

# **Emissioner från alternativa drivmedel**

**I ett livscykelperspektiv**

**En litteraturstudie, oktober 1998**

**Sammanställd av Ecotraffic R&D AB**

**Peter Ahlvik**

**Åke Brandberg**

<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b>		<b>Sida</b>
<b>1</b>	<b>INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>BAKGRUND</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>METODIK</b> .....	<b>2</b>
	3.1 Studiens upplägg.....	2
	3.2 Litteratursökning.....	2
	3.2 Val av litteratur för referat och kommentarer.....	3
<b>4</b>	<b>RESULTAT</b> .....	<b>4</b>
	4.1 Reformulerad bensin och låginblandning.....	4
	4.2 Reformulerad dieselloja och låginblandning.....	4
	4.3 Etanol .....	5
	4.3.1 Lätta fordon.....	5
	4.3.2 Tunga fordon .....	8
	4.4 Metanol.....	9
	4.4.1 Lätta fordon.....	9
	4.4.2 Tunga fordon .....	11
	4.5 Metan (fossilgas och biogas).....	12
	4.5.1 Lätta fordon.....	12
	4.5.2 Tunga fordon .....	15
	4.6 LPG.....	18
	4.7 RME .....	19
	4.7.1 Lätta fordon.....	20
	4.7.2 Tunga fordon .....	22
	4.7.3 Andra typer av fordon.....	22
	4.8 DME .....	23
	4.8.1 DME:s egenskaper mm.....	23
	4.8.2 Emissionsresultat .....	24
	4.9 El.....	26
	4.10 Samtliga drivmedel.....	26
	4.10.1 Jämförelser och effekter av hälso- och miljöfarliga ämnen .....	26
	4.10.2 Aldringseffekter för fordon drivna med olika drivmedel .....	27
	4.11 Livscykelanalyser.....	28
<b>5</b>	<b>DISKUSSION OCH SLUTSATSER</b> .....	<b>29</b>
	5.1 Alkohol.....	29
	5.2 Biogas .....	29
	5.3 Cancerrisk .....	30
<b>6</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>31</b>
	6.1 Prioriterade referenser .....	31
	6.1.1 Reformulerad bensin och låginblandning.....	31
	6.1.2 Reformulerad dieselloja och låginblandning.....	31
	6.1.3 Etanol.....	31
	6.1.4 Metanol .....	32
	6.1.5 Metan (fossilgas och biogas).....	32
	6.1.6 LPG .....	33
	6.1.7 RME.....	33
	6.1.8 DME.....	34
	6.1.9 El.....	34
	6.1.10 Flera drivmedel.....	34
	6.1.11 Livscykelanalyser.....	35

6.2	Övriga referenser.....	36
6.2.1	Reformulerad bensin och låginblandning.....	36
6.2.2	Reformulerad dieseloilja och låginblandning.....	37
6.2.3	Etanol.....	37
6.2.4	Metanol.....	39
6.2.5	Metan (fossilgas och biogas).....	44
6.2.6	LPG.....	54
6.2.7	RME.....	55
6.2.8	DME.....	56
6.2.9	Et.....	57
6.2.10	Flera drivmedel.....	57
6.2.11	Livscykelanalyser.....	60
6.2.12	Övriga drivmedel.....	61
7	OSORTERAD LISTA ÖVRIGA REFERENSER.....	61

## TABELLFÖRTECKNING

Sida

<i>Tabell 1: Emissioner i FTP-75 körcykeln för etanolvarianten av Ford Taurus FFV</i>	6
<i>Tabell 2: Emissioner i FTP-75 körcykeln för E85 drivna Chevrolet Lumina VFV</i>	7
<i>Tabell 3: Emissioner i FTP-75 körcykeln för SWRI:s Ford Taurus FFV</i>	8
<i>Tabell 4: Emissioner i FTP-75 körcykeln för metanolvarianten av Ford Taurus FFV</i>	9
<i>Tabell 5: Emissioner i FTP-75 körcykeln för M85 drivna FFV Dodge Spirit</i>	10
<i>Tabell 6: Emissioner i FTP-75 körcykeln för bensindrivna Dodge Spirit</i>	10
<i>Tabell 7: Emissioner av hälsofarliga ämnen i FTP-75 körcykeln för Dodge Spirit</i>	11
<i>Tabell 8: Reglerade emissioner i FTP-75 körcykeln för Dodge B250 van</i>	13
<i>Tabell 9: Icke reglerade emissioner i FTP-75 körcykeln för Dodge B250 van</i>	13
<i>Tabell 10: Emissioner enligt CBD cykeln för stadsbussar</i>	16
<i>Tabell 11: Emissioner för två olika förbränningsystem (i g/kWh)</i>	17
<i>Tabell 12: Emissioner från SwRIs fossilgasmotor (i g/kWh)</i>	17
<i>Tabell 13: Avgasemissioner och verkningsgrad för olika motor- och bränslekombinationer (i g/kWh)</i>	25

## Figurförteckning

Sida

<i>Figur 1: Cancerrisk för några olika drivmedel till lätta fordon</i>	30
--	----

## 6 REFERENSER

### 6.1 Prioriterade referenser

#### 6.1.1 Reformulerad bensin och låginblandning

1. Kivi J., Kokko J., Aakko P. and Kytö M.: "The First Reformulated Gasoline in Europe", SAE Paper 952501, Toronto, October 1995.
2. CRC Atlanta GA, "Auto/Oil"; Air Quality Improvement Research Program (AQIRP): "Program Final Report", January 1997.

#### 6.1.2 Reformulerad dieselolja och låginblandning

3. Egebäck K.-E. (LTU): "Avgasemissioner från blandbränslefordon inom KFB:s Biodrivmedelsprogram" underlagsrapport till rapporten "Blandbränsle etanol/diesel – Slutrapport." KFB-Rapport 1997:35, 1997.
4. Martin B. (IFP), Aakko P. (VTT), Beckman D. (TNO), Del Giacomo N. (Istituto Motori), and Giavazzi F. (EURON): "Influence of Future Fuel Formulations on Diesel Engine Emissions – A joint European Study." SAE Paper 972966, 1997.

#### 6.1.3 Etanol

##### 7.1.3.1 Lätta fordon

5. Rydén C. (Projektkonsult Tima) och Egebäck K.-E. (LTU): "Flottförsök med 53 FFV – *Ettapp 1.*" KFB-Meddelande 1997:11, 1997. (Finns även på engelska KFB-Meddelande 1997:13).
6. Rydén C. (Projektkonsult Tima) och Egebäck K.-E. (LTU): "FFV bilar – Utveckling och anpassning av distributionssystem samt demonstration av E85 fordon." KFB-Rapport 1997:41, 1997.
7. Cowart, J. S.; Boruta, W. E.; Dalton, J. D.; Dona, R. F.; Rivard, F. L.; Furby, R. S.; Piontkowski, J. A.; Seiter, R. E.; Takai, R. M., "Powertrain Development of the 1996 Ford Flexible Fuel Taurus." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, October 1995, SAE Paper 952751, 1995.
8. Kelly K. J. (NREL), Bailey B. K. (NREL), Coburn T. (NREL), Clark W. (Automotive Testing Labs.), and Lissuk P. (Env. Res. and Dev. Group): "Federal Test Procedure Results from Ethanol Variable-Fuel Vehicle Chevrolet Lumina." SAE Paper 961092, 1996.
9. Dodge L. G., Shouse K., Grogan J., Leone D. M., Whitney K. A., Merritt P. M.: "Development of an Ethanol-Fueled, Ultra-Low Emissions Vehicle." SAE Paper 981358, 1998.

##### 7.1.3.2 Tunga fordon

10. Egebäck K. E.: "Avgasemissioner från etanoldrivna bussar", MTC rapport 9056, 1995.

## **SAMMANFATTNING**

## 1 INLEDNING

Emissionerna från vägtrafiken utgör, trots vissa förbättringar de senaste åren, alltså en betydande del av de totala utsläppen. Detta gäller för de flesta emissionskomponenter och för vissa utsläpp typ CO<sub>2</sub> uppvisar både andelen och de absoluta emissionerna en ökande trend. Nya avgaskrav har beslutats för lätta fordon i Europa från år 2000 och liknande krav kommer att införas även för tunga fordon. Ytterligare avgaskrav har beslutats eller planeras för år 2005. Det kommer dock att dröja lång tid innan de miljömål som har beslutats av regeringen kan nås. Kompletterande åtgärder torde vara nödvändiga för att nå dessa mål. Det långsiktiga målet att reducera utsläppen av klimatgaser torde inte kunna klaras av utan en storskalig introduktion av biodrivmedel ifall en mobilitet på nuvarande nivå skall kunna bibehållas. En energieffektivisering av transporterna är en viktig faktor för att minska utsläppen av klimatgaser men det torde inte finnas några realistiska möjligheter att åstadkomma en minskning av energianvändningen med 80 %.

Tidigare utförda undersökningar och utredningar har visat att alternativa bränslen har en potential till avsevärda förbättringar av de emissionskomponenter som påverkar hälsa och miljö. Samtliga emissionskomponenter minskar dock inte nödvändigtvis för de alternativa drivmedlen i jämförelse med de konventionella. Det förhåller sig också så att den motor- och fordonsteknik som under det senaste seklet anpassats för de konventionella drivmedlen inte direkt kan användas för de alternativa drivmedlen utan nackdelar. En hel del FoU måste initieras för att avhjälpa de potentiella problemen innan de alternativa drivmedlen kan introduceras i stor skala. Dessa problemområden är viktiga att identifiera.

Det är med ledning av ovanstående resonemang viktigt att undersöka de alternativa drivmedlens förutsättningar och möjligheter att bidra till att reducera de hälso- och miljöfarliga emissionerna. Föreliggande rapport utgör en uppdatering av kunskapsläget rörande alternativa drivmedel med fokusering på de resultat som genererats efter det att Alternativbränsleutredningens arbete hade fullföljts.

En annan viktig aspekt när det gäller att åstadkomma önskade effekter på de hälso- och miljöfarliga emissionerna är de alternativa drivmedlens genomslagspotential. Dessa frågor har berörts i några fall i rapporten men oftast utan att någon ingående analys redovisats.

## 2 BAKGRUND

För att belysa de alternativa bränslenas (inkl. blandbränslen) hälso- och miljöegenskaper tillsattes i juni 1995 en utredning kallad Alternativbränsleutredningen. Ett av utredningens syften var att utforma de kvalitetskrav som bör ställas på alternativa bränslen samt att överväga hur alternativa bränslen och blandbränslen bör behandlas i förhållande till systemet för miljöklassning av motorbränslen. Alternativbränsleutredningen överlämnade sitt slutbetänkande (SOU 1996:184) i januari 1997.

I regleringsbrevet för 1998 gavs Naturvårdsverket i uppdrag att, i samarbete med Kommunikationsforskningsberedningen (KFB), Energimyndigheten (STEM) och NUTEK, följa utvecklingen, uppdatera och öka kunskapen om alternativa drivmedel och drivmedelsblandningar. Den tidigare utförda Alternativbränsleutredningen skulle ligga som bas. För att de bedömningar av hälso- och miljöeffekterna skall vara så heltäckande som möjligt omfattar uppdraget miljöeffekterna i alla led (från produktion till slutanvändning i fordonet).

Föreliggande utredning från Ecotrafic är avsedd att vara ett underlag för Naturvårdsverkets avrapportering av uppdraget enligt ovan. Uppdraget har utförts på uppdrag av Naturvårdsverket.

### **3 METODIK**

#### **3.1 Studiens upplägg**

En utredning av de alternativa drivmedlens roll för att komma tillrätta med miljöproblemen har utförts av Naturvårdsverket. Studien har koncentrerats på resultat som genererats i Sverige. Inriktningen på vår studie har därför koncentrerats på de internationella resultaten. Endast i de fall få resultat finns i internationella rapporter har de svenska resultaten kommenterats. Avsikten är att de två studierna skall komplettera varandra. För att trots det göra litteraturlistan komplett har vi tagit med de viktigaste svenska rapporterna i alla fall.

De drivmedel som prioriterats högst är följande:

- Etanol
- Metanol
- Metan (fossilgas och biogas)

RME har givits en lägre prioritet liksom DME och reformulerade bränslen inkl. låginblandning. LPG och el har endast beskrivits översiktligt. Övriga drivmedel har inte bedömts som intressanta men några referenser för andra drivmedel finns dock med på referenslistan.

#### **3.2 Litteratursökning**

Litteratursökningen har gjorts i SAE:s "Automotive Engines" databas som är en mindre version av den större "Global Mobility Database". Den mindre databasen innehåller i allt väsentligt samma material som den större vad gäller de områden som är av intresse för denna studie. Databasen innehåller sammanfattningar och biobiografier för mer än 35 000 artiklar som publicerats av SAE, dess systerorganisationer världen över samt SAE:s övriga samarbetspartners. Databasen finns i två varianter: en på CD-ROM och en med tillgång till databasen via Internet. Ecotrafic valde den senare varianten eftersom den uppdateras en gång i månaden till skillnad från en gång i året för den förra varianten.

Enligt önskemål från Naturvårdsverket begränsades sökningen av litteratur till 1995 eller senare.

Andra källor som undersökts är bl a följande:

- **Tidsskrifter:** ATZ, MTZ, Journal of the Air & Waste Management Association, Environmental Science & Technology m fl.
- **Svenska myndigheter:** Naturvårdsverket, KFB, NUTEK, STEM, m fl.
- **Utländska myndigheter:** MITI (Japan), NOVEM (Nederländerna), DOE (St. Britt.), DOT (St. Britt.), DOE (USA), DOE/EIA (USA), EPA (USA),
- **Organisationer:** IEA (OECD), SAE (USA), ISAF (Internationell), IANGV (Internationell.), VDI (Tyskland) m fl.
- **Svenska högskolor:** CTH, LTH, LTU
- **Institut:** VITO (Belgien), VTT (Finland), JARI (Japan), NEDO (Japan), TNO (Nederländerna), ANL (USA), LANL (USA), LLNL (USA), NREL (USA), ONL (USA), SWRI (USA), m fl.
- **Konsulter:** Ortech (Kanada), INNAS (Nederländerna), MTC (Sverige), FEV (Tyskland), m fl.
- **Övriga källor:** IEA/AFIS, Windsor Workshop *ISAF* *JULY 94*

Undersökningen av källorna som listats ovan har som regel genomförts via sökning på respektive Internet hemsida. Generellt visade det sig dock att de flesta referenserna hittades i SAE:s databas. Näst denna källa kunde många av referenserna hittas i de undersökta tidsskrifterna. I övriga källor kunde endast enstaka referenser av intresse hittas och ibland fanns inte en enda rapport av intresse.

Intressant litteratur som *inte* kunde tas med är från följande konferenser: Fuel & Lubricants konferensen i USA (19 – 22 okt.), Windsor Workshop (dokumentation beställd ej klar än) och XII ISAF (21 – 24 sept., dvs för sent...).

### 3.2 Val av litteratur för referat och kommentarer

Eftersom budgeten för arbetet varit begränsad valdes strategin att välja ut de mest intressanta och framstående rapporterna och kommentera dessa i stället för att ta med samtliga. Genom att de flesta rapporterna listats i referenslistan (en viss grovsällning har trots allt gjorts) är det dock möjligt att komplettera studien med intressanta referenser.

För alla rapporter som tagits fram genom sökningen i SAE:s databas finns en sammanfattning (abstract). Genom att dessa sammanfattningar omfattar mer än 350 sidor har vi dock valt att inte inkludera dem i rapporten.



## 4 RESULTAT

### 4.1 Reformulerad bensin och låginblandning

Reformulering av bensin (RFG, Reformulated Gasoline) har i USA genomförts för att i problemområden minska ozonpotential och cancerrisker med 15 – 25 % (2, 60). I Europa har detta med smärre undantag i specifikationen fått en efterföljd i Finland (Kivi; 1), då det varit lätt att genomföra med den konfiguration Nestes raffinaderi och petrokemiska komplex har. Förslagen i Europa till förbättrad bensin, i Sverige miljöklass 1-bensin, går åt liknande håll men utan obligatorisk inblandning av oxygenater som i USA. Alla provbränslen i det europeiska Auto/Oil-programmet (EPEFE) har dock innehållit 10 %v MTBE motsvarande knappt 2 %m syre.

Oxygenatinblandningen i USA är dock begränsad till att motsvara max. 2,7 %<sub>m</sub> syre (rekommenderat max. 2,2 %<sub>m</sub>) och har två funktioner, förutom att minska vissa utsläpp, nämligen dels att vara inkörsport för komponent med alternativ råvarubas (inkl. biomassa) än råolja, dels att vara verktyg att minska halten lätta olefiner i bensinen. Högre inblandningar av etanol (E10; 3,7 %<sub>m</sub> syre) har nackdelar genom förhöjd flyktighet och förhöjda NO<sub>x</sub>-utsläpp vid allmän användning i befintlig bilpark (2, 62, 63, ??). Etanol och andra oxygenater måste ses som normala komponenter vid formulering av bensin enligt standard för vara acceptabla.

### 4.2 Reformulerad dieselolja och låginblandning

Förslagen i Europa till reformulering av dieselolja (3) innebär en fokusering på låg svavelhalt och höjt lägsta cetantal, medan den svenska miljöklassade dieseloljan har fokus på mycket låg halt av PAH med tre eller fler bensenringar (tri+; biologiskt verksamma), varvid mycket låg svavelhalt fås på köpet, och låg total aromathalt och slutkokpunkt. Det senare leder sannolikt till onödigt dyr produktion (och skattesubventionering), volymbegränsningar och svårigheter att få en i Europa accepterad reformulerad dieselolja för allmän användning. Högre tillåten total aromathalt och slutkokpunkt med bibehållna krav på mycket låg halt av tri+PAH och svavelhalt skulle kunna lösa dessa problem med bibehållna hälso-/miljövinster.

Emulgering av alkoholer (12 %v metanol, 15 %v etanol) i dieselolja provas för att finna plats för biobaserade komponenter i dieselolja för den befintliga fordonsparken och få minskning av vissa utsläpp (Egebäck; 4). Det är tveksamt om emulsioner kan få acceptans som ersättning för dieselolja utan måste ses som begränsat nischbränsle.

Reformuleringen av de svenska miljöklassade dieseloljorna och deras hälso- och miljöegenskaper är väl kända och behandlas därför inte här. En något förändrad sammansättning av Mk1 dieseloljan kan som nämnts ovan vara av intresse för att minska kostnaderna och utbytet men kommer knappast att påverka hälso- och miljöegenskaperna nämnvärt. Frågan kvarstår dock ifall det finns möjligheter att ytterligare förbättra hälso- och miljöegenskaperna genom reformulering alternativt låginblandning av vissa tillsatser. Det europeiska Auto/Oil programmet har inte haft denna inriktning och har därför inte givit några sådana svar. Ett stort sameu-

ropeiskt (IFP, VTT, TNO, Int. Mot. och EURON) forskningsprojekt avrapporterades vid Fuel & Lubricants konferensen hösten 1997 (Martin; 4). Samtliga testade bränslen har haft låg svavelhalt (<100 ppm<sub>m</sub>) men de flesta låg mycket lägre än så. De kemiska egenskaperna har varierats inom mycket vida gränser medan de fysikaliska egenskaperna (densitet, viskositet mm) ändrats mer än gränserna för kommersiella bränslen men ändå inte lika mycket (i relativa termer) som de kemiska egenskaperna. Några bränsletyper av intresse är: "Skandinavisk (Finsk?) City Diesel (kallad CDF)", ett bränsle kraftigt hydrerat (vätebehandlat) till mindre än 5 % aromater (kallat HDT) men med högre kokpunkt än svensk Mk1, ett Fischer-Tropsch bränsle och CDF med en tillsats av 20% Tallmetylester (TME20), dvs tallolja omförestrad med metanol. Karakteristiskt för Fischer-Tropsch bränslet är det mycket höga cetantalet på 83 och att bränslet i huvudsak består av raka paraffinmolekyler. Bränslena testades i motorer till såväl lätta fordon som tunga fordon. Olika körcykler användes och några prov utfördes dessutom vid låg temperatur. En studie av inverkan av EGR på en lätt och en tung motor utfördes också. Några av slutsatserna sammanfattas i nedanstående punktlista:

- Emissionerna av CO, HC, aldehyder, partiklar och PAH påverkas mycket av bränsleparametrarna medan inverkan på NO<sub>x</sub> emissionerna är mindre
- Vätebehandling (hydrering) minskar generellt emissionerna
- Mycket låga emissioner kan nås med Fischer-Tropsch bränslet
- Tillsats av TME medför en reduktion av partikelemissionerna som följd av syreinhållet. HC, CO, aldehyder och vitrök vid kallstart ökar i relation till sänkning av cetantalet på grund av att TME har ett lägre cetantal än basbränslet.

Vad gäller de hälsofarliga emissionerna kan man konstatera att PAH emissionerna samvarierar med partikelemissionerna. Höga PAH emissioner erhålls med det testbränsle som har högst halt av diaromater. Fischer-Tropsch bränslet (helt fritt från alla typer av aromater) ger de lägsta PAH emissionerna. En annan sak värt att notera är att TME20 bränslet ger väsentligt lägre partikelemissioner när EGR används. Detta gäller speciellt för den tunga motorn. Medan partikelemissionerna ökar från 0,06 till 0,11 g/kWh för referensbränslet när EGR andelen ökas från 2 till 12% är motsvarande siffror för TME20 bränslet 0,02 respektive 0,025.

## 4.3 Etanol

### 4.3.1 Lätta fordon

I Sverige består marknaden för lätta etanoldrivna fordon i princip av en bilmodell – Ford Taurus FFV. Bilen är en sk bränsleflexibel modell, dvs den kan köra på olika blandningar av allt från bensin till E85 (15 % bensin, 85 % etanol). Resultat från flottförsök inkluderande emissionsresultat från två olika generationer av bilmodellen har tidigare beskrivits (Rydén, Egebäck; 5 och 6).

#### 4.3.1.1 Utveckling av Ford Taurus FFV, Cowart m fl., 1995

Utvecklingen av den senaste versionen av Ford Taurus FFV (-96 års modell) har beskrivits ingående i en rapport från Ford (Cowart; 7). Bilen finns i två versioner, en för M85 och en för E85. En stor del av de problem som noterats och åtgärdats

under utvecklingsfasen har att göra med materialkompatibilitet. Etanol har här en liten fördel framför metanol. Alkoholer ger generellt högre effekt än bensin i samma motor. Ökningen av effekt och vridmoment är 4 % för etanol och 7 % för metanol. Emissionerna för etanolversionen av bilen (E-FFV) enligt FTP-75 körcykeln visas i tabell 1 nedan. Emissionerna visas före och efter katalysator.

**Tabell 1: Emissioner i FTP-75 körcykeln för etanolvarianten av Ford Taurus FFV**

	Emissioner före katalysator			Emissioner efter katalysator			
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	CH <sub>3</sub> CHO
<b>E85</b>	11,9	0,98	1,73	1,27	0,104	0,05	0,0043
<b>Bensin (indolene)</b>	11,3	1,78	2,31	1,4	0,107	0,057	–

Som synes i tabell 1 är skillnaden i emissioner efter katalysator mellan bensin och E85 mycket små men trots allt med en liten fördel för E85. Anmärkningsvärt är dock att HC emissionerna före katalysatorn är väsentligt lägre för E85. Orsaken till detta förhållande är enligt författarna till rapporten den lägre avgastemperaturen med E85 som bränsle. En lägre avgastemperatur medför att katalysatorn kommer igång senare, vilket medför att de lägre HC emissionerna för E85 före katalysatorn inte ger motsvarande fördel efter katalysatorn. Samma trend som för HC kan spåras även för NO<sub>x</sub> emissionerna. Det är troligt att Ford valt en placering av katalysatorn med hänsyn till den högsta temperaturen som uppträder med bensin vilket är till nackdel när E85 används. Det är tydligt att en bränsleflexibel bil innebär en kompromiss som försämrar emissionsprestandan för E85 i det här fallet. Det bör också tilläggas att emissionerna är mycket låga för alla emissionskomponenter (särskilt NO<sub>x</sub>) och för båda drivmedlen. Även emissionerna av acetaldehyd (CH<sub>3</sub>CHO) är mycket låga med E85.

