

## Nationellt Samverkansprojekt Biogas i Fordon



### **Utvecklingsbehov inom dual-fuel för tunga fordon**

610414

*ISSN 1651-5501*

Projektet delfinansieras av Energimyndigheten

# **Utvecklingsbehoven inom dual-fuel för tunga fordon**

**Dario Ondelj  
Farhad Hadi**

ISRN MAH-TSMT/EX--05/038--SE+120/140

April 2005

## Sammanfattning

Projektet har genomförts i uppdrag av företaget Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) i Malmö. Arbetet innefattar jämförelser mellan dual-fuelmotorer, dieselmotorer och ordinära gasmotorer. Jämförelserna har gjorts inom olika områden för att belysa fördelar respektive nackdelar dual-fuelmotorer erbjuder i förhållande till diesel- och gasmotorer. I denna rapport avses med gasmotorer, motorer som drivs med naturgas eller biogas som uppgraderats till fordonskvalitet. Ett samlat begrepp för dessa bränslen är fordonsgas.

För att få svar på vår grundfråga om fördelar och nackdelar, har det fokuserats på att belysa och spekulera i dessa fyra grundläggande områden: Teknik, ekonomi, emissioner och slutligen överläggs utvecklingsbehov inom dual-fuel. Tekniken motsvarar verkningsgraden, funktionaliteten, hållbarheten och säkerhetsaspekterna. Ekonomin som motsvarar driften, underhållet och kapitalkostnaderna. Emissionerna behandlar kväveoxidhalter och partikelutsläpp. Avslutningsvis diskuteras utvecklingsbehoven för dual-fueltekniken i Sverige.

Fjärde kapitlet innehåller information om teknikerna bakom dieselmotorn, gasmotorn och dual-fuelmotorn. Diesel- och gasmotorerna är konstruerade på olika sätt och har olika bränslesystem. Dual-fuelmotorn är en kombination av dessa två. Dieselmotorn har inga tändstift utan använder sig av dieselbränslets självantändning, då cylindertemperaturen når bränslets antändningspunkt. I gasmotorn krävs det tändstift för att antändning skall ske. I dual-fuelmotorn använder man dieselbränslets antändningsförmåga, i form av en s.k. pilotlåga till att tända den komprimerade gas/luft blandningen, alltså en kombination av de två bränslesystemen. Verkningsgraden vid de olika teknikerna skiljer sig åt. Inom detta kapitel berörs även de olika teknikernas säkerhet och hållbarhet. De olika bränslesystemen har olika emissioner. I kapitel fem studeras skillnaderna mellan dessa. Man kan här konstatera att dual-fuelmotorn är ett bra alternativ ur miljösynpunkt. I sjätte kapitlet tar vi upp kostnaderna för de olika motortyperna. Dual-fuelmotorn har en högre anskaffningskostnad än dieselmotorn, medan driftskostnaderna är betydligt lägre. Totalkostnaderna kan därmed vara lägre.

Lastbilar och bussar kan enkelt konverteras till dual-fuel drift med hjälp av en konverterings-sats till motorn. Dual-fueltekniken är unik i jämförelse med dieselmotorn och gasmotorn. Motorn är konstruerad så att den kan gå på blandningar av dieselbränsle och naturgas/biogas. Detta gör att fordonen kan användas på längre sträckor med dieselbränsle där det inte finns en utbyggd infrastruktur av naturgas eller biogas och drivs huvudsakligen på fordonsgas när gasen finns tillgänglig.

## **Abstract**

This project was carried out as an assignment for the Swedish Gas Technical Centre AB (SGC) in Malmö. The study compares dual-fuel engines with those of diesel and natural gas/biogas, in order to ascertain the advantages and disadvantages of dual-fuel technology. Diesel and gas engines are constructed in two different ways and have different fuel systems, whereas the dual-fuel engine is a combination of these two engine types.

Four aspects were examined: technology, economy, emissions and development needs for dual-fuel technology. Technology covers efficiency, function, durability and safety; economy covers operational, maintenance and capital costs; emissions examines differences with regard to carbon oxides and particle matter; lastly, dual-fuel development in Sweden is considered.

In the fourth chapter of the paper, the technology behind the diesel, gas and dual-fuel engines is examined. Also a basic description of the technology of converting trucks and buses to a dual-fuel operation with the help of a conversion kit (that is integrated with the original diesel engine parts) is provided.

A diesel engine does not have sparkplugs, but uses high pressure and temperature to ignite the fuel. On the other hand, petrol and gas powered engines operate on the Otto principle, and thus need sparkplugs. The latter is shown to be less efficient than diesel. Within this context, although dual-fuel engines use basic diesel engine technology to ignite the air/gas mixture, they were found to lie between the other two engine types in term of efficiency. This chapter also examines the safety factor and durability of the different engine types.

In the fifth chapter, emissions from the three engine types, in conjunction with their impact upon the environment, are examined. The dual-fuel engine is shown to have less emission than the basic diesel engine, but more than the gas engine. The sixth chapter examines the cost of the engine types discussed. It was found that the dual-fuel system has a higher initial investment cost than that of the diesel engine, but less than that of the gas engine. However, it was also found that dual-fuel engine has a shorter payback time than the gas engine.

Dual-fuel technology offers something unique in comparison with basic diesel and gas engines. These engines are able to operate using a mixture of both fuels, enabling vehicles to travel longer distances, especially important in areas where the natural gas/biogas infrastructure has not yet been developed and thus they need only operate on this fuel source when it is available.

## Innehållsförteckning

Bilagor.....	5
<b>1. Inledning .....</b>	<b>6</b>
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Syfte.....	8
1.3 Utförande.....	8
<b>2. Bränsleegenskaper .....</b>	<b>9</b>
2.1 Diesel.....	9
2.1.1. Egenskaper.....	9
2.1.2. Framställning.....	9
2.1.3. Tekniska aspekter.....	9
2.1.4. Tillgänglighet.....	10
2.1.5. Distribution.....	10
2.1.6. Slutsats.....	12
2.2. Naturgas.....	13
2.2.1. Egenskaper.....	13
2.2.2. Framställning.....	13
2.2.3. Tekniska aspekter.....	14
2.2.4. Tillgänglighet.....	15
2.2.5. Distribution.....	16
2.2.6. Slutsatser.....	17
2.3. Biogas.....	18
2.3.1. Egenskaper och framställning.....	18
2.3.2. Tillgänglighet.....	18
2.3.4. Distribution.....	18
<b>3. Tankning av fordonsgas .....</b>	<b>19</b>
3.1. Olika sätt att tanka fordon.....	19
3.1.1. Snabbtankning.....	19
3.1.2. Långsamtankning.....	19
3.2 Tankställen.....	20
3.2.1. Tankställen i Sverige.....	20
3.2.2. Planerade tankställen.....	20
<b>4. Teknik .....</b>	<b>21</b>
4.1 Motorteknik.....	21
4.1.1. Dieselmotorn.....	21
4.1.2. Ottomotor.....	22
4.1.3. Dual-fuelmotor.....	23
4.2. Bränslesystem.....	24
4.2.1. Bränslesystem Diesel.....	24
4.2.1.1. Matarpump.....	25
4.2.1.2. Bränslefilter.....	25

4.2.1.3. Insprutningspump .....	25
4.2.1.4. Insprutare .....	25
4.2.3. Prestanda .....	26
4.2.4. Hållbarhet.....	26
4.2.5. Säkerhet.....	26
4.2.2. Bränslesystem gas .....	27
4.2.2.1. Prestanda .....	29
4.2.2.2. Hållbarhet .....	29
4.2.2.3. Säkerhet.....	30
4.2.2.4. Gastankar .....	32
4.2.2.5. Tanktyper .....	33
4.2.3. Bränslesystem Dual-fuel .....	35
4.2.3.1 Dual-fuel arbetsprincip .....	36
4.2.3.2. Prestanda .....	37
4.2.3.3. Hållbarhet .....	38
4.2.3.4. Säkerhet.....	38
<b>5. Emissioner .....</b>	<b>39</b>
5.1. Fakta om emissionsgaser.....	39
5.1.1. Jämförelse mellan diesel och gas .....	40
5.1.2. Jämförelse mellan diesel och dual-fuel .....	41
<b>6. Ekonomi .....</b>	<b>43</b>
<b>7. Utvecklingsbehov .....</b>	<b>46</b>
<b>8. Slutsats .....</b>	<b>47</b>
<b>Referenser .....</b>	<b>49</b>

## **Bilagor**

**Bilaga 1.** Dual-fuel buss utvärdering i Kalifornien.

**Bilaga 2.** Servicekostnader för CNG systemet i Dual-fuelmotorer (Kalifornien).

**Bilaga 3.** Servicekostnader för Dual-fuelmotorer (Kalifornien).

# 1. Inledning

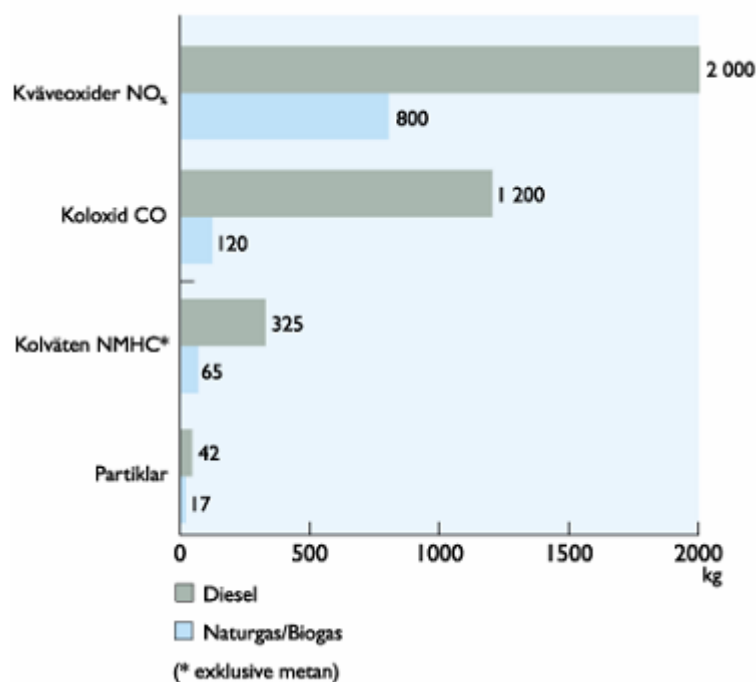
## 1.1 Bakgrund

På senare år har miljöfrågan varit i fokus för många forskningsinstitut i världen. Miljöförroeningen har stigit enormt och det mesta kommer från transportsektorn. Stora ansträngningar har gjorts för att utveckla och införa alternativa drivmedel som kan ersätta de ursprungliga drivmedlen bensin och diesel och därmed förbättra miljön genom att minska luftföroeningarna. Ett av de alternativa drivmedlen är *komprimerad naturgas (CNG)*, eller komprimerad uppgraderad biogas.

Bränslets egenskaper har en enorm betydelse för motorns utsläpp av kemiska föroeningar. Detta gäller alla bränslen även de så kallade miljövänliga. Det senaste femton åren har ett stort arbete lagts på att förbättra fordonen eftersom de anses vara den största miljöfaran. Det som kan förbättras i fordonsdriften är bränsleavgasbehandlingen, motorteknik och användningssättet. Det finns tiotusentals olika ämnen i avgaserna men det är endast fyra grupper som är mängdmässigt reglerade nämligen: kolväte (HC), kväveoxid ( $\text{NO}_x$ ), kolmonoxid (CO) och partiklar.

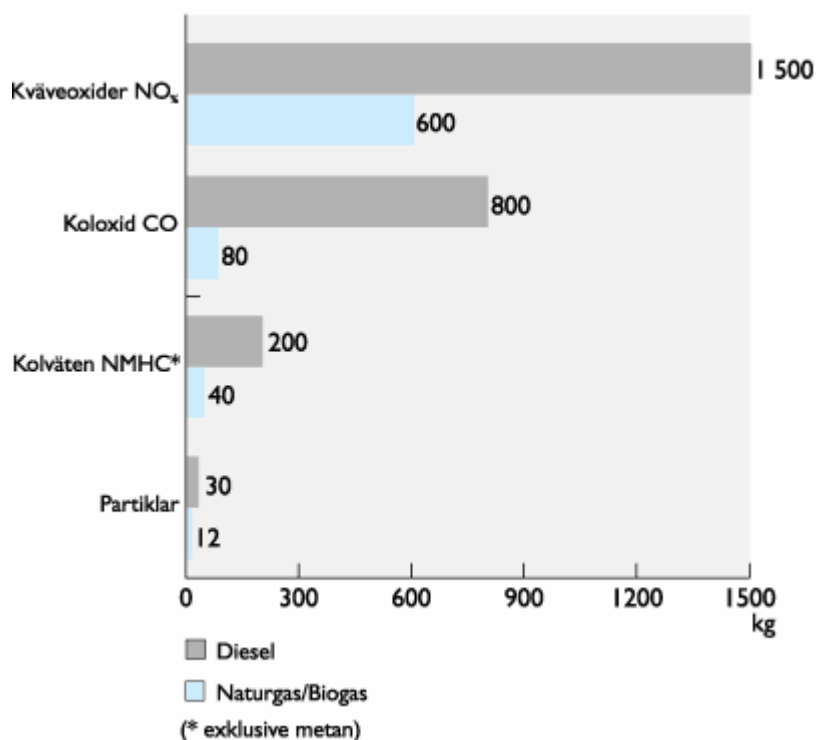
I många år har vi använt dieselolja i tunga fordon för att den ger bra verkningsgrad men den utlöser också stora mängder med emissioner, inte minst när det gäller partiklar. Ett alternativt ersättningsbränsle är nödvändigt inte bara på grund av emissionerna utan också att tillgångarna till dieselolja är begränsade till ca 40 år.

När det gäller miljön i tätorter är naturgas/biogas ett mycket bra alternativ, som drivmedel för stadsbussar, istället för dieseloljan. Med fordonsgas halveras utsläppen av kväveoxider jämfört med dieseln och den ger inga utsläpp av svavel. Dessutom släpps inga tungmetaller, aska eller stoft ut. Mätningar har visat att utsläpp av partiklar kan minska ner till ca 1 hundradel genom att använda fordonsgas istället för dieselolja.



Figur 1. Emissionerna från en stadsbuss under ett års körning (6000mil), med diesel respektive naturgas/biogas som bränsle. [16]

Tanken är att även dieseldrivna lastbilar skall konverteras till gasdrift, men eftersom infrastrukturen för gastankning inte är uppbyggd blir det lite svårare att ersätta diesel-lastbilar. Dual-fuelmotorn anses vara en bra lösning för detta, eftersom motorn inte går endast på blandningar av diesel och fordonsgas utan kan också gå på rent dieselbränsle. Detta gör att de skulle kunna användas på längre sträckor där det inte finns tillgång till fordonsgas och ändå gå på huvudsakligen fordonsgas när det tillgängligt. Dual-fuelmotor erbjuder nästan samma verkningsgrad, men däremot lägre emissioner i jämförelse med diesel motorn.



