Lågt gaspris: De ekonomiska kalkylerna ger vid hand att det är ett lågt gaspris som är mest avgörande för att ge ett positivt utslag i kalkylen.

*MDE kan fungera som alternativ i kombination både med komprimerad gas och med flytande gas, där avsaknad av tankställen för flytande gas är en avgörande begränsning åtminstone de kommande 5 åren.*

Detta beror på att:

- Applikationen avgör: Krävs inte så långa körsträckor utgör MDE i kombination med komprimerad gas ett alternativ. Dessa fordon har idag ett lägre produktpris i kombination med en befintlig infrastruktur. Detta, plus att MDE-tekniken blir konkurrenskraftig med konventionella otto-gasfordon borde göra att MDE/komprimerad gas kan hitta en marknad

bland distributionsfordon och sopbilar i första hand. Om marknad för flytande gas utvecklas är det dock troligt att dessa fordon i framtiden får ett lägre pris än fordon för komprimerad gas (lägre teknikhöjd, fler tankleverantörer, högre volym)

Flytande biogas ett verktyg för att leverera komprimerad gas: Gasdistributörerna har ett ekonomiskt incitament till att transportera biogas från produktionsstället till tankstället i flytande form, även om den sedan tankas i komprimerad form. Det talar för att tankställen för flytande gas kan samexistera med komprimerad gas.

Brist på tankställen för flytande gas ger begränsad användning av fordonen: Även om gasleverantörerna startar ett offensivt program för utbyggnad av tankställen kommer infrastrukturen vara begränsande för fordon för flytande gas i många år framöver. Därmed är fordonen för flytande gas begränsade till att bara kunna användas på givna rutter. Hur snabb marknadsutvecklingen för flytande gas blir beror alltså helt på takten av utbyggnaden av tankställen. En erfarenhet från lätta gasfordon är dock att andrahandsvärdet inte behöver påverkas negativt – förutsatt att antalet tankställen ökar till den dag de första begagnade fordonen säljs.

*Marknaden kommer främst bestå av försäljning av nya fordon.*

Denna slutsats baseras på:

Tillverkarnas intresse: Fordonstillverkare har uttryckligt intresse av att utveckla MDE-erbjudande. Ett klassiskt mönster är att intresset för efterkonvertering då minskar och MDE-teknikens komplicerade uppbyggnad med styrning av två bränslen talar ytterligare för att tillverkarna kommer att dominera MDE-marknaden.

Utebliven styrning: Det finns i dagsläget mycket lite som tyder på att myndigheter kommer att driva på utvecklingen med hjälp av ekonomiska styrmedel som stimulerar efterkonvertering.

Teknisk utmaning: Att utveckla efterkonverteringssystem som uppfyller egenskaper i form av låga emissioner och hög andel gas kräver tillverkarnas aktiva stöd.

*De efterkonverteringar som trots allt kommer att ske kommer att kräva fordonstillverkarens godkännande - alternativt ske på äldre fordon. I båda fallen är antalet konverteringar mycket litet.*

Slutsatsen baseras på:

Kostnad: Kostnaden för konverteringen kan ekonomiskt motiveras på de nyare fordonen. Och då måste tillverkarens garantier fortsätta att gälla. Vilket i sin tur de facto kräver att tillverkarna själva tror på tekniken, och därmed har OEM-erbjudanden som alternativ.

Äldre fordon konverteras i brist på OEM-erbjudanden: Om fordonstillverkare inte kommer igenom med produkterbjudanden på MDE kommer heller inte fabriksgarantier för efterkonverteringar att vilja göras. Därmed torde det vara äldre fordon som konverteras i ett försök att förlänga fordonets livslängd.

Entusiaster konverterar: Då ekonomisk drivkraft för att konvertera måste vara väldigt stark för att överkomma tröskeln av investering och tilltron på tekniken torde det vara ett litet antal fordonsägare som väljer att efterkonvertera. Dessa entusiaster finns. Men de är få till antalet.

Slutligen bedöms alltså potentialen för MDE av ovanstående argument framför allt utgöras av nybilsförsäljningen. Totalt säljs 5 500 – 7 500 fordon per år i Sverige över 10 ton. Hur stor andel av dessa fordon som utgör direkt målgrupp för MDE har inte kunnat visas med sifferbaserat underlag. Grov uppskattning är dock att ca 20 – 30 % av dessa fordon skulle kunna vara aktuella för att köpas som MDE-alternativ. Förhållandet mellan komprimerad och flytande gas avgörs helt av hur snabbt infrastrukturen för flytande gas byggs ut. Bedömningen är att om flytande gas finns tillgängligt är detta förstahandalternativet för kunderna, jämfört med komprimerad gas.