#### 4.3.1.2 Studien av Kelly m fl. på E85 fordon, 1996

Ett omfattande arbete med att testa E85 fordon i trafik har utförts av Kelly m fl. (Kelly; 8). Hela 21 st bränsleflexibla E85 bilar av märket Chevrolet Lumina VFV (Variable-Fuel Vehicle) och lika många bensindrivna bilar har testats. Körsträckan var ej längre än 16 000 km som medel för en flotta på 16 bilar i Washington och 30 000 km för en flotta på 5 bilar i Chicago. Motsvarande körsträckor för de bensindrivna bilarna var 13 000 respektive 15 000 km. Reformulerad bensin, E50 och E85 var de testbränslen som valdes. Några av emissionsresultaten visas i tabell 2 nedan.

Tabell 2: Emissioner i FTP-75 körcykeln för E85 drivna Chevrolet Lumina VFV

	RFG		E50		E85	
	g/mile	std. avv	g/mile	std. avv	g/mile	std. avv
<b>CO emissioner</b>						
Lab 1	3,00	0,78	2,56	0,72	2,29	0,74
Lab 2	2,60	0,87	2,76	1,07	2,29	0,60
<b>OMNHCE emissioner</b>						
Lab 1	0,185	0,047	0,150	0,035	0,139	0,029
Lab 2	0,128	0,042	0,110	0,028	0,100	0,020
<b>NO<sub>x</sub> emissioner</b>						
Lab 1	0,173	0,052	0,139	0,026	0,138	0,030
Lab 2	0,268	0,056	0,187	0,050	0,183	0,056
<b>Hälsosfarliga ämnen (air toxics)</b>						
	g/mile	std. avv	g/mile	std. avv	g/mile	std. avv
Bensen	8,90	2,26	5,00	1,07	1,83	0,37
1,3 butadien	0,87	0,33	0,43	0,17	0,17	0,09
Formaldehyd	2,79	1,01	3,38	1,23	3,36	1,63
Acetaldehyd	0,84	0,31	11,10	3,85	17,21	7,06

Resultaten från Kellys rapport visar att CO emissionerna minskade marginellt med ökande andel etanol i bränslet liksom även NO<sub>x</sub> emissionerna. Emissionerna av OMNHCE (organic material non-methane hydrocarbon equivalent) minskade med ökande andel etanol i bränslet. Denna komplicerade beteckning för "kolväten" beräknas genom att ta hänsyn till den uppmätta mängden alkoholer och aldehyder i avgaserna.

De icke reglerade hälsosfarliga emissionerna (air toxics<sup>1</sup>) mättes också i studien. Som för väntat minskade andelen bensen och 1,3 butadien vid ökande andel etanol i bränslet medan acetaldehyd och formaldehyd ökade. Ingen sammanvägning av respektive ämnes hälsoeffekter har gjorts i rapporten men eftersom viktsfaktor för acetaldehyd är liten och formaldehyd ökar endast marginellt kan man förmoda att E85 är det bästa bränslet i detta avseende.

Ozonbildningspotentialen minskar kraftigt med ökande andel etanol vilket är rimligt med tanke på att de flesta avgaskomponenterna med etanol som bränsle inte är lika reaktiva som motsvarande avgaser från bensen.

#### 4.3.1.2 Utveckling av en ULEV E85 Ford Taurus SwRI, 1998

För att utreda möjligheterna att utveckla en dedikerad etanolmotor som tar tillvara etanolens höga oktantal och som samtidigt klarar de kaliforniska ULEV kraven har NREL (National Renewable Energy Laboratory) och DOE (Department of Energy)

<sup>1</sup> Observera att eten inte finns med bland air toxics emissionerna.

kontrakterat SwRI för ett utvecklingsarbete med ovan nämnda syfte (Dodge; 9). Basfordonet var en 1993 års modell av en Ford Taurus FFV speciellt utvecklad för M85. Man kan fråga sig varför en 1996 års variant av samma bil för E85 inte användes eftersom denna har betydligt lägre emissioner än den valda modellen. Det är dock tänkbart att 1996 års modell inte fanns tillgänglig när utvecklingsarbetet startade.

Utvecklingsarbetet omfattar många enskilda modifieringar och då en genomgång av dessa ligger utanför ramarna för denna studie redovisas endast några av resultaten. Den mest genomgripande modifieringen är en speciell startkatalysator som kopplats direkt till avgasgrenröret. Liknande lösningar finns i produktion i dag för några enstaka bensindrivna bilar. Att döma av dokumentationen torde dock ingen av de använda lösningarna enligt vår mening medföra någon väsentlig merkostnad i förhållande till moderna lågemissionsbilar för bensindrift. Tabell 3 visar några av resultaten i nuvarande utvecklingskedje (arbetet fortsätter).

**Tabell 3:** Emissioner i FTP-75 körcykeln för SWRI:s Ford Taurus FFV

	Emissioner utan cc-cat <sup>2</sup> (g/mile)			Emissioner med cc-cat (g/mile)		
	CO	NMOG*RAF	NO <sub>x</sub>	CO	NMOG*RAF	NO <sub>x</sub>
<b>Orginalbil</b>	1,702	0,102	0,077			
<b>Utvecklingsläge</b>	0,879	0,039	0,085	0,297	0,015	0,031
<b>ULEV gräns</b>	1,7	0,04	0,2			

Som synes i tabell 3 har alla emissionskomponenter, utom NO<sub>x</sub> som ökar marginellt, kunnat minskas när en "normal" katalysator används. Med en motornära katalysator minskar alla emissionskomponenter ytterligare och ligger på en nivå med en betryggande marginal till ULEV gränsvärdet.

#### 4.3.2 Tunga fordon

Etanol för tunga fordon har rönt ett stort intresse i Sverige. Tyvärr har inte intresset utomlands varit lika stort. Några enstaka tunga fordon för etanoldrift testas i USA. I Kalifornien övergick man en tid från metanoldrift av bussarna till etanol men har enligt uppgift konverterat tillbaka till metanol igen av miljöskäl. De flesta av dessa fordon har varit utrustade med en 2-takts dieselmotor för metanoldrift (Detroit Diesel V6). Denna motor har även funnits tillgänglig för etanoldrift men att döma av emissionsnivåerna är det nog snarast fråga om en etanolanpassning av metanolmotorn utan särskild emissionsoptimering.

Vid den genomgång av den internationella litteraturen fann vi få intressanta rapporter som dessutom behandlade någotsånär kommersiella fordon. Vi har således bara kunnat konstatera att det material som genererats i Sverige på tunga etanolfordon står sig väl i internationell klass. Tyvärr är en del av sanningen dock att intresset tills vidare varit lågt utomlands. Ett problem med etanoldrift i Sverige som bör uppmärksammas är att någon väsentlig utveckling i emissionshänseende inte utförts av fordonstillverkarna sedan början av 90-talet. Med nuvarande utveckling

<sup>2</sup> Beteckningen cc-kat som valts i tabellen står för "close-coupled catalyst".

för andra drivmedel (inkl. dieselojja) är det således en påtaglig risk att etanolmotorerna "hamnar på efterkälken".

Förutom emissionsaspekten är också den dyra tändförbättraren ett stort problem som fortfarande saknar en lösning. Kan inte en väsentligt billigare (och effektivare) tändförbättrare hittas bör ett förbränningskoncept som inte behöver tändförbättrare snarast utvecklas.

## 4.4 Metanol

### 4.4.1 Lätta fordon

#### 4.4.1.1 Utveckling av Ford Taurus FFV, Cowart m fl., 1995

Den tidigare beskrivna rapporten om Ford Taurus FFV bilen (Cowart; 7) innehåller även resultat med M85 som bränsle. Ett speciellt problem med metanol som bränsle är risken för (alltför) tidig tändning. Den speciella motorn hade stora problem med detta och en stor del av rapporten går igenom alla de modifieringar som var nödvändiga för att lösa dessa problem.

Emissionerna med M85 som bränsle har också mätts. Tyvärr är inte den bensin som används för E85 och M85 bilarna lika vilket innebär att en direkt jämförelse mellan de olika resultaten för bensin inte bör göras. Tabell 4 visar några av resultaten från studien på M85 varianten av bilen.

**Tabell 4:** Emissioner i FTP-75 körcykeln för metanolvarianten av Ford Taurus FFV

	Emissioner före katalysator			Emissioner efter katalysator			
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	HCHO
<b>M85</b>	10,5	0,72	1,44	0,55	0,054	0,066	0,0039
<b>Bensin (CAP2)</b>	11,25	1,87	2,0	0,61	0,044	0,058	–

Liksom för E85 bilen som beskrivits ovan är HC och NO<sub>x</sub> emissionerna väsentligt lägre före katalysator med M85 varianten. I detta fall är också CO emissionerna något lägre. Efter katalysatorn blir dock alla skillnader mindre på grund av den ofördelaktiga katalysatorplaceringen som ger en långsammare uppvärmning när alkoholer används. Alkoholerna ger ju som bekant kallare avgaser. Generellt sett är alla emissionerna (absolutnivån) av alla emissionskomponenter låga med båda drivmedlen. Likaså är emissionerna av formaldehyd låga.

#### 4.4.1.2 Studien av Kelly m fl. på M85 fordon, 1996

I en "systerrapport" till den ovan citerade undersökningen av Kelly på E85 bilar (Kelly; 8) har även M85 bilar undersökts. Liksom i den tidigare undersökningen har ett stort antal bilar testats. Resultaten är därför något oöverskådliga och berörs därför endast översiktligt här. Två typer av bilar har testats i studien, personbilar av märket Dodge Spirit och Ford Econoline Van, båda avsedda för M85 bränsle. Endast den förra kategorin kommenteras här. Totalt har 71 M85 Dodge Spirit och nästan lika många (69) konventionella bensindrivna bilar av samma märke testats. Tre olika testlaboratorier var involverade i testerna. Bilarna testades med refor-

mulerad bensin (RFG), M50 och M85. I tabell 5 och 6 visas resultaten för de reglerade emissionerna för FFV bilarna och för de bensindrivna bilarna.

**Tabell 5: Emissioner i FTP-75 körcykeln för M85 drivna FFV Dodge Spirit**

	RFG		M50		M85	
	g/mile	var.	g/mile	var.	g/mile	var.
<b>CO emissioner</b>						
<b>Lab 1</b>	1,404	0,235	1,392	0,286	1,359	0,221
<b>Lab 2</b>	1,719	0,242	1,666	0,259	1,950	0,193
<b>Lab 3</b>	1,845	0,220	1,762	0,172	1,678	0,239
<b>OMNMHCE emissioner</b>						
<b>Lab 1</b>	0,130	0,193	0,098	0,144	0,107	0,171
<b>Lab 2</b>	0,113	0,121	0,102	0,184	0,120	0,159
<b>Lab 3</b>	0,165	0,277	0,108	0,169	0,113	0,160
<b>NO<sub>x</sub> emissioner</b>						
<b>Lab 1</b>	0,144	0,541	0,192	0,574	0,193	0,626
<b>Lab 2</b>	0,133	0,052	0,147	0,446	0,143	0,482
<b>Lab 3</b>	0,165	0,056	0,248	0,533	0,226	0,503

**Tabell 6: Emissioner i FTP-75 körcykeln för bensindrivna Dodge Spirit**

	CO		OMNMHCE		NO <sub>x</sub>	
	g/mile	var.	g/mile	var.	g/mile	var.
<b>CO emissioner</b>						
<b>Lab 1</b>	1,174	0,279	0,076	0,119	0,244	0,251
<b>Lab 2</b>	1,698	0,322	0,080	0,152	0,306	0,342
<b>Lab 3</b>	1,492	0,233	0,069	0,097	0,402	0,210

Emissionerna av CO påverkades ej nämnvärt av andelen metanol i bränslet. De konventionella bensinbilarna hade marginellt lägre CO emissioner. Emissionerna av OMNMHCE (enl. tid. def.) påverkades ej heller markant av andelen metanol och liksom i fallet för CO var nivån för de bensindrivna bilarna något lägre. NO<sub>x</sub> nivån låg ca 50 % lägre för VFV bilarna i jämförelse med de bensindrivna bilarna. En svag trend till en ökning av NO<sub>x</sub> emissionerna med högre halter av metanol kan noteras. Överhuvudtaget vill vi peka på att man bör notera att variansen för testresultaten ofta är stor och det är därigenom svårt att dra alltför långtgående slutsatser av resultaten för denna testserie.

Emissionerna av hälsofarliga ämnen (air toxics) visas i tabell 7.

**Tabell 7: Emissioner av hälsofarliga ämnen i FTP-75 körcykeln för Dodge Spirit**

	RFG		M50		M85		Bensin	
	mg/mi	var.	mg/mi	var.	mg/mi	var.	mg/mi	var.
<b>Bensen</b>	4,50	0,11	2,96	0,15	1,39	0,23	2,15	0,29
<b>1,3 butadien</b>	0,83	0,15	0,37	0,13	0,10	0,00	0,30	0,19
<b>Formaldehyd</b>	1,48	0,37	6,23	0,32	12,31	0,36	1,09	0,31
<b>Acetaldehyd</b>	0,43	0,37	0,41	0,31	0,25	0,47	0,30	0,43

De hälsofarliga icke reglerade emissionerna (air toxics) visar en liknande bild för M85 som för E85 bortsett från aldehydemissionerna. Emissionerna av 1,3 butadien och bensen minskar som väntat med ökande andel metanol men det gör även acetaldehyd. Formaldehydemissionerna ökar dock kraftigt. En intressant notering som kan göras är att de hälsofarliga emissionerna överlag är lägre med den bensindrivna varianten av bilen än för FFV varianten av samma bil när den körs på bensin. Ingen analys har gjorts av författarna vad gäller den sammanvägda cance-reffekten av de enskilda komponenterna.

Ozonbildningspotentialen minskar kraftigt med ökande andel metanol vilket är rimligt med tanke på att de flesta avgaskomponenterna med metanol som bränsle inte är lika reaktiva som motsvarande avgaser från bensin.

#### 4.4.2 Tunga fordon

Aktiviteterna på metanoldrivna tunga fordon i USA har minskat kraftigt de senaste åren och få nya fordon har tagits i drift. Detta innebär att det material som publicerats de senaste åren i USA minskat kraftigt och det som publicerats gäller i huvudsak äldre fordon. Den motortyp som har haft den dominerande marknadsandelen av dessa fordon är en 9 liters 2-takts metanoldriven V6 dieselmotor av Detroit Diesels fabrikat. Motortypen är tämligen ointressant för svenska förhållanden och används inte längre i utförandet för dieselolja som motor i stadsbussar i USA. Motorn har ersatts av en modern 9 liters 4-takts motor. Tyvärr har denna motor inte konverterats till alkoholdrift. I Japan har aktiviteter med metanoldrivna tunga fordon varit större än i USA de senaste åren. Vi har därför, i stället för amerikanska rapporter, valt en Japansk rapport från 1996 som är intressant på många sätt.

Sato och hans medarbetare har undersökt effekterna av EGR, överladdning och en DeNO<sub>x</sub> katalysator med aluminiumoxid som aktiv substans. Motorn är en 4-cylindrig 3,3 liters motor avsedd för lastbilar. Motorn har försetts med tändstift men arbetar trots det enligt dieselpincip (direktinsprutning). Denna konverteringsmetod (tändstiftsassistans) är vanlig i Japan även om glödstift har testats i vissa sammanhang. Tändförbättrare används ytterst sällan i Japan.

Vid låglast har en kombination av förvärmning och EGR testats. Från en utgångsnivå på ca 6 g/kWh kan NO<sub>x</sub> emissionerna minskas till under 1 g/kWh för de bästa kombinationerna. En drastisk reduktion av HC emissionerna såväl som en ökning av den termiska verkningsgraden (från en låg basnivå) är andra effekter som noterats på låglast.



Överladdning av motorn ökade generellt NO<sub>x</sub> nivåerna på fullast men när EGR användes kunde den ökade luftmängden tillåta högre halter av EGR. Därigenom kunde samma eller något lägre NO<sub>x</sub> nivå nås med överladdning trots betydligt högre verkningsgrad.

En katalysator baserad på aluminiumoxid har tidigare visats kunna ge en NO<sub>x</sub> reduktion vid vissa lastfall. Katalysatortemperatur, omsättning av avgaser (space velocity) och HC nivån påverkar NO<sub>x</sub> omsättningen. Vid fullast har som regel ingen högre NO<sub>x</sub> omsättning uppnåtts i tidigare försök. Genom den kombination av åtgärder som beskrivits ovan har NO<sub>x</sub> omsättningen kunnat ökas även på fullast. En annan effekt av EGR är dessutom att basnivån för NO<sub>x</sub> emissionerna kunnat minskas. Med samma verkningsgrad som i basutförandet kan en NO<sub>x</sub> nivå på fullast av ca 2 g/kWh nås. Med en viss försämring av verkningsgraden kan man nå 1 g/kWh. Den slutgiltigt valda strategin ger en NO<sub>x</sub> nivå som funktion av belastningen varierar från nära noll vid låglast, ca 1 g/kWh vid halvlast till drygt 2 g/kWh vid fullast. Med alla åtgärder på motorn i kombination med DeNO<sub>x</sub> katalysatorn nås en NO<sub>x</sub> reduktion på mellan 69 och 93 % över belastningsområdet. I jämförelse med basmotorn för dieselolja ligger således NO<sub>x</sub> emissionerna väsentligt lägre. Minst är skillnaden vid fullast. Verkningsgraden är vid dellast (halvlast och lägre) i princip densamma som för dieselolja med bättre vid fullast.

Den refererade rapporten på metanol tillsammans med övriga rapporter av samma författare och av andra japanska forskare visar en stor potential för reduktioner av NO<sub>x</sub> emissionerna. Liksom i de försök som utförts på etanol med EGR av bl a LTU och MTC visar de japanska rapporterna att just EGR är en nyckel till vidare emissionsreduktioner för tunga alkoholmotorer. Det förtjänar att poängtera att motsvarande utveckling borde komma till stånd i Sverige för att de framtida alkoholdrivna tunga fordonen skall kunna nå den fulla emissionspotentialen.

## 4.5 Metan (fossilgas och biogas)

Metan används här som samlingsnamn för fossilgas (tidigare ofta kallad naturgas) och biogas. Metan är huvudkomponenten i båda dessa drivmedel. Bortsett från gasernas ursprung och effekten på emissionerna av växthusgaser finns det dock vissa skillnader i avgasernas sammansättning för de båda bränslena. Fossilgas innehåller förutom metan även en del lätta kolväten vilket kan ge högre emissioner av hälsofarliga ämnen som eten, propen och 1,3 butadien. Polyaromatiska föreningar förekommer i små mängder i avgaserna från metangasdrivna fordon och har sannolikt i huvudsak sitt ursprung från smörjoljan. Även om det finns vissa skillnader i avgassammansättningen mellan de olika gasbränslena och biogas är av störst intresse för Sverige har vi valt att behandla enbart rapporter om fossilgas. Det förhåller sig nämligen så att intresset internationellt är helt fokuserat på fossilgas och nästan inga vederhäftiga resultat finns överhuvudtaget för biogas.

### 4.5.1 Lätta fordon

#### 4.5.1.1 Studien av Kelly m fl. på fossilgasdrivna lätta fordon, 1996

De emissionsutvärderingar av fordon drivna med E85 och M85 som kommenterats ovan har också en motsvarighet för metangasdrivna fordon (Kelly; 20). Kelly m fl. har i denna studie testat 75 fordon varav 37 drevs med fossilgas och 38 med ben-

sin. Gasutrustningen för de fossilgasdrivna fordonen innefattade tankar och bränslesystem för gasen i komprimerad form (CNG). Fordonen var av modellen Dodge B250 van i "full-size" utförande för 15 passagerare. Motorn är en inte alltför bränslesnål 5.2 liters V8 i gas- respektive bensinutförande. Bilarnas körsträcka vid avgastesterna var i medeltal 16 000 km och något kortare vid testerna av icke reglerade emissioner. Några av resultaten från undersökningen visas i tabell 8 nedan.

**Tabell 8:** Reglerade emissioner i FTP-75 körcykeln för Dodge B250 van

	Lab1				Lab 2			
	Fossilgas		Bensin		Fossilgas		Bensin	
	g/mile	st. avv.	g/mile	st. avv.	g/mile	st. avv.	g/mile	st. avv.
CO	1,99	1,19	5,83	1,62	3,65	4,29	3,76	0,95
NMHC	0,05	0,02	0,29	0,05	0,06	0,04	0,26	0,03
NO <sub>x</sub>	0,54	0,32	0,78	0,16	0,48	0,45	0,70	0,17
CO <sub>2</sub>	564	15	667	76	501	23	617	21
<b>Bf (mile/gal)</b>	11,54	0,33	13,10	0,51	13,47	0,65	13,91	0,47

*ex.*

CO emissionerna är för mätningarna i det ena laboratoriet avsevärt lägre för fossilgas än för bensin medan nivån är ungefär lika för det andra laboratoriet. NMHC emissionerna är som väntat avsevärt lägre för fossilgas. NO<sub>x</sub> emissionerna är ca 15 % lägre för fossilgas. Även CO<sub>2</sub> emissionerna är lägre för fossilgas på grund av det lägre kolinnehållet i jämförelse med bensin. Bränsleförbrukningen uttryckt i bensinekvivalenter är dock sämre för fossilgasen.

Ett fåtal mätningar av icke reglerade emissioner har tills vidare utförts inom projektet. Mätningarna omfattar två bilar drivna med fossilgas och tre bensindrivna bilar. Resultaten för de icke reglerade emissionerna visas i tabell 9.

**Tabell 9:** Icke reglerade emissioner i FTP-75 körcykeln för Dodge B250 van

	Icke reglerade emissioner (mg/mile)						
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	HCHO	CH <sub>3</sub> CHO	Sum tox	OFP	SR
<b>Fossilgas</b>	0,70	0,10	6,28	0,39	7,47	294	2,04
<b>Bensin</b>	10,3	1,93	3,26	1,02	16,31	1 149	4,08

Emissionerna av bensen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) och 1,3 butadien (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>) är som väntat betydligt lägre för fossilgas än för bensin. Emissionerna av formaldehyd är dock dubbelt så höga för fossilgas medan emissionerna av acetaldehyd är 60 % lägre. En summering av de hälsofarliga emissionerna visar en stor fördel för fossilgas genom att nivån är mer än 50 % lägre än för bensin. Ingen sammanvägning av respektive ämnes hälsoeffekter har gjorts i den här rapporten heller men eftersom de ökade emissionerna av formaldehyd knappast kan uppväga att de övriga hälsofarliga

emissionerna är det ingen tvekan om att fossilgasen är det bättre bränslet i detta avseende.

Den sammanvägning av ozonbildningspotentialen (OFP) som gjorts visar tydligt att fossilgasen har stora fördelar ur denna synpunkt. Den specifika reaktiviteten (SR) för icke metankolväten (NMHC) i avgaserna från de fossilgasdrivna fordonen av rapportens författare hämtats från annan litteratur och uppgår till endast 50 % av motsvarande siffra för bensinavgaser. Detta är liktydigt med att även de tyngre kolväten som finns i avgaserna från fossilgasdrivna fordon är av ett annan sammansättning än från bensindrivna motorer.