Figur 2. Emissionerna från en lastbil under ett års körning (6000mil), med diesel respektive naturgas/biogas som bränsle. [16]



## 1.2. Syfte

Syftet med detta examensarbete är att jämföra motorer för dual-fuel, dieselmotorer och ordinära gasmotorer. Jämförelsen skall betraktas utifrån fyra områden. Den första delen skall belysa tekniken, med avseende på verkningsgraden, funktionaliteten, hållbarhet och säkerhetsaspekterna. Den andra delen skall belysa ekonomin gällande driften, underhåll och kapitalkostnader. Tredje delen skall belysa emissioner i huvudsak i form av kväveoxider och partiklar. Slutligen i fjärde delen skall möjliga utvecklingsbehov inom området kartläggas.

## 1.3. Utförande

Studier har utförts på Stadsbiblioteket och Malmö högskolas bibliotek. En större del av information har kommit från rapporter som har hämtats från Internet. Rapporten är baserad på litteraturstudier, information från personer på företag och branschorganisationer som arbetar med naturgas/biogas och dual-fuel.

## 2. Bränsleegenskaper

### 2.1. Diesel

#### 2.1.1. Egenskaper

Bränsle som används i dieselmotorer består av kolväteföreningar. Den är en färglös vätska och kan ha varierande kvalitetsegenskaper beroende på vilken råolja den framställs ur. Diesel är inte lika tryckkänsligt som naturgas/biogas, vilket medför att en dieselmotor kan arbeta under högre tryckförhållanden och uppnå högre verkningsgrad än en ottomotor. [1][2]

Två viktiga egenskaper hos dieselbränsle är självantändningstemperaturen och flampunkten. Självantändningstemperaturen ligger på respektive runt 580 K (307 grader Celsius) och flampunkten över 255 K (-18 grader Celsius) för vinterdieselolja eller 330 K (57 grader Celsius) för sommardieselolja. Självantändningstemperaturen är den temperatur då en blandning av bränsle och luft antänds av sig själv. För att bestämma flampunkten värmer man upp dieseloljan tills det uppstår ångor. Den temperatur vid vilken man med en låga kan antända de luftblandade ångorna kallar man flampunkten. Tack vare dieseloljans höga flampunkt i förhållande till utomhustemperaturen kan man utan fara lagra dieselolja. Viskositeten är ett mått på hur trög- respektive lättflytande bränslet är. Densitet och viskositet följer normalt varandra. Viskositeten hos dieselbränslet påverkar sprutningsmönstret i förbränningskammaren. Låg viskositet producerar en fin bränsleimma, däremot en högre viskositet resulterar i en ojämn sprutning.

Cetantal är ett mått på tändvilligheten hos dieselmotorbränslen. Ju högre cetantalet är, desto tändvilligare är bränslet. Cetantalet bestäms genom att jämföra dieseloljan med blandningar bestående av cetan och  $\alpha$ -metylnaftalen. I dieselmotorer eftersträvas självantändning vid kompression av bränslet men i en bensinmotor eller gasmotor, där bränslet antänds med tändstift, är självantändning inte önskvärt. [22] [24]

#### 2.1.2. Framställning

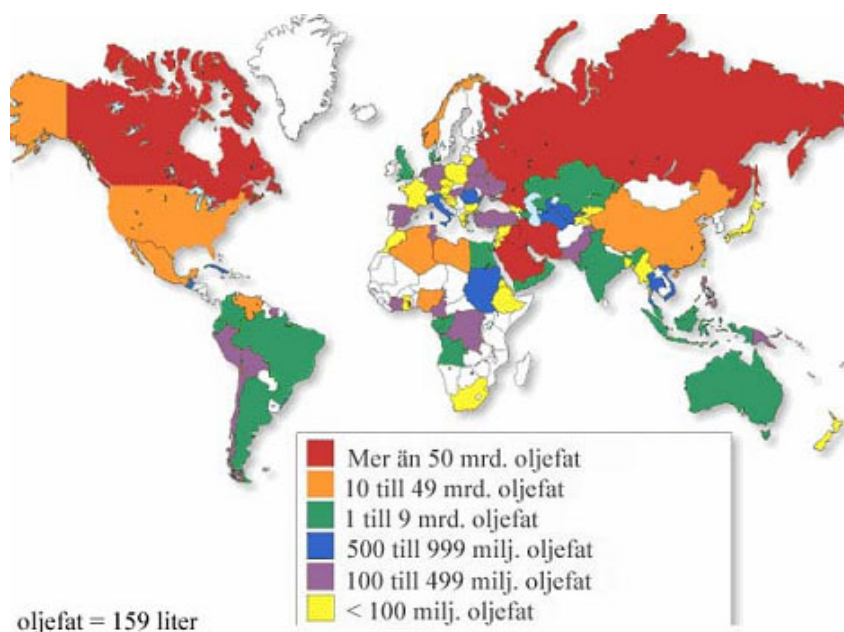
Diesel framställs ur råolja genom raffinering och krackning, då större kolvätemolekyler bryts ned till mindre. Diesel har något tyngre kolväten än bensin och kokar vid temperaturer mellan 230-350° C. Detta bidrar till att diesel fraktioneras ut tidigare än bensin vid destillering i ur oljeraffinaderi. [1]

#### 2.1.3. Tekniska aspekter

I cylindrarna i en dieselmotor komprimeras till en början bara luft, först när kolven når sitt högsta läge börjar insprutning av diesel. Verkningsgraden hos dieselmotorn kan komma upp till ca 45 %. [1][2]

#### 2.1.4. Tillgänglighet

Tillgångarna på råolja beräknas vara kraftigt begränsade om ca 40 år [1].



Figur 3. Världens oljereserver 2004. [23]

#### 2.1.5. Distribution

Vid utvinning separeras blandningen av råolja och gas separeras så att de var för sig kan skickas vidare i rörledningar eller med tankbåtar. Den interkontinentala handeln med såväl råolja som färdigprodukter är därför ett utmärkande särdrag för oljemarknaden. Den första förvaringskärl som användes för transport av olja, var träfatet. Det amerikanska fatet, en barrel rymmer 159 liter och är fortfarande det vanligaste rymdmättet vid handel med råolja. Oljeproduktion uttrycks oftast i fat per dag.

En stor del av världens fartygsbestånd utgörs av tankfartyg och alla storlekar finns representerade, från små tankfartyg på ca 2 000 ton dödvikt för kustfart till s.k. supertankers (ULCC som betyder Ultra Large Crude Carrier). Fartyg på över 300 000 ton dödvikt är framför allt avsedda för leveranser av råolja till större raffinaderier.

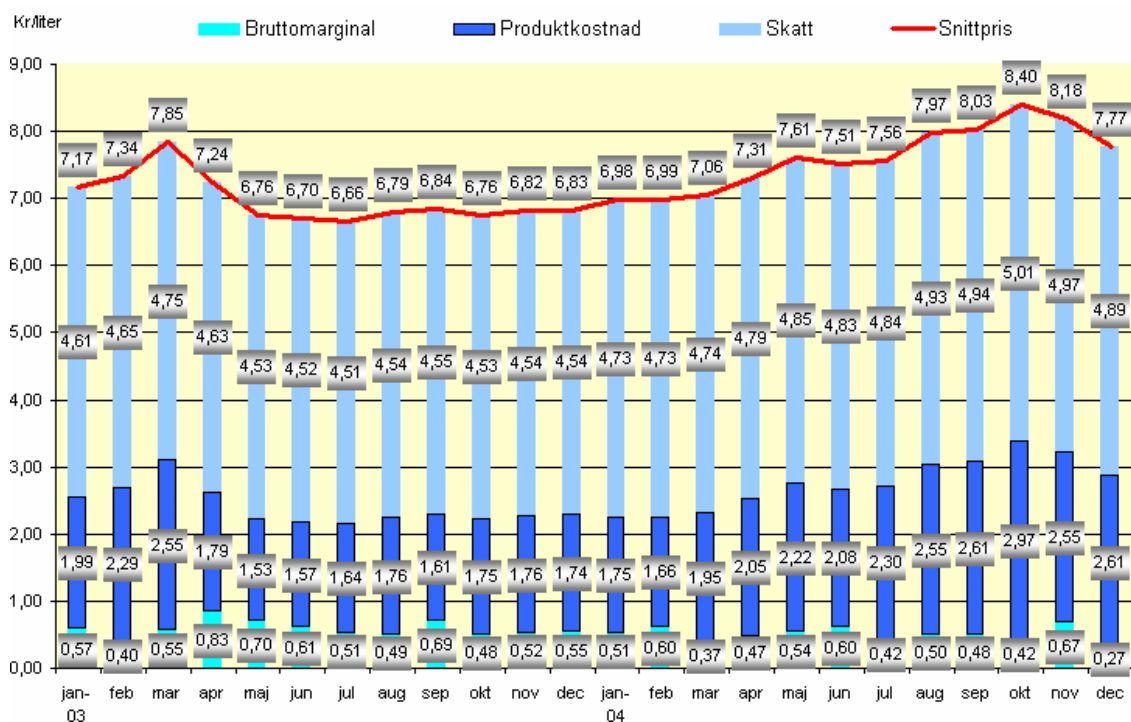
Transport av råolja från oljefält till raffinaderier eller utskeppningshamnar sker över hela världen via rörledningar. Även naturgas fraktas i rörledningar. På sina håll, särskilt i USA, använder man rörledningar för transport även av färdiga oljeprodukter. Investeringskostnaderna för rörledningar är stora i jämförelse med andra typer av transportsystem och ett villkor för lönsamheten är därför att anläggningarnas kapacitet byggs för stora volymer och utnyttjas till fullo. Utbyggnad av rörledningsnäten sker för råolja, färdiga produkter och naturgas, främst i tätbefolkade områden där efterfrågan är stor. Distributionsnätet är väl utbyggt och fungerande.

I den internationella oljehandeln noteras alla oljepriser i US dollar (USD). Den svenska kronans värde gentemot dollarn är därför av stor betydelse för oljepriset i Sverige.

Många uppfattar produktpriserna som nästan identiska mellan oljebolagen. Detta beror på att produkterna köps på den internationella oljemarknaden i samma valuta vilket innebär att alla bolag i stort sett har samma anskaffningspris för produkterna. Prissättningen utgår från hur mycket det kostar att återanskaffa produkten i svenska kronor.

Man brukar säga att oljemarknaden är en oligopolmarknad, med ett mindre antal relativt stora företag som på samma marknad säljer produkter som är helt likvärdiga. De lokala oljemarknaderna präglas av vad som kallas för kostnadskonkurrens. Det företag som har god kostnadskontroll och stora volymer uppnår en konkurrensfördel jämfört med övriga. Med de stora investeringar som lagts ned i allt från raffinaderier till depåer, transportsystem, bensinstationer m.m. och att t.ex. bensin säljs i huvudsak eller till stor del via återförsäljare, blir följsamheten stor och snabb mellan de olika bolagen. Ingen vill förlora volym i en bransch där kostnaden per såld enhet är väsentlig. [25]

Diagrammet nedan avser lagerförsäljningen av diesel via tankbil direkt till storförbrukarens egna anläggningar. [25]



Figur 4. Dieselpreis 2003-2004, miljöklass 1. Månadsgenomsnitt (24 mån).

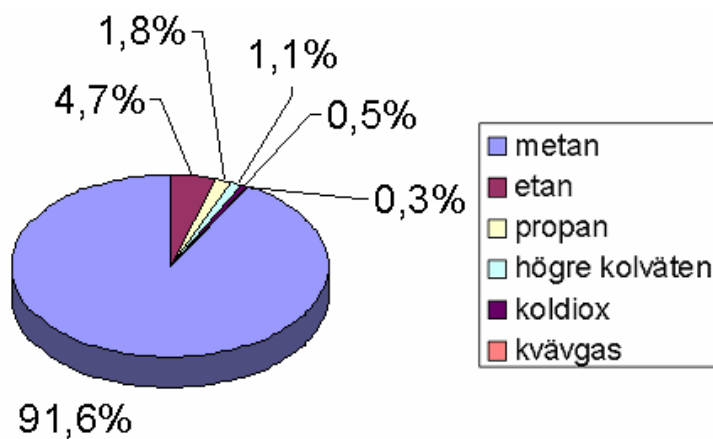
### **2.1.6. Slutsats**

Diesel är liksom bensin väletablerad på marknaden, är lätthanterligt, har ett konkurrenskraftigt pris samt en väl utbyggd infrastruktur. Detta medför att det är svårt för alternativa drivmedel att komma in på marknaden. Diesel framställs dock ur ett fossilt bränsle och måste därför på sikt fasas ut om vi ska uppnå en långsiktig hållbar utveckling. Slutsatsen blir att nya drivmedel måste utvecklas, eftersom varken bensin eller diesel kan uppfylla kraven för både miljö och bränslesnålhet i tätort. [1]

## 2.2. Naturgas

### 2.2.1. Egenskaper

Naturgas består av metan till 85-98 %. Den gas, som används i Sverige, har ett metaninnehåll på cirka 91 % samt några procent av etan, propan, kväve och koldioxid. Metan är inte giftigt och har en mycket låg reaktivitet i atmosfären. Bildning av marknära ozon bör därför inte utgöra något problem vid eventuellt utsläpp. Naturgas är en färglös, luktfri och inte giftigt med högt energiinnehåll. Ett luktämne kan tillsättas för att upptäcka om det uppstår läckage. Vid läckage kan metan kraftigt bidra till växthuseffekten. Naturgasens höga innehåll av väte i förhållande till kol ger vid förbränning ett högre energivärde samt mer vatten och mindre koldioxid jämfört med bensin och diesel. Vidare genererar förbränning av naturgas också mycket låga utsläpp av svavel, tungmetaller och partiklar. [1][3]



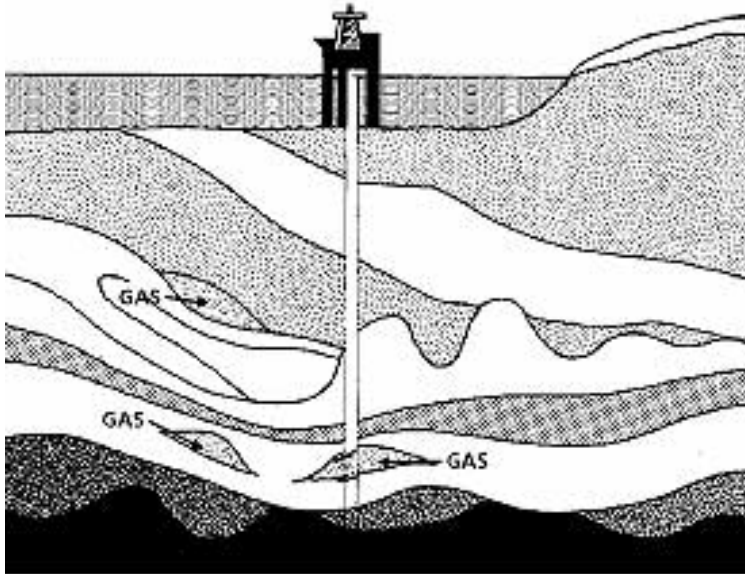
Figur 5. Naturgassammansättning

### 2.2.2. Framställning

Naturgasen är den vanligast förekommande energigasen och är en organisk produkt som bildas på liknande sätt som kol och olja. Den naturgas som utvinns för energiändamål idag bildades för 50 till 400 miljoner år sedan. Den har sitt ursprung i olika typer av levande organismer, till exempel högre växter, plankton, bakterier och alger. Från början betraktades naturgas endast vara en biprodukt vid oljeutvinning, men har idag vuxit till den tredje största energikällan i världen efter olja och kol.

