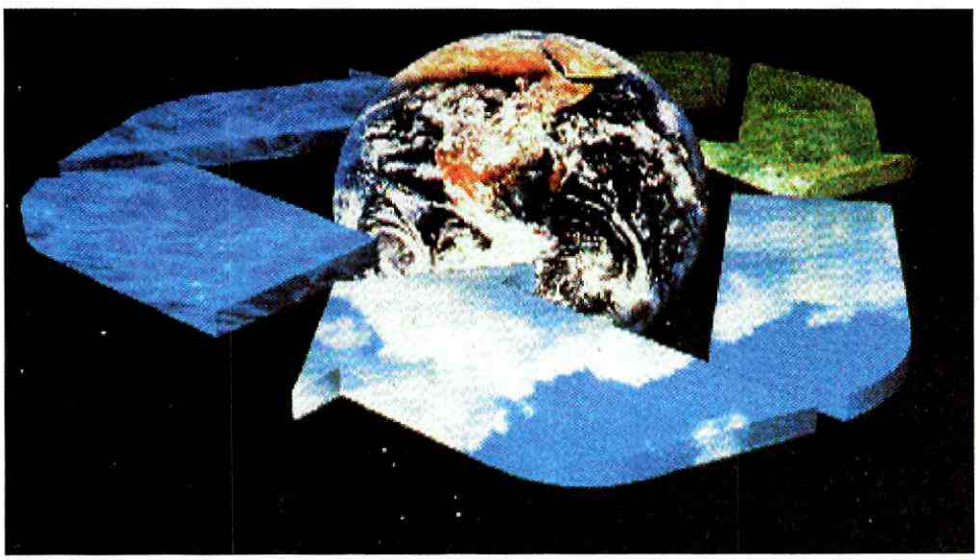
Ecotraffic
RESEARCH & DEVELOPMENT AB

Peter Ahlvik

KFB

Avgasemissioner från lätta fordon drivna med olika drivmedel



Effekter på hälsa, miljö och energianvändning

Peter Ahlvik, Åke Brandberg

KFB-Rapport 1999:38

TITEL/TITLE
Avgasemissioner från lätta fordon drivna med olika drivmedel. Effekter på hälsa, miljö och energianvändning
FÖRFATTARE/AUTHOR
Peter Ahlvik, Åke Brandberg, Ecotraffic R&D
SERIE/SERIES
KFB-Rapport 1999:38
ISBN 91-88371-55-7

ISSN 1104-2621
PUBLICERINGSDATUM/DATE PUBLISHED
December 1999
UTGIVARE/PUBLISHER
KFB – Kommunikationsforskningsberedningen, Stockholm
KFBs DNR 1998:613

REFERAT (Syfte, Metod, Resultat)
Syftet med undersökningen har varit att utvärdera effekterna på hälsa och miljö av olika drivmedel för lätta fordon. Det som primärt undersökts är identifierbara och kvantifierbara effekter i form av försurning, ozonbildning, cancerrisker och växthuseffekt men inverkan på andra effekter såsom t.ex. luftvägssjukdomar har varit av intresse. Genom litteraturstudier har material inhämtats som sedan använts för att beräkna de ovan nämnda effekterna i olika tidsperspektiv. Korrektioner har använts för att ta hänsyn till inverkan av klimat, åldring och körmönster. Hänsyn har också tagits till emissioner vid produktionen av drivmedel. De största och viktigaste skillnaderna mellan de olika drivmedlen föreligger för ozonbildning, cancerrisker och partikelemissioner. Alternativa drivmedel som metanol och metan (fossil naturgas och biogas) ger väsentligt lägre ozonbildning än bensin medan etanol, metanol och metan har fördelar när det gäller cancerrisker. Partikelemissionerna är betydligt högre för dieselmotorer drivna med dieselolja och RME i förhållande till övriga drivmedel. I framtiden kommer utsläpp av försurande ämnen vid framställningen att få en större betydelse eftersom emissionerna av NO_x och SO_x kommer att minska från fordonen. Utsläppen av klimatgaser kan bli väsentligt lägre för biobaserade drivmedel men även verkningsgraden för drivsystemet är av betydelse. Den tekniska utvecklingspotentialen för emissionsreduktioner är betydande för alla drivmedel men fördelar för de bästa alternativen kommer även framgent att kvarstå.

ABSTRACT (Aim, Method, Results)
The main aim of the investigation has been to assess the effects on health and environment from various alternative fuels for light-duty vehicles. Effects that can be identified and quantified, such as acidification, ozone formation, cancer risk and climate change, have been of primary interest but other effects, such as respiratory diseases, have also been investigated. Data have been collected through literature surveys for subsequent calculation of the mentioned effects in different timeframes. Corrections have been used to take into consideration the influence of climate, ageing and driving pattern. Emissions generated in fuel production have also been accounted for. The most significant and important differences between the fuels have been found for effects as ozone formation cancer risk and particulate emissions. Alternative fuels, such as methanol and methane (natural gas and biogas), significantly decrease the ozone formation in comparison to petrol, while ethanol, methanol and methane are advantageous concerning cancer risk. The particulate emissions are considerably higher for diesel engines fuelled by diesel oil and RME in comparison to the other fuels. In the future, the importance of acid emissions in the fuel production will increase since the NO_x and SO_x emissions will decrease from the vehicles. The emissions of climate gases could be significantly reduced by using non-fossil