#### 4.5.1.2 Utveckling av s k EZEV fordon

De kaliforniska ULEV bestämmelserna är de krav som i dag anses som de hårdaste emissionskrav för personbilar med förbränningsmotorer som tillämpas (dvs har hunnit träda i kraft). Det finns även ZEV (Zero Emission Vehicles) kraven vilka är innebär nollemissioner, dvs krav som i dag i princip bara kan uppfyllas av elbilar. Emedan den el som produceras i Kalifornien (och USA) ofta produceras i kraftverk med förbränning blir emissionerna från elbilar strängt taget inte noll om hänsyn tas till elproduktionen<sup>3</sup>. Emissionerna från dessa kraftverk är låga men knappast noll. De kaliforniska ZEV kraven har inte lämnat bilindustrin någon ro. Man har på många sätt försökt skjuta bestämmelserna i sank och har nästan lyckats genom att införandetidpunkten förskjutits. En diskussion har också startat om att införa krav för bilar med förbränningsmotorer som skall ge samma utsläpp som en elbil med hänsyn taget till produktionen av elektriciteten. Dessa krav kallas EZEV (Equivalent Zero Emission Vehicles). Exakta nivåer har ännu inte fastställts men en tiondel av ULEV kraven är arbetshypotesen. Emedan ULEV kraven motsvarar en nivå som är en faktor 5-10 ggr lägre än de krav som gällde för den första generation av katalysatorbilar som infördes i Sverige inses lätt att EZEV kraven innebär en formidabel ansträngning.

Den emissionskomponent i ULEV kraven som allmänt anses som svårast att klara av är kravet på NMOG (VOC utan metan). Genom att metan undantas från NMOG kommer metangasdrivna fordon att få ett enormt försteg före andra drivmedel<sup>4</sup>. HC emissionerna består nämligen till ca 90 – 95 % av metan. Ett annat problem är om emissionerna i hela bränslekedjan skall räknas med i utsläppen. Om detta är fallet kommer t ex emissionerna i tillverkning och hantering av bensinen att ge högre utsläpp än vad kraven tillåter. Ett helt slutet bränsledistributionssystem är därför en nödvändighet. De forsknings- och utvecklingsprojekt som hittills diskuterats har därför helt fokuserats på fossilgas.

BMW har sedan några år utvecklat fossilgasdrivna motorer med syftet att undersöka möjligheterna att klara EZEV kraven (Maier; 21). Även andra biltillverkare som t ex Honda har arbetat med liknande mål (Suga; 22). BMW har sedan hösten 1995 introducerat fossilgasdrivna bilar på kommersiell bas. Modellerna 518g och 316g är två modeller som finns på den europeiska marknaden i dag. Emissionsni-

<sup>3</sup> Även om emissionerna vore noll vid elproduktionen tillkommer i ett livscykelperspektiv också tillverkning, underhåll, skrotning mm.

<sup>4</sup> Undantaget för metan beror på att metan inte är skadligt för hälsan men man kan ju undra varför inte andra ämnen i avgaserna som också är ofarliga (typ många paraffiniska ämnen) inte kan undantas på samma sätt. Kraven favoriserar helt klart metandrivna fordon i dagens läge.

vån för dessa bilar ligger under ULEV kraven (huruvida de även är certifierade framgår ej av dokumentationen). Med utgångspunkt från dessa modeller som är av typen bi-fuel, dvs de kan köras på både bensin och gas, har BMW sedan arbetat vidare för att ytterligare minska emissionerna. Några av de utvecklingsinsatser som gjorts nämns i korthet här. Den första åtgärden man vidtagit är att ta bort möjligheten att köra på bensin. Därigenom har man kunnat höja kompressionsförhållandet till 13:1. Denna åtgärd sänkte avgastemperaturen till 850 °C vilket i sin tur möjliggjorde en motornära placering av katalysatorn. Med de råemissioner (emissioner efter motor men före katalysator) som motorn har krävs en omsättning på 98 – 99 % för alla emissionskomponenter. Detta har åstadkommit med bl a följande åtgärder:

- En katalysator med speciell beläggning för fossilgas
- Större katalysatorvolym än normalt för bensindrift
- Isolering av avgasrör
- Motornära placering av katalysatorn
- Elektriskt förvärmad katalysator
- Inblåsning av sekundärluft (i avgaserna vid start)

Med de ovan beskrivna förbättringarna av förbränningssystemet för motorn och åtgärderna för att öka konverteringsgraden i efterbehandlingen tror man sig klara ELEV kraven. Marginalen till kraven är ca 50 % vilket enligt vår mening nog är i minsta laget med tanke på försämringen. BMW anser sig dock ha ytterligare optimeringsmöjligheter och har noterat nödvändigheten av långtidsstabilitet och övervakning av systemet.

Som summering över möjligheterna att nå lägre emissioner med fossilgasdrivna fordon har vi funnit att potentialen ännu inte utnyttjas fullt ut. Vi vill dock erinra om de problem med hållbarheten som noterats av en del forskare som undersökt emissionerna från fordon i trafik. Det tillhör kanhända de fundamentala egenskaperna för gas att regleringen är svårare än för flytande bränslen.

## **4.5.2 Tunga fordon**

### **4.5.1.1 Studien av Clark m fl. på fossilgasdrivna tunga fordon, 1998**

En rapport om emissionerna från tunga fossilgas- och dieseldrivna fordon har nyligen publicerats av Clark m fl. (Clark; 28). Rapporten utgör den sista i en lång serie av undersökningar. Både stadsbussar och lastbilar har undersökts på en mobil chassidynamometer för tunga fordon. Fordonen finns både i varianter för komprimerad (CNG) och flytande gas (LNG). Den körcykel som använts är den s k CBD (Central Business District) körcykeln. Denna körcykel är av transient karaktär och innehåller ett antal accelerationer och retardationer.

Resultaten i Clarks rapport är mycket omfattande och svåröverskådliga varför endast några generella kommentarer görs här. Tidigare tester av Clark m fl. har visat att partikelemissionerna är alltid väsentligt lägre för de fossilgasdrivna fordonen än för de dieseldrivna fordonen. Detta gäller även för de fordon där bränsle-luft regleringen inte varit optimal. Emissionerna av CO, HC och NO<sub>x</sub> har tidigare visat en mycket stor variation från fordon till fordon för de fossilgasdrivna fordonen. Detta

har gällt för fordon som inte haft någon återkoppling av styrningen. Senare versioner av Cummins fossilgasdrivna L-10 motor har därför utrustats med en återkopplad styrning med en syresensor. Efterföljaren till den diesellojdedrivna L-10 motorn, den s k M-11 motorn (som dessutom har en 11 liters cylindervolym i st för 10, vilket namnet antyder) har likaså en elektronisk styrning.

Några av resultaten för stadsbussarna visas i tabell 10.

**Tabell 10: Emissioner enligt CBD cykeln för stadsbussar**

	Emissioner för stadsbussar i New York (g/mile)						
	CO	THC	NMHC	NO <sub>x</sub>	PM	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
<b>Fossilgas (alla)</b>	2,54	18,91	0,86	23,47	0,030	2454	16,79
↑ <b>Low NO<sub>x</sub></b>	1,80	20,84	0,91	17,40	0,035	2484	18,11
↑ <b>High NO<sub>x</sub></b>	4,27	14,43	0,67	37,62	0,020	2385	12,16
<b>Diesel</b>	4,22	1,89	6,28	28,66	0,69	2429	n.m.

Som synes i tabell 10 ovan är variationerna för emissionerna från fossilgasfordonen fortfarande stora trots nämnda modifieringar av styrsystemet. En gruppering i bussar med låg respektive hög NO<sub>x</sub> har därför också gjorts. Generellt är CO emissionerna av samma storleksordning eller lägre för fossilgasbussarna. Emissionerna av totalolväten (THC) är väsentligt högre för fossilgasbussarna på grund av de höga emissionerna av oförbränd fossilgas medan emissionerna av icke metan är ca 50 % lägre än THC för dieselbussarna. Medelnivån för NO<sub>x</sub> är 18 % lägre för fossilgasbussarna men om endast de bussar som har lägst NO<sub>x</sub> emissioner tas med ökar differensen till de diesellojdedrivna bussarna väsentligt. Partikelemissionerna är den emissionskomponent där fördelen för fossilgas är mest uppenbar. CO<sub>2</sub> emissionerna ligger på ungefär samma nivå medan bränsleförbrukningen (i energitermer) är 28 % högre.

De slutsatser som vi drar av emissionsresultaten ovan är att gasdrivna fordon generellt (se även lätta fordon ovan) är känsliga för variationer i bränsle-luft regleringen. Dessa variationer kan ge upphov till mycket stora skillnader i emissioner mellan olika fordonsindivider. Variationer i gaskvalitet, yttre förhållanden (temperatur, fukt lufttryck mm) är ytterligare parametrar som kan påverka resultaten i negativ riktning. Det är därför inte troligt att de emissionsnivåer som härrör från prov under ytterst kontrollerade betingelser (t ex certifiering) kan nås i praktiken. Risken finns även att åldringen av motorn och de komponenter som påverkar emissionerna också påverkar emissionerna i negativ riktning. De tester som utförts i Sverige på gasdrivna tunga fordon verkar hittills bekräfta den bild som fås från de amerikanska rapporterna. Dessa faktorer har inte, bl a på grund av att material saknades eller inte togs fram, beaktats av Alternativbränsleutredningen i tillräcklig omfattning.

#### 4.5.1.2 Förbränningssystem för tunga fossilgasdrivna motorer, Corbo, 1998

I dag är det dominerande förbränningssystemet för tunga gasdrivna fordon det s k lean-burn systemet (mager förbränning). En annan möjlighet är att använda en lösning med stökiometrisk förbränning och en konventionell trevägskatalysator

(TWC). Detta system finns också kommersiellt tillgängligt och bl a Mercedes, DAF och Iveco har sådana motorer i produktion. I en undersökning av Corbo m fl har de två olika förbränningssystemen jämförts med varandra (Corbo; 29). En 9,5 liters motor med måttlig överladdning har använts vid studien. Emissionsresultaten framgår av tabell 11.

**Tabell 11:** Emissioner för två olika förbränningssystem (i g/kWh)

	CO	HC	NMHC	NO <sub>x</sub>	Part
<b>Euro II – krav</b>	4,0	1,1	---	7	0,15
<b>Euro III – krav</b>	2,1	0,66	---	5	0,1
<b>Stökiomet. TWC</b>	0,3	0,3	n.d.	0,1	<0,01
<b>Lean-burn</b>	3,3	5,1	0,3	4,7	<0,02

Det framgår klart av tabellen att emissionerna är mycket lägre för TWC systemet än för lean-burn systemet. Man kan dock notera att de emissionsresultat som redovisas för lean-burn systemet är sämre än de bästa publicerade resultaten. Vidare är ECE R49 körcykeln med sina stationära belastningar och ingen kallstart den mest gynnsamma körcykeln man kan tänka sig för en motor med TWC.

Även om en motor med TWC har de gynnsammaste förutsättningarna för låga emissioner finns det dock andra skäl varför lean-burn väljs i stället. Ett sådant skäl är de höga termiska belastningar som motor och efterbehandlingssystem för avgaserna utsätts för med TWC.

#### 4.5.1.3 Utveckling av en lågemissionsmotor vid SwRI, Kubesh, 1998

SwRI har under ett antal år utfört ett antal projekt med syfte att minska emissionerna från tunga fossilgasdrivna motorer. Den sista rapporten i den långa serien av rapporter publicerades i början av året (Kubesh; 30). En 8,1 liters fossilgasdriven motor från den amerikanska motortillverkaren John Deere har använts som bas. Även om det varit fråga om ett utvecklingsprojekt är de komponenter, styrstrategier mm som använts tämligen produktionsnära.

Några av resultaten från rapporter visas i tabell 12 (obs, alla resultat i g/kWh).

**Tabell 12:** Emissioner från SwRIs fossilgasmotor (i g/kWh)

	CO	THC	NMHC	NO <sub>x</sub>	Part	HCHO	Bf
<b>ULEV gränsvärden</b>	7,2	NO <sub>x</sub> + NMHC: 2,5		0,05	0,025	---	
<b>Medel 4 varmstarter</b>	2,347	6,471	0,662	1,340	0,028	n. m.	245,0
<b>Totalt (kall + varm)</b>	2,370	6,610	0,563	1,353	0,034	0,151	251,1
<b>Låg NO<sub>x</sub> cykel</b>	2,489	7,493	0,605	1,028	0,031	n. m.	254,8

I tabell 12 visas ett antal tester där "total" står för en viktad summering av den kalla och den varma delen av körcykeln. Motorn har i detta utförande ingen katalysator. De tidigare omnämnda problemen med styrning av gasmotorer kan noteras också

i detta fall genom att motorn ligger nära magergränsen och nivåerna varierar från test till test. Resultaten skall därför närmast ses som en potential för tekniken ifråga. Med utgångspunkt från resultaten kan man förmoda att man med en rimlig marginal till gränsvärdet skulle kunna klara ett NO<sub>x</sub> gränsvärde mellan 1,5 och 2 g/kWh. Man skall dock notera att denna körcykel är av transient karaktär och att svårigheterna att uppnå en NO<sub>x</sub> nivå på 1,5 g/kWh i en stationär körcykel som ECE R49 är mycket mindre.

I jämförelse med ULEV gränsvärdena för motorer till tunga fordon har denna motor inga problem att klara gränserna för de enskilda komponenterna utom för formaldehyd. Med en oxiderande katalysator ter sig inte detta heller omöjligt. Emissionerna av CO, THC, NMHC och partiklar skulle också minska väsentligt med katalysator.

#### 4.5.1.4 Katalysatoråldring

Ett speciellt problem med katalysatorer för fossilgasdrivna lean-burn motorer som noterades för några år sedan var att katalysatorerna hade mycket kort livslängd. Detta gällde framförallt förmågan att oxidera metan. Genom att metan är en potent växthusgas och HC emissionerna för ottomotorer generellt är en tiopotens högre än för dieselmotorer är en effektiv katalysator önskvärd för motorer drivna med metangas.

I en rapport av Lampert m fl har åldringsfenomenet förklarats (Lampert; 31). Rapporten visar att det är de spår av svavel som finns i gasen som är orsaken till försämringen. Detta gäller trots att fossilgas normalt anses som svavelfri. Små mängder av svavel kan också härröra från tillsatser till motorns smörjolja.

Så vitt vi vet arbetar katalysator- och motorindustrin f n med att försöka lösa problemet med deaktivering av katalysatorerna men trots vissa framsteg har vi ännu inte kunnat finna några bevis för att problemet har lösts på ett tillfredsställande sätt.

## 4.6 LPG

LPG, eller motorgas, är ett drivmedel som för närvarande inte röner något stort intresse i Sverige. En orsak är att den infrastruktur som på 80-talet byggdes upp av oljedistributörerna nu mer eller mindre har skrotats på grund av det vikande intresset från marknaden. Beskattningen av LPG sägs vara orsaken till att marknaden försvann. Trots det ringa intresset för LPG har vi tagit med ett antal referenser i referenslistan men vi avstår från en mer noggrann analys av resultaten. Generellt kan sägas att LPG har liknande egenskaper som fossilgas och biogas när det gäller de reglerade emissionerna. De hälsofarliga emissionerna för LPG är dock något högre än för de båda övriga nämnda bränslena.

Som allmän kommentar kan påpekas att LPG, med helt separat distributionssystem, måste ses som ett begränsat nischdrivmedel, vars tillgångspotential inte kan vara mer än några få procent av drivmedelsförbrukningen särskilt inte när dess sammansättning måste begränsas till vara nästan enbart propan som i Nordeuropa och Nordamerika. ABU anger LPG som stor potential, vilket inte är riktigt.

## 4.7 RME

Jämförelser mellan RME och dieselolja blir i allmänhet något svåra att bedöma eftersom internationella jämförelser ofta utgår från att referensen är den lokala kvaliteten på dieseloljan. Det föreligger exempelvis tämligen stora skillnader mellan europeisk och amerikansk dieselolja. Skillnaderna mellan dessa båda kvaliteter och svensk Miljöklass 1 dieselolja (som har ca 90 % av marknaden) är ännu större. Speciellt stora blir skillnaderna när det gäller inverkan på emissionskomponenter som de icke reglerade komponenterna av störst betydelse för hälsoeffekterna. MTC har tidigare undersökt inverkan av olika dieselkvaliteter, RME och blandningar av RME och dieselolja på en buss. Enstaka tester har också utförts på några personbilar men ännu har inget rapporterats från dessa försök (bortsett från nyhetsmedias bevakning). Eftersom svensk Mk 1 dieselolja har så stor marknadsandel vore en jämförelse mellan RME och denna av störst intresse. Den föreliggande studien hade dock som syfte att undersöka internationellt publicerat material och därför kommenteras endast några av de mest intressanta av dessa rapporter. En annan väsentlig skillnad att notera mellan RME och dieselolja är att HC emissionerna för det förra drivmedlet som regel blir lägre eftersom temperaturen i provtagningsledning och förfilter (före gasanalysatorn) är lägre än destillationsintervallet för RME. Definitionen av HC är således tvivelaktig i detta fall. Ett annat faktum värt att notera är att många av de oförbrända flyktiga organiska ämnena (VOC) i avgaserna från RME innehåller syre och skall därför strängt taget inte klassificeras som HC. Inga hänsyn till dessa förhållanden har dock tagits (varken av rapporternas författare eller av oss) i analysen av de mätdata som vi här refererar och kommenterar.

En grundläggande undersökning av inverkan på såväl reglerade som icke reglerade emissionskomponenter har utförts av Universitet i Kaiserslautern (May; 38). Två personbilar har testats; en VW Vento TD med indirekt insprutning, dvs. förkammare (virvelkammare) och en Audi 80 TDI med direktinsprutning. Två större direktinsprutade motorer testades också. En av dessa var en 9,5 liters Mercedes V6 och den andra en 3 liters traktormotor från MWM. Samtliga testobjekt testades med och utan oxidationskatalysator. Två olika kvaliteter av RME samt en för europeiska förhållanden lågsvavlig (380 ppm) dieselolja användes vid testerna. De körcykler som användes för de lätta fordonen var nuvarande europeiska körcykel (EDC) och den amerikanska FTP-75 körcykeln. De tunga motorerna testades enbart enligt ECE R49 körcykeln.

I en senare studie av May från 1998 (May; 39) har en 1,9 liters personbilmotor med förkammare (IDI) undersökts i en motorprovbänk. Motorn är av samma slag som i den tidigare studien och anses av författarna vara en modern (?) motor av detta slag. Syftet har återigen varit att undersöka inverkan på såväl reglerade som vissa icke reglerade emissioner. En undersökning av förbränningsförloppet har även utförts vilket kan förklara en del av de tidigare oförklarliga skillnader som noterats i de olika undersökningar som tidigare gjorts. Tre olika kvaliteter av RME har testats.

En nyligen publicerad studie av Bagley m fl är intressant eftersom den förutom de reglerade emissionerna och ett flertal icke reglerade emissioner även behandlar partikelstorleksfördelning (Bagley; 40). En 1983 års Caterpillar motor avsedd för



gruvdrift har undersökts i studien. De studerade drivmedlen är amerikansk dieselloolja (D2) och omförestrad sojaolja ("biodiesel").

#### 4.7.1 Lätta fordon

##### 4.7.1.1 Studien av May m fl. 1997

Tyvärr redovisas i studien av May m fl från 1997 (May; 38) resultaten för de lätta fordonen i EDC körcykeln endast som ett summavärde för HC+NO<sub>x</sub>, varför vi redovisar inverkan på dessa komponenter enbart i FTP-75 körcykeln.

CO emissionerna ligger för båda bränslena och bilarna på ungefär samma (låga) nivå. HC emissionerna är marginellt lägre för RME. Anmärkningsvärt är att HC emissionerna i FTP-75 körcykeln är dubbelt så höga för bilen med den direktinsprutade motorn. Oxidationskatalysatorerna har en reduktionseffekt på CO och HC som för VW Venton varierar mellan 1 och 40 % beroende på körcykel. Motsvarande siffror för Audi 80 TDI:n är mellan 5 och 32 %. Det föreligger ingen skillnad mellan bränslena i detta avseende. Man kan med de låga konverteringsgraderna undra över om katalysatorn sitter monterad endast för "syns" skull<sup>5</sup>. Den låga konverteringsgraden för CO och HC beror enligt vår mening på den låga avgastemperaturen. Dieselmotorer har normalt en lägre avgastemperatur än bensinmotorer och risken för sulfatbildning (p g a den höga svavelhalten i dieselloljan) i katalysatorn medför att en formulering av ädelmetaller i den valts som skall minimera denna bildning vilket tyvärr också ger en lägre omsättning av CO och HC. En ytterligare åtgärd för att förhindra sulfatbildning är att katalysatorn placerats långt från motorn. Resultatet är den låga aktiviteten men det ger även en insikt om att en avsevärd förbättringspotential föreligger ifall svavelhalten i europeisk dieselloolja kunde sänkas till under 10 ppm som i svensk dieselloolja. En sådan åtgärd skulle även förbättra resultaten för RME.

NO<sub>x</sub> emissionerna i FTP-75 körcykeln är marginellt högre (ca 5 %) med RME för VW Venton. Absolutnivån är för de olika kombinationerna något under eller något över gränsvärdet i denna körcykel medan HC+NO<sub>x</sub> emissionerna i EDC körcykeln ligger på endast 60 % av gränsvärdet. NO<sub>x</sub> emissionerna för Audi TDI:n *minskar* med ca 5 – 10 % för RME i jämförelse med dieselloolja i FTP-75 körcykeln. Nivåerna ligger på mellan 65 och 75 % av gränsvärdet. Motsvarande nivå är 35 – 40 % av gränsvärdet för HC+NO<sub>x</sub> i EDC körcykeln. Det framgår inte klart av studien ifall gränsvärdet i detta fall avser den högre nivån (i jämförelse med IDI motorer) som gäller för direktinsprutade motorer men man kan på goda grunder förmoda att så är fallet.

PAH emissionerna har mätts endast i partikelfasen eftersom författarna konstaterat att denna är helt dominerande i jämförelse med PAH i den semivolatila fasen för dieselmotorer (diesellolje- och RME-drivna). Resultaten för PAH emissionerna ligger i EDC körcykeln på en något lägre nivå med katalysator (80 jfr. med 120 µg/km) än en nyligen publicerad undersökning från MTC (MTC 9501) som utfördes på en snarlik bil (VW Golf TD). Skillnader mellan körcyklerna (MTC valde den modifierade EU körcykeln, NEDC) samt de ovan nämnda skillnaderna i provtagning

<sup>5</sup> I dagens miljömedvetna atmosfär är det sannolikt omöjligt att sälja en bil utan efterbehandling även om man av tekniska skäl, som rapporten även visar, utan problem kan klara avgasbestämningarna. Det krävs helt enkelt en "burk" i avgassystemet för att döva opinionen.

förklarar sannolikt differenserna. RME ger väsentligt lägre PAH emissioner än dieselolja för VW Venton. Med katalysator minskar PAH emissionerna från 80 till 20  $\mu\text{g}/\text{km}$  vilket måste anses som en betydande minskning. Katalysatorn har en viss effekt på PAH emissionerna trots den ovan nämnda låga konverteringen av HC. Vid användande av katalysator minskar PAH med dieselolja från 120 till 80  $\mu\text{g}/\text{km}$  och med RME från 35 till 20  $\mu\text{g}/\text{km}$ . PAH emissionerna i FTP-75 körcykeln är generellt högre för alla kombinationer (bränsle och katalysator) men en liknande trend som ovan vad gäller inverkan av katalysator och bränsle är tydlig. PAH emissionerna med dieselolja är marginellt lägre för Audin i jämförelse med VW Venton i EDC körcykeln (100 resp. 65  $\mu\text{g}/\text{km}$  utan och med katalysator) och betydligt lägre i FTP-75 körcykeln (nästan en halvering). Detta är anmärkningsvärt eftersom HC emissionerna för Audin är betydligt högre. PAH emissionerna med RME är dock bara marginellt lägre än för dieselolja utan katalysator (80 jfr. med 100 och  $\mu\text{g}/\text{km}$ ) och något högre med katalysator i båda fallen (75 jfr. med 65  $\mu\text{g}/\text{km}$ ). I FTP-75 körcykeln nås i stället en marginell förbättring för RME även med katalysator.