Naturgas utvinns antingen direkt ur separata gasfyndigheter i jordskorpan eller i samband med oljeutvinning. I de flesta oljefyndigheter finns nämligen även mängder av gaser blandat med oljan. Genom att trycket på oljan sänks till atmosfärstryck då oljan pumpas upp till jordytan så avgår stora mängder av de lättflyktiga kolvätena.

Naturgasen innehåller vid utvinning vissa föroreningar samt vattenånga. Rå naturgas kan också innehålla en viss mängd kväve. Är halten kväve hög kan gasen vara så gott som oanvändbar. Innan naturgasen distribueras bearbetas den, varvid vatten, tyngre kolväten och andra ej önskvärda föreningar separeras. Efter behandling innehåller gasen nära nog bara lätta kolväten, varav 90 till 99 % metan. [26]



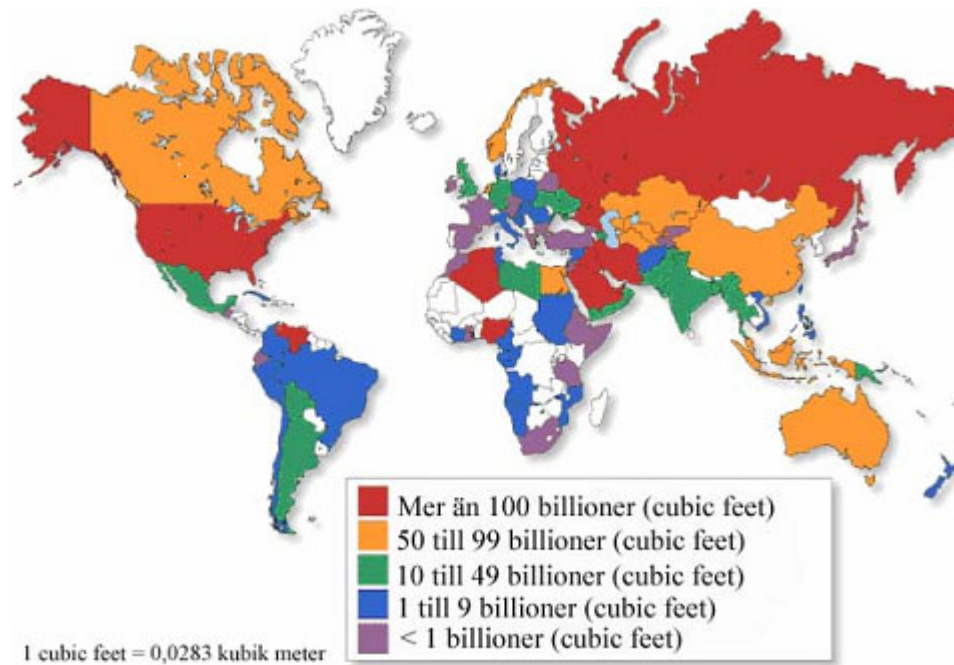
Figur 6. Utvinning av naturgas [26]

### 2.2.3. Tekniska aspekter

Naturgas har ett högt oktantal ca 120, vilket innebär att det går utmärkt att använda den som bränsle. Oktantalet anger bränslets förmåga att tåla höga tryck utan att självantända. Ju högre talet är desto bättre är bränslet i detta avseende. Moderna bensinmotorer kräver ett oktantal som ligger mellan 90 och 100. Teknologin för att använda naturgas är välutvecklad och det finns redan idag anpassade bussar och bilar ute på marknaden. Naturgas kan användas i både ottomotor och dieselmotor sedan de anpassats för bränslet. För att få naturgas i vätskeform krävs nedkylning till  $-162^{\circ}\text{C}$ , vilket ger hantering liknande den för dieselolja och bensin. Det krävs dock speciell utrustning för lagring och transport av vätskan till tankstationen. Vidare måste fordonet ha en isolerad lagringstank ombord. [1][3]

#### 2.2.4. Tillgänglighet

Importen av naturgas är cirka 9 TWh vilken kan höjas till 30 TWh. I Sverige används cirka 50 GWh per år, mindre än 1 %, av den totala energitillförseln av naturgas, till fordons drift. Naturgas skulle kunna användas som fordonsbränsle i 50-100 år till. [1][3]



Figur7. Världens naturgasservervalter 2004. [23]



## 2.2.5. Distribution

Naturgastillgångarna är goda. Naturgasen klassas som den tredje största lagrade energikällan i världen efter olja och kol. Ca 90 länder har egen tillgång till utvinningsvärda källor av naturgas och de stora mängderna finns i forna Sovjetunionen, mellanöstern och Östeuropa. I många länder är gaspriset endast en fjärdedel av priset på både bensin och diesel. Sedan 1985 har södra och västra Sverige haft tillgångar till naturgas. Från danska delen av Nordsjön, via Klagshamn söder om Malmö kommer den svenska naturgasen som genom en stamledning går vidare till Göteborg i norr. Till fordonsdrift används naturgas främst i komprimerad form. För att komprimera gasen krävs ledningar och kompressionsstationer för distribution till tankstationer. Det ligger höga investeringskostnader i att bygga ett nytt nät. Därför förekommer naturgas för fordon endast i södra och västra Sverige där nätet redan är utbyggt.

I Europa är naturgas sedan länge en etablerad energikälla. Större delen av Europa är sammanlänkat i ett naturgasnät som försörjs från olika naturgaskällor från Nordsjön i väster till Iran i öster och från Sibirien i norr till Algeriet i söder. [1][3]

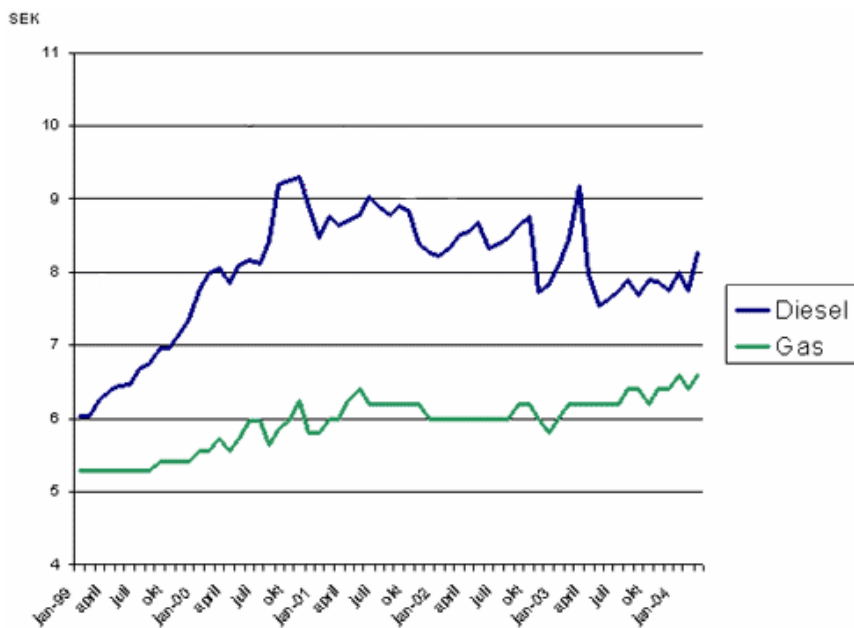


Figur 8. Europeiska naturgasnätet

### 2.2.6. Slutsatser

Tre saker gör naturgasbränslet till ett bättre alternativ än dieselbränslet. Den första är att naturgasresurserna är mycket större, nästan dubbla, än vad dieselbränsle har. Om man tittar på bränslepriset, så ligger naturgaspriset en bra bit under dieselbränslets. Naturgasmarknaden i Sverige motsvarar ca 20 % av all energiförbrukningen. Det mesta går till industri och produktion av el och värme, men en liten procent går till fordonbränsle.

När det gäller miljön i tätorten är naturgas ett mycket bra alternativ som drivmedel för statsbussarna istället för dieseloljan. Med naturgas halveras utsläppen av kväveoxider och ger inga utsläpp av svavel jämfört med dieselbränslet. Dessutom släpps inga tungmetaller, aska eller stoft ut. Mätningar har visat att utsläpp av partiklar kan minska till ca 1 % genom att använda naturgas istället för dieselolja. Naturgas har mestadels används till uppvärmning men allt mer har den även användas som drivmedel. [1]



Figur 9. Utveckling av bränslepriser 99-04

## **2.3. Biogas**

### **2.3.1. Egenskaper och framställning**

Biogas produceras genom anaerob nedbrytning av organiskt material. Gasen bildas bland annat i deponier och vid rötning av slam i röt-kammare på reningsverk. Annat material som rötas är organiskt avfall från livsmedelsindustrin, avfall från slakterier och gödsel. Beroende på vilket material som rötas och processbetingelser som temperatur erhålls en gas med ett något varierat innehåll. Precis som naturgas innehåller biogas i huvudsak metan (ca 55-75 %). Därutöver innehåller gasen koldioxid, låga halter kväve, samt spår av svavelväte och ammoniak.

Biogas som ska användas som fordonsbränsle uppgraderas för att avskilja koldioxid, vatten och svavelväte. Gasen ska efter behandlingen uppfylla kraven i svensk standard för fordonsbränsle, SS 155438. Här anges att metanhalten ska vara 97 % +/- 1-2 %. Biogas som fordonsbränsle har till stor del likvärdiga egenskaper med naturgas och kan nyttjas i samma fordon anpassade för gasdrift.

### **2.3.2. Tillgänglighet**

Cirka 1,4 TWh biogas produceras i Sverige årligen. Den största produktionen sker vid avloppsreningsverk och vid deponier. Det finns en stor potential att öka produktionen av biogas i Sverige, framförallt finns mycket råvara att hämta inom jordbruket.

### **2.3.4. Distribution**

Biogas produceras över hela landet och nyttjas i huvudsak lokalt. Gasen transporteras till tankställen genom korta gasledningar när produktionen finns nära tankstationen, komprimerat på lastbil vid större avstånd, eller genom distribution i naturgasnätet.

## 3. Tankning av fordonsgas

### 3.1. Olika sätt att tanka fordon

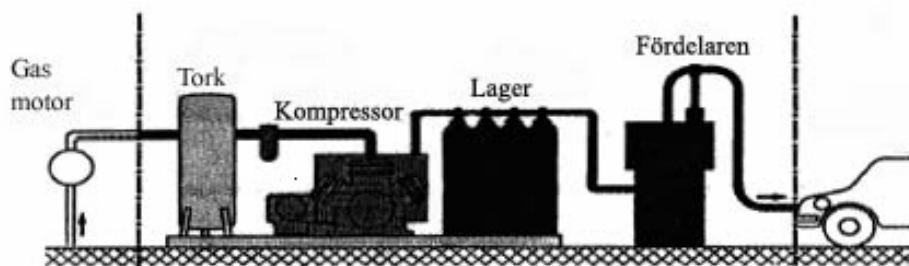
Det finns olika sätt att tanka gasfordon. Beroende på körmonster och fordon används idag två olika tankningssätt, snabbtankning och långsamtankning.

#### 3.1.1. Snabbtankning

Med snabbtankning menas ett tankningssätt där tidsåtgången liknar konventionell tankning av bensin eller diesel. Vid denna typ av tankning används oftast ett lager med gas vid cirka 250 bars tryck eller så kan en kompressor användas för att fylla fordonen direkt utan mellanlagring. Förutom fördelaren, räkneverk och slang för tankning, är stationen utrustad med ett gaslager. [4]

#### 3.1.2. Långsamtankning

Vid långsamtankning fylls fordonet direkt från en kompressor, eller genom en kombination av högtryckslager och kompressor. Denna typ av tankstation används framför allt för tankning av stadsbussar. En förutsättning för långsamtankning är att fordonen har tillräcklig lång stilleståndstid, mer än 8 tim, för att hinna fyllas. [4]



Figur 10. Tankning av fordonsgas

## 3.2 Tankställén

### 3.2.1. Tankställén i Sverige

Till höger visas samtliga gastankställén i Sverige.



Figur 11. Tankställén i Sverige

### 3.2.2. Planerade tankställén

Under närmaste åren har man planerat bygga tanknings stationer i dessa städer. [5]

*Alingsås*

*Eslöv*

*Göteborg - Arendal*

*Göteborg - Centralstationen*

*Karlstad*

*Kungsbacka*

*Kungälv*

*Landskrona*

*Mariestad*

*Mjölby*

*Motala*

*Skara*

*Stockholm - Arlanda*

*Stockholm - Hammarby Sjöstad*

*Stockholm - Kista*

*Stockholm - Kungsholmen*

*Strömstad/Svinesund*

*Uddevalla*

*Vänersborg*

*Åstorp*

*Åtvidaberg*

*Örebro*

## 4. Teknik

### 4.1 Motorteknik

#### 4.1.1. Dieselmotorn

Dieselmotorer har fått sitt namn efter den tyske konstruktören Rudolf Diesel, som på 1890-talet konstruerade en motor med högre kompression och ett annat bränslesystem än ottomotorerna. Dieselmotorn drivs med dieselbränsle och har högre verkningsgrad än ottomotorerna. Motorerna tillverkas i fyrtaktsutförande men det förekommer även tvåtaktsdieselmotorer. I dieselmotorn komprimeras den insugna luften samt en liten mängd restgas, ger en högre temperatur, från föregående cykel till ett högt tryck i motorcyllindern, varefter bränslet under högt tryck sprutas in i förbränningsrummet. Genom att luftens temperatur p.g.a. det höga trycket överstiger bränslets antändningstemperatur, självantänder detta en kort tid efter insprutningen. Någon lokal antändning av bränslet med tändstift eller dylikt erfordras således inte.

Bränsle- och tändningssystemet hos dieselmotorn består av insprutningspump och insprutningsmunstycke. Dieselmotorns effekt regleras genom mängden bränsle som sprutas in vid slutet av kompressionen (kvalitativ fyllnadsreglering). En fördel hos dieselmotorn är att den kan arbeta med praktiskt taget full effekt redan från starten, medan ottomotorerna behöver relativt lång uppvärmning för att kunna utveckla full effekt. [6]

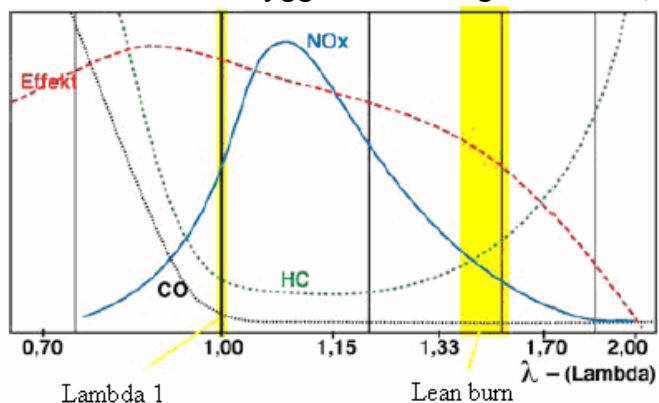
### 4.1.2. Ottomotor

Under teknikens historia har det vid många tillfällen dykt upp idéer om att låta ett bränsle förbrännas i en cylinder och låta förbränningsgaserna att utföra ett arbete vid expansionen. Ottomotorn uppfanns av Nikolaus August Otto år 1876. Drivmedlet var olika gaser men efterhand övergick han till att blanda luft med bensin. [18]

Två olika förbränningsprinciper utnyttjas för tunga gasmotorer. Båda bygger på ottomotorn med elektriskt tändsystem. Den första principen är stökiometrisk förbränning eller Lambda 1 förbränning som används i bensindrivna bilar med trevägskatalysator. Principen bygger på att man tillför endast så mycket luft de erfordras för en exakt lika mycket bränsle som luft för en fullständig förbränning. Man har ett bränsle/luftförhållande på 1. Bränsleblandningen regleras då man mäter kvarvarande syre mängd i avgaserna med en Lambdasond<sup>1</sup>. Denna princip ger låga halter av koloxid (CO) och kolväte (HC). Den heta förbränningen ger höga (NOx) kväveoxidhalter (se diagrammet nedan). Kväveoxiden minskas genom efterbehandling i trevägskatalysator som reducerar kväveoxider till kväve och syre.