I denna studie har inte framkommit underlag som tyder på att efterkonvertering kommer att utgöra ett attraktivt alternativ. I faktiska antal torde efterkonvertering bli mest aktuellt om fordonstillverkarna väljer att INTE erbjuda MDE. Då kommer en grupp intresserade åkare att konvertera fordon i brist på OEM-alternativ. Totalt bedöms detta dock vara ett nästintill försumbart antal fordon per år.

## 13 REFERENSER:

Mathias Blomberg	JBtrailer
Bertil Dahlin	Sveriges Åkeriföretag
Lars Aspholmer	Sveriges Åkeriföretag Programsupport
Per Stålhammar	AVL MTC
Peter Smeds	Trafikverket
Ulf Hammarberg	DHL
Claudio Cordova	E.ON
Per-Olof Arnäs	TRB
Birger Pettersson	Scania
Mats-Ola Larsson	Miljöinfo

## BILAGA 1 – BUSSMARKNADEN I SVERIGE

Uppdraget i denna rapport var fokuserat på lastbilar, men under arbetets gång framkom intresse även för bussar. Därmed gjordes en kort genomgång av bussmarknaden inom ramen för detta arbete. Sammanställningen i denna bilaga är skriven av Maria Losman, Ecoplan.

### BUSSAR

Linjetrafiken är den klart dominerande formen av busstrafik. Turist- och beställningstrafik är vid sidan av den upphandlade linjetrafiken den andra dominerande verksamheten inom bussbranschen. Den interregionala busstrafiken, expressbusstrafik, kör efter tidtabell på längre sträckor som passerar minst en länsgräns.

#### Bussar i olika typer av trafik (uppskattning av huvudsaklig användning)

Typ av trafik	Antal bussar
Bussar som upphandlats av länstrafik bolagen för linjelagd kollektivtrafik och skolskjuts	8 700
Turist- och beställningstrafik	2 400
Skolsjutstrafik som (troligen) upphandlats av kommuner	600
Expressbuss	400
Andra uppdrag	200
<b>Totalt</b>	<b>12 300</b>

Källa: Bussbranschens Riksförbund, Kortfakta om branschen

För MDE-fordon är det mest intressant med regionbussar. Ungefär 900 av bussarna totalt i Sverige är regionbussar. Men även de 400 bussar som går som expressbussar kan vara intressanta.

År 2008 var andelen bussar som drevs med förnybara bränslen inom den av regionerna upphandlade kollektivtrafiken 15 %. 9 % drevs med fordonsgas (812 st.)<sup>1</sup> och 6 % drevs med etanol (504 st.). Övriga 85 % (7497 bussar) drevs med diesel. (Källa: Bussbranschens Riksförbund, Kortfakta om branschen)

---

<sup>1</sup> I branschorganisationen Energigas Sveriges gasfordonsstatistik anges antalet gasbussar till 849 (2008) och 963 (2009).

## Leverantörer gasbussar 2009

MAN Ca 800 bussar i Sverige (inräknat beställda bussar)	Går att lägga order nu. Leveranstid ca 10 mån.
Mercedes Ca 40 bussar i Sverige (Lund+Falkenberg)	Går att lägga order nu. Leveranstid 5-7 månad beroende på volym.
Scania Få bussar i Sverige	Generationsskifte. Leverans av ny generation troligen under 2010.
Volvo Ca 300 bussar i Sverige	Levererar t.o.m okt 2009. Generationsskifte. Leverans av ny generation troligen under 2010.

Källor:

MAN, Joackim Bay (Neoplan)

Mercedes, Håkan Jonsson

Scania, Jonas Strömberg

Volvo, Edward Jobson

Siffrorna kan vara överskattade från leverantörerna med tanke på att det totalt finns drygt 800 gasbussar i Sverige, men ger ändå en fingervisning om marknadsandelar.

### TRAFIKHUVUDMÄNNEN STYR

Kollektivtrafiken förväntas öka kraftigt de närmsta åren. Både trafikhuvudmän och trafikbolag är engagerade i det s.k. "Fördubblingsprojektet" med målsättningen att fördubbla kollektivtrafiken till 2020. Samtidigt ligger nu ett lagförslag om en ny kollektivtrafiklag som innebär en försvagning av trafikhuvudmännen vilket kan komma att minska möjligheterna att fasa ut dieselbussarna. Stor osäkerhet råder kring detta. Det är inte säkert att det hinner bli ny lag före valet och om oppositionen vinner kommer lagen i så fall troligen rivas upp.