Emissionerna av aldehyder och ketoner är för VW Venton generellt något lägre för RME än för dieselolja för alla kombinationer. Förhållandet för Audin är det omvända. Nivå är 2 – 3 ggr högre för Audin vilket är ungefär samma förhållande som för HC emissionerna. Inverkan av katalysator är marginell för VW Venton medan den varierar mellan 30 – 45 % för Audin.

#### 4.7.1.2 Studien av May m fl. 1998

Eftersom den personbilmotor som undersökts i denna studie testats i motorprovbank enligt en stationär testcykel bestående av 5 olika mätpunkter är de absoluta emissionsnivåerna inte jämförbara med övriga studier där testerna utförts enligt körcyklerna för personbilar. Emissionsnivåerna anges i g/kWh. Eftersom resultaten inte är direkt jämförbara med andra resultat kommenteras endast några få av resultaten här. Artikeln innehåller dock en del förklaringar och intressanta fenomen som förtjänar en viss analys.

Studien av insprutningsförlopp (tryck) visar att insprutningen för den RME kvalitet som har den högsta viskositeten ligger ca 3 ° vevinkel tidigare än för dieselolja. Det inre läckaget i insprutningspumpen minskar vid högre viskositet. Likaså påverkas den hydromekaniska insprutningsförställningen. Det är uppenbart att en tidigare insprutning ökar  $\text{NO}_x$  emissionerna. En reflektion som vi gör är att moderna motorer med en återkopplad signal från insprutaren kommer att justera insprutningen till det önskade värdet. Detta är sannolikt förklaringen till att tester med modernare motorer (MTC, VTT m fl.) givit ungefär samma  $\text{NO}_x$  nivå för RME som för dieselolja (Mk 1). May och hans medarbetare har dock konstaterat att alla kvaliteter av RME inte uppvisar samma fenomen.

Oxidationskatalysatorn har vid de stationära testerna mycket högre konvertering av CO, HC och övriga VOC komponenter än i körcyklerna för personbilar som beskrivits ovan. Orsaken är den högre avgastemperaturen.

Emissionsnivån för  $\text{NO}_x$  ligger på en nivå mellan 2,5 och 3,5 g/kWh vilket måste anses som lågt i förhållande till en tung motor. En av RME kvaliteterna ger väsent-

ligt högre NO<sub>x</sub> emissioner än de övriga två samt dieselolja. Ökningen är i medeltal 20 % (!).

PAH emissionerna är även i detta fall betydligt lägre för RME (alla tre kvaliteter) i jämförelse med dieselolja.

#### **4.7.2 Tunga fordon**

##### **4.7.2.1 Studien av May m fl. 1997**

Till skillnad från de lätta fordon som redovisades ovan från studien av May m fl. visar samma studie att inverkan av oxiderande katalysator i ECE R49 körcykeln är stor för den tunga motorn från Mercedes.

CO emissionerna minskar (från en mycket låg nivå) med ca 70 % för båda drivmedlen. RME har dock marginellt högre CO emissioner. Konverteringsgraden för HC är ca 80 % för dieselolja och 60 % för RME. I och med att HC nivån är 50 % lägre för RME utan katalysator blir dock HC nivån lägre även med katalysator. NO<sub>x</sub> nivån är ca 15 % högre med RME.

Partikelnivån utan katalysator är betydligt högre med RME än med dieselolja. Med katalysator är förhållandet det omvända. När katalysator används för dieselolja ökar partikelnivån med 30 % jämfört med förhållandet utan katalysator. Förklaringen är sulfatbildningen i katalysatorn. Partikelemissionerna från RME består till stor del av kondenserad RME och därför har katalysatorn stor effekt på partikelemissionerna i detta fall. Konverteringsgraden är över 80 % vilket medför att partikelemissionerna i detta fall ligger på en nivå av endast 30 % av nivån för dieselolja utan katalysator.

PAH emissionerna med dieselolja minskar för denna motor med hela 86 % när katalysator används. Med RME utan katalysator ligger nivån på endast en tredjedel av nivån för dieselolja utan katalysator. Katalysatorn har dock inte lika hög konvertering för RME vilket medför att båda bränslena med katalysator ligger på ungefär samma nivå.

Emissionerna av aldehyder och ketoner är något högre för RME än för dieselolja. Katalysatorn minskar emissioner med 50 – 60 %, där den högre siffran gäller för RME.

#### **4.7.3 Andra typer av fordon**

##### **4.7.3.1 Studien av May m fl. 1997**

CO emissionerna för MWM motorn är marginellt lägre för RME i jämförelse med dieselolja. Katalysatorn har en stor inverkan även här trots att den är mindre än i det förra fallet. HC emissionerna är lägre med RME både med och utan katalysator.

NO<sub>x</sub> emissionerna är ca 30 % högre än Euro I gränsvärdet för denna motor vilket kan härledas till att detta gränsvärde inte gäller för denna typ av motorer. RME ökar NO<sub>x</sub> emissionsnivån med några procent.

Partikelemissionsnivån ökar marginellt vid användning av katalysator för dieselolja. Med RME ligger partikelemissionsnivån utan katalysator mer än dubbelt så

högt som för dieselolja utan katalysator. När katalysator används för RME blir dock partikelemissionerna lägre än för något annat alternativ.

PAH emissionerna är generellt högre för denna motor än för den lastbilsmotor som beskrevs ovan. Inverkan av katalysatorn för dieselolja är liknande den för den större motorn med en minskning av 83 % i detta fall. Skillnaden mellan RME och dieselolja utan katalysator är större i detta fall än för Mercedes motorn och med katalysator ligger RME på ca halva nivån jämfört med dieselolja med katalysator.

Emissionerna av aldehyder och ketoner ligger på ungefär samma nivå för de båda drivmedlen utan katalysator. Katalysatorn har dock en lägre konverteringsgrad än i fallet med Mercedesmotorn – konverteringen är 33 respektive 34 % för de båda drivmedlen.

#### 4.7.3.2 Studien av Bagley m fl. 1998

Liksom i de flesta fall i de tidigare citerade studierna minskade partikelemissionsnivåerna vid användande av oxidationskatalysator för båda drivmedlen. RME gav de lägsta partikelemissionerna i båda fallen.

Användande av katalysator minskade antalet av de minsta partiklarna (nuclei mode) för båda drivmedlen. Volymkoncentrationen av partiklar minskade generellt när katalysator användes med 40 – 45 %. Biodiesel minskade volymkoncentrationen av partiklar inom intervallet 0,01 – 0,2  $\mu\text{m}$  med 50 – 70 % både med och utan katalysator. En stor andel av dessa partiklar deponeras i luftvägarna i lungorna.

Emissionerna av PAH, nitro-PAH samt den biologiska aktiviteten minskade generellt med användande av katalysator (för båda drivmedlen) och för biodiesel i jämförelse med dieseloljan (med och utan katalysator).

## 4.8 DME

### 4.8.1 DME:s egenskaper mm

DME har på senare tid diskuterats som ett nytt alternativt drivmedel för dieseldrivna (främst tunga) fordon. DME är i normalt tillstånd gasformigt men kan förvätskas vid ett måttligt övertryck (<10 bar). Dess fysikaliska egenskaper påminner i detta sammanhang mycket om LPG. Problemen vid hantering och distribution (i jämförelse med flytande drivmedel) ter sig därför snarlika för dessa båda bränslen. DME används i dag bl a som drivgas i sprayflaskor och har därför undersökts noggrant vad gäller de akuta hälsoeffekterna. Ämnet är inte hälsofarligt vid denna typ av användning. Ett problem som dock uppmärksammats på senare tid är att DME kan vara mycket aggressivt mot polymera material. DME har varit känt som ett möjligt motorbränsle under lång tid men en mer komplicerad framställning än metanol i kombination med en mer komplicerad hantering och distribution har medfört att intresset fram till för några år sedan varit tämligen svalt. En ny tillverkningsprocess utarbetad av det danska företaget Haldor Topsoe har dock radikalt ändrat förutsättningarna när det gäller framställningen<sup>6</sup>. DME framfördes som ett intressant alternativ vid SAE Kongressen i Detroit i februari 1995 i ett flertal föredrag.

<sup>6</sup> Processen innebär direktsyntes av DME i stället för dehydratisering av separat producerad metanol.

En egenskap för DME i förbränningsmotorer är att det är ett genuint dieselmotorbränsle. Med detta avses att det har högt cetantal (>60). DME kan därför (till skillnad från t ex alkoholer) användas utan form någon tändhjälp i dagens dieselmotorer. Den uppenbara fördelen som följd av dessa egenskaper är att dieselmotorns höga verkningsgrad kan behållas. Av de övriga alternativa drivmedlen som avhandlas i denna rapport är det endast RME som har liknande egenskaper. En annan fördel med DME är den enkla sammansättningen, vilket medför att emissionerna av oförbränt bränsle (VOC) till största delen består av DME och att de övriga ämnen som bildats vid förbränningen också får en enkel sammansättning. Detta innebär att emissionerna av de hälsofarliga komponenterna i avgaserna hamnar på en mycket låg nivå. De fåtal tester som hittills utförts verkar bekräfta denna tes. Det innehåll av syre som DME har i kombination med avsaknaden av kol-kol bindningar medför dessutom att DME inte sotar vid diffusionsförbränning<sup>7</sup>. Därigenom blir partikelemissionerna mycket låga och de partiklar som trots allt finns i avgaserna har sannolikt sitt ursprung från smörjoljan. DME har därför samma fördelar som alkoholer i detta sammanhang. Som jämförelse kan nämnas att orsaken till att bränslen som t ex LPG och metan inte bildar sot i nämnvärd omfattning vid förbränning i ottomotorer beror främst på att bränsle-luft prepareringen sker före motorn, vilket ger en blandning ner till molekylär nivå. Vid diffusionsförbränning bildar även dessa bränslen sot. En annan fördel med DME är att NO<sub>x</sub> emissionerna blir väsentligt lägre än för dieselolja. En summering av fördelarna jämfört med dieselolja är således att de två största problemen med detta drivmedel – NO<sub>x</sub> och partikelemissionerna – väsentligt kan minskas.

#### 4.8.2 Emissionsresultat

Ett problem när det gäller att bedöma emissionsnivån för DME är att det ännu inte finns några kommersiellt tillgängliga fordon. Bedömningarna av vad som skulle vara en rimlig nivå för kommersiellt tillgängliga fordon med samma teknisk nivå som för övriga drivmedel måste därför baseras på den tillgängliga litteraturen samt egna överväganden.

Sedan 1995 har drygt ett tiotal internationella rapporter om DME publicerats. Redan 1995 ansågs DME kunna nå en emissionsnivå motsvarande de kaliforniska ULEV kraven (Fleisch; 43 och Kapus; 44). En nyligen utkommen rapport sammanfattar många av de tidigare resultaten och ger även en grundlig genomgång av en del av de problem med insprutningsutrustningen som är att förvänta på grund av DME:s fysikaliska egenskaper (Ofner; 45).

I en tabell från den sistnämnda rapporten jämförs DME med ett antal övriga alternativa drivmedel, samt dagens och kommande avgaskrav. Resultaten enligt ECE R49 har reproducerats i Tabell 12 nedan:

<sup>7</sup> Diffusionsförbränning innebär enkelt uttryckt den typ av förbränning (oavsett drivmedel) som sker i dieselmotorer där bränslet och luften blandas strax innan antändningen. Motsatsen är förblandad förbränning som t ex sker i en ottomotor där blandningen skett ned till molekylär nivå redan före tändning.

**Tabell 13:** Avgasemissioner och verkningsgrad för olika motor- och bränslekombinationer (i g/kWh)

	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Part	Eff. verkn. gr.
<b>Euro II – krav</b>	4,0	1,1	7	0,15	0,40
<b>Euro III – krav</b>	2,1	0,66	5	0,1	0,38
<b>DME</b>	1,8	0,25	2,5	<0,05	0,40
<b>CNG (lean-burn)</b>	0,1	0,2	1,0	<0,05	0,35
<b>LPG (lean-burn)</b>	0,1	0,25	1,5	<0,05	0,35
<b>Metanol</b>	1,5	0,4	2,5	<0,05	0,37

Angående resultaten i tabell 11 kan ett antal kommentarer göras (av denna rapports författare). NO<sub>x</sub> emissionerna är minst 50 % lägre än för dieselolja (Euro II & III) men högre än för CNG/LPG. Det skall dock tilläggas att resultaten för CNG/LPG genererats med "fullt optimerade" motorer och att resultaten gäller för tester i en stationär körcykel. Som visats i tidigare kapitel blir NO<sub>x</sub> nivån oftast betydligt högre för gasdrivna fordon i transienta körcykler.

I förutsättningarna för tabellen anges att jämförelsen med dieselolja i båda fallen görs utan avgasåterföring (EGR) och efterbehandling av avgaserna. DME har mycket goda förutsättningar för att använda EGR, vilket också visats på en del av de motorer som testats i labmiljö i de tidigare rapporterna. Används EGR torde NO<sub>x</sub> nivån sjunka till ca 1 g/kWh för DME. Etanol finns inte med i tabellen men metanol har anses ha en NO<sub>x</sub> nivå på 2,5 g/kWh, vilket är väsentligt lägre än den nivå på 4 – 4,5 g/kWh som är normal för de fordonsflottor som testas i Sverige. Slutsatsen blir att DME har en fördel ur NO<sub>x</sub> synpunkt jämfört med etanol och att nivån är likvärdig med nivån för metanol. En fråga som inställer sig är hur jämförelsen skulle se ut ifall EGR användes. Genom det genuint höga cetantal som DME har, i kombination med att sotbildningen inte är något problem, torde DME ha mycket goda förutsättningar att använda EGR. Försök vid bl a LTU och MTC har visat att EGR, i en icke optimerad, etanolmotor kan minska NO<sub>x</sub> emissionerna med ca 50 %. Den relativa minskningen torde vara av samma storleksordning för metanol men väsentligt större för DME. Därför synes inte svårigheterna att nå en NO<sub>x</sub> nivå under 1 g/kWh vara oöverstigligen.

HC och CO emissionerna för DME är i tabellen på ungefär samma nivå som för dieseloljedrivna motorer. I båda fallen gäller detta utan användning av katalysator. HC och CO nivåerna för CNG och LPG visas inte *utan katalysator* men de ligger ca en tiopotens högre än för DME, metanol och etanol. Eftersom såväl oförbränd DME som CO är mycket lätta att oxidera i en katalysator kan man förmoda att dessa emissioner med katalysator skulle ligga på en mycket låg nivå – sannolikt lägre än för CNG och LPG. Partikelemissionerna i tabellen anges för alla drivmedlen utom dieselolja till mindre än 0,05 g/kWh. Det är troligt att nivåerna är mycket lägre än så för alla dessa drivmedel.

De emissionsresultat som diskuterats ovan gäller för motorer till tunga fordon. DME för motorer till lätta fordon har testats i en mycket ringa omfattning. Slutsat-

sen är att en emissionsnivå motsvarande de kaliforniska ULEV kraven torde vara möjlig att nå. Därmed skulle en kombination av ottomotorns låga emissionsnivå (med TWC) och dieselmotors höga verkningsgrad i princip vara möjlig att förverkliga. Den motortyp man utgår från vid konverteringen är liksom för tunga motorer en dieselmotor avsedd för dieseloljedrift. Det har även framförts idéer om att bensinmotorer trots den vekare motorstrukturen skulle kunna konverteras till DME drift men frågan har inte utretts i detalj.

Trots de lovande resultat som refererats ovan är Ecotraffics åsikt att DME kommer att förbli ett nischbränsle under mycket lång tid framöver. Ett grundläggande problem är att drivmedlet inte är flytande vilket medför mycket högre kostnader vid hantering och distribution men även i fordonet. En annan väsentlig nackdel är att det i princip är omöjligt att utveckla en motor som är bränsleflexibel eller som kan köras på två bränslen. Därför finns inte möjligheten att som för FFV och dual-fuel introducera fordon på marknaden innan bränsleinfrastrukturen är fullt utbyggd. DME blir därför hänvisat till fordonsflottor med central tankning. Vi anser det därför rimligt att DME kommer att förbli ett nischbränsle inom överskådlig tid.

## 4.9 El

Det kan diskuteras om el skall ses som ett drivmedel men i den meningen att el-drift är ett substitut för andra drivmedel är klassificeringen riktig. I vår litteratursökning har ett antal rapporter kommit fram trots att vi inte använt något speciellt sökord för el. Vi har därför valt att inkludera ett antal rapporter på listan över den icke prioriterade litteraturen.

## 4.10 Samtliga drivmedel

### 4.10.1 Jämförelser och effekter av hälso- och miljöfarliga ämnen

Ett antal olika alternativa drivmedel (CNG, LPG, metanol, etanol) funnits på marknaden under en viss tid och erfarenheter från åtminstone prototyper och förproduktionsfordon i uppföljningsundersökningar har börjat komma fram. Jämförelser av emissioner och deras effekter har gjorts av EPA i USA (Black m.fl. 50, Gabele 306) och av VW (Decker m.fl. 51). I VWs arbete ges detaljerade avgasprofiler Betr. potentialen för NMOG<sub>s</sub>ozonbildning ger senaste data (50) följande RAF-faktorer för avgaserna jämfört med standardbensin: RFG 0,94; E85 0,63; M85 0,37; LPG 0,46; CNG 0,43. Faktorerna är något beroende nivån för avgaskraven. Lägre reaktivitet har också fastställts för alkoholernas utsläpp genom avdunstning jämfört med RFG. VW (51) har för sina bränsleflexibla bilar (MFV, multi fuel vehicle) studerat emissionernas reaktivitet jämfört bensin (både på TLEV och ULEV nivå), dieselolja, RME och CNG. VWs värden överensstämmer med rätt små avvikelser med de ovannämnda.

Ozonpotentialen räknad i g/km beror på utsläppta kvantiteter av NMOG•RAF och här kan resultaten variera avsevärt mellan fordon, då underlaget baseras på få fordon, och är inte alltid till alternativbränslenas fördel. Jämförelser kan på nuvarande kunskapsunderlag egentligen göras bara mellan bränslen i samma fordon. CNGs överlägsenhet synes klar, om än inte entydigt i alla provade fordon, på

TLEV-nivå, på vilken även dieselolja och RME är lägre än ottomotor drivna fordon med flytande bränslen. LPG gav högsta värden. På ULEV-nivå är CNGs fördel borta och lägsta värde gav M85 (51), medan E85 gav högsta.

De relativa reaktiviteterna ovan är beräknade med MIR-värden för ingående komponenter, d.v.s. de som används då MOG-nivån i luften är styrande för ozonbildningen. Då den styrs av  $\text{NO}_x$ -halten används andra faktorer (MOR) med lägre värden men detta påverkar inte rangordningen mellan drivmedlen.

Emissionerna av cancerriskämnen p.g.a. gasformiga ämnen (air toxics i USA; OBS att eten inte medräknas) har också uppmätts (50, 306) men inga sammanvägningar av komponenterna med sina olika vägningstal (om vars tal enighet inte råder) har gjorts och någon slutsats har därför inte dragits. CNG torde dock vara det bränsle som medför lägst risk.

#### 4.10.2 Aldringseffekter för fordon drivna med olika drivmedel

En rapport från James Madison Universitet behandlar emissionernas försämring med tiden (Winebrake; 49). Fordonsflottorna är samma som avhandlats tidigare av bl a Kelly m fl. (8, 17 och 20). Drivmedlen är E85, M85, fossilgas (CNG) samt reformulerad bensin för respektive kategori. Resultaten har behandlats statistiskt för att försöka avgöra ifall det finns några skillnader vad gäller emissionernas försämring med tiden mellan fordonen för alternativa drivmedel och motsvarande bensin drivna fordon. Skillnaderna anses signifikanta vid ett konfidensintervall av 95 %. Några av rapportens resultat är:

- Inga statistiskt signifikanta skillnader mellan något alternativt bränsle och respektive bensinreferens finns för CO emissionerna.
- Den observerade skillnaden för emissionerna av totalkolväten (THC) mellan fossilgas och motsvarande bensinbil är signifikant. Fossilgasbilarna ger en *större* försämringsfaktor än bensin. Skillnaderna mellan de övriga drivmedlen är för THC emissionerna inte statistiskt signifikanta.
- Skillnaden i försämringen av  $\text{NO}_x$  emissionerna mellan fossilgas och reformulerad bensin är statistiskt signifikant. Fossilgas har en *större* försämring än reformulerad bensin. Skillnaderna mellan de övriga drivmedlen är för  $\text{NO}_x$  emissionerna inte statistiskt signifikanta.
- Skillnaden i försämringen av NMHC emissionerna mellan fossilgas och reformulerad bensin är statistiskt signifikant. Återigen har fossilgas en *större* försämring än reformulerad bensin. Skillnaden i försämringen av NMHC emissionerna mellan M85 och reformulerad bensin är statistiskt signifikant. M85 har en mindre försämring än reformulerad bensin. Emellertid ligger försämringarna i båda fallen på en så låg nivå att skillnaden har en försumbar praktisk betydelse.

Resultaten är enligt rapportens författare delvis tvärtemot den gängse uppfattningen (i USA) om s k "rena bränslen". Man skulle kunna tro att de "renare förbränningsegenskaperna" (s k cleaner burning fuels) även skulle resultera i bättre försämringsfaktorer än konventionella bränslen. Detta har ansetts gälla speciellt för fossilgas. Något som man också hade förväntat sig var att alkoholerna bl a på grund av sina korrosiva egenskaper skulle ge större försämringar än bensin. Den-



na analys motsägs av att M85 har marginellt mindre försämring och E85 inte uppvisar någon signifikant skillnad mot bensin. Några tänkbara orsaker till de kontroversiella resultaten diskuteras också av Winebrake och hans medförfattare men inga av förklaringarna verkar ge något speciellt hållbart stöd för någon av hypoteserna.

#### 4.11 Livscykelanalyser

Någon ny analys, som skulle tillföra ny insikt om livscykelperspektivet och ge grund för omvärdering, har inte framkommit och är knappast att förvänta. Visserligen har DeLuchi 1998 kommit (54) med en reviderad modell och reviderade ingångsdata, men den detaljerade rapporten är här inte varit tillgänglig och det referat som finns ger inte några överraskningar vad betr. emissioner av växthusgaser i kedjan. DeLuchis arbeten är de som mest används som underlag i amerikanska och europeiska studier men hänvisningar till Ecotraffics och Blinges (56, 57) arbeten är vanliga.

*Som alltid är det viktigast att sätta sig in i hur systemet är uppbyggt och vilka ingångsdata som använts, då det är möjligt att få rätt olika bilder beroende på hur förutsättningarna valts.* LCA blir då närmast ett hjälpmedel för att klara ut hur uppbyggnaden av systemet måste vara för att få önskad effekt. Som exempel kan tas etanolframställning ur stärkelseråvara (majs, vete, e.d.). Används fossilt processbränsle blir systemet helt ointressant som väg att avgörande minska påverkan på växthuseffekten. Det är å andra sidan möjligt att få denna minskning mycket stor genom att använda biobränslen i processen och biobaserade drivmedel och gödningsmedel i odlings- och transportleden. Exemplet kan mångfaldigas.