Den andra principen kallas magerdrift eller lean burn, vilket innebär att motorn hela tiden arbetar med luftöverskott ( $\lambda > 1$ ). Med denna princip för vi lägre kväveoxid NOx halt samtidigt som man erhåller rimligt låga HC- och CO-halter (se diagrammet nedan). Lean burn principen sänker motoreffekten men ger en lägre bränsleförbrukning och därmed högre verkningsgrad.

Den vanligaste gasmotorn i Sverige är en Volvo 9.6 liters dieselmotor konverterad till gasdrift enligt ottocykeln. Vid konverteringen sänks kompressionsförhållandet till ca 12:1 och tändstift sätts in där dieselinsprutaren satt. För att kunna variera tillförseln av gas placeras ett gasspjäll i insugningsröret (som på alla otto-motorer). Grundkonstruktionen är alltså en dieselmotor som är ombyggd till en ottomotor för magerdrift av naturgas/biogas. En gasmotor är alltid försedd med ett elektriskt tändsystem och tändstift. Tändningens uppgift är att åstadkomma en gnista mellan elektroderna i tändstiftet. Gnistan ska komma vid rätt tidpunkt för att ge en god förbränning av det bränsle/luftblandningen som finns i cylindern. Gasmotorn i tyngre fordon är i allmänhet endast byggd för metangasbränslen, såsom naturgas eller biogas. [7]



Figur12. Visar hur emissionerna och effekten varierar vid de olika områdena av gas/luft blandningen.

1. Lambdasonden är till för att minimera utsläppen av miljöfarliga ämnen i motorns avgaser

### 4.1.3. Dual-fuelmotor

Dual-fuelmotorer använder dieselpilotlåga för antändning av gasen vilket förenklar konverteringen av motorn från ren dieselmotorn. Man behöver inte sätta in tändningssystem som man gör på rena gasfordon. Förbränningsprocess ändras då man övergår från ren diesel till kombination diesel och gasa. Gasmängden kan variera från 0 % upp till 90 % vid full last. Gasen sprutas in i insugningsröret för luft och därmed blandas luft och gas innan de trycks in i förbränningskammaren. Den dynamiska övergången från diesel till gas hanteras med hjälp av speciell styrningsenhet som utför olika inställningar och justeringar. Detta försäkrar att dual-fuelmotors egenskaper efterliknar dieselmotors.

Det är känt att gasbränsle producerar mindre motoreffekt än dieselbränsle. Gasmotorer kan inte klara av de höga kompressioner som gör dagens diesel-motorer så kraftfulla och effektiva. Orsaken varför gasmotors inte klarar diesels höga kompressionsförhållande är att tändstiftet inte alltid antänder bränsleblandningen utan det förekommer en självantändning av bränslet, knackning, då luft och gas komprimeras över 11.5:1 atmosfärstryck.

Dual-fueltekniken erbjuder en bättre lösning för utveckling av dieselmotor. Genom att använda små mängder diesel som ett flytande tändstift kan dual-fuelmotorer fungera med samma tryckförhållande som dagens dieselmotorer. Dagens dieselmotorer har tryckförhållande på 16:1. [8]



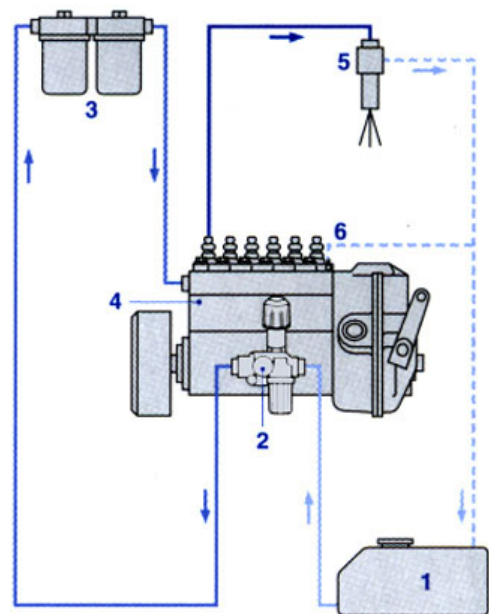
## 4.2. Bränslesystem

Dieselmotorer har en någon annorlunda konstruktion än ottomotorer och dess bränslesystem är utformat på annat sätt än för ottomotorer. Dieselmotorn har inget tändstift och bränslet sprutas direkt in kompressionsrummet utan att först blandas med luft. Gasfordons bränslesystem bygger på ottomorsbränslesystem vilket betyder vid konvertering av dieselmotorer till gasmotorer så måste man förse motorn med tändstift för att antändning ska ske.

Dual-fuelmotorer använder sig av både gas- och dieselssystemet. Till skillnad från en ren gasmotor utnyttjar den en dieselpilotlåga för att antändningen skall ske efter kompression av gas/luft blandningen.

### 4.2.1. Bränslesystem Diesel

För att en dieselmotor ska fungera krävs rätt bränslemängd vid rätt tidpunkt. Bränslet måste finfördelas för att motorn ska gå bra. Insprutningsutrustningen svarar för att allt detta sker med stor exakthet. Det rör sig om mycket små mängder som sprutas in i förbränningsrummet varje gång. Insprutningen måste börja vid rätt tidpunkt. Den ska också ske med bestämd hastighet och med högt tryck för att ge finfördelning och blandning av luft och bränsle i förbränningsrummet. Spelen mellan de olika detaljerna i insprutningspumpen och insprutarmunstycken måste vara små (ca 0.001 mm). Därför är insprutningsutrustningen mycket känslig för smuts. [10]



- |                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| 1. Bränsletank    | 4. Insprutnings pump |
| 2. Matarpump      | 5. Insprutare        |
| 3. Bränsle filter | 6. Överflödsventil   |

— Inflöde ledning

figur 13. Dieselmotors bränslesystem.

#### **4.2.1.1. Matarpump**

Matarpumpen har till uppgift att förse insprutningspumpen med tillräckligt mycket bränsle. Den har en överströmningsventil som håller ett konstant matningstryck till insprutningspumpen. Överskottsbränslet leds tillbaka till bränsletanken. [10]

#### **4.2.1.2. Bränslefilter**

För att insprutningspumpen alltid ska få rent bränsle måste man vara noga med renheten när man tankar och hanterar bränsle. Bränslesystemet är utrustat med flera silar och filter för att motor alltid ska få rent bränsle. Bränslefilter har i regel utbytbara insatser. Smuts och vatten samlas i filterbehållarens botten och kan tappas av före byte av insatsen. Igensatta filter ger lägre motoreffekt.

Förutom finfiltret finns det tanksilar som silar ifrån större föroreningar. Det finns ett förfilter som skyddar motorpumpen och slutligen brukar det finnas ett stavfilter inbyggt i insprutaren. [10]

#### **4.2.1.3. Insprutningspump**

På fordonen finns det flera typer av insprutningspumpar. Radpumpar och fördelarpumpar är de vanligaste men det finns också motorer med enhetsinsprutare som är en kombination av pump och insprutare. Pumpens funktion är att tillföra dieselbränslet in till insprutaren. [10]

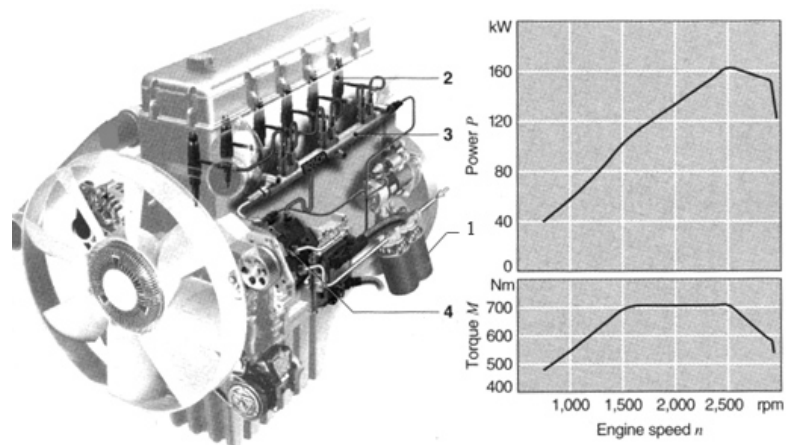
#### **4.2.1.4. Insprutare**

Tryckrören leder bränslet till insprutarna. På grund av det höga trycket är det viktigt att alla rören är lika långa, annars påverkas insprutningsmängden. Insprutarna ska fördela exakt lika stor mängd bränsle till varje cylinder, annars får motorn låg effekt och ojämn, rökig gång. Insprutarna ska öppna vid rätt tryck och stänga utan efterdropp. [10]

### 4.2.3. Prestanda

På grund av de höga kompressionsförhållanden som används i dieselmotor och exakta insprutningar av bränsle direkt i varje cylinder, blir förbränningen mer komplett och verkningsgraden högre än hos en ottomotor. Ottomotor når sin maximala effekt vid högre varvtal än dieselmotorn. Vid låga varvtal arbetar dieselmotor med högre vridmoment, vilket gör den väl lämpad för lastbilar, byggmaskiner, båtar och mycket annat.

1. Filter
2. Insprutare
3. Bränslefördelarskena
4. Pump



Figur 14. dieselmotor. [19]

### 4.2.4. Hållbarhet

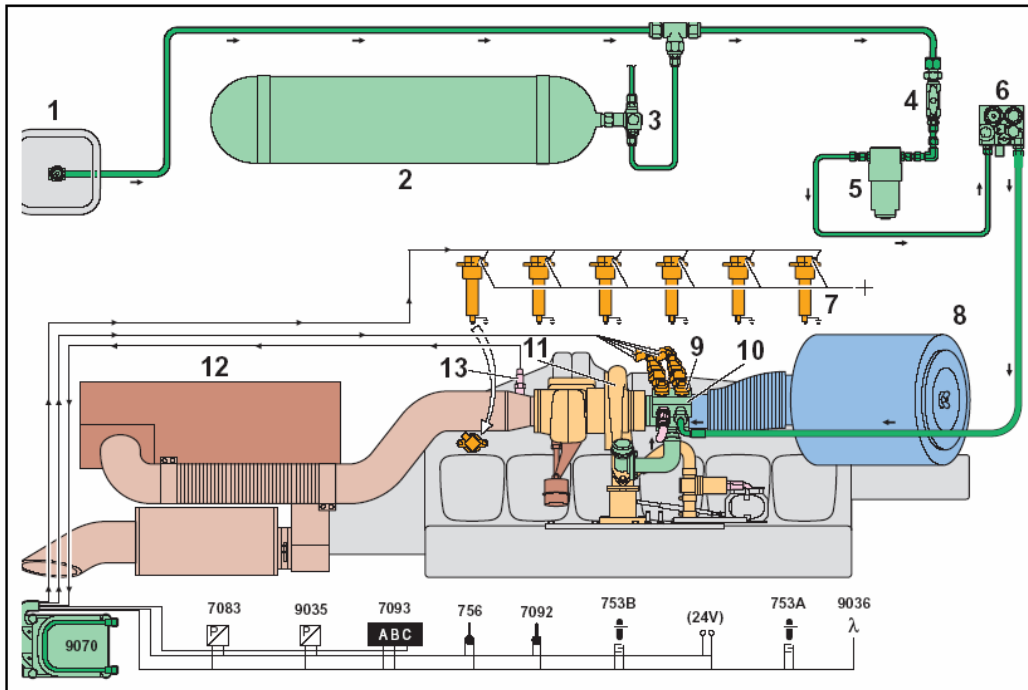
Dieselmotorer är byggda så att de ska kunna tåla stora kompressionsförhållanden. Detta och dieselbränslets goda smörjegenskaper ger dieselmotorn en lång livslängd.

### 4.2.5. Säkerhet

Säkerhet hos tunga dieselfordon är väldigt stor. Bränsletankarna är alltid placerade bakom en skyddsbarriär som skyddar tankarna vid eventuell kollision. Oftast är den utformad av ett par stycken balkar som sitter mot utsidan av fordonet. Dieselbränsle har en hög självantändningspunkt (ca 300°C), vilket gör att bränslet är svårantändigt och därmed väldigt säkert att hantera. Tack vare dieselmotorns stadiga utformning och dieselbränslets svårantändlighet, har den mycket högre säkerhet än då man jämför den med en bensinmotor.

#### 4.2.2. Bränslesystem gas

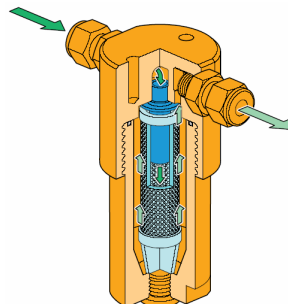
Schemat i bilden nedan visar strukturen för gasdriftsystem. Systemet är indelat i ett högtrycks tankledningssystem på upp till 200 bar som sträcker sig fram till tryckregulatorn vilket sitter på motorns ovansida. I motorrummet finns en avstängningskran (nr 4) placerad före finfiltret.



Figur 15 . Gasdriftsystem.

- |                     |                            |                    |
|---------------------|----------------------------|--------------------|
| 1 Påfyllningsnippel | 6 Tryckregulator (9, 5bar) | 11 Turbokompressor |
| 2 Gastankar         | 7 Tändspole/slutsteg       | 12 Katalysator     |
| 3 Behållarventil    | 8 Lufffilter               | 13 Lambda Sond     |
| 4 Kran              | 9 Insprutningsventiler     |                    |
| 5 Finfilter         | 10 Inloppsdyssa            |                    |

Finfiltret har en reningsförmåga att filtrera bort partiklar större än 1 mikron och förhindrar partiklar att komma vidare till motorledningen.



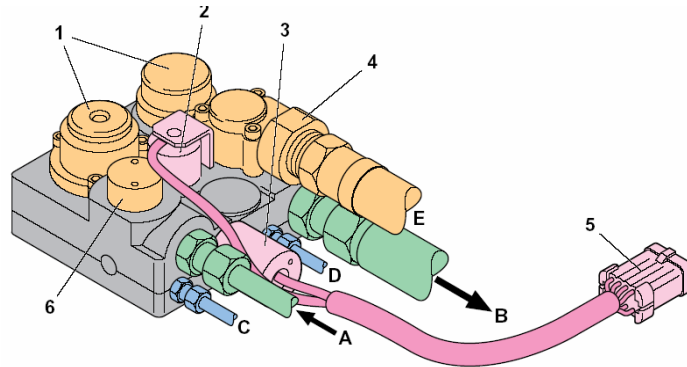
Figur16 Finfilter.