Trafikhuvudmännen upphandlar trafiken från busstrafikbolag som utför själva busstrafiken i respektive trafikområde. Trafikupphandlingar görs vanligtvis med långa avtal (ca 8 år) som innebär att en viss trygghet finns i de investeringar i miljöteknik som bussentreprenörerna gör. Det förekommer även att trafikhuvudmän kör trafik i egen regi och alltså upphandlar bussar själva, men det är i liten omfattning, ca 10 % av trafiken.

De största trafikhuvudmännen är Storstockholms Lokaltrafik (SL), Västtrafik och Skånetrafiken. De har alla erfarenhet av att köpa gasdriven busstrafik. Det har även Upplands Lokaltrafik, Östgötatrafiken, Hallandstrafiken och Länstrafiken Örebro och andra mindre

trafikhuvudmän. Skånetrafiken har bussar som egentligen är avsedda för stadstrafik i regionbusstrafik.

Trafikhuvudmännens engagemang i alternativ till diesel är politiskt styrt. SL har sedan länge prioriterat biogas och slutit långa avtal med gasproducenter samt investerat i ledningar och tankställen på sina depåer. Skånetrafiken har engagerat sig som hel- och delägare av bussdepåer så att det blivit möjligt att etablera tankställen. Västtrafik har våren 2010 fattat beslut både om att öka engagemanget i strategiska depåer och antagit en plan för utfasning av fossila bränslen där biogas har prioritet.

Vissa av de politiska besluten är formulerade som 100 % förnybart eller biogas. Det leder till en viss skepsis mot tekniker där gas blandas med diesel. Det är då väsentligt att diesel-delen kan vara biodiesel. Skånetrafikens beslut är 100 % biogas vilket har försvårat intresset för MDE-bussar där.

## BUSSBOLAGEN KÖPER FORDON

Det är bussbolagen som är köpare av fordon. Men de har begränsat utrymme att bestämma vad de ska köpa då detta styrs av trafikhuvudmännens krav. Kraven formuleras ibland som att vissa utsläppsmål ska uppfyllas, ibland med andelar förnybart och ibland i klartext om busstrafiken ska drivas helt eller delvis med biogas.

### Bussbranschens tio största företag

Företagsnamn	Antal bussar årsskiftet 2008/09
Swebus AB	2 486
Busslink	1 407
Veolia Transport	910
Bergkvarabuss	454
Göteborgs Spårvägar	430
Arriva	414
Orusttrafiken	321
KR-trafik	218
Gamla Uppsala Buss	177
Vänersborgs linjetrafik	150

Baserat på uppgifter från respektive företag. Samägda bolag finns inte med i listan.

Källa: Bussbranschens Riksförbund, Kortfakta om branschen

Att samägda bolag inte finns med på listan gör att där t.ex. saknas Buss i Väst som består av många mindre buss- och taxibolag med tillsammans 600 fordon. Investeringsbeslut görs normalt av delägarna.

Flera av bussbolagen är internationella. Erfarenheterna av vad som händer på den svenska marknaden stannar inte i Sverige.

Företagsnamn	Kommentar
Swebus AB	Heter numera Nobina, har ca 30 % marknadsandel. Största ägare är Bluebay Asset Management som är ett brittiskt investmentbolag.
Busslink	Busslink ägs till 70 % av Keolis, Frankrikes största leverantör av kollektivtrafik, resterande 30 % ägs av SL.
Veolia Transport	Internationell koncern i 28 länder, börsnoterat i Paris och New York.
Bergkvarabuss	Familjeföretag. Stora i södra Sverige.
Göteborgs Spårvägar	Har förlorat kontrakt i Göteborg, kommer troligen inte att fortsätta i 10 i topp.
Arriva	Danskt företag. Stora i södra Sverige.
Orustrafiken	Ingår i norska Nettbuss. Delägare i KR-trafik.
KR-trafik	Familjeföretag. Jämtland.
Gamla Uppsala Buss	Kommunalt bolag.
Vänersborgs linjetrafik	Medlemmar i Buss i Väst.



Scheelegatan 3, 212 28 Malmö • Tel 040-680 07 60 • Fax 040-680 07 69  
[www.sgc.se](http://www.sgc.se) • [info@sgc.se](mailto:info@sgc.se)

---

---