LCA måste utmynna i bedömning av påverkan av effekter som förutom ovan nämnda växthuseffekt är möjligt för försurning/övergödning, hälso-/miljöpåverkan av oxidanter (marknära ozon), cancerrisk och luftvägssjukdomar. För att värdera olika drivmedel och fordon måste då effekten erhållas genom summering med vägningstal för olika utsläppta ämnen i hela kedjan från råvaruutvinning till slutanvändning. Detta har påpekats i en ref. (Raynolds; 60) och exemplifierats för bensin, etanolblandad bensin och naturgas. Få andra studier har emellertid gjort denna typ av sammanvägningar, vilket är en brist.

Förutom LCA är det emellertid också nödvändigt för att kunna förespråka vissa åtgärder att ta med bedömning av vilket genomslag dessa kan få i verkligheten. Det hjälper ju inte hur bra utfallet av LCA är om åtgärden, t.ex. införande av nytt drivmedel eller fordonskoncept, inte har förutsättningar att få bred och allmän användning och utan bara i en begränsad nisch. Begränsningar kan vara liten råvarubas, alltför kostsam distribution, ej allmänt användbara fordonskoncept, bristande kompatibilitet mellan drivmedel och framtida motorkoncept, alltför hög totalkostnad, etc. Fråga uppkommer då ofta om satsning skall ske på flera olika nischalternativ eller om den av kostnadsskäl skall koncentreras till få alternativ, helst bara ett universellt användbart.

Flytande, lätthanterliga drivmedel såsom motoralkoholer synes i dagsläget vara gemensam nämnare för alla råvaror för en utveckling utan stora begränsningar.

ABU anger att 80 – 90 % av försurande och övergödande emissioner och för fossila drivmedel även av växthusgaser sker vid slutanvändning i motor. Detta är en alltför hög siffra och är i bästa fall 70 – 80 %, som minskar alltefter fordonens utsläpp minskar genom skärpta krav. För biobaserade drivmedel synes det för sammanvägda växthusgaser vara svårt att komma under ca 20 % av vad drivmedlet med fossilt ursprung skulle ha givit så som systemen ser ut i dag. Störst potential till låga växthusgasutsläpp i hela kedjan synes alkoholerna ha.

## 5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

### 5.1 Alkoholer

Alternativbränsleutredningen (53) skär metanol och etanol över en kam och redovisar emissionsfaktorer enbart för alkoholdrift. Detta är knappast korrekt då det finns skillnader till metanols fördel i flera avseenden. I kraft av sina egenskaper vid förbränning kan metanoldrivna ottomotorer, som tidigare visats av VW och M-B och nyligen också av Ford (17), optimeras för högre effekt och verkningsgrad än med etanol. Metanolångor och -avgaser är mindre reaktiva med lägre ozonbildningspotential som följd och den sammanvägda cancerrisken synes vara lägre. Kväveoxidbildningen är också lägre med metanol till följd av lägre flamtemperatur vid förbränningen, vilket visats både för otto- och dieselmotorer. Metanol är vidare bäst lämpad som vätebärare för bränsleceller eller kan användas i DMFC (direct methanol fuel cell). Härtill kommer att råvarubasen är större och produktionskostnaden för metanol på biogas sannolikt är lägst, och metanol har potential att kunna syntetiseras från väte, genererad från vatten med solenergi, och koldioxid från luften.

### 5.2 Biogas

Biogas har i Alternativbränsleutredningen fått en särställning. Vi ser ingen anledning att väsentligt ändra den inställningen vad gäller de hälsofarliga emissionerna för detta drivmedel. Dock finns vissa problem för en del av de reglerade emissionerna. Det som framkommit sedan Alternativbränsleutredningens underlagsmaterial togs fram och de ställningstaganden togs och redovisades i utredningens slutrapport är att det ofta föreligger stora problem med hållbarheten i avgasreningen för gasformiga drivmedel. Detta gäller såväl för rapporter som genererats i Sverige som internationella rapporter.

När det gäller ett drivmedels totala effekter på de hälso- och miljöfarliga emissionerna är också genomslaget på marknaden av stor betydelse. Det spelar ju nästan ingen roll om ett drivmedel ger noll eller nära nollemissioner om det bara kan bli en nisch på marknaden. Effekten på utsläppen blir i så fall ringa. När det gäller potentialen för produktion av biogas nämns ofta höga värden. Vad man måste komma ihåg är att endast en liten del av denna potential är ekonomiskt rimlig. Därför blir den verkliga potentialen mycket liten. Sådana aspekter måste även beaktas när man beslutar om stöd för ett visst drivmedel. Den långsiktiga potentialen måste också vägas in i ett sådant beslut.

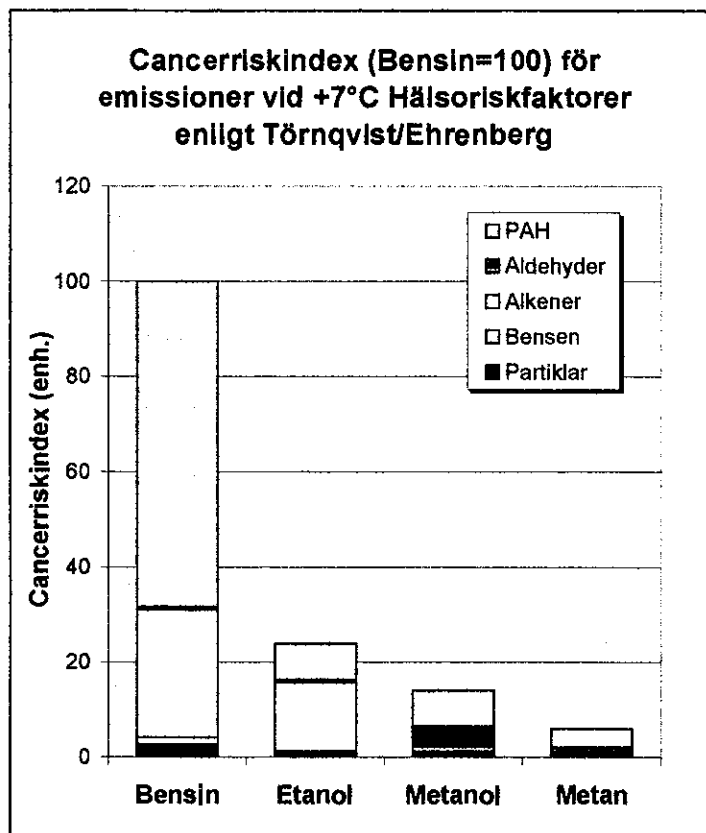
Mot bakgrund av ovanstående resonemang är det underlagsmaterial och de överväganden som Alternativbränsleutredningen gjorde något för optimistiska när det gäller biogas.

### 5.3 Cancerrisk

Cancerrisken är en av de effekter som debatterats på senare tid. Vi har inte funnit någon undersökning som beaktar denna effekt för alla intressanta drivmedel och där indata kvalitetssäkrats. Eco-traffic har nyligen utfört en utredning för Trafikkontoret i Göteborg där cancerrisken beräknats för ett antal olika drivmedel. Underlaget är inte offentligt men vissa data har presenterats vid en konferens i Borlänge. Ett utdrag av resultaten visas i figur 1.

Det föreligger stora svårigheter att ta fram underlag för en beräkning av cancerrisken. Detta gäller såväl för emissionsdata som för riskfaktorer. Det underlag som vi använt är inte på något sätt invändningsfritt i detta avseende och måste förbättras men några intressanta observationer kan ändå göras med ledning av resultaten.

Resultaten i figur 1 gäller för fordon av årsmodell 93/94 som är utrustade med katalysator (TWC). Emissionsresultaten har korrigerats till svensk årsmedeltemperatur (+7°C) och gäller för en genomsnittlig körsträcka av 11 km. Inga korrekationer har gjorts för åldring. De alternativa drivmedlen uppvisar som synes betydligt bättre resultat än bensindrif. Detta beror i huvudsak på dessa drivmedels enklare sammansättning som väsentligt minskar emissionerna av PAH och 1,3-butadien. Alkoholerna har högre emissioner av aldehyder men detta uppvägs av den fördelen för de ovannämnda emissionskomponenterna. Metan (fossilgas i detta fall) ger det bästa resultatet men även alkoholerna ger en väsentlig förbättring jämfört med bensin. Metanol ger något bättre resultat än etanol men resultatet skall ses med en viss reservation eftersom underlaget är något osäkert. Det man kan hävda är att etanol *inte* uppvisar ett bättre resultat än metanol.



Figur 1: Cancerrisk för några olika drivmedel till lätta fordon

11. Rydén C.: "Flottförsök med 32 etanolbussar vid AB Storstockholms Lokaltrafik", Utgiven av KFB och NUTEK: NUTEK Rapport R 1995:6, KFB-Rapport 1994:2, 1995.
12. Egebäck K.-E. and Pettersson E.: "Research on a Scania 11 liter Ethanol Fueled Bus Engine", ISSN 0347-0881, ISRN: HLU - TH - FR - - 1996/13 - TULEA - - SE, Luleå University of Technology, 1996.
13. Westerholm R., Törnqvist M., Rannug U. and Ehrenberg L.: "Chemical and biological characterization of exhaust emissions from two bioethanol fuels containing different diesel ignition improvers", KFB DNR 92-72-472, 1994.
14. Tingvall B., Johansson Ö., Hellberg S., Nordström F. och Pettersson E.: "EGR på en etanoldriven dieselmotor", Luleå Tekniska Universitet, 1997:12, ISSN: 1402-1528, ISRN: LTU-FR - - 97/12 - - SE, 1997.
15. Gjrja S. and Olsson E.: "Development of an Ethanol Fueled Version of the Volvo TD73 Diesel Engine", KFB Dnr: 92-230-742, 1995.
16. Grägg K.: "EGR on an Ethanol Engine (title not final)." MTC Report MTC 9608 (In press).

#### **6.1.4 Metanol**

##### **7.1.4.1 Lätta fordon**

17. Kelly K. J. (NREL), Bailey B. K. (NREL), Coburn T. (NREL), Clark W. (Automotive Testing Labs.), and Eudy L. (ManTech Env. Tech.): "Federal Test Results from Flexible-Fuel Methanol Dodge Spirits and Ford Econoline Vans." SAE Paper 961090, 1996.

##### **7.1.4.2 Tunga fordon**

18. Sato Y., Yamamoto T. and Noda A.: "An Experimental Study of a Direct Injection Methanol Engine for Low NO<sub>x</sub> Emission Using Hot EGR and Alumina Catalyst" Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.

#### **6.1.5 Metan (fossilgas och biogas)**

##### **7.1.5.1 Lätta fordon**

19. Egebäck K.-E.: "Emissioner från lätta fordon drivna med biogas.", underlagsrapport till rapporten: "Biogasdrivna fordon i Uppsala", KFB-Rapport 1997:39, 1997.
20. Kelly K. J. (NREL), Bailey B. K. (NREL), Coburn T. (NREL), Clark W. (Automotive Testing Labs.), and Lissuk P. (Env. Res. and Dev. Group): "Round 1 Emissions Test Results from Compressed Natural Gas Vans and Gasoline Controls Operating in the U.S. Federal Fleet." SAE Paper 961091, 1996.
21. Maier, F., Müller, P., Heck, E. und Langen, P. (BMW). Erdgasmotorkonzept mit EZEV-Potential. MTZ 58(1997):9, 544-51, (in German).
22. Suga T., Knight B., and Arai S.: "Near-zero Emissions Natural Gas Vehicle, Honda Civic GX SAE." Paper 972643, 1997.

##### **7.1.5.2 Tunga fordon**

23. Grägg K.: "Emissions from two CNG fueled buses", MTC report 9405B, 1995.

24. Grägg. K.: "Provningar med en biogasdriven buss från LITA", MTC rapport 9434, 1995.
25. Egebäck K.-E.: "Avgasemissioner från biogasdriven buss använd inom Uppsala Lokaltrafik.", underlagsrapport till rapporten "Biogas som drivmedel för fordon – Stockholm.",: KFB-Rapport 1997:37, 1997.
26. Egebäck K.-E.: " Avgasemissioner från bussar respektive lastbil drivna med biogas inom Trollhättans lokaltrafik" KFB-Rapport under utgivning, 1998.
27. Egebäck K.-E.: "Avgasemissioner från biogasdriven buss använd inom Linköpings lokaltrafik",: KFB-Rapport under utgivning, 1998.
28. Clark N. N., Lyons D. W., Rapp B. L. Gautam M., Wang. W., Norton P., White C., and Chandler K.: "Emissions from Trucks and Buses Powered by Cummins L-10 Natural Gas Engines." SAE Paper 981393, 1998.
29. Corbo, Pasquale; Gambino, Michele; Iannoccone, Sabato; Unich, Andrea, "Comparison between lean-burn and stoichiometric technologies for CNG heavy-duty engines." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, February 1995, SAE Paper 950057, 1995.
30. Kubesh J. T., Podnar D. J. (SwRI): "Ultra Low Emissions and High Efficiency from an On-Highway Natural Gas Engine." SAE Paper 981394.
31. Lampert J. K., Kazi M. S. and Farrauto R. J.: "Methane Emissions Abatement from Lean-Burn Natural Gas Vehicle Exhaust: Sulphur's Impact on Catalyst Performance", SAE Paper 961971, 1996.

## **6.1.6 LPG**

### **6.1.6.1 Lätta fordon**

32. Smith W. J., Timoney D. J., and Lynch D. P.: "Emissions and Efficiency Comparison of Gasoline and LPG Fuels in a 1.4-liter Passenger Car Engine." SAE Paper 972970, 1997.

### **6.1.6.2 Tunga fordon**

33. Nylund, N.-O. "On the development of a low-emission propane engine for heavy-duty urban vehicle applications", Doctor's thesis. VTT Energy, Espoo Finland, 1995.
34. De Kok, P. C. G., "A new generation of LPG and CNG engines for heavy-duty applications." International Seminar on Application of Powertrain and Fuel Technologies to Meet Emissions Standards; Institution of Mechanical Engineers, London, England, June 1996, IMechE Paper C517/008/96, ISBN 0-85298-996-2, (SAE Paper 964121).
35. Chmela F., Bruner G. and Knorr H.: "Entwicklungsergebnisse an einen Aufgeladenen Flüssiggas-Magermotor für Stadtbusse", 18 Internationales Motorensymposium, Wien 1997, (in German).

## **6.1.7 RME**

36. May, H., Hattingen, U., Klee, P. Und Spitz, M. (Univ. Kaiserslauten). Vergleichende Emissionsuntersuchungen beim Betrieb verschiedener

Dieselmotoren mit Dieselkraftstoff und Rapsölmethylester. MTZ 58(1997):1, 42-52.

37. May, H., Hattingen, U., Theobald, J. (Univ. Kaiserslauten), Weidmann, K. und König, A. (VW). Untersuchung des Betriebs- und Abgasemissionsverhaltens eines Dieselmotors mit Oxidationskatalysator. Verwendung von RME. MTZ 59(1998):2, 112-23.
38. Bagley, S. T., Gratz L. D., Johnson J. H., and McDonald J. F. (Mich. Techn. Univ., Houghton, MI): "Effects of an Oxidation Catalytic Converter and Biodiesel Fuel on the Chemical, Mutagenic, and Particle Size Characteristics of Emissions from a Diesel Engine." Environ. Sci.&Technol. 32(1998):9, 1183-91.

### **6.1.8 DME**

#### **6.1.8.1 Lätta fordon**

39. Fleisch T., McCarthy C., Basu A., Udovich C., Charbonney P., Slodowske W., Mikkelsen S.-E., and McCandless J.: "A New Clean Diesel Technology: Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether", SAE Paper 950061, 1995.
40. Kapus P. and Ofner H.: "Development of Fuel Injection Equipment and Combustion System for DI Diesels Operated on Dimethyl Ether", SAE Paper 950062, 1995.
41. Ofner H. (AVL), Gill D. W. (AVL), and Krotshcheck C. (Univ. of Tech.): "Dimethyl Ether as Fuel for CI Engines – A New Technology and Its Environmental Potential." SAE Paper 981158, 1998.

### **6.1.9 EI**

Inget underlag för eldrift har getts högsta prioritet i denna studie. Några artiklar som innefattar även eldrift finns inom området "flera drivmedel" samt "LCA". Bland de icke prioriterade referenserna har också några artiklar om eldrift listats.

### **6.1.10 Flera drivmedel**

#### **6.1.10.1 Lätta fordon**

42. Nylund N.-O, Ikonen M., Kytö M., Lappi M., Westerholm M. and Laurikko J.: "Performance evaluation of alternative fuel/engine concepts", 1990 – 1995. Final Report including the addendum of diesel vehicles. VTT Publications 271, VTT 1996. (Previous report, phase I&II: Nylund N.-O, Ikonen M., Kytö M., Lappi M., Westerholm M. and Laurikko J.: "Performance Evaluation of Alternative Fuel/Engine Concepts", IEA Alternative Motor Fuels, Annex V, Final Report, IEA 1995).
43. Neame, G. R.; Gardiner, D. P.; Mallory, R. W.; Rao, V. K.; Bardon, M. F.; Battista, V., "Improving the Fuel Economy of Stoichiometrically Fuelled S.I. Engines by Means of EGR and Enhanced Ignition – A Comparison of Gasoline, Methanol and Natural gas." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, October 1995, SAE Paper 952376, 1995.

44. König A., Weidmann K., Decker G., and Wegener R.: "Potential of Alternative Fuels for Emissions Reduction." The European Automotive Industry Meets the Challenges of the Year 2000; Societe des Ingenieurs de l'Automobile, Paris, France, June 1995, SIA Paper 9506A01 (SAE Paper 953400), 1995.
45. Brekken M., and Durbin E. (Princeton Univ.): "An Analysis of the True Efficiency of Alternative Vehicle Powerplants and Alternative Fuels." SAE Paper 981399, 1998.
46. Ho, J. (CARB, El Monte, CA) and Winer, A.M. (UCLA). "Effects of Fuel Type, Driving Cycle, and Emissions Status on In-Use Vehicle Exhaust Reactivity." J. Air Waste Man. Assoc. 48(1998): July, 592-603.
47. Winebrake, J.J. and Deaton, M.L. (James Madison Univ. Harrisonburg, VA): "A Comparative Analysis of Emissions Deterioration for In-Use Alternative Fuel Vehicles." J. Air & Waste Man. Assoc. 47(1997): Dec., 1291-6.
48. Black, F., Tejada, S. (US EPA) and Gurevich, M. (US DOE): "Alternative Fuel Motor Tailpipe and Evaporation Emissions Composition and Ozone Potential." J. Air & Waste Man. Assoc. 48(1998): July, 578-591.
49. Decker, G. et al (VW): "Das Ozonpotential unterschiedlicher Fahrzeug- und Kraftstoffkonzepte." ATZ 98(1996):5,

#### 6.1.10.2 Tunga fordon

50. Newkirk, Matthew S.; Bass, Edward A., "Reactivity Comparison of Exhaust Emissions From Heavy-Duty Engines Operating on Gasoline, Diesel, and Alternative Fuels." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, October 1995, SAE Paper 952442, 1995.

#### 6.1.10.3 Andra typer av fordon

51. Alternativbränsleutredningen (ABU): "Bättre klimat, miljö och hälsa med alternativa drivmedel." SOU 1996:184, ISBN 91-38-20465-7 ISSN 0375-250X, 1996.

#### 6.1.11 Livscykelanalyser

52. DeLuchi, M. (Univ. Calif. Davis): "A Revised Model of Emissions and of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity." ITS Report No. UCD-ITS-RR-97-22. Refererad i Clean Fuels and Electric Vehicles Report 10(1998): 3, p. 16-18, och använd i EREN (nedan). (Ursprunglig rapport av DeLuchi och D. Sperling "A Comparative Analysis of Future Transportation Fuels". Univ Calif. Berkeley. Oct. 1987. Research Rpt UCB-ITS-RR-87-13. Bas för paper vid VIII ISAF, Tokyo Nov. 13-16, 1988, p. 1093. Uppdaterad version av DeLuchi Nov. 1993 från Argonne National Laboratory.
53. McGill, R. et al. (Oak Ridge National Laboratory, ORNL): "Comparison of Relative Environmental Impacts of Alternative and Conventional Motor Fuels." Rapport till IEAs Executive Committee for Alternative Motor Fuels under Annex VII, August 1995. ISBN 0-9649935-0-3. Addendum till ovanstående rapport med "Incorporation of Results from Recent Research". Inget publiceringsdatum men tidigast 1997.

54. Blinge, M. (CTH – Inst. för Transportteknik): "Environmental assessment of fuel supply system for vehicle fleets." CTH Doctor 0346 718X, juni 1998.
55. Blinge, M. (CTH – Inst. för Transportteknik): "Jämförande analys av producerade rapporter kring livscykelanalyser av drivmedel." Maj 1996.
56. IEA/AFIS – Alternative Motor Fuels Agreement. "Jämförelse av motorbränslen "on a well-to-wheel basis" i Automotive Fuels Survey series, part 3 "Comparison and Selection", January 1998.
57. US DOE. Assessment of costs and benefits of flexible and alternative fuel use in the U.S. transportation sector. Technical report fourteen: Market potential of alternative fuel use in light-duty vehicles: A 2000/2010 analysis. DOE/PO-0042. January 1996.
58. Raynolds M. A. (Univ. of Alberta), Checkel M. D. (Univ. of Alberta), Fraser R. A. (Univ. of Waterloo), and Macintosh R. A. (Pembina Institute): "Life Cycle Value Assessment (LCVA) for Alternative Transportation Fuel Decisions." SAE Paper 971169.

## 6.2 Övriga referenser

Övriga referenser innefattar de referenser som inte prioriterats högst. Indelningen är lik den för de prioriterade rapporterna men med ett tillägg för övriga drivmedel (icke prioriterade).

### 6.2.1 Reformulerad bensin och låginblandning

59. CRC Atlanta GA, "Auto/Oil"; Air Quality Improvement Research Program (AQIRP): "Predicted Effects of Reformulated Gasoline T50, T90, Sulfur and Oxygen Content on Air Quality in Years 2000 and 2010." Technical Bulletin No. 21, October 1997.
60. Knapp, K.T., Stump, F.D. and Tejada, S.B. (US EPA). The Effect of Ethanol Fuel on the Emissions of Vehicles over a Wide Range of Temperatures. J. Air & Waste Man. Assoc. 48(1998): July, 646-53.
61. Pentikäinen J. (NESTE), Wensing M. (Univ. Erlangen-Nürnberg), Juutilainen S. (Univ. Erlangen-Nürnberg), Münch K.U. (Univ. Erlangen-Nürnberg), and Leipertz A. (Univ. Erlangen-Nürnberg): "Gasoline: Influence of Fuel-Oxygen on NO<sub>x</sub> emissions." SAE Paper 981366, 1998.
62. Kivi J., Rautiola A., Kokko J., Pentikäinen J., Aakko P., Kytö M., and Lappi M.: "Use of TAME and Heavier Ethers (NEXTAME) as Gasoline Reformulation Components." SAE Paper 971724, 1997.
63. Mannino, D.M. and Etzel, R. A. (Center for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA). Are Oxygenated Fuels Effective? J. Air & Waste Man. Assoc. 46(1996): Jan., 20-24.
64. Dolislager, L.J. (CARB, Sacramento, CA). The Effect of California's Winter-time Oxygenated Fuels Program on Ambient Carbon Monoxide Concentrations. J. Air & Waste Man. Assoc. 47(1997): July, 775-



65. Lange, W. Et al (Shell und Mercedes-Benz). Einfluss von Ottokraftstoff-Komponenten auf die Abgasemission von Mercedes-Benz-Pkw-Motoren. MTZ 56(1995):, 264-271.
66. Stump, F.D., Knapp, K.T. and Ray, W.D. (US EPA). Influence of Ethanol-Blended Fuels on the Emissions from Three Pre-1985 Light-Duty Passenger Vehicles. J. Air & Waste Man. Assoc. 46(1996): Dec., 1149-61.
67. Shibata, Gen; Omata, Tatsuo; Isoda, Tohru; Hosono, Kyoji; Nakamura, Kiyotaka; Tsuneishi, Jun; Kawano, Haruhiko, "The development of driveability index and the effects of gasoline volatility on engine performance." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, October 1995, SAE Paper 952521, 1995.
68. Guerrieri, David A.; Caffrey, Peter J.; Rao, Venkatesh, "Investigation into the vehicle exhaust emissions of high percentage ethanol blends." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950777, 1995.