Tryckregulatorn reglerar ner tanktrycket i två steg till en ett konstant driftstryck av ca 9,5 bar. En uppbyggd värmeslinga ansluten till motorns kylsystem (C-D) förhindrar isbildning på grund av tryckfallet. Tryckregulatorn arbetar med två reglerventiler (1,2). I första steget minskas tanktrycket (A) till ca 20 bar och i andra steget (2) till ett tryck på ca 9,5 bar (B). En inbyggd säkerhetsventil (4) mellan tryckregulatorns två trycksteg känner av trycket efter första nedregleringen och öppnar om trycket skulle överstiga 26 bar. Gasen strömmar då ut genom dräneringslangen.

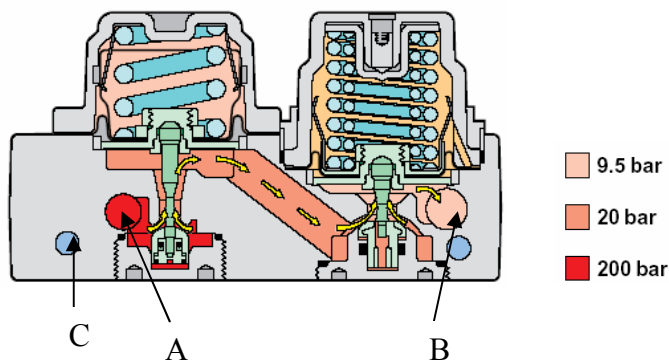
### Tryckregulator

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1 Reglerventiler  | 4 Säkerhetsventil |
| 2 Magnetventil    | 5 Kopplingsstycke |
| 3 Tanktryckgivare | 6 Filter          |

A Inlopp från gastankar C-D Kylvätska inlopp/utlopp B Utlopp från regulator E Utlopp från säkerhetsventil

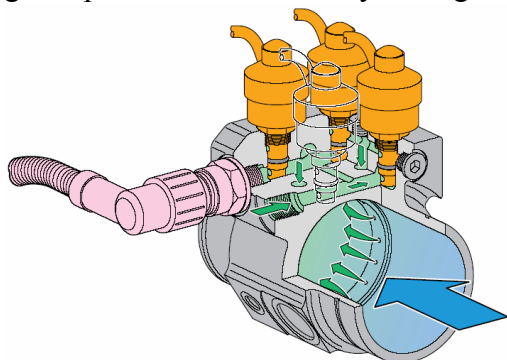


Figur 17. tryckregulator.



Figur 18. Snittbilden ovan visar olika trycken i tryckregulatorn.

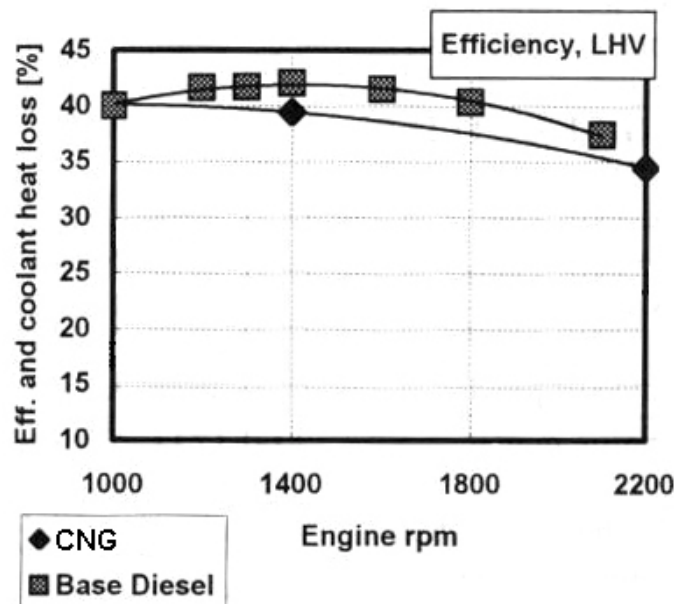
Vid inloppet till turbokompressorn sitter inloppsdysan med fyra insprutningsventiler, här blandas gasen med motorns inloppsluft. Gas sprutas in i inloppsröret med hjälp av gasinsprutaren till en munstycksring. Därefter blandas gasen homogent in i inloppsluften. [7]



Figur 19. Inloppsdysa med insprutningsventiler.

#### 4.2.2.1. Prestanda

Figuren visar en jämförelse av termisk verkningsgraden mellan dieselmotor och gasmotor. Termiska verkningsgraden för gasmotorn går upp till 40 % och är 2 till 3%-enheter lägre än för en dieselmotor. Motorer måste också följa emissionsstandarden, vilket vanligtvis innebär att verkningsgraden kommer att minska. Ett exempel på detta är att bränsleförbrukning av en dieselmotor ökade med 2-3 % då emissionsstandarden ändrades från Euro-I till Euro-II. När det gäller gasmotor så är det däremot verkningsgradsförlusten minimerad tack vare dess rökfria förbränning och dess användning av lean burn teknologi inom specificerade gränser för HC emissioner. [11]



Figur 20. Termiska Verkningsgraden för diesel- och gasmotorn.

#### 4.2.2.2. Hållbarhet

När man tittar på hållbarheten för en gasmotor, så finns det två saker som man måste ta hänsyn till. Dessa två är cylindertrycket och värmebalansdata. Dieselmotorns konstruktion är robustare än gasmotornskonstruktion. Gasmotorns maximala cylindertryck är betydligt lägre än dieselmotorns. Det betyder att dieselmotors konstruktion är tillräckligt stark för att naturgas/biogas kan användas som bränsle. Däremot kräver topplocket och huvudlager en närmare granskning. Topplocket har ändrats så att den kan rymma tändstiften och huvudlager arbetar med annan oljespecifikation och temperatur. Den termiska lasten för en gasmotor är betydligt högre än hos en dieselmotor. Kapaciteterna hos vattenpump och oljekylare är dock tillräckliga nog att kyla ner en gasmotor. Däremot andra originaldelar på dieselmotorn, så som kolven och ventilsätet upptäcktes vara otillräckliga för gasmotordrift.

**Kolv:** En gasmotor visade sig ha en högre topptemperatur än en dieselmotor, vilken kan erfordra i en sämre kolvpredation än hos dieselmotor på grund av toppytans deformation, yt- och spåravlagring, förflyttning av tätningringen.

**Ventilsätet:** Detta är en känd komponent som bör kontrolleras under konverteringen till gasdrift. Brist på smörjnings egenskaper hos gasbränslen och hög termisk last kan öka ventilsätets förslitning. [11]

#### **4.2.2.3. Säkerhet**

Användning och hantering av alla typer av bränsle kan medföra vissa risker. Fordonsgas, när den hanteras med försiktighet, utgör ingen större risk än hantering av vanliga bränslen såsom bensen och diesel.

Om människor är skeptiska mot olika typer av gaser beror det på brist på kunskap om gaserna. Flera millioner svenskar kör till jobbet varje dag med ungefär 50 liter bensen i bilen utan att tänka så mycket om riskerna. De tankar själva denna ostabila, väldigt lättantändliga bränsle utan någon särskild utbildning. De parkerar dessa fordon nära sina hus, ofta i instängda utrymme med dålig ventilation. Bensen och andra bränslens ångor är mycket giftiga. Större oljeutsläpp kan förorena vatten och förstöra naturen. Ändå är petroleumbränslen helt accepterade och deras säkerhet har tagits för givet. Förnuftighet har utvecklats kring användning av råolja. Utrusning som levererar och förbränner den är utvecklad med tanken på säkerhet och uthållighet.

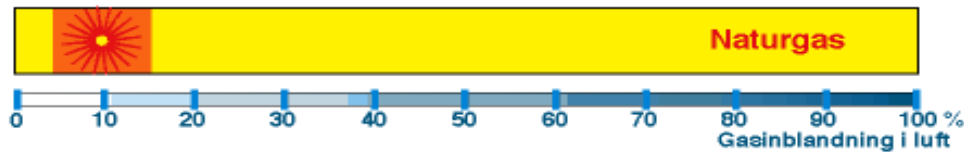
Det gäller samma för gasdrivna motorer. Utvecklare och tillverkare av dessa motorer och gasbehållare har haft ännu större omsorg för säkerhet just på grund av allmänhetens misstro mot gasbränsle i transportsektorn.

Metangas är ett mycket säkert bränsle, men det kan förekomma att gasen antänds. Säkerheten består i kunskapen om gasens egenskaper och att man handlar därefter. I ett gasfordons bränslesystem finns säkerhetsdetaljer som inte har sin motsvarighet i fordon med flytande bränslen. [7][12]

- En backventil på som förhindrar att gasen läcker ut om röret till tankningsnippeln skadas.
- Rörbrottsindikator som stänger utgående ledning bakåt till motorrummet om röret skadas.
- Elektriska avstängningsventiler som stänger inne gasen i tankarna när fordonets tändning är avslagen.
- Smältsäkringar som sista säkerhet, tömmer tankarna om det har bildats en brand runt dem.

Till skillnad från ett vanligt bensen- eller dieseldriven fordon är bränslesystemet helt slutet mot omgivningen i ett gasfordon. Inte det minsta läckage kan accepteras. Vid läckagekontroller, som görs mycket enkelt genom att alla skarvar penslas med en blandning lika delar vatten och flytande tvål, får det inte komma den minsta lilla bubbla. Det handlar om mycket hög tryck (200bar). Den minsta läcka kan tömma tankarna på bränsle. Metangas är lättare än luft vilket gör att den snabbt stiger uppåt och försvinner vid ett eventuellt läckage.

Metangasen är en naturlig produkt som inte har någon gifteffekt. Metangasen kan endast brinna om den har mellan 5 och 15 % inblandning i luft. [7][12]



Figur 21. Visar hur blandningen naturgas i luft måste vara för att kunna brinna.

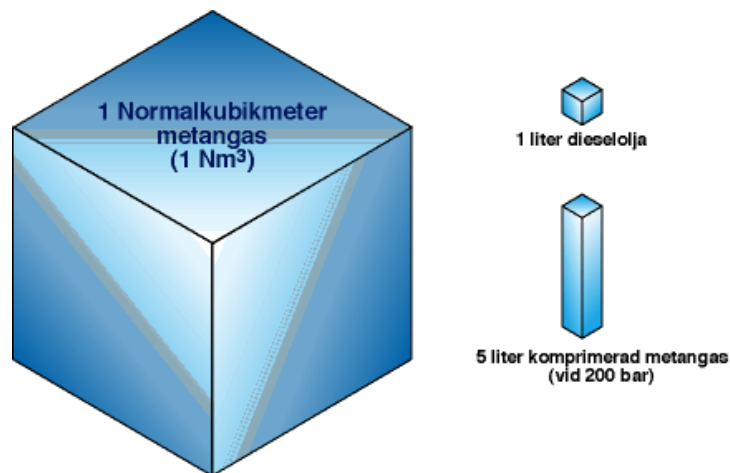
### Brand i gasfordon

Vid alla incidenter, t ex vid påkörningar, vid gaslukt eller om en kraftig gasläcka hörs så är den naturliga reflexen att slå av tändningen. Gasen stängs då in i tankarna, vilket gör att vid en gasbrand, upphör branden eftersom inget nytt bränsle kommer fram. Brinner det fortfarande så handlar det om en vanlig brand som inte har något samband med gasen och den kan släckas som vanligt. Om ett utströmmande gasflöde trots allt skulle antändas, brinner alltid lågan synligt på ett säkert avstånd från läckagestället, dvs. där gas/luftblandningen har antändbar koncentration (5-15 %). Lågan kan aldrig brinna in i ett rör eller en tank. Där är gaskoncentrationen för hög. För att släcka elden skall brandsläckarens stråle riktas in i gasflödet före lågan, åt samma håll som gasen sprutar.[7]



#### 4.2.2.4. Gastankar

Den största nackdelen med naturgas- och biogas är att energitätheten är mycket låg. Det krävs en kubikmeter naturgas vid normaltryck för att få samma energimängd som en liter dieselolja. Detta leder till att naturgasbussar skulle få en tank som är 1000 gånger större än dieselbussarna. [7]



Figur 22. En liter dieselolja har samma energimängd som en kubikmeter naturgas.

Tankarna skulle då exempelvis se ut som det gör på bilden nedan, som visar hur takmonterade gummiblåsor används som gastankar på bussarna i Kina. [7]



Figur 23. Gasbussar i Kina.

Bussar skulle dock få en för kort räckvidd. Därför har man valt en annan lösning, nämligen genom att komprimera gasen 200 gånger med hjälp av en kompressor på tankningsstationer. Tack vare användningen av denna metod får vi en tankvolym som är endast fem gånger större än en dieseltank och det kan man hantera. [7][12]

#### 4.2.2.5. Tanktyper

Det finns olika typer av tankar, ett prototypexempel på en CNG tank visas på bilden nedan. Tanken består av ett innerkärl av aluminium och en ytterlindning av kolfiber och epoxiplast. Detta gör tankarna mycket starka, och dessutom mycket lätta. Komposittanken är godkänd för att användas vid ett tryck av 250 bar. En nivå som vid vissa temperaturer kan uppnås vid en normal tankning. Tankar är konstruerade så att de håller tryck upp till 1000 bar. [13]

Tanktyp	Beskrivning	Tryck buret av metall	Tryck buret av komposit
Typ 1	Metallcylinder i stål eller aluminium	100%	0%
Typ 2	Lindad metallcylinder i stål eller aluminium	55%	45%
Typ 3	Metallkompositcylinder med hel lindning, även runt gavlar	20%	80%
Typ 4	Plastkompositcylinder	0%	100%

Tabell 1. Typer av CNG-tankar.

I äldre gasfordon använde man sig normalt av *Typ 1* tankar helt i stål. Dessa tankar liknar mycket de normala gastuber som används för andra gaser (vätgas, syrgas etc.) med den skillnaden att de alltid har en kupad nedre gavel. Ståltankar (*Typ 1*) tillverkas normalt i relativt låglegerade stål. Ståltankar kan skadas genom utvändigt korrosion och det är därför viktigt att de är väl ytbehandlade och inte utsätts för en korrosiv omgivning. [13]

*Typ 2* tankar består av ett inre tryckkärl i stål eller aluminium och en yttre lindning av något kompositmaterial. Lindningen omfattar ej tryckkärls gavlar. Det inre tryckkärlet tillverkas av samma material som *Typ 1* tankar. Kompositskalet består av glasfiber- eller kolfiberarmerad epoxiplast. Några enstaka fall av haverier med denna typ av tankar har orsakats av en kombination av yttre åverkan på kompositskiktet och överskridet fyllningstryck. [13]

*Typ 3* tankar består av ett tunt inre skal av aluminium eller stål och ett tryckbärande yttre skikt av kompositmaterial. Aluminiumskiktet är oftast tillverkat i en aluminiumlegering och kompositskiktet i glasfiber- eller kolfiberarmerad epoxi- eller polyesterplast. Till skillnad från *Typ 2* tankar är det inre skiktet ej tryckbärande och det yttre kompositskiktet är därför lindat runt hela tanken, även dess gavlar. [13]

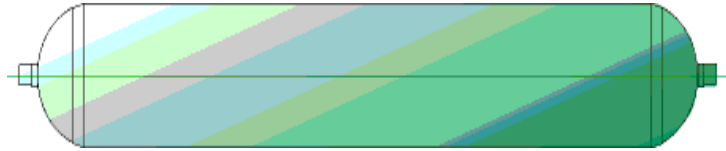


Figur 24. Visar en profil av tank *Typ 3*.