### **6.2.2 Reformulerad dieselolja och låginblandning**

69. Grägg K.: "Effects of Environmentally Classified Diesel Fuels, RME and Blends of Diesel Fuels and RME on the Exhaust Emissions." MTC Report MTC 9209B, 1994.
70. Grägg K.: "Chemical Characterization and Biological Testing of Exhaust Emissions from a Truck Fueled with EC1 and EPEFE Reference Fuel", MTC report 9510, 1995.
71. Grägg K.: "The Effect on the Exhaust Emissions of Changing to a Low Aromatic, Low PAC and Low Sulfur Diesel Fuel", MTC report 9517, 1995.
72. Olsson L.-O. (LTH): "En litteraturstudie om BLANDBRÄNSLE bestående av DIESEL och ETANOL." ISRN LUTMDN/TMVK - - 3160 - - SE, ISSN 0282-1990 (TFB Dnr 93-61-742) , Lunds tekniska Högskola, augusti 1993.

### **6.2.3 Etanol**

73. CRC Atlanta GA, "Auto/Oil"; Air Quality Improvement Research Program (AQIRP): "Exhaust Emissions of E85 Ethanol Fuel and Gasoline in Flexible/variable Fuel Vehicles." Technical Bulletin No. 16, July 1995.
74. Jones B., Ready K., Bach R., Hansen D., Kaitala E., Larson J., Morales J., Reese C., "A Comparative Analysis of Ethanol Versus Gasoline as a Fuel in Production Four-Stroke Cycle Automotive Engines." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952749.
75. Rydén C.: "Vad hände sen? - Driftserfarenheter 1994-1996 från flottförsök med 32 etanolbussar i Stockholm", KFB-meddelande 1996:25, 1996.
76. Clark, Nigel N.; Messer, J. Todd; McKain, David L.; Wang, Wenguang; Bata, Reda M.; Gautam, Mridul; Lyons, Donald W., "Use of the West Virginia University truck test cycle to evaluate emissions from Class 8 trucks." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc.,

- Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 2, February 1995, SAE Paper 951016, 1995.
77. Simonsen, Henrik; Chomiak, Jerzy, "Testing and evaluation of ignition improvers for ethanol in a DI diesel engine." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, October 1995, SAE Paper 952512, 1995.
  78. Egebäck, K-E; Westerholm, R.; Rannug, U.; Mason, G., "Improvement of exhaust emissions from heavy duty vehicles by the use of bioethanol." 25th FISITA Congress – Automobile in Harmony with Human Society; Society of Automotive Engineers of China, Beijing, China, October 1994, SAE Paper 945145, 1994.
  79. Pettersson L., J., Wahlberg A. M. and Järås S. G.: "Exhaust Gas Catalyst for Heavy-Duty Vehicles Fuelled by Alcohol or Biogas", KFB-Rapport 1997:11, 1997.
  80. Villarroel G. Z., Pettersson E., and Ågren A. (Luleå Univ. of Tech.): "Multivariate analysis of Engine Noise and Exhaust Emissions from an Ethanol-Fueled Diesel Engine." SAE Paper 971871, 1997.
  81. Naegeli D., W. (SwRI), Lacey P. I. (SwRI), Alger M. J. (Caterpillar), and Ednicott D. L. (Caterpillar): "Surface Corrosion In Ethanol Fuel Pumps." SAE Paper 971648, 1997.
  82. Block G., and Mitchell W. L. (Arthur D. Little Inc.): "Evaluation of Hydrated Ethanol in an Advanced Fuel Processor For Fuel Cell Vehicles." SAE Paper 971646, 1997.
  83. Isherwood K. D., Linna, J.-R., and Loftus P. J. (Arthur D. Little Inc.): "Using On-Board Fuel Reforming by Partial Oxidation To Improve SI Engine Cold-Start Performance and Emissions." SAE Paper 980939, 1998.
  84. Islam, M. R., Subrahmanyam, J. P., Babu, M. G. G. (Indian Institute of Technology): "Computer Simulation Studies of an Alcohol-Fueled, Low-Heat-Rejection, Direct-Injection Diesel Engine, SAE Paper 972976, 1997.
  85. Harada A., Shimazaki N., Sasaki S., Miyamoto T., Akagawa H., and Tsujimura K. (New ACE Institute Co. Ltd.): "The Effects of Mixture Formation on Premixed Lean Diesel Combustion." SAE Paper 980533, 1998.
  86. Leone, D. M.; Dodge, L. G.; Shouse, K. R.; Grogan, J.; Weeks, R. W., "Model-based control and cylinder-event-based logic for an ultra-low emissions vehicle." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1997, SAE Paper 970531, 1997.
  87. Burch, Steven D.; Keyser, Matthew A.; Colucci, Chris P.; Potter, Thomas F.; Benson, David K.; Beil, John P., "Applications and benefits of catalytic converter thermal management." SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, May 1996, SAE Paper 961134, 1996.
  88. Benson, Jack D.; Koehl, William J.; Burns, Vaughn R.; Hochhauser, Albert M.; Knepper, Jay C.; Leppard, William R.; Painter, Louis J.; Rapp, Larry A.;

- Reuter, Robert M.; Rippon, Brian; Rutherford, James A., "Emissions with E85 and gasolines in flexible/variable fuel vehicles – The Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Paper 952508, 1995.
89. Watson, Harry, "Spark-ignition automotive fuels--Present and future." Fuels of the Future; Society of Automotive Engineers of Australasia, Victoria, Australia, May 1995 1995-10-0019
90. Dhinagar, S. Jabez; Nagalingam, B. N.; Gopalakrishnan, K. V., "Spark assisted alcohol operation in low heat rejection engine." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, February 1995 SAE Paper 950059, 1995.
91. Castro, Adriano C.; Koster, Carlos H.; Franieck, Erwin K., "Flexible ethanol Otto engine management system." SAE Brasil 94; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, November 1994, SAE Paper 942400, 1994.
92. Ward, John, "The energy challenge and the greenhouse gas index." New Design Frontiers for More Efficient, Reliable, and Ecological Vehicles; Associazione Tecnica dell'Automobile, Torino, Italy, March 1994, ATA Paper 94A1041 (SAE Paper 94A019), 1994.
93. Kapus P., Chmela F.: "Concept study of a heavy-duty bus engine operated on ethanol", NUTEK rapport R 1995:9, KFB-rapport 1994:24, 1995.
94. Hansen A. C., de la Harpe E. R. and Dilmitis M. P.: "Ignition-Improved Ethanol as a Fuel for Diesel Engines", Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.
95. Marshall W. F.: "Reactivity Adjustment Factor for Vehicles Operating on E85", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.

#### **6.2.4 Metanol**

96. Seko, T., Kuroda E. and Hamano Y.: "Methanol Lean Burn in an Auto-Ignition DI Engine." SAE Paper 980531, 1998.
97. CRC Atlanta GA, "Auto/Oil"; Air Quality Improvement Research Program (AQIRP): "Emissions From Methanol Fuels and Reformulated Gasoline In 1993 Production Flexible/Variable Fuel and Gasoline Vehicles." Technical Bulletin No. 13, August 1994.
98. CRC Atlanta GA, "Auto/Oil"; Air Quality Improvement Research Program (AQIRP): " Air Quality Modeling Results for Methanol Fuels and Reformulated Gasoline in 1993 Production Flexible/Variable Fuel and Gasoline Vehicles." Technical Bulletin No. 20, February 1997.
99. Amphlett, John C.; Mann, Ronald F.; Peppley, Brant A., "Predicted Emissions from a Methanol-Fueled "Electrochemical Automobile Engine" Based on a PEM Fuel Cell." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society

- of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952374, 1995.
100. Bartunek B., Schorn N., Scholz V. and Last R.: "Development of a Glow Plug Assisted Heavy-Duty Methanol Engine for Low NO<sub>x</sub> emissions", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  101. Yamamoto T., Noda A., Sakamoto T. and Sato Y.: "Alumina Catalysts for Reduction of NO<sub>x</sub> from Methanol Fueled Diesel Engine", SAE Paper 960137, 1996.
  102. Gardiner, D. P.; Mallory, R. W.; Rao, V. K.; Bardon, M. F.; Battista, V., "Vehicle implementation and cold start calibration of a port injected M100 engine using plasma jet ignition and prompt EGR." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, October 1995, SAE Paper 952375, 1995.
  103. Hodgson J. W. (Univ. of Tennessee), Irick D. K. (Univ. of Tennessee), Whalen M. V. (NREL): "Improving the Cold-Start Performance of Alcohol-Fueled Engines Using a Rich Combustor Device.", SAE Paper 981359, 1998.
  104. Kusaka J. Daisho Y., Kihara R., and Saito, T. (Waseda Univ.): "Simulating Exhaust Emissions Characteristics and Their Improvements in a Glow-Assisted DI Methanol Engine Using Combustion Models Combined with Detailed Kinetics." SAE Paper 971598, 1997.
  105. Sato Y., Noda A., and Sakamoto T. (Traffic Safety and Nuicance Research Institute): "Combustion and NO<sub>x</sub> Emission Characteristics in a DI Methanol Engine Using Supercharging with EGR." SAE Paper 971647, 1997.
  106. Cooper R., Brouwer D., Feasey G., and Larkins J. (Ballard Power Corp.): "Development of a Liquid-Fueled PEMFC Power Plant for a Hybrid Transit bus." SAE Paper 972651, 1997.
  107. Bossert J. C., Shin Y., and Cheng W. K. (MIT): "Fuel Effects on Throttle Transients in PFI Spark-Ignition Engines." SAE Paper 971613, 1997.
  108. Wimmer R R., Fletcher J., Clark N. N., McKain D. L., and Lyons D. W. "Emissions Testing of a Hybrid Fuel Cell Bus." SAE Paper 980680, 1998.
  109. Gardiner, David P.; Mallory, Robert W.; Pucher, Greg R.; Todesco, Marc K.; Bardon, Michael F.; Battista, Vittoria, "Experimental studies aimed at lowering the electrical energy requirements of a plasma jet ignition system for M100 fueled engines." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 961989, 1996.
  110. Poola, Ramesh B.; Sekar, Raj; Ng, Henry K.; Baudino, John H.; Colucci, Christopher P., "The effects of oxygen-enriched intake air on FFV exhaust emissions using M85." SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, May 1996, SAE Paper 961171, 1996.
  111. Lu, Jiang; Pouring, Andrew A., "Development of a new concept piston for alcohol fuel use in a CI engine." SAE International Spring Fuels and Lubricants

- Meeting; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, May 1996, SAE Paper 961078, 1996.
112. Brown, A. G.; Stone, C. R.; Beckwith, P., "Cycle-by-cycle variations in spark ignition engine combustion – Part I: flame speed and combustion measurements and a simplified turbulent combustion model." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1996, SAE Paper 960612, 1996.
  113. Sakamoto, Takashi; Sato, Yoshio; Noda, Akira; Yamamoto, Toshiro, "Reduction of unburnt methanol and formaldehyde emissions from methanol fueled vehicles--Acceleration of oxidative reaction on catalyst by pre-catalyst installation and its heating." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1996, SAE Paper 960238, 1996.
  114. Chae, J.O.; Chung, S.C.; Jeong, Y.S., "A study on performance characteristics of gasoline-alcohol blends." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency – The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9530210 (SAE Paper 958428), 1995.
  115. Yamamoto, Toshiro; Noda, Akira; Sakamoto, Takashi; Sato, Yoshio, "NO reduction effect of alumina catalyst applied to the methanol fueled diesel engine." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency--The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 958428 (SAE Paper 958427), 1995.
  116. Hemsley, Geoffrey V.; Unnasch, Stefan; Shotwell, Anthony E., "Demonstration of alternative fuels technology in diesel-powered cargo handling equipment." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952752, 1995.
  117. Seko, Toshiyuki; Tsuchiya, Kenji; Hamada, Hideaki; Tsuchida, Hiroshi, "Performance of lean NO<sub>x</sub> catalyst applied to a heavy-duty methanol engine exhaust." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952494, 1995.
  118. Fang, Gewen; Gao, X., "Improvement of combustion from spark ignition engines fueled with dual fuels." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952411, 1995.
  119. Sato, Tadafumi; Araki, Masaaki; Fujita, Naotake; Onodera, Hideki; Tsuji, Shoichi, "Combustion stability of a two-stroke cycle engine using methanol fuel – Characteristics for lean mixture." JSAE Spring Convention; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, May 1995, JSAE Paper 953696 (SAE Paper 958235), 1995, (in Japanese).
  120. Fulton, Justin; Lynch, Frank; Willson, Bryan, "Hydrogen for cold starting and catalyst heating in a methanol vehicle." SAE Future Transportation Technology Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., War-

- rendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, August 1995, SAE Paper 951956, 1995.
121. Li, Houliang; Prabhu, Srinivasa, K.; Miller, David L.; Cernansky, Nicholas P., "The effects of methanol and ethanol on the oxidation of a primary reference fuel blend in a motored engine." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 3, February 1995, SAE Paper 950682, 1995.
  122. Dodge, Lee G., "Estimates of Fuel Evaporation: Bench Experiments and In-Cylinder." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 3, February 1995, SAE Paper 950446, 1995.
  123. Hall, Matthew J.; Peroutka, X. N., "A porous media burner for reforming methanol for fuel cell powered electric vehicles." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950095, 1995.
  124. Kinoshita, Masao; Saito, Akinori; Otsubo, Katsuji, "Study of fuel flow rate change of injector in methanol fueled SI engine." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 3, February 1995, SAE Paper 950071, 1995.
  125. Tsuchiya, Kenji; Seko, Toshiyuki, "Combustion improvement of heavy-duty methanol engine by using autoignition system." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, February 1995, SAE Paper 950060, 1995.
  126. Kusaka, Jin; Daisho, Yasuhiro; Saito, Takeshi; Kihara, Ryoji, "Performance and exhaust emissions in a glow-assisted methanol DI engine – improvement of combustion characteristics using a slit nozzle –." JSAE Autumn Convention; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, October 1994, JSAE Paper 9436936 (SAE Paper 948340), 1994 (in Japanese).
  127. Schorn N. A. and Bartunek B.: "Comparative Study of a Hot Surface Ignition and an Ignition Improver Concept Using Methanol", Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.
  128. Gong R. and Waring P.: "Improvement of Ether "Chemical Spark" Ignition in Methanol Diesel Engine", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  129. Cipolat D. and Gaspari R.: "The Effect of Changing Injection Timing in a Methanol/Dimethyl Ether Fuelled Compression Ignition Engine", Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.
  130. Tsuchida, Hiroshi; Tabata, Mitsunori; Miyamoto, Katsumi; Yoshinari, Tomohiro; Yamazaki, Hatsutarō; Hamada, Hideaki; Kintaichi, Yoshiaki; Sasaki, Motoi; Ito, Takehiko; Nakatsuji, Tadao; Yoshimoto, Masafumi, "Catalytic performance of Alumina for NO<sub>x</sub> control in diesel exhaust." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warren-

- dale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 103, Section 3, February 1994, SAE Paper 940242, 1994.
131. Zelenka P., Kapus P. and Mikulic L. A.: "Development and Optimization of Methanol Fueled Compression Ignition Engines for Passenger Cars and Light-Duty Trucks", SAE Paper 910851, 1991.
  132. Takada Y. and Sasaki M.: "Performance and Durability of a Spark-Assisted Direct Injection Methanol Engine" JSAE Paper 5-44-8-86, Journal of JSAE, ISSN 0385-7298, Vol. 44, No. 8, p 86 (6 pp), 1990.
  133. Suppes G. J., Chen Z. and Chan P. Y.: "Review of Cetane Improver Technology and Alternative Fuel Applications", SAE Paper 962064, 1996.
  134. Uematsu S., Hikino K. Suzuki T. and Yabuuchi S.: "Development of an Autoignition Heavy Duty DI Methanol Engine with a Catalyst System", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  135. Kusaka J. Daisho Y., Kihara R. and Saito T.: "Ignition and Combustion Characteristics in a Glow-Assisted DI Methanol Engine", Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.
  136. Uematsu S., Kudo Y., Murakami Y., Aoyagi Y. and Hikino K.: "The Reliability Analysis of Ceramic Glow-Plug for a Heavy-Duty DI Methanol Engine", Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.
  137. Bechthold R. L. and Peres W. B.: "M85 Lifetime Emissions and Operating Experience", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  138. Hoekman K. S. and Jensen T. E.: "Methanol Vehicle Emissions Round Robin Test Program", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  139. Decker G., Heinrich H., Kröll M. and Loeck H.: "Field Experience and Progress of Volkswagen's Multi Fuel Vehicles", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  140. Gabele P. and Black F.: "Emissions and Fuel Economy of Federal Alternative Fueled Fleet Vehicles", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  141. Maxwell T. T. and Jones J. C.: "Long-Term Methanol Test Program", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  142. Huff S. P., and Hodgson J. W.: "Demonstration of the Fuel Economy Potential of a Vehicle Fueled with M85" Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  143. Hoekman S. K. and Jensen T. E.: "Methanol Vehicle Emissions Round Robin Test Program", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
  144. Browning L. H. and McCormack M. C.: "A Technology Assessment of Light-Duty Methanol Vehicles", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.

145. Iida N.: "Analysis of Radical Luminescence Images under ATAC Operation of a Methanol-Fueled Two-Stroke Engine", Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.
146. Matura M.: "Demonstration Tests of a Reformed Methanol Gas Turbine Generation", Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.

### **6.2.5 Metan (fossilgas och biogas)**

147. CRC Atlanta GA, "Auto/Oil"; Air Quality Improvement Research Program (AQIRP): "Exhaust Emissions of Compressed Natural Gas (CNG) Vehicles Compared with Gasoline Vehicles." Technical Bulletin No. 15, July 1995.
148. Chandler, K. (Battelle), Norton P. (NREL), and Clark N. (West Virginia Univ.): "Alternative Fuel Truck Evaluation Project – Design and Preliminary Results." SAE Paper 981392, 1998.
149. Crawford, John G.; Wallace, James S., "Engine Operating Parameter Effects on the Speciated Aldehyde and Ketone Emissions from a Natural Gas Fueled Engine." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, October 1995, SAE Paper 952500, 1995.
150. Bach C., Heeb N., Jäckle H., Mattrel P. and Rytz C. "Recommendations for the Assessment of exhaust emissions from natural gas vehicles on homologation - Partial report", EMPA Report Nr. 160'928/1e, EMPA Dübendorf, 1996.
151. Audinet, M.; Griesemann, J. C., "Gaseous fuels and pollution reduction: which future?" Emmissions From Road Traffic - Immissions in Built-up Areas; Verlag des Verein Deutscher Ingenieure GmbH, Dusseldorf, Germany, September 1995, VDI Report No. 1228 (SAE Paper 957064), 1995.
152. Havenith C., Merétei T., and Romvári R.: "Development of a RABA CNG Lean-Burn Engine for Low Polluting City Bus Operation." VDI Report No. 306, ISBN 3-81-330612-3 (SAE Paper 977021), 1997 (in German).
153. Chmela F. und Kapus P.: "Das TRI-FLOW-Verbrennungsverfahren für den Magerbetrieb von Gasmotoren", MTZ (Motortechnische Zeitschrift) 55, 1994.
154. van der Weide J., Berendsen J. M., de Roos M., Moreau J. F. m Griesemann J. C. and Allard G.: "Development of an Optimized CNG Passenger Car with Petrol Limp-Home System", SAE Paper 940760, 1994.
155. Hämmerl, A., Kramer, F., Langen, P., Schulz, G. und Schulz, T. BMW-Automobile für den wahlweisen Benzin- oder Erdgasbetrieb. ATZ 97(1995):12, 800-10.
156. Kamel, M. M., "The B5.9G gas engine technology." SAE International Truck and Bus Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, November 1995, SAE Paper 952649, 1995.
157. Clark, Nigel N.; Gadapati, Clarence J.; Kelly, Kenneth; White, Charles L.; Lyons, Donald W.; Wang, Wenguang; Gautam, Mridul; Bata, Reda M., "Comparative emissions from natural gas and diesel buses." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive



- Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952746, 1995.
158. Clark, Nigel N.; Mott, Gregory E.; Atkinson, Christopher M.; deJong, Remco J.; Atkinson, Richard J.; Latvakosky, Tim; Traver, Michael L., "Effect of fuel composition on the operation of a lean burn natural gas engine." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952560, 1995.
  159. Hollnagel, Carlos, "Natural gas engine Mercedes-Benz M447hG with exhaust emissions lower than 50% Euro II." SAE Brazil 95; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952289, 1995.
  160. Mandineau, Daniel, "Natural gas engines at the lean limit: to produce less than 1 g/kWh of NO<sub>x</sub>" The European Automotive Industry Meets the Challenges of the Year 2000; Societe des Ingenieurs de l'Automobile, Paris, France, June 1995, SIA Paper 9506A04 (SAE Paper 953403), 1995.
  161. Kubesh J. T., Podnar D. J. and Colucci C. P. (SwRI): "Lean Limit and Performance Improvements for a Heavy-Duty Natural Gas Engine", SAE Paper 961939, 1996.
  162. Podnar D. J., Kubesh J. T. and Colucci C. P. (SwRI): "Development and Application of Advanced Control Techniques to Heavy-Duty Natural Gas Engines", SAE Paper 961984, 1996.
  163. Aceves, Salvador M.; Smith, J. Ray; Perkins, L. John; Haney, Scott, W.; Flowers, Daniel L., "Optimization of a CNG series hybrid concept vehicle." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1996, SAE Paper 960234, 1996.
  164. Lapetz, John; McCarthy, Dan; Greenfield, Neal; Czapski, Robert; Gefetos, Ted; Rosson, John; Couture, Scott; Nelson, Brett W.; Schaefer, Robert; Klein, Ralph; Kuechler, Peter, "Development of the Ford QVM CNG bi-fuel 4.9L F-Series pickup truck." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1996, SAE Paper 960850, 1996.
  165. Mourad S., Van de Weijer C. J. T., and Beckman D. E.: "Internal combustion engines in hybrid vehicles.", ImechE Paper C529/010, ISBN 1-86058-143-9, 1998.
  166. Furuyama M., and Yan X. B. (Chiba Univ.): "Mixing Flow Phenomena of Natural Gas and Air in the Mixer of a CNG Vehicle.", SAE Paper 981391, 1998.
  167. Van Dam W., Graham J. P., Stockwell R. T., and Montez A. M.: "A new CNG Engine Test for the Evaluation of Natural Gas Engine Oils", SAE Paper 981370, 1998.
  168. Langeani M. (Consultant), Borges L. H. (Mercedes Benz do Brasil), Hollnagel C., Muraro E. (Mercedes Benz do Brasil), and Fontes R. (Akros Engenharia):

- "In-Cylinder Flow Analysis of the Mercedes-Benz do Brasil Lean-Burn CNG M366LAG Engine." SAE Paper 973114, 1997.
169. Nigro F. E. B., Trielli M. A., Zabeu C. B., Silva L. L. C., and Figueiredo S. A.: (Instituto de Pesquisas Technolaogicas): "Effects of natural gas composition on bus engine performance." SAE Paper 973038, 1997.
170. Hwang G. S. (Kia Motors), Choi J. N. (Kia Motors), Shin D. H. (Kia Motors), Choi K. H. (Kia Motors), Cho Y. S. (KOGAS), and Pang H. S. (KOGAS): "KIA's Sportage dedicated natural gas vehicle , SAE Paper 971664, 1997.
171. Sun X., Wiedmann T., and Hussein S. (IMPCO): "Fuel Management and Exhaust Emissions of Light- and Heavy-Duty Trucks Operating on CNG and LPG." SAE Paper 971661, 1997.
172. Wayne W. S., Clark N. N., Atkinson C. M. (West Virginia Univ.): "A Parametric Study of Knock Control Strategies for a Bi-Fuel Engine." SAE Paper 980895, 1998.
173. Sun X., Toth R., and Wiedmann T. (IMPCO): "Development of the General Motors 5.7L CNG Bi-Fuel Pickup Trucks." SAE Paper 980817, 1998.
174. Mizutani A. (NGK), Okawa T. (NGK), Matsuzaki H. (NGK), Kubota H. (Honda), Hosogai S. (Honda): "Oxygen Sensor for CNG Application as ULEV or Tighter Emission Vehicle." SAE Paper 980264, 1998.
175. Raine, R. R.; Zhang, G.; Pflug, A., "Comparison of emissions from natural gas and gasoline fuelled engines – Total hydrocarbon and methane emissions and exhaust gas recirculation effects.", SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1997, SAE Paper 970743, 1997. w
176. Takagaki, Sho S.; Raine, Robert R., "The effects of compression ratio on nitric oxide and hydrocarbon emissions from a spark-ignition natural-gas-fueled engine." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1997, SAE Paper 970506, 1997. w
177. Einewall, Patrik; Johansson, Bengt, "Combustion chambers for supercharged natural gas engines." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1997, SAE Paper 970221, 1997. w
178. Nine R. D., Clark N. N., Mace B. E., and ElGazzar L. (West Wirginia Univ.): "Hydrocarbon Speciation of a Lean-Burn, Spark-Ignited Engine." SAE Paper 972971, 1997.
179. Fujimoto H. (Doshisha Univ.), Huyn G.-S. (Inha Univ.), Senda J. (Doshisha Univ.), Kanemura T. (Kobe Steel Ltd.), and Tanaka T. (Yanmar): "Characteristics of Transient Gas Diffusion Flame." SAE Paper, 972965, 1997.
180. Arcoumanis C., Godwin S. N., Kim J. W. (Imperial College): "Effect of Tumble Strength on Combustion and Exhaust Emissions in a Single-Cylinder, Four-Valve, Spark-Ignition Engine." SAE Paper 981044, 1998.