*Typ 4* tankar består av ett inre plastkärl med en yttre kompositlindning. Plastsiktet har endast en tätande funktion och tar ej upp någon trycklast. Normalt används polyeten eller nylon som tätningsskikt innanför glasfiber/kolfiberarmerad polyester eller epoxi. *Typ 4* tankar började användas 1991 och har drabbats av några enstaka haverier. I vissa fall har det förekommit att tankarna börjat läcka genom det inre plastsiktet. [13]

### Exempelmått på en lastbilstank:

Längd – 2562 mm  
Diameter – 400 mm  
Vikt – 127 kg  
Arbetsstryck – 207 bar vid 21°C  
Sprängtryck – ca 1000 bar  
Volym – 233 liter  
Aluminium liner tjocklek – 7 mm  
Kolfiberlindning, tjocklek – 12 mm



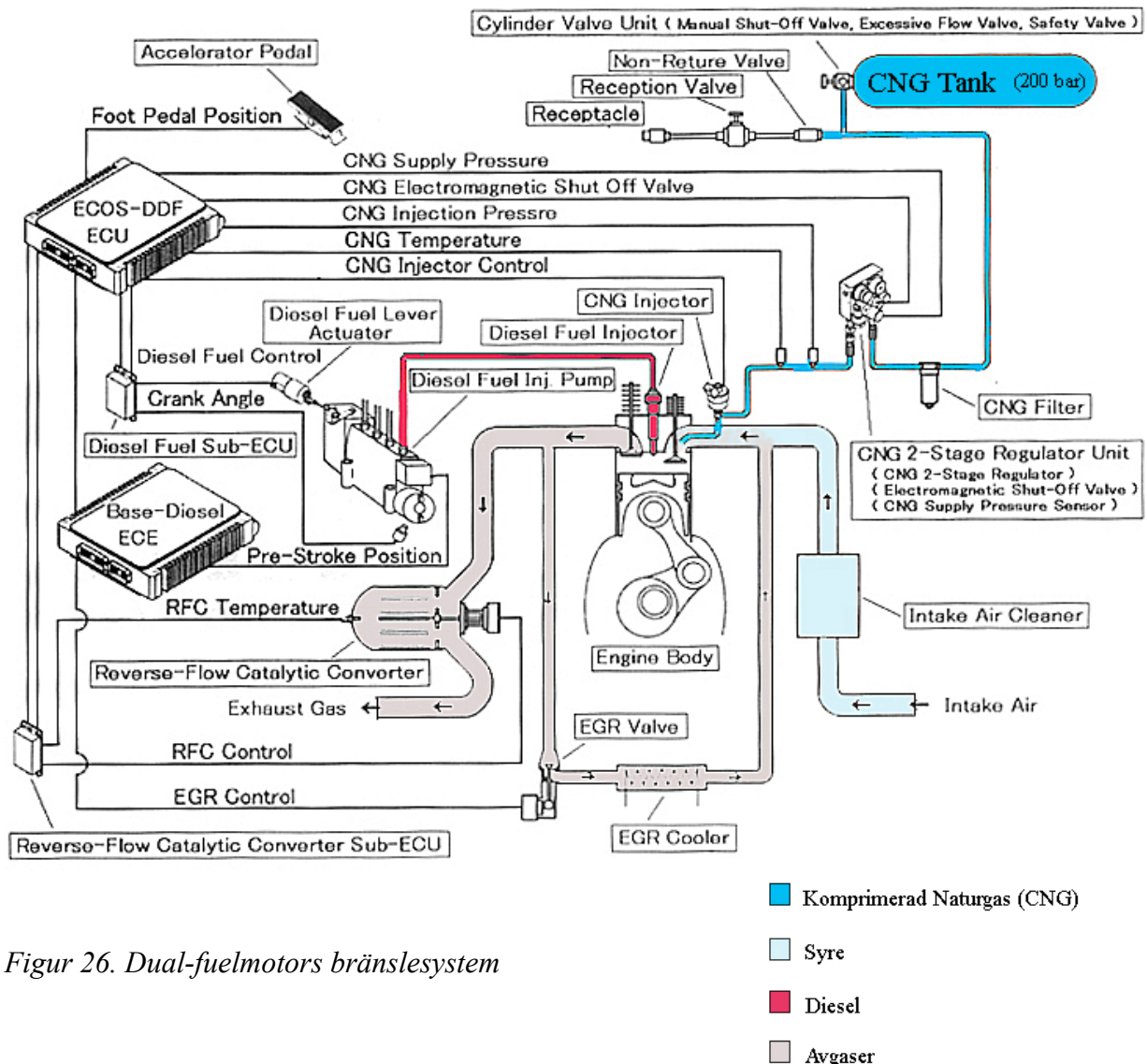
*Figur 25. Exempel på en CNG tank*

### Besiktning av tankar i Sverige

Det finns ytterst sparsamt med dokumentation från besiktning av tankar i svenska gasfordon. Detta hänger till viss del ihop med att det inte finns något fungerande heltäckande system som innebär att fordonsägarna med regelbundna intervall kallas in till besiktning av tankarna. Bränslesystemet skall enligt Vägverket genomgå en driftkontroll i samband med kontrollbesiktning vart annat år och genomgå en invändig kontroll vart annat år enligt Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter. [13]

### 4.2.3. Bränslesystem Dual-fuel

På bilden kan man se hur den elektroniska styrenheten (ECOS-DDF) samarbetar med ECU:n från dieselmotorn och styr och optimerar mängden av pilotdiesel och gas efter drift tillstånd och gaspedalens läge för att åstadkomma den optimala motoreffekten och minimum emissioner. Gassystemet är uppbyggt på samma sätt som i en ren gasmotor. Gasen transporteras från tanken med ett tryck på 200 bar. Gasen passerar ett CNG filter och går sen vidare till en tryckregulator. Tryckregulator sänker trycket i två steg ner till 9.5 bar. Efter att gasen har reglerats går den in i en gasinsprutare som därefter släpper in exakt mängd gas till luftströmet. En del av avgaser återcirkuleras tillbaka till luftströmet, för att behålla temperaturen. Blandningen av gas/syre/avgaser antänds i kolven med hjälp av pilotdiesel.[15]

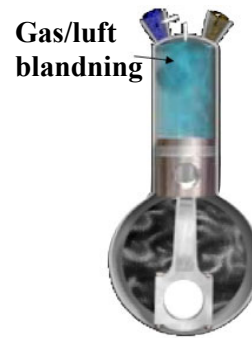


Figur 26. Dual-fuelmotors bränslesystem

### 4.2.3.1 Dual-fuel arbetsprincip

- **1. Insugningstakten**

Under den första takten rör sig kolven nedåt i cylindern och insugningsventilen är öppen. Bränsleblandningen sugas in genom den öppna ventilen. Den består av luft och fordonsgas. Gas sprutas in i inloppsröret med hjälp av gasinsprutaren till en munstycksring. När kolven har nått en bit ner stängs insugningsventilen och därmed är den första takten avslutad.



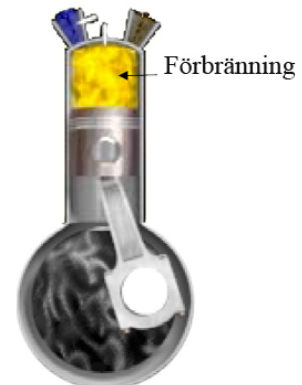
- **2. Kompressionstakten**

Kolven har nu vänt och rör sig uppåt. Ventilerna är stängda och bränslet komprimeras av kolven. Strax innan kolven har nått sin högsta punkt sprutas diesel in genom insprutaren som sitter längst upp i kolvutrymmet. Tidpunkten när förbränningen startar varierar bl.a. beroende på belastning och varvtal.



- **3. Arbetstakten**

Vid den översta läge är temperaturen så pass hög, på grund av kompressionen, att det uppstår en kompressionsantändning av diesel. Detta i sin tur antänder naturgas/biogas och luft blandningen. När kolven når längre ner öppnas avgasventilen. Tredje takten är den arbetsgivande takten i fyrtaktsmotorns arbetscykel.



- **4. Avgastakten**

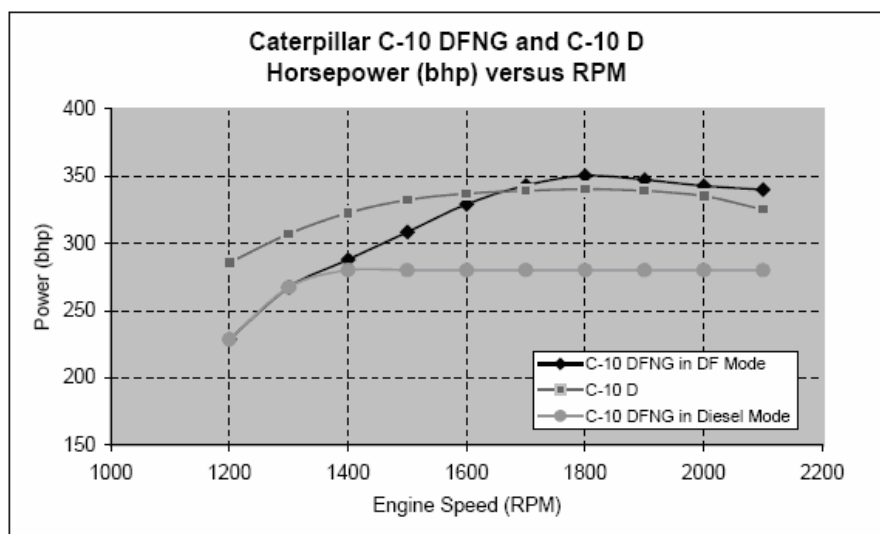
Avgaserna trycks ut genom avgasventilen när kolven åter kommer upp. Kolven rör sig nu uppåt och de förbrända gaserna drivs ut genom den öppna avgasventilen. När kolven sedan når sitt översta läge stängs avgasventilen och insugningsventilen öppnas återigen.



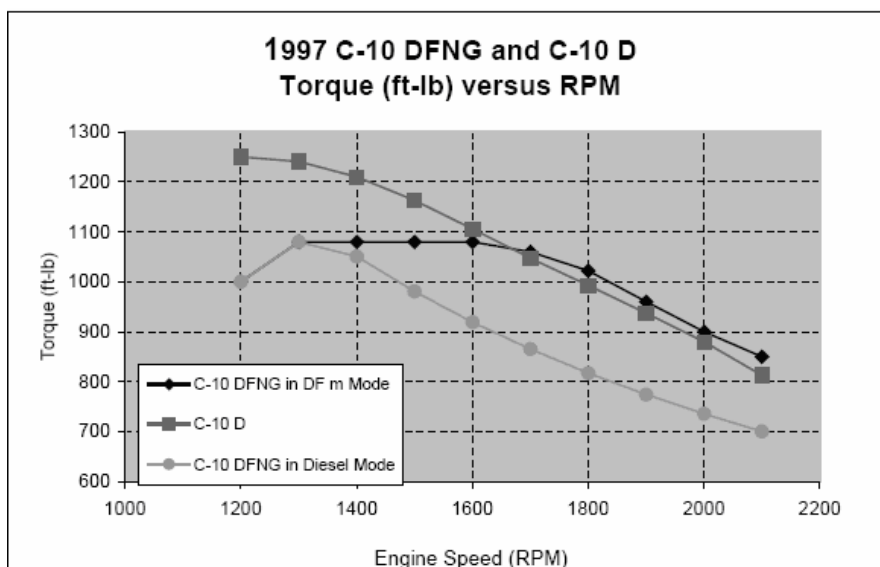
### 44.2.3.2. Prestanda

Taget ur bussutvärdering i Santa Barbara, Kalifornien.

- Prestanda och tillförlitlighet hos dual-fuelmotorn var likvärdig med dieselmotorns.
- När dual-fuelmotorn körs i dual-fuelläge används ungefär 86 % CNG och 14 % diesel. Vid 86 % användning av CNG, har DFNG motor i genomsnitt 4.8 miles/DEG, som är ungefär 20 % mindre än dieseln 6 miles/DEG.
- Under hela utvärderingsperioden drevs dual-fuelmotorn 57 % av tiden i dual-fuelläge och resterande 43 % av tiden i rent diesel läge. [14]



Figur 27. Kraft / Hastighets kurvor för C-10 motor.



Figur 28. Vridmoment/Hastighets kurvor för C-10 motor.

#### **4.2.3.3. Hållbarhet**

Taget ur bussutvärdering i Santa Barbara, Kalifornien.

De tre Dual-fuelmotorer hade endast tre mekaniska motorstopp under hela test period. Två berodde på vattenintrång i motorns elektroniska styrenhet på två bussar. Dessa blev utbytta och problemet återkom inte igen. Det tredje motorstopet var i form av brutet bälte för drivning av luftkylning. Haveri av bältet hade ingen koppling till dual-fuel. Det kunde lika väl ha hänt på den dieseldrivna motorn. Generellt så var den mekaniska pålitligheten hos dual-fuelmotorn utmärkt. [14]

#### **4.2.3.4. Säkerhet**

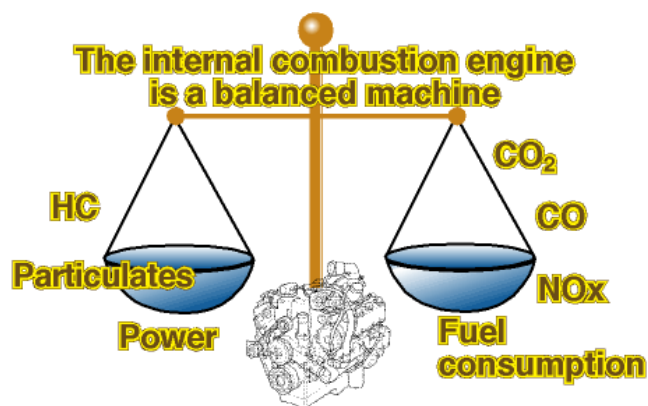
Som vi nämnde tidigare i säkerhet för gasfordon, så handlar huvudfrågan om eventuellt läckage från systemet vid krock. I dual-fuelkonceptet används samma säkerhetsåtgärder som i rena gasfordon. Det enda skillnaden som dual-fuel tillför är användning av två olika typer av bränsle, dvs. vid eventuell olycka så kan dieselbränsle antändas och orsaka snabb temperaturökning, som skulle påverka gasledningarna och gastanken. I detta fall så stoppas gastillförsel till motorn och smältsäkringar släpper ut gasen i luften. För att gasen ska kunna brinna måste blandningen syre/gas vara mellan 5-15 %, vilket är en väldigt liten marginal och faran för gasbrand är väldigt liten.

## 5. Emissioner

### 5.1. Fakta om emissionsgaser

**HC kolväten:** Alla fossila bränslen består av kolväten. Kolväten förekommer både i form av flytande ämne, partiklar och som gasformiga ämnen. Att kolväten finns i avgaserna beror på att en motors förbränning inte är fullständig.

**NO<sub>x</sub>- kväveoxider:** Kväveoxider är en samling av ämnen som bildas vid all förbränning i luft. Dikväveoxid (N<sub>2</sub>O), kväveoxid (NO) och kvävedioxid (NO<sub>2</sub>), är de ämnen som är aktuella när det gäller fordonsdrift. I lagom mängd kan kväveoxid vara en nyttig kemisk förening. Det är exempelvis ett utmärkt gödningsämne. När mängden kväveoxid i naturen blir för stor uppstår det dock problem som övergödning och försurning. Från trafiken kommer ca 60 % av kväveoxiden. Genom en reaktion mellan luftens kväve och syre bildas kväveoxider. Kväveoxidmängden i avgaserna bestäms av hur länge och med vilken intensitet reaktionen pågår. Vid höga temperaturer ökar reaktionens intensitet, därmed ökar också mängden av kväveoxider mycket snabbt. Motortekniska åtgärder som ger sänkta NO<sub>x</sub>- utsläpp, har oftast en tendens att ge högre emissioner av andra ämnen, och tvärt om.



Figur 29. En förbränningsmotor är en balansmaskin vilket innebär att om en faktor förändras så förändras också övriga faktorer.

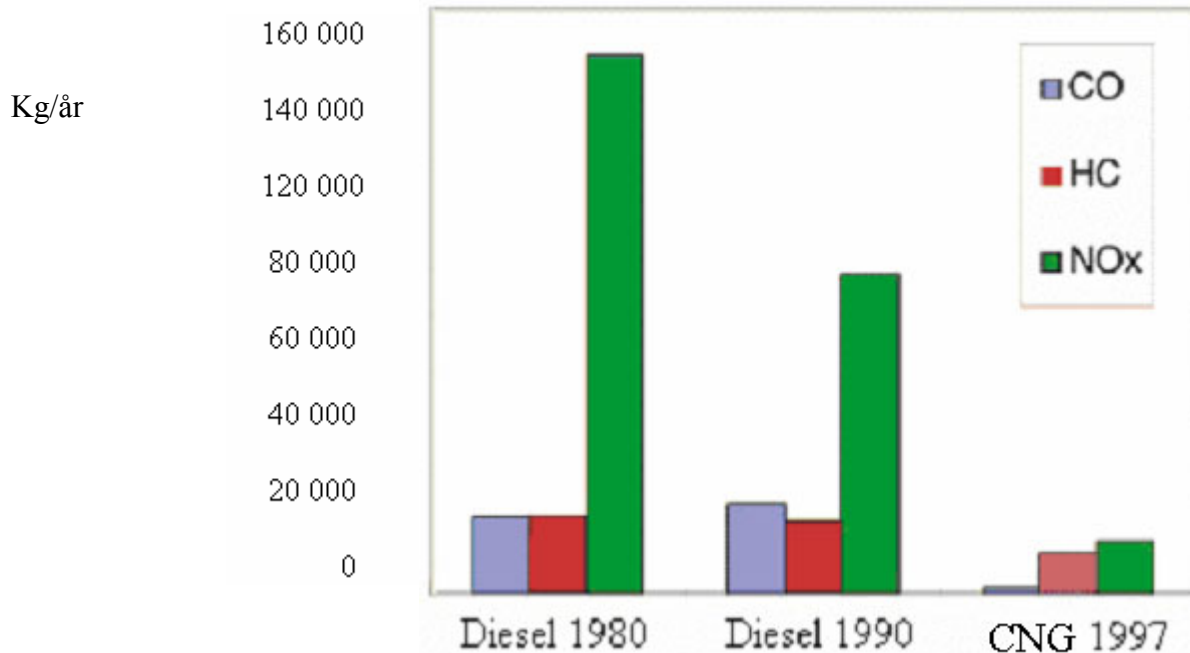
**CO- Koloxid:** Koloxid bildas vid ofullständig förbränning av ämnen som innehåller kol. Koloxid är en förening av kol och syre. Vid höga koncentrationer kan den giftiga föreningen orsaka kvävning.

**Partiklar:** Ett av de största emissionsproblemen i tätorter anses vara partikelutsläppen. Exempel på sådana partiklar är sotfria kolpartiklar. Dessa bildas vid insprutning då det uppstår ett överskott av bränsle och otillräcklig blandning med luft. I form av synlig rök kommer dessa partiklar ut i avgaserna. Det förekommer även partiklar i avgaserna. Genom att kraftigt minska svavelhalten i bränslet kan partikelmängden i avgaserna också minskas. Naturgasen innehåller inget svavel, vilket gör den till ett bra bränslealternativ. [7]



### 5.1.1. Jämförelse mellan diesel och gas

Där det samlats ett större antal bussar har stadsmiljön påtagligt förbättrats då man har ersatt dieselbränsle med gas. Dieselavgaserna som mer och mer anses vara de mest skadliga av fordonsavgaserna har minskat påtagligt genom användning av naturgasbränslen, se bild 30. [7]



Figur 30. Emissionerna från stadsbussarna i Malmö.

### Tunga fordon

Miljö- störning Drivmedel	Användn. av fossil energi	Försur- ning	Hälso- påverkan	Ozon- bildning	Bildn. av växthusgaser
Naturgas	0	++	++	++	0

0 motsvarar diesel miljöklass 1, + bättre, ++ betydligt bättre

Tabell 2. Jämför naturgas med diesel miljöklass 1 som drivmedel ur miljösynpunkt.

### 5.1.2. Jämförelse mellan diesel och dual-fuel

Taget ur bussutvärdering i Santa Barbara, Kalifornien.

Under tolv månaders testkörning har varje buss körts ca 48 000 km. Emissioner mättes mot mätcykler, verifierade mot chassiet dynamometer, och tre olika mätcykler användes (UDDC1, CBD2, och 90 km/h konstant körning cykel). Dessa prov gav följande resultat. C10 DFNG<sup>3</sup> motor hade lägre värde på följande emissioner i jämförelse med C10 D (diesel), NO<sub>x</sub> (27 % –60 %), PM (54 % –64 %), CO<sub>2</sub> (14 % –19 %), och en ökning på CO (634 % –860 %) och NMHC (697 % –1,718 %). De höga värdena på CO kan hanteras med hjälp av oxidations katalysator. Mer exakta värde kan hittas i tabellen nedan.

Buss	Beskrivning	NO <sub>x</sub>	NMHC	CO <sub>2</sub> (/100) <sup>1</sup>	CO	PM (x10) <sup>1</sup>
Air 12	Diesel	19.90	0.57	20.18	3.59	3.68
Air 13	DFNG i DF läget <sup>2</sup>	12.78	12.08	16.38	29.11	1.04
Air 14	DFNG i DF läget	14.58	8.65	16.43	24.96	1.57
Medelvärde DFNG i DF läget		13.68	10.36	16.40	27.04	1.31
Medelv. % reducereing av emissioner		31 %	-	19 %	-	64 %
Medelv. % ökning av emissioner		-	1718 %	-	653 %	-

Tabell 3. EPA UDDC Schema D: Emission värde anges i gram/mile.

Buss	Beskrivning	NO <sub>x</sub>	NMHC	CO <sub>2</sub> (/100) <sup>1</sup>	CO	PM (x10) <sup>1</sup>
Air 12	Diesel	22.41	1.19	25.71	4.03	4.90
Air 13	DFNG i DF läget <sup>2</sup>	15.21	13.99	21.99	42.99	1.76
Air 14	DFNG i DF läget	17.51	8.90	22.23	34.40	2.39
Medelvärde DFNG i DF läget		16.36	11.44	22.11	38.70	2.07
Medelv. % reducereing av emissioner		27 %	-	14 %	-	58 %
Medelv. % ökning av emissioner		-	861 %	-	860 %	-

Tabell 5. WVU CBD: Emission värde anges i gram/mile.

Buss	Beskrivning	NO <sub>x</sub>	NMHC	CO <sub>2</sub> (/100) <sup>1</sup>	CO	PM (x10) <sup>1</sup>
Air 12	Diesel	14.50	0.34	9.87	0.91	14.84
Air 13	DFNG i DF läget <sup>2</sup>	5.06	3.41	8.28	7.92	0.44
Air 14	DFNG i DF läget	6.64	2.02	8.33	5.43	0.64
Medelvärde DFNG i DF läget		5.85	2.71	8.33	6.68	0.54
Medelv. % reducereing av emissioner		60 %	-	16 %	-	54 %
Medelv. % ökning av emissioner		-	697 %	-	634 %	-

Tabell 4. 88,51 mile/h stadig tillstånd: Emission värde anges i gram/mile.

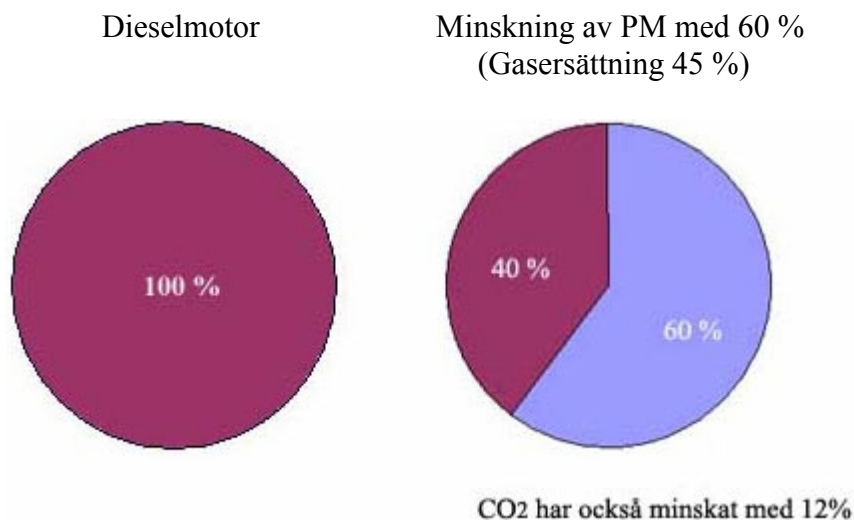
<sup>1</sup> CO<sub>2</sub> and PM values in the tables are 1/100 and 10 times actual values, respectively.

<sup>2</sup> Air 13 NMHC estimated based on Air 13 THC times the ratio of NMHC / THC for Air 14.

<sup>3</sup> Urban Dynamometer Drive Cycle Schedule

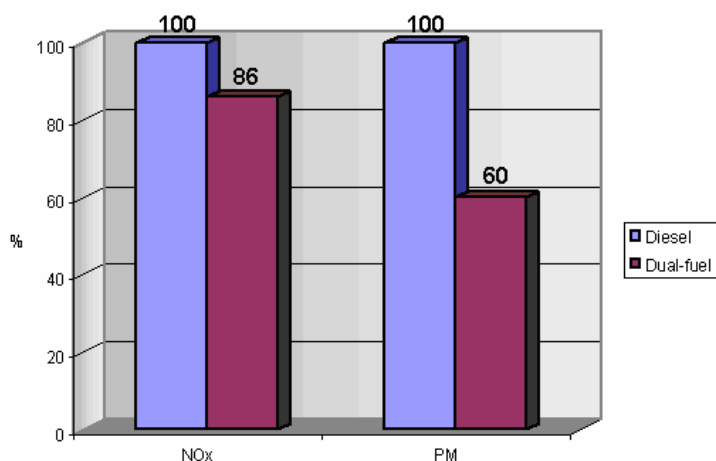
<sup>4</sup> Central Business District

Dual-fueltekniken har även provats i Europa. I Saarbrücke, Tyskland har man konverterat en stadsbuss till dual-fuel. Gasersättning låg på 45 % och bussens testkörsträcka var 42 000 km. Provningsen resulterade i en minskning av partiklar med 60 % och samtidigt en minskning av koldioxid med 12 %.



Figur 31. Minskning av PM och CO<sub>2</sub> emissioner i Saarbahn bussen.

I Sverige har man också experimenterat med dual-fueltekniken. MGN AB är ett konverteringsföretag som ligger i Luleå. De har konverterat en Scania lastbil. Lastbilen provades sedan av ett åkeriföretag i Trollhättan. Från början var företaget något tveksamt mot lastbilen, men efter en kort tid med den nya lastbilen i drift var användarna nöjda med fordonet. Lastbilen testades för att se om emissioner har ändrats genom övergång från dieseldrift till dual-fuel drift. Provningsen gick ut på att motorn accelererade upp till 50 km/h för att sedan bromsades ner till tomgång, detta repeterades ett antal gånger. Resultaten man fick från provningen var en minskning av NO<sub>x</sub> med 14 % och en minskning av PM med 40 %. Vid tomgång använde dual-fuelmotorn 70% - 80% diesel och vid höga varvtal används ca 20% diesel.



Figur 32. Dual-fuel emissions resultat från MGN AB.

## 6. Ekonomi

Ur provningen på Caterpillarmotorer som konverterades till dual-fuel i USA (bilaga 1.), kunde man se hur kostnader ändrades dramatiskt då man bytte tankningssätt. I detta avsnitt betraktas dual-fuel motor ur ekonomiskt synvinkel. När det gäller ekonomi så räknade man att fasta kostnader bestod av konverteringskostnader. I detta ingick alla delar plus allt arbete som behövdes. Kostnaden för konverteringen var 315 000 kr per buss. De rörliga kostnaderna bestod av underhåll, reparationer och försäkringar. Kostnaderna för underhåll av dual-fuelbussarna var mindre för oljebyte, eftersom intervallen mellan oljebyten kunde förlängas upp till det dubbla jämfört med dieselbussarna. En nackdel i dual-fuel motorerna var att de hade extra kostnader för lagning av CNG tankningssystem. Alla andra underhållskostnader antogs vara samma för bägge typer av motorer.

Bränslekostnaderna visade sig vara större för dual-fuel bussar. Bränsle kostnader är en funktion av bränslepriset och motorns verkningsgrad (miles/DEG). Under provningsperioden så köptes dieseln för ungefär \$0.8/DEG och naturgasen för \$0.9/DEG. Om man antar att 56 % av det totala bränslet var naturgas så blir det sammansatta priset \$0.856/DEG. Dual-fuel motorer använde mer bränsle, för att de endast avverkade 5.34 miles/DEG i jämförelse med dieseln 6.0 miles/DEG. [14]

### **Kostnader baserade på att CNG tankning sker på en separat anläggning.**

Typ av kostnad	C-10 D	C-10 DFNG
Kapital kostnader	0	4500
Bränsle	4000	4810
Tanknings kostnader (CNG)	342	814
Försäkring	2100	2370
Underhåll för CNG	0	298
Reparationer	0	0
Underhåll (oljebyte)	400	200
Års kostnader	6842 \$/år	12 992 \$/år
Kostnad per km	0,14 \$/km	0,269 \$/km
Differensen för DF	6150 \$/år eller 0,129 \$/km	

*Tabell 6. Alla kostnader i dollar och varje buss har körts 48000 km/år.*

Som det framgår i tabellen ovan så är dual-fuel bussarna något dyrare under första året. Detta beror mycket på konverteringskostnaderna.

---

DEG = Diesel Equivalent Gallon (135,000 Btu)

Ett annat alternativ som kan förbättra ekonomiska utsikter är att bussarna kan tanka, med fordonsgas, direkt på plats under natten då det är drift stopp. Detta skulle betyda att man inte behöver en extra anställd som kör och tankar bussen på en avlägsen anläggning.