181. Ohm, I. Y.; Jeong, K. S.; Jeung, I. S., "Effects of injection timing on the lean misfire limit in an SI engine." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1997, SAE Paper 970028, 1997.
182. Barbosa, Cleiton Rubens Formiga; Da Silva, Mario Roberto; Celere, Samuel Washington, "The performance of an Otto cycle Bi-fuel engine with natural gas direct injection." SAE Brazil 96 V International Mobility Technology Conference and Exhibit; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 962381, 1996.
183. Borges, Luiz Henrique; Hollnagel, Carlos; Muraro, Wilson, "Development of a Mercedes-Benz natural gas engine M366LAG with a lean-burn combustion system." SAE Brazil 96 V International Mobility Technology Conference and Exhibit; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 962378, 1996.
184. Marinetti, Daryl M.; Bechtold, Richard L.; Laughlin, Mike; Wagner, Joseph R.; Hudson, Lawrence R., "NYSERDA AFV-FDP CNG transit bus fleet operating experience." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 962071, 1996.
185. Crawford, John G.; Jaaskelainen, Hannu E.; Wallace, James S., "Evaluation of different natural gas fueling strategies during throttle transients." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 961985, 1996.
186. McCormick, Robert L.; Newlin, Anthony W.; Mowery, Deborah; Graboski, Michael S.; Ohno, T. R., "Rapid deactivation of lean-burn natural gas engine exhaust oxidation catalysts." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 961976, 1996.
187. Segawa, Daisuke; Kadota, Toshikazu; Mizobuchi, Takeshi; Kataoka, Katsumi; Fukano, Yukiyoishi, "Effect of fluid flow on combustion process of natural gas in a rapid compression combustor." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 961937, 1996.
188. Aesoy, Vilmar; Valland, Harald, "The influence of natural gas composition on ignition in a direct-injection gas engine using hot surface assisted compression ignition." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 961934, 1996.
189. Mtui, Peter L.; Hill, Philip G., "Ignition delay and combustion duration with natural gas fueling of diesel engines." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 961933, 1996.
190. Chamberlin, W. B.; Curtis, T. T.; Smith, D. M., "Crankcase lubricants for natural gas transportation applications." 1996 SAE International Fall Fuels and

- Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 961920, 1996.
191. Hill, S.; Sulatisky, M.; Lychak, J.; Nakamura, K.; Matsui, T.; Rideout, G., "A lean-burn, sub-compact natural gas vehicle." 1996 SAE Future Transportation Technology Conference; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1996, SAE Paper 961676, 1996.
  192. Evans, R. L.; Blaszczyk, J.; Matys, P., "An experimental and numerical study of combustion chamber for lean-burn natural gas engines." 1996 SAE Future Transportation Technology Conference; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1996, SAE Paper 961672, 1996.
  193. Hodgins, K. Bruce; Hill, Philip G.; Ouellette, Patric; Hung, Peter, "Directly injected natural gas fueling of diesel engines." 1996 SAE Future Transportation Technology Conference; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1996, SAE Paper 961671, 1996.
  194. Ursu, Buerebista; Perry, G. Campbell, "Natural gas powered heavy-duty truck demonstration." 1996 SAE Future Transportation Technology Conference; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1996, SAE Paper 961669, 1996.
  195. Kubota, Hiroki; Fukano, Yuki-yoshi; Shiomi, Masao, "Combustion characteristics of natural gas/diesel dual-fuel engine." Spring Conference; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, May 1996, JSAE Paper 9633063 (SAE Paper 968113), 1996, (in Japanese).
  196. Hoekstra, Robert L.; Van Blarigan, Peter; Mulligan, Neal, "NO<sub>x</sub> emissions and efficiency of hydrogen, natural gas and hydrogen/natural gas blended fuels." SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, May 1996, SAE Paper 961103, 1996.
  197. Gebert, Kresimir; Beck, N. John; Barkhimer, Robert L.; Wong, Hoi-Ching; Wells, Allen D., "Development of pilot fuel injection system for CNG engine." SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, May 1996, SAE Paper 961100, 1996.
  198. Corbo, P.; Gambino, M.; Iannaccone, S., "Methane dedicated catalysts for heavy-duty natural gas engines." SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, May 1996, SAE Paper 961087, 1996.
  199. Tilagone, Richard; Monnier, Gaetan; Chaouche, Ali; Baguelin, Yves; De Chauveron, Stephane, "Development of a high efficiency, low-emission SI-CNG bus engine." SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, May 1996, SAE Paper 961080, 1996.
  200. Klimstra, J., "The consequences of improving performance of reciprocating engines." Using Natural Gas in Engines; Institution of Mechanical Engineers, London, England, March 1996, SAE Paper 964033, 1996.

201. Duan, S. Y., "Laboratory experience with the use of natural gas fuel in IC engines." Using Natural Gas in Engines; Institution of Mechanical Engineers, London, England, March 1996, SAE Paper 964031, 1996.
202. Bradley, D.; Lawes, M.; Sheppard, C. G. W.; Woolley, R., "Methane as an engine fuel." Using Natural Gas in Engines; Institution of Mechanical Engineers, London, England, March 1996, SAE Paper 964028, 1996.
203. Held, W., "The natural gas engine, an environment-friendly and economical alternative to the conventional diesel-powered commercial vehicle engine." 150 Years of Wilhelm Maybach; Verlag des Verein Deutscher Ingenieure GmbH, Dusseldorf, Germany, February 1996 VDI Berichte 1256, ISBN 3-18-091256-1, (in German).
204. Collier, Kirk; Hoekstra, Robert L.; Mulligan, Neal; Jones, Charles; Hahn, Douglas, "Untreated exhaust emissions of a hydrogen-enriched CNG production engine conversion." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1996, SAE Paper 960858, 1996.
205. Andreatta, Dale; Dibble, Robert W., "An experimental study of air-reformed natural gas in spark-ignited engines." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1996, SAE Paper 960852, 1996.
206. Kim, Sung Soo; Kim, Chang Gi; Kim, Chang Up; Pang, Hyo Sun; Han, Jeong Ok; Cho, Yang Soo, "A study on efficiency and emission enhancements in a 4-stroke natural gas lean burn engine." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1996, SAE Paper 960849, 1996.
207. Aesoy, Vilmar; Valland, Harald, "Hot surface assisted compression ignition of natural gas in a direct injection diesel engine." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1996, SAE Paper 960767, 1996.
208. Miyata, Tatsuji; Notsu, Ikurou; Takahashi, Sadahiro; Watanabe, Yoshito, "Development of a CNG engine electronic control system for commercial vehicles." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency – The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9530652 (SAE Paper 958472), 1995, (in Japanese).
209. Petsinger, Robert E.; Young, Colin G., "Electronic carburation system for natural gas vehicles." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency – The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9530643 (SAE Paper 958471), 1995.
210. Bachrun, Rachmat; Haryanto, Arief; Sanyoto, Priyono; Yasjkur, Chakimulmal, "Theoretical and experimental study of electronically controlled CNG injection kit for natural gas vehicle (ngv)." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency – The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9530634 (SAE Paper 958470), 1995.

211. Ishii, Mitsunori; Ishizawa, Shizuo; Nakagawa, Toyooki; Idoguchi, Ryuichi; Inada, Eiji; Tanaka, Tou, "Effects of natural gas fuel composition on exhaust emission characteristics." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency – The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9530625 (SAE Paper 958469), 1995.
212. Petsinger, Robert E.; Young, Colin G., "Natural gas diesel pilot injection system." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency – The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9530616 (SAE Paper 958468), 1995.
213. Jung, Kweon; Chung, Ik Jae, "Experimental study on 11 liter CNG-fueled engine converted from diesel engine." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency – The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9530616 (SAE Paper 958467), 1995.
214. Shioji, Masahiro; Ikegami, Makoto; Zhu, Qi-Ming; Sato, Ken'ichiro, "A study of a low-NO<sub>x</sub> lean-burning natural-gas-engine." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency – The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9530599 (SAE Paper 958466), 1995.
215. Sakai, Takayuki, "Reviews on the current technologies of HD natural gas engines for automotive use." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency – The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9530580 (SAE Paper 958465), 1995.
216. Duffield, Kendall; Bata, Reda; Meyers, David, "Transient emissions tests of Cummins N-14 natural gas engine." SAE International Truck and Bus Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, November 1995, SAE Paper 952653, 1995.
217. Gibson, Richard B., "Blue Bird's alternative fuelled buses." SAE International Truck and Bus Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, November 1995, SAE Paper 952611, 1995.
218. Gibbs, Jerry L.; Bechtold, Richard L.; Collison, Charles E., "The effects of LNG weathering on fuel composition and vehicle management techniques." SAE International Truck and Bus Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, November 1995, SAE Paper 952607, 1995.
219. Tummala, M.; Krepec, T.; Childs, R. F.; Ahmed, A. K. W., "Optimization of natural gas storage system for vehicles equipped with direct injection system." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952745, 1995.
220. McKay, Daniel J., "LNG – A paradox of propulsion potential." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive

- Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952742, 1995.
221. Gou, Michel; Caron, Marc Andre; Leduc, Benoit, "Development of a bolt-on natural gas conversion kit for the 6V-71 two stroke diesel engine." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952741, 1995.
222. Hanshaw, Geoffrey; Pope, Gary, "Liquefied natural gas – Heavy duty truck applications." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952740, 1995.
223. Colucci, Chris, "School bus program: transition to alternative fuels." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952747, 1995.
224. Varde, K. S.; Patro, N.; Drouillard, Ken, "Lean burn natural gas fueled S.I. engine and exhaust emissions." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952499, 1995.
225. Cattelan, Alexandra; Wallace, Jim, "Exhaust emission and energy consumption effects from hydrogen supplementation of natural gas." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952497, 1995.
226. Hodgson, Jeffrey W.; Luton, Edward N.; Lampley, Stephen R., "Development of a dedicated CNG compact car." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952439, 1995.
227. Daisho, Yasuhiro; Takahashi, Kou; Iwashiro, Yuki; Nakayama, Shigeki; Kihara, Ryoji; Saito, Takeshi, "Controlling combustion and exhaust emissions in a direct-injection diesel engine dual-fueled with natural gas." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952436, 1995.
228. Ting, David S-K.; Checkel, M. David; Johansson, Bengt, "The importance of high-frequency, small-eddy turbulence in spark-ignited, premixed engine combustion." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952409, 1995.
229. Kubesh, John T.; Podnar, Daniel J.; Guglielmo, Kennon H.; McCaw, Don, "Development of an electronically controlled natural gas-fueled John Deere Power Tech 8.1L engine." SAE Future Transportation Technology Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, August 1995, SAE Paper 951940, 1995.
230. Giordano, Dan D.; Petersen, Peter W., "A turbocharged lean-burn 4.3 liter natural gas engine." SAE Future Transportation Technology Conference and

- Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1995, SAE Paper 951939, 1995.
231. Uyehara, Otto A., "Prechamber for lean burn for low NO<sub>x</sub> for natural gas." SAE Future Transportation Technology Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1995, SAE Paper 951937, 1995.
232. Randolph, D.; Weseloh, W.; Beck, N. J., "Dual fuel CNG retrofit for Mexican public transit." SAE Future Transportation Technology Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1995, SAE Paper 951915, 1995.
233. Sturman, O. Eddie; Pena, James A.; Petersen, Peter W., "A CNG specific fuel injector using latching solenoid technology." SAE Future Transportation Technology Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1995, SAE Paper 951914, 1995.
234. Bates, Geoffrey J.; Favrat, Daniel; Germano, Sebastien; Nicollerat, Marc, "Ultra-rapid natural gas port injection." SAE Future Transportation Technology Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1995, SAE Paper 951913, 1995.
235. Jaaskelainen, Hannu E.; Wallace, James S., "Behavior of a closed-loop controlled-air-valve type mixer on a natural gas fueled engine under transient operation." SAE Future Transportation Technology Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1995, SAE Paper 951911, 1995.
236. de Voogd, Adrianus; van der Weide, Jouke; Konig, Axel; Wegener, Rainer, "Dedicated natural gas vehicle with low emission." The European Automotive Industry Meets the Challenges of the Year 2000; Societe des Ingenieurs de l'Automobile, Paris, France, June 1995, SIA Paper 9506A02 (SAE Paper 953401), 1995.
237. Bamford, John O. W., "Gaseous fuels – Bridge to the future." Fuels of the Future; Society of Automotive Engineers of Australasia, Victoria, Australia, May 1995 1995-10-0022
238. Johansson, Bengt; Olsson, Krister, "Combustion chambers for natural gas SI engines--Part I: fluid flow and combustion." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, February 1995, SAE Paper 950469, 1995.
239. Olsson, Krister; Johansson, Bengt, "Combustion chambers for natural gas SI engines. Part 2: combustion and emissions." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, February 1995, SAE Paper 950517, 1995.
240. Uyehara, Otto A., "Prechamber for lean burn for low NO<sub>x</sub>" SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warren-



- dale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 3, February 1995, SAE Paper 950612, 1995.
241. Saikalis, George; Yamauchi, Teruo, "Development of high pressure gas flow sensing device." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950530, 1995.
242. Lueptow, Richard M.; Phillips, Scott; Oczkowski, Michael, "Acoustic natural gas fuel quality sensor." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 6, February 1995, SAE Paper 950529, 1995.
243. Teague, Jonathan M.; Ward, Peter F., "Transitional strategies for alternative fuel supply infrastructure: Moving from fuel flexible to dedicated vehicles." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952377, 1995.
244. Seal, Michael R.; Campbell, Gavin, "The ground-up hybrid vehicle program at the Vehicle Research Institute." SAE Future Transportation Technology Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1995, SAE Paper 951904, 1995.
245. Sierens, Roger; Rosseel, Evert, "Sequential injection of gaseous fuels." The European Automotive Industry Meets the Challenges of the Year 2000; Societe des Ingenieurs de l'Automobile, Paris, France, June 1995, SIA Paper 9506A03 (SAE Paper 953402), 1995.
246. Tennant, Christopher J.; Atkinson, Richard J.; Traver, Michael L.; Atkinson, Christopher M.; Clark, Nigel N., "The design of a bi-fuel engine which avoids the penalties associated with natural gas operation." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950679, 1995.
247. Atkinson, Christopher M.; Traver, Michael L.; Tennant, Christopher J.; Atkinson, Richard J.; Clark, Nigel N., "Exhaust emissions and combustion stability in a bi-fuel spark ignition engine." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950468, 1995.
248. Daisho, Yasuhiro; Yaeo, Toru; Koseki, Takahisa; Kihara, Ryoji; Saito, Takeshi; Quiros, Edwin N., "Combustion and exhaust emissions in a direct-injection diesel engine dual-fueled with natural gas." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950465, 1995.
249. Bhangale, U. D.; Ghosh, B., "ARAI experiences on conversion of petrol (gasoline) engine vehicles to CNG operation." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950403, 1995.
250. Klimstra, Jacob; Westing, Jan E., "NO<sub>2</sub> from lean-burn engines – On its lower sensitivity to leaning than NO." SAE International Congress and Exposition;

- Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 104, Section 4, February 1995, SAE Paper 950158, 1995.
251. De Maria, Sam; Bruno, Frank; Saman, Wasim, "Analysis and testing of a high-pressure micro-compressor." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950058, 1995.
252. Kim, C. U.; Kim, C. G.; Kim, S. S.; Bang, H. S.; Han, J. O.; Cho, Y. S., "A study on performance improvement for 4-stroke natural gas lean burn engine." Autumn Conference; Korea Society of Automotive Engineers, Inc., Seoul, Korea, November 1994, SAE Paper 943892, 1994 (in Korean).
253. Martel, Bernard, "The benefits of the natural gas engine for advanced pollution control, especially in the urban environment." The Spark Ignition Engine: What Challenges for the Year 2000?; Societe des Ingenieurs de l'Automobile, Paris, France, November 1994, SAE Paper 943492, 1994, (in French).
254. Le Crocq, Jean-Jacques, "Recent developments in motor fuels in Europe." The Spark Ignition Engine: What Challenges for the Year 2000?; Societe des Ingenieurs de l'Automobile, Paris, France, November 1994, SAE Paper 943488, 1994, (in French).
255. Gluck, K. H.; Lox, E.; Schafer-Sindlinger, A.; Kreuzer, Thomas; Muniz, R. S., "Catalyst development for stoichiometric and lean burn natural gas engines." SAE Brasil 94; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, November 1994, SAE Paper 942419, 1994.
256. van Ling, J. A. N.; Seppen, J. J.; de Haas, J., "Stoichiometric CNG city bus engine with optimized part-load efficiency, high mean effective pressure and low emissions." New Design Frontiers for More Efficient, Reliable, and Ecological Vehicles; Associazione Tecnica dell'Automobile, Torino, Italy, March 1994, ATA Paper 94A1112 (SAE Paper 94A079), 1994.
257. Corbo P., Gambino M. and Unich A.: "Comparison Between Lean-Burn and Stoichiometric Technologies for CNG Heavy-Duty Engines", SAE Paper 950057, 1995.
258. Chmela F. and Kapus P.: "The New AVL High-Turbulence Lean-Burn Natural Gas Engine", Seminar on Gas Engines and Co-Generation, ImechE, London, June 17, 1993.
259. Kapus P. and Chmela F.: "The New AVL Gas Engine Combustion System", ICE-Vol. 20, Alternate Fuels, Engine Performance and Emissions. ASME, 1993.
260. Heck E. und Langen P.: "Potential des Erdgasantriebs zur Erfüllung von EZEV-Standards", 18 Internationales Motorensymposium, Wien 1997.

### 6.2.6 LPG

261. Caton J. A., McDermott M., and Chona R. (Texas A&M Univ.): "Development of a Dedicated LPG-Fueled, Spark-Ignition Engine and Vehicle for the 1996 Propane Vehicle Challenge." SAE Paper 972692, 1997.

262. Sun X., Aia, A., and Hussein S. (IMPCO Technologies): "A dual-fuel system for motor vehicles", SAE Paper 981356, 1998.
263. Liu C. Y., Chen R., and Hussein S. (IMPCO Technologies): "Development of Gaseous Injector for Propane and CNG, Part 1." SAE Paper 981355, 1998.
264. Acedo E., Acosta O., Angulo A., Enriquez O., Krishnaswamy H. K., Loya R., Perez J., Olson S. A., Saenz V., Vega F., Villalobos J. A., Worth B.; Robbins M. C., Wicker R. B. (Univ. of Texas): "1997 UTEP LPP-FI Propane Challenge Vehicle." SAE Paper 980490, 1997.
265. Lutz B. R., Stanglmaier R. H., Matthews R. D. (Univ. Of Texas, Austin), Cohen J. (Siemens Automotive), and Wicker R (Univ. Of Texas, El Paso): "The Effects of Fuel Composition, System Design, and Operating Conditions on In-System Vaporization and Hot Start of a Liquid-Phase", SAE Paper 981388, 1998.
266. Frank, G.; Brunner, G., "LPG and CNG – their use in city buses and the effects on the exhaust emissions." 25th FISITA Congress – Automobile in Harmony with Human Society; Society of Automotive Engineers of China, Beijing, China, October 1994, SAE Paper 945147, 1994.
267. Chmela F. (AVL), Bruner G. (Gräf & Stift), and Knorr, H. (MAN) "Using the TRI-FLOW Combustion System for the Development of a Lean-Burn LPG Engine for City Buses." JSAE Paper 9733297 (SAE Paper 978202), 1997.

### 6.2.7 RME

268. Hansen K. F. and Jensen M. G.: "Chemical and Biological Characteristics of Exhaust Emission from a DI Diesel Engine Fueled with Rapeseed Oil Methyl Ester (RME)." SAE Paper 971689, 1997.
269. Schmidt, Kevin; Gerpen, Jon Van, "The Effect of Biodiesel Fuel Composition on Diesel Combustion and Emissions." SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, May 1996, SAE Paper 961086, 1995.
270. Krahl, J., Vellguth, G., Munack, A., Stadler, K. Und Bahadir, M. Schadstoff-emissionen und Umweltwirkungen bei Verwendung von Rapsölkraftstoffen in der Landwirtschaft. MTZ 57(1996):1, 24-31.
271. Weidmann, K. (VW). Anwendung von Rapsöl in Fahrzeug-Diesel-motoren. ATZ 97(1995):5, 288-92.
272. Prescher K., and Stanev A.: "Emission of aldehydes and the reduction potential in the exhaust gas of diesel engines using different fuel qualities.", VDI Report No. 306, ISBN 3-118-330612-3, 1997, (in German).
273. Krahl, Jurgen; Vellguth, Gerhard; Munack, Axel; Stalder, Karlheinz; Bahadir, Mufit, "Exhaust gas emissions and environmental effects by use of rapeseed oil based fuels in agricultural tractors." SAE International Off-Highway and Powerplant Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, August 1996, SAE Paper 961847, 1996.