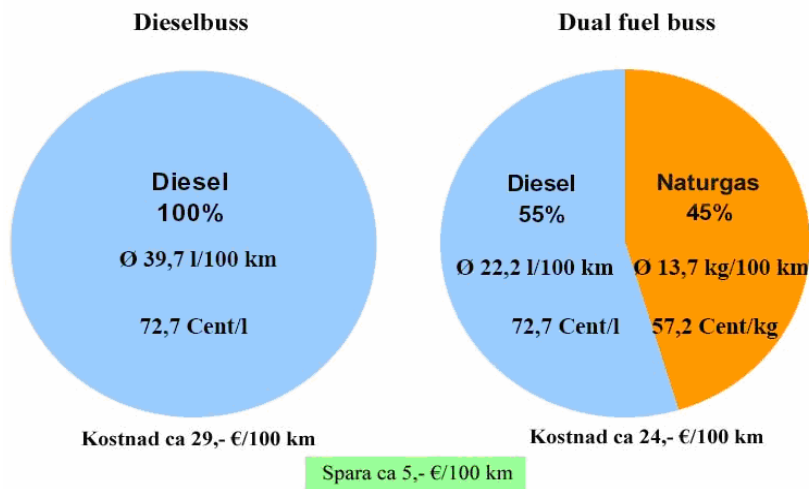
**Kostnader baserade på att CNG tankning sker direkt på plats.**

Typ av kostnad	C-10 D	C-10 DFNG
Kapital kostnader	0	4500
Bränsle	5500	4494
Tanknings kostnader (CNG)	342	77
Försäkring	2100	2370
Underhåll för CNG	0	298
Reparationer	0	0
Underhåll (oljebyte)	400	200
Års kostnader	8342 \$/år	11 939 \$/år
Kostnad per km	0,174 \$/km	0,248 \$/km
Differensen för DF	3597 \$/år eller 0,07 \$/km	

*Tabell 7. Alla kostnader i dollar och varje buss har körts 48000 km/år.*

Det visar sig att dual-fuelkostnaderna halveras då man tankar direkt på platsen. Sen kan man se att under andra året så försvinner den fasta kostnaden för konverteringen och man börjar tjäna pengar på dual-fuelalternativen. I bilagor 2 och 3 kan man se underhållskostnader för en dual-fuelbuss. [14]

Saarbrücke bussars konverterings kostnad har man räknat till ca 11 000 euro. Figur 33 visar hur mycket pengar man sparar per hundra kilometer då man använder dual-fueltekniken istället för diesel.



Figur 33. Testet är baserat på en körsträcka (6099 km). Valuta som används är Euro.

Konverteringen till dual-fuel hos NGM AB kostade ca 120 000 kr. Vilket inte var så långt ifrån konverteringskostnaden i Tyskland.

## 7. Utvecklingsbehov

- **Utbyggnaden av infrastruktur för fordonsgas i hela Sverige**

Anledningen till att naturgasen ännu inte i större omfattning används i Sverige är att utbyggnaden av infrastruktur för gastransporten är kostsam. För att få god ekonomi med rörledningstransport av gas krävs stora volymer. Sverige är ett avlångt och mycket glest befolkat, vilket gör det svårt att få naturgas lönsam. Därför används naturgas i dag endast i södra och västra Sverige. En utbyggnad av gasnätet måste planeras i när framtid om man vill ha bättre miljö. Biogas finns spritt över hela landet, till de delar där naturgasnätet inte når fram kan istället biogas nyttjas som fordonsbränsle.

- **Tankning**

För att det ska finnas någon framtid för gasfordon måste man börja bygga flera tankningsstationer runt om i Sverige. Det som ger dual-fueltekniken en stor fördel framför ren gasdrift är att motorn drivs av två bränslen, naturgas/biogas och dieselbränsle.

- **Konvertering**

Möjligheten för konvertering till dual-fuel av lastbilar/bussar i Sverige är väldigt små, måste man därför starta projekt för att visa vilka möjligheter dual-fueltekniken kan erbjuda. Detta kan dra till sig mycket uppmärksamhet från konverteringsföretag i Sverige, vilket skulle vara till stort hjälp för dual-fueltekniken.

Vid konvertering är det framförallt intressant att studera hur emissionsbilden kan förbättras jämfört med dieseldrift. Det är även intressant att studera hur liten andel diesel fordonet kan gå på.

- **Stöd från Volvo o Scania**

Förutom konverteringsföretag är det av stort betydelse att denna teknik stöds av de två stora lastbilstillverkarna Volvo och Scania. Detta blir ytterligare ett steg till bättre framtid.

## 8. Slutsats

Man kan se dual-fuelmotorer som en bro till framtiden. En framtid där man har naturgas/biogas som dominerande bränsle. Det som gör gasmotorn svårare att konvertera från dieseldrift är byte av topplock och kolvar. Dessa två måste bytas för att sänka kompressionsförhållande och tändningssystemet ersätts med tändstiften. Dual-fueltekniken erbjuder något helt unikt i jämförelse med gasmotorn. Motorn är konstruerad så att den kan gå på blandningar av dieselbränsle och gas. Detta gör att fordonen kan drivas på mindre mängder av gas på längre sträckor där det inte finns en utbyggd infrastruktur av fordonsgas och kan huvudsakligen drivas på gas när gasen finns tillgänglig.

Det som gör naturgas betydligt billigare än dieselolja beror på två saker. Dels är tillgången av naturgasen är mycket större än råoljan och dels beror det på transportkostnader mellan raffinaderi och kunden, där gasen inte kräver stora kostsamma oljetankers för att bli transporterad utan kan lätt och snabbt tillföras genom rörledningssystem direkt till kunden. Allt detta sker utan att bränsletransporten påverkar varken naturen eller miljön.

När man tittar på säkerheten av dagens gasbränslesystem kan man se att systemet är betydligt säkrare än både dieseln och bensinmotorer. De nya gasankarna byggs idag med ett inre skal av aluminium och ett tryckbärande yttre skikt av kompositmaterial. Kompositmaterialet gör tanken mycket slagtåliga.

Utvecklingsmöjligheterna för dual-fueltekniken i Sverige är väldigt stora. Sveriges naturgasnätverk är välutvecklad och fler tankningsstationer är under uppbyggnad. MGN AB har redan börjat utveckla konverterings satser för dual-fueldrift. Konverteringskostnaden som de har tagit fram ligger runt 120 000 kr, vilket är ett mycket billigare alternativ då man jämför den med konverteringen till ren gasdrift. Enligt Kenan Ulakovic på MGN är det billigare att köpa en fabriksbyggd gasmotor än vad det är att konvertera om en dieselmotor till gasdrift. I tabellen nedan jämför vi olika egenskaper motorerna har. Dieselmotor används som bas.



	<b>Diesel</b>	<b>Dual-fuel</b>	<b>Fordonsgas</b>
Verkningsgrad	1	nästan samma	sämre
Pålitlighet	1	nästan samma	sämre
Underhåll av motor	1	samma	sämre
Mäng av utbyt bränsle	-	bättre	betydligt bättre
Tankutrymme	1	sämre	sämre
Emissioner	1	bättre	betydligt bättre
Ljud emissioner	1	bättre	betydligt bättre
Konverterings kostnader	-	bättre	sämre
Bränsle ekonomi	1	bättre	betydligt bättre
<b>Resultat</b>		<b>bättre</b>	<b>bättre</b>

*Tabell 8. Jämförelse av de tre motortekniken.*

Resultatet ur tabell 8. visar att rent gasmotor har väldigt goda emissionsresultat medan dess pris är sämre än den av dual-fuel, speciellt vid konverteringen. Dual-fuel är en bra övergång till framtidens driftsystem. Den har visats sig vara mycket pålitlig och har en bättre prestanda än gasmotor, så vi tror starkt på att dual-fueltekniken kommer att ha ett stor potential på den svenska marknaden.

## Referenser

- [1] Cecilia S, Negar G, Johanna A, John P, Carl- Adam B. *Kartläggning av fordonsbränslen ur hållbarhetsperspektiv 2002.*
- [2] [www.ne.se](http://www.ne.se)
- [3] <http://www.naturgas.nu/>
- [4] [http://www.sbgf.org/\\_filer/610316.pdf](http://www.sbgf.org/_filer/610316.pdf)
- [5] <http://www.fordonsgas.se/>
- [6] Olle Nordström, *Förbränningsmotorn Stockholm: LT, 1976*
- [7] <http://www.ingemarcarlson.com/>
- [8] [http://www.cleanairpower.com/technology/df\\_versus.html](http://www.cleanairpower.com/technology/df_versus.html)
- [9] Dual-Fuel\_Engines,\_A\_Caterpillar\_Perspective
- [10] L. Malmström och B. Wetterblad, *Fordonslära 1999*
- [11] Teawoo Lee, Ik-Jea Chung, Dong-Sung Shin och Sang-Won Jeong. *Development of CNG engine for heavy-duty vehicle PP07. NGV 2000*
- [12] *Intervju med Ingemar Carlson*
- [13] Owe Jönsson, *Provning av tryckbehållare för naturgas och biogas Svenskt Gastekniskt Center AB, januari 2003.*
- [14] California Energy Commission, *Demonstration of Caterpillar C-10 Dual-Fuel Engines in MCI 102DL3 Commuter Buses*
- [15] Akihirio Nishimura, Akio Ishida, Masao Uranishi, Ryouichi Kihara och Akihiko Nakamura, *Nippon Ecology Work System Corp. PP06. NGV 2000*
- [16] <http://www.novanaturgas.com/>
- [17] Valentin N. Loukanine, Alexy S. Khatchiyan, Ivan G. Shishlov, Ruslan Kh. Khamidullin. *Analysis of Different Ways to Develop Low Emission Natural gas engines. PP06. NGV 2000*
- [18] <http://www.dtek.chalmers.se/~d97thorn/otto.htm>
- [19] R. Bosch GmbH, *Diesel-Engine Management 3rd Edition 2004*
- [20] Bill Toboldt, *Diesel fundamentals, service, repair. 1997*
- [21] Håkan Ohlsson, *Lastbil & Buss 1978*

[22] <http://sv.wikipedia.org/wiki/Cetantal>

[23] [http://www.spe.org/spe/jsp/basic/0,,1104\\_1008218\\_1109511,00.html](http://www.spe.org/spe/jsp/basic/0,,1104_1008218_1109511,00.html)

[24] J. Trommelmans. *Dieselmotorer för personbilar 1987*.

[25] [www.spi.se](http://www.spi.se)

[26] [http://www.energiochmiljo.se/abonnemang.asp?cat=abo\\_mall&sid=107](http://www.energiochmiljo.se/abonnemang.asp?cat=abo_mall&sid=107)

[27] [http://www.dieselfuel.co.nz/services/dual\\_fuel.htm](http://www.dieselfuel.co.nz/services/dual_fuel.htm)

## **Ordlista**

C-10	Caterpillar motor slagvolym 10 liter
CBD	Central Business District
CO	Carbon monOxide (koloxid)
CO <sub>2</sub>	Carbon diOxide (koldioxid)
CNG	Compressed Natural Gas (komprimerad naturgas)
DEG	Diesel Equivalent Gallon (135,000 Btu)
DFNG	Dual-Fuel Natural Gas (Dual-Fuel Naturgas)
ECOS-DDF	Ecology Work System's Diesel Dual-Fueled
ECU	Electronic Control Unit
EPA	Environmental Protection Agency
HC	HydroCarbons (kolväten)
MCI	Motor Coach Industries
NMHC	Non-Methane HydroCarbons (icke-metan kolväten)
NO <sub>x</sub>	Oxides of Nitrogen (kväveoxider)
PM	Particulate Matter (partiklar)
THC	Total HydroCarbons
UDDC	Urban Dynamometer Drive Cycle
ULCC	Ultra Large Crude Carrier
WVU	West Virginia University

## Bilaga 1.

Bussutvärdering i Santa Barbara, Kalifornien.

Mellan 1998 och 1999 har den amerikanska energi departementet gjort ett test där man har jämfört diesel och dual-fuel motorer av typ CAT C-10 i vanligt buss trafik. De använde sig av fyra stycken MCI 102DL3 bussar, var av tre var konverterade till dual-fuel. Genomsnittlig CNG substitution var 56 %. För att föraren ska vara mindre benägen till att byta motor driften helt till diesel, som det var möjligt, använde de en "reduced power mode". Detta gjorde inte omöjligt att motor drivs på enbart diesel utan bara var en sorts försäkring att bussen skulle köras med CNG/Diesel blandning så mycket som möjligt.

I början av projektet hade de problem med tankning av CNG. Förarna hade ingen vana att tanka varannan dag, vilket krävdes för att försäkra kontinuerlig dual-fuel drift. För att lösa detta problem gavs denna uppgift till en anställd som tankade alla bussar mellan körningar. Dual-fuel motorer var utrustade med ett elektroniskt reglage som reducerar motorns styrka, när dessa kördes under diesel drift. Dessa reglage sattes in för att förhindra förarna att gå över helt till diesel drift. Reduceringen var mest märkbar vid acceleration. [14]

**Bilaga 2.**

**Maintenance – CNG System**

Costs for maintaining the CNG were provided by Caterpillar and are included in this appendix.

Costs were estimated for a 150,000-mile cycle to include all recurring maintenance costs.

<u>Bus Miles</u>	<u>Service Description</u>	<u>Charge</u>
15,000	15,000-mile service	\$110
30,000	15,000-mile service	\$110
45,000	45,000-mile service	\$155
60,000	15,000-mile service	\$110
75,000	15,000-mile service	\$110
90,000	45,000-mile service	\$155
105,000	15,000-mile service	\$110
120,000	15,000-mile service	\$110
135,000	45,000-mile service	\$155
150,000	150,000-mile service	<u>\$165</u>
Total cost per 150,000 miles =		\$1,490
Prorated cost for 30,000 miles =		\$298

There are no such costs for the C-10 D engine.

**Repair Costs**

Repairs on the C-10 DFNG engine were estimated to be the same as that of the C-10 D engine.

**Maintenance Costs – Oil Changes**

Oil changes for the C-10 DFNG engine were assumed to be needed every 15,000 miles, versus 7,500 miles for the C-10 D. The cost of each oil change was estimated by the Clean Air Express operator to be about \$100. Thus:

$$\text{C-10 DFNG Oil Change Costs} = 30,000 \text{ miles/yr} / 15,000 \text{ miles/change} * \$100/\text{change} = \$200$$

$$\text{C-10 DFNG Oil Change Costs} = 30,000 \text{ miles/yr} / 7,500 \text{ miles/change} * \$100/\text{change} = \$400$$

**Bilaga 3.**

**Dual-Fuel Engine – C-10 Engine (CNG Only)**  
 (Earlier Model Fuel Management Module)

**Maintenance Intervals/Customer Pricing**

<i>Recommended Service Interval</i>	<i>Suggested List Price</i>
<p><b><u>Every 10,000 miles</u></b></p> <p>Drain Coalescing Filter</p>	By Customer
<p><b><u>Every 15,000 miles</u></b></p> <p>Replace Coalescing Filter                      Clean Last-hance Filter                      Inspect Natural Gas Connections for Leaks</p>	<p>\$110</p> <p>Part # 3000072</p> <p>Requires 1 hour labor (\$70/h)</p>
<p><b><u>Every 45,000 miles</u></b></p> <p>Replace Coalescing Filter                      Replace Last-hance Filter                      Inspect Natural Gas Connections for Leaks</p>	<p>\$155</p> <p>Part # 3000072                      Part # 902112-1 (1/2" line size)                      Requires 1 hour labor (\$70/h)</p>
<p><b><u>Every 150,000 miles</u></b></p> <p>Clean Natural Gas Injectors                      Replace Injector Seals                      Replace Coalescing Filter                      Clean Last-hance Filter                      Inspect Natural Gas Connections for Leaks</p>	<p>\$365</p> <p>Part # 3000072</p> <p>Requires 4 hours labor (\$70/h)</p>

**Parts Pricing**

<u>Part Number</u>	<u>Description</u>	<u>Customer List Price</u>
3000072	Coalescing Filter	\$40.00
902112-1	Last-Chance Filter	\$45.00