274. Ferrone C. W. (Americoach Systems Inc.): "The Practical Implementation of Biodiesel as an Alternate Fuel for In-Service Motorcoaches." SAE Paper 973201, 1997.
275. Akasaka Y., Suzuki T., and Skurai Y. (JOMO Technical Research Center Co., Ltd.): "Exhaust Emissions of a DI Diesel Engine Fueled with Blends of Biodiesel and Low Sulfur Diesel Fuel." SAE Paper 972998, 1997.
276. Radwan M. S., Dandoush S K., Selim M. Y. E., and Kader A. M. A. (Univ. of Hewan): "Igniton Delay Period of Jojoba Diesel Engine Fuel, SAE Paper 972975, 1997.
277. Bessee G. B., and Fey J. P. (SwRI): "Compatibility of Elastomers and Metals in Biodiesel Fuel Blends." SAE Paper 971690, 1997.
278. Malcosky N. (Battelle), and Walt T. (Ohio Dep. of Transportation): "Ohio DOT Dump Truck/Snow Plow Comparative Evaluations with a Biodiesel Blend." SAE Paper 971688, 1997.
279. Howell S. (MARC-IV): "United States Biodiesel Standards – An Update of Current Activities." SAE Paper 971687, 1997.
280. Van Gerpen J. H., Hammond E. G., Yu L., and Monyem A. (Iowa State Univ.): "Determining the Influence of Contaminants on Biodiesel Properties." SAE Paper 971685, 1997.
281. Chang D. Y. Z., and Van Gerpen J. H. (Iowa State Univ.): "Fuel Properties and Engine Performance for Biodiesel Prepared From Modified Feedstocks." SAE Paper 971684, 1997.
282. Ali Y. (Sverdup Technology Inc.), and Hanna M. A. (Univ. of Nebraska): "In-cylinder pressure characteristics of a DI heavy-duty diesel engine on biodiesel fuel." SAE Paper 971683, 1997.
283. Dunn R. O., Shockley M. W., and Bagby M. O. (USDA, ARS, NCAUR): "Winterized Methyl Esters From Soybean Oil: an Alternative Diesel Fuel with Improved Low-Temperature Flow Properties." SAE Paper 971682, 1997.
284. Knothe G. (US Dep. of Agriculture), Bagby M. O. (US Dep. of Agriculture), Ryan T. W. (SwRI): "Cetane Numbers of Fatty Compounds: Influence of Compound Structure and of Various Potential Cetane Improvers." SAE Paper 971681, 1997.
285. Suppes, Galen J.; Srinivasan, Balaji; Natarajan, Venkatesh P., "Autoignition of biodiesel, methanol, and a 50:50 blend in a simulated diesel engine environment." SAE International Alternative Fuels Conference and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952758, 1995.

### 6.2.8 DME

286. Brandberg Å. (Ecotraffic), Sävbark B. (Ecotraffic), Landälv I. (Nykomb Synergetics), och Lindblom M. (Nykomb Synergetics): "DME – drivmedel för dieselmotorer." KFB-Meddelande 1997:30, 1997.
287. Edgar B. L. (UCLA), Dibble R. W. (UCLA), and Naegeli D. W. (SwRI): "Autoignition of Dimethyl Ether and Dimethoxy Methane Sprays at High Pressures." SAE Paper 971677, 1997.

288. Golovitchev, V.; Nordin, N.; Chomiak, J. (CTH): "Numerical Evaluation of Dual-Oxygenated Fuel Setup for DI Diesel Application." SAE Paper 971596, 1997.
289. Mikkelsen, S.-E.; Hansen, J. B.; Sorenson, S. C., "Dimethyl ether as an alternative fuel for diesel engines." International Seminar on Application of Powertrain and Fuel Technologies to Meet Emissions Standards; Institution of Mechanical Engineers, London, England, June 1996, SAE Paper 964120, 1996.
290. Ofner, H.; Gill, D. W.; Kammerdiener, T., "A fuel injection system concept for dimethyl ether." International Seminar on Application of Powertrain and Fuel Technologies to Meet Emissions Standards; Institution of Mechanical Engineers, London, England, June 1996, SAE Paper 964119, 1996.
291. Hansen J. B.; Voss B.; Joensen F.; Sigurdardottir I. D.: "Large Scale Manufacture of Dimethyl Ether - a New alternative Diesel Fuel from Natural Gas", SAE Paper 950063, 1995.
292. Sorenson S., and Mikkelsen S.-E.: "Performance and Emissions of a 0.273 Liter Direct Injection Diesel Engine Fuelled with Neat Dimethyl Ether", SAE Paper 950063, 1995.
293. Cipolat D. and Gaspari R.: "The Effect of Changing Injection Timing in a Methanol/Dimethyl Ether Fuelled Compression Ignition Engine", Eleventh International Symposium on Alcohol Fuels, 1995.
294. Kajitani S., Chen Z. L., Konno M. and Rhee K. T.: "Engine Performance and Exhaust Characteristics of Direct-Injection Diesel Engine Operated with DME", SAE Paper 972973, 1997.
295. Gjirja S., and Olsson E. (CTH): "Ether as ignition Improver and its Application on Ethanol Fuelled Engine." KFB-Meddelande 1997:38, December 1997.

### **6.2.9 EI**

296. Wabro, R. Und Wagner, U. (Forschungsstelle Energiewirtschaft München). Energieverbrauchsanalyse von Elektro-Pkw – Stand der Technik und Ausblick. ATZ 100(1998):2, 98-103.
297. Eden, T.-U. (IFEU, Heidelberg), Heber, C., Höpfner, U. und Voy, C. Erprobung von Elektrofahrzeugen der neuesten Generation auf der Insel Rügen. ATZ 99(1997):9, 536-49.
298. Neumann, U., Fleissner, T. und Franze, H.A. Energiebilanz des BMW Elektro-fahrzeuges E1. ATZ 98(1996):2, 72-9.
299. Lave, L.B., Russel, A.G., Hendrickson, C.T. and McMichael, F.C. (Carnegie Mellon Univ.). Battery-Powered Vehicles: Ozone Reduction versus Lead Discharges. Environ. Sci.&Technol. 30(1996):9, 402A-407A.

### **6.2.10 Flera drivmedel**

300. Ahlvik P., Almén J., Grägg K. och Laveskog A.: "Avgasemissioner med alternativa bränslen", Bättre klimat, miljö och hälsa med alternativa drivmedel - bilaga, SOU 1996:184, Bilagor till betänkande av Alternativbränsleutredningen, 1997.

301. Ahlvik P., Egebäck K.-E., Laveskog A. och Westerholm R.: "Emissionsfaktorer för fordon drivna med fossila respektive alternativa bränslen – Huvudrapport och Underlagsmaterial.", KFB Rapport 1997:22 och KFB Rapport 1997:23, 1997.
302. Wu, D.-Y.; Matthews, R. D.; Zheng, J.; Shen, K.; Chiu, James; Mock, C.; Jaeger, S., "The Texas Project: Part 3 – Off-Cycle Emissions of Light-Duty Vehicles Operating on CNG, LPG, Federal Phase 1 Reformulated Gasoline, and/or Low Sulfur Certification Gasoline." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricant Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 962100, 1996.
303. Krüger, R., Fahl, U. und Voss, A. (Univ. Stuttgart). Alternative Kraftstoffe und Antriebe – ein Weg zur Minderung der Kohlenwasserstoff-emissionen? ATZ 100(1998):1, 26-33.
304. Sagerer, R. Einsatz regenerativer Brennstoffe im Motor. MTZ 57(1996):11, 628-634.
305. Erdmann, G. (Tech. Univ. Berlin) und Wiesenberg, R. Emissionsgesetzgebung und alternative Kraftstoffe in Kalifornien. ATZ 100(1998):5, 356-62.
306. Gabele, P. (US EPA). Exhaust Emissions from In-Use Alternative Fuel Vehicles. J. Air & Waste Man. Assoc. 45(1995): Oct., 770-7.
307. Rideout, Greg; Kirschenblatt, Morrie; Prakash, Chandra, "Emissions from methanol, ethanol, and diesel powered urban transit buses." International Truck and Bus Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, SAE Trans., Vol. 103, Section 2, November 1994, SAE Paper 942261, 1994.
308. Christensen M., Johansson B., and Einewall P. (Lund Institute of Technology): "Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Using Isooctane, Ethanol and Natural gas – A Comparison with Spark-Ignition Operation." SAE Paper 972874, 1997.
309. Mark J. (Union of Concerned Scientists): "Environmental and Infrastructure Trade-Offs of Fuel Choices for Fuel Cell Vehicles." SAE Paper 972693, 1997.
310. Christensen M., Johansson B., Amnéus P., and Mauss F. (Lund Institute of Technology): "Supercharged Homogeneous Charge Compression Ignition." SAE Paper 980787, 1998.
311. Cadle S. H. (GM), Groblicki P. J.(GM), Gorse R. A.(GM), Hood J., Korduba-Sawicky D.(Ford), and Sherman M. (Ford): "A Dynamometer Study of Off-cycle Exhaust Emissions – The Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program." SAE Paper, SAE Paper 971655, 1997.
312. Suppes, Galen J.; Chen, Zhi; Chan, Pau Ying, "Review of cetane improver technology and alternative fuel applications." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 962064, 1996.
313. Pucher, Greg R.; Gardiner, David P.; Bardon, Michael F.; Battista, Vittoria, "Alternative combustion systems for piston engines involving homogeneous charge compression ignition concepts – A review of studies using methanol,

- gasoline and diesel fuel." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 962063, 1996.
314. Taylor, Andrew B.; Mocan, Derek P.; Bell, Arthur J.; Hodgson, Neale G.; Myburgh, Ian S.; Botha, Johan J., "Gasoline/alcohol blends: exhaust emissions, performance and burn-rate in a multi-valve production engine." 1996 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1996, SAE Paper 961988, 1996.
315. Chandler, Kevin; Malcosky, Norman; Motta, Robert; Norton, Paul; Kelly, Kenneth; Schumacher, Leon; Lyons, Donald, "Alternative fuel transit bus evaluation program results." SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, May 1996, SAE Paper 961082, 1996.
316. Chomiak, Jerzy; Srolo, Jonas, "Fuel effects on energy release and knock parameters in a SI engine." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952404, 1995.
317. Patil, Pandit G., "The role of alternative fuels in the new generation of vehicles." SAE Fuels and Lubricants Meeting and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, October 1995, SAE Paper 952379, 1995.
318. Cole, Ian, "The development of today's diesel engine for alternative fuels." High Performance Diesel Engines; Society of Automotive Engineers of Australasia, Victoria, Australia, March 1995 1995-10-0009
319. Alexander, Graham H.; Nelson, Steve R.; Gaydos, Peter A.; Herridge, John T., "Vehicle reliability and maintenance Clean Fleet alternative fuels project." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950398, 1995.
320. Orban, John E.; Murphy, Michael J.; Matthews, M. Claire, "Vehicle fuel economy-The CleanFleet alternative fuels project." SAE International Congress and Exposition; Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA, February 1995, SAE Paper 950396, 1995.
321. ORNL, LBNL, NREL, PNNL and ANL: "Scenarios of U. S. Carbon Reductions - Potential Impacts of Energy-Efficient and Low-Carbon Technologies by 2010 and Beyond", DOE (and Internet [http://www.ornl.gov/ORNL/Energy\\_Eff/CON4441](http://www.ornl.gov/ORNL/Energy_Eff/CON4441)), 1997. *labweb, htm*
322. Brandel M. (sekr.): "Olika strategier för en introduktion av biodrivmedel till år 2000 - Rapport utarbetad på regeringens uppdrag av KFB i samråd med SIKA, Naturvårdsverket och NUTEK, KFB-Information 1997:10, 1997.
323. Nylund, N.-O. "LPG, a clean and efficient alternative motor fuel for light and heavy-duty vehicles", Proc. European Conference and exhibition on LPG: a clean and efficient motor fuel, Maastricht, 3 - 4 April 1995. Utrecht: Novem, 1995. ISBN 90-72130-75-8, 16 p.

336  
från

Tillgänglig i ...

324. Nylund, N.-O.: "Evaluating alternative fuel and engine concepts". Industrial Horizons 2/95, p. 12 - 18. Espoo: VTT Communications, 1995.
325. Nylund N.-O. and Ikonen M.: "Evaluating alternative fuels for light-duty applications (IEA AMF Annex V)". Proc. XI ISAF. International Symp. on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.
326. Nylund N.-O. and Lappi M.: "Evaluating Alternative Fuels for Light-Duty Applications", SAE Paper 972974, 1997.
327. Christensen M., Johansson B. and Einewall P. "Homogenous Charge Compression Ignition (HCCI) Using Isooctane, Ethanol and Natural Gas - A Comparison with Spark Ignition Operation", SAE Paper 972874, 1997.

### 6.2.11 Livscykelanalyser

328. Piersol, P. and de Lint, N. (Ortech Corp.) Greenhouse Gas and Other Emissions to Air Resulting from Ethanol and Methanol Use as Alternative Fuels. Report to Natural Resources Canada January 5 1995. Report No.: 93-T61-B003097 (Rev. 3) 50 pages.
329. IEA: "Transport, energy and climate change", ISBN 92-64-15691-7, OECD/IEA 1997.
330. US DOE Five Lab Carbon Reduction Study "Clean Technology Can Achieve Significant Greenhouse Gas Reductions. Chapter 5 Transportation Sector. 1998. Tillgänglig i Energy Efficiency and Renewable Energy Network (EREN).
331. Michaelis, L. (IEA Energy and Environmental Division). Life-Cycle Studies in IEA Policy Analysis. Föredrag vid SMR/SVEA seminarium LCA – fordonsdrivmedel den 4 oktober 1994. Baserat på Life-cycle Analysis of Energy Systems, OECD Paris 1993 och IEA Cars and Climate Change 1993 och Biofuels 1994.
332. OECD Report. Choosing an Alternative Transportation Fuel; Air Pollution and Greenhouse Gas Impacts; ISBN 92-64-14004-2. Paris 1993. (Ursprungliga rapportförfattare: D. Sperling och M. DeLuchi, Univ. Calif., Davis).
333. Arnäs, P-A et al (CTH – Inst. för Transportteknik). Livscykelanalys av drivmedel. Mars 1997.
334. Maclean, H., and Lave, L.B. (Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA). A Life-Cycle Model of an Automobile. Environ. Sci.&Techol. 32(1998): July, 1, 322A-330A.
335. Steele, N.L.C. (CARB, El Monte, CA) and Allen, D.T. (Univ. Texas, Austin). An Abridged Life-Cycle Assessment of Electric Vehicle Batteries. Environ. Sci. & Technol. 32(1998): Jan. 1, 40A-46A.
336. Sullivan, J. L. and Hu, J. (Ford Motor Co). Life cycle energy analysis for automobiles. SAE paper 951829.
337. Furnander, Å. (CTH – Inst. Transportteknik). Life Cycle Assessment of Dimethyl Ether as a Motor Fuel. Examensarbete 96:12. July 1996.



338. Verbeek, R.P. and van Doorn, A. (TNO) and van Walwijk, B.J.J. (Innas BV). Global assessment of Dimethyl-ether as an automotove fuel. TNO report 96.OR.VM.029.1/RV. 29 July 1996. (Även SAE paper 971607)
339. Di Carlo S., Serra R., and Foglia G.: (Fiat): "Application of LCA Methodologies in the Automobile Sector: Two Fiat Auto Experiences." SAE Paper 971203, 1997.
340. Balestrini A., and Levizzari A. (Fiat): "An application of Life Cycle Analysis on the Electric Car." SAE Paper 971179, 1997.
341. Beutler M., und Naumann M. : "Erdgas – Ein alternativer Kraftstoff für den Verkehrssektor, Teil 1: *allgemeine technische Aspekte, Kostenabschätzung und energiekettenbetrachtung.*" ATZ 100 (1998) 9.

### 6.2.12 Övriga drivmedel

342. Bailey B. (NREL), Eberhardt J. (US DOE), Goguen S. (US DOE), and Erwin J. (SwRI): "Diethyl Ether (DEE) as a Renewable Diesel Fuel, SAE Paper 972978, 1997.
343. Suppes G. J., Rui Y., and Regehr E. V. (Univ. of Kansas): "Hydrophilic Diesel Fuels – Ignition Delay Times of Several Different Blends." SAE Paper 971686, 1997.
344. Saengbangpla, Phulporn, "Butanol as alternative fuel in SI engine." The Eighth International Pacific Conference on Automotive Engineering, Harmony and Efficiency--The Technical Challenge; Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo, Japan, November 1995, JSAE Paper 9531093 (SAE Paper 958426), 1995.
345. Bertoli C., Del Giacomo N. Beatrice C.: "Diesel Combustion Improvements by the Use of Oxygenated Synthetic Fuels", SAE Paper 972972, 1997.

## 7 OSORTERAD LISTA ÖVRIGA REFERENSER

346. Birnbreier H.: Energetische und ökologische Bilanzierung des Winsatzes eines Elektro-Omnibusses auf Rügen, Teil 1: Energibilanz, Teil 2: Ökologische Gesichtspunkte." ATZ 100: 7/8, p. 510 – 517, 9, p. 616 – 624, 1998.
347. Baudino J. H., Voelz F. and Marek N.J.: "Emissions from Three Illinois E85 Demonstration Fleet Vehicles", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
348. Mettrick C. and Schwartz S. E.: "A Study of the Effects of Extended Oil-Drain Periods on Engine Oil Degradation and Engine Durability in a Fuel-Flexible Vehicle", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
349. Maxwell T. T., Jones J. C., Shah P. S., Boyce C. and Parker H. W.: "Cold-Starting Engines Fueled With Neat Methanol", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.

350. Quissek F., Zelenka P., Hulak K. And Kapus P.: "Cold Start Performance Comparison of Alcohol-Fueled Engines with In-Cylinder and Port Fuel Injection", SAE paper 920003.
351. Bartunek B., Schmidt R., Last R. Rogers G., Heinrich H. and Weidman K.: "Development of a Spark Ignited DI Methanol Engine for Passenger Car Application", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
352. Bull S. R.: "Advanced Vehicles for Enhanced Alternative Fuel Use", Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.
353. Kato S. and Onishi S.: "Performance of Direct Injection Methanol Engine Using Fuel Jet Impingement and Diffusion", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
354. Bartunek B. and Schorn N.: "Utilization of Methanol in Passenger Car Engines", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
355. Kyaw Z. H. and Watson H. C.: "Application of the HAJI system for near NO<sub>x</sub> elimination in the SI engine", Worldwide engine emission standards and how to meet them, Institution of Mechanical Engineers, London, England, May 1993.
356. Lumsden, G. and Watson H. C.: "HAJI operation in a hydrogen-only mode for emission control at cold start", SAE Paper 950412, 1995.
357. Lumsden G. and Watson, H. C.: "Optimum control of an S.I. engine with a Lambda=5 capability", SAE Paper 950689, 1995
358. Glasson N. Lumsden G., Dingli R. and Watson H. C.: "Development of the HAJI system for a multi-cylinder spark ignition engine", SAE Paper 961104, 1996.
359. Suzuki H., Koike N., Ishii K. and Odaka M.: "Exhaust purification of diesel engines by homogeneous charge with compression ignition - Part 1: experimental investigation of combustion and exhaust emission behavior under pre-mixed homogeneous charge compression ignition method", SAE Paper 970313, 1997.
360. Suzuki H., Koike N., Ishii K. and Odaka M.: "Exhaust purification of diesel engines by homogeneous charge with compression ignition - Part 2: analysis of combustion phenomena and NO<sub>x</sub> formation by numerical simulation with experiment", SAE Paper 970315, 1997.
361. Onishi S, Jo S. H., Shoda K., Jo P. D. and Kato S.: "Active Thermo Atmosphere Combustion (ATAC) - A New Combustion Process for Internal Combustion Engines", SAE paper 790501, 1979.
362. Mark J.: "Environmental and Infrastructure Trade-Offs of Fuel Choices for Fuel Cell Vehicles", SAE Paper 972693, 1997.
363. Riley C. J. and Tyson K. S.: "Total Fuel Cycle Emissions Analysis of Biomass-Ethanol Transportation Fuel", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993

364. Kossmehl S.-O., Heinrich H. and Bernhardt W.: "Assessment of Ecological and Technical Conditions for the Use of Alcohols and Biofuels in Passenger Vehicles", Proc. XI International Symposium on Alcohol Fuels, Sun City, South Africa, 14 - 17 April 1996.
365. Nylund, N.-O. and Eklund T.: "Low emission heavy-duty vehicles for urban services. Proc. for the Dedicated Conferences on Electric, Hybrid & Alternative Fuel Vehicles and Supercars (Advanced Ultralight Hybrids)", Aachen, Germany, 31 October - 4 November 1994. Croydon: Automotive Automation Ltd, 1994. P. 325 - 332. 94
366. Skandias Miljökommission: "Partiklar och hälsa - ett angeläget problem att undersöka", Skandia Rapport nr 5, 1996.
367. Authored by The Association of Swedish Automobile Manufacturers and Wholesalers: "Oxides of nitrogen - *Can the road traffic reach the goal?* (Kväveoxider - *Klarar vägtrafiken målet?*)", 1996, (in Swedish).
368. Authored by The Association of Swedish Automobile Manufacturers and Wholesalers: "Future road transportation - Environmental perspectives to 2020 (Framtida vägtrafik - Miljöperspektiv till 2020)", 1996, (in Swedish).
369. Gandhi K. K., Singhal S. Aigal A. K. Sharma J. and Dutta J. S.: "Demonstration Trials on Dual-Fuel Operated Buses on Alcohol", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993. 93
370. Niemi S. A. Pitkänen J. A. and Tamminen J. B.: "Development of Different Neat Ethanol Driven Direct-Injection Truck and Tractor Engines", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993. 3
371. Kato S. and Onishi S.: "Performance of Direct Injection Methanol Engine Using Fuel Jet Impingement and Diffusion", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993. 2
372. Miller S. P. and Savonen C. L.: "Development Status of the Detroit Diesel Corporation Methanol Engine", SAE Paper 901564, 1990. 9
373. Seko T., Tsuchiya K. Kim E. and Yamada H.: "Performances and Emissions of Methanol City Bus Engines", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993. 1
374. Jackson M. D. Pellegrin V. and Ikeda R.: "The Viability of Methanol as a Fuel for Heavy-Duty Applications", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993. 92
375. King L. J., James B., Smyth T. and Prakash C.: "Service Trials of Ethanol City Transit Buses", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993. 1
376. Marek N., Brown M. L. and Weinzierl R. M.: "The Peoria Ethanol Bus Fleet Demonstration Project", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993. 92
377. Parry R. E., Miller S. M., and Walker L. W.: "Detroit Diesel Corporation Alcohol Engines and Field Experience", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993. 93

378. Marek N. J. Stamper K. R. and Miller S.: "The Ethanol Heavy Duty Truck Fleet Demonstration Program", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
379. Weins J., Sullivan C. and Jackson M. D.: "California's Methanol Truck Demonstration", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
380. Nakashima N., Katafuchi M., Nakajima H., and Imoto K.: "Development of a Glow-Assisted Methanol Engine for Light-Heavy Duty Trucks", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.
381. Kusaka J., Daisho Y. and Saito T.: "Ignition and Combustion in a Glow Assisted D.I. Methanol Engine", Tenth International Symposium on Alcohol Fuels. November 7-10, DOE, 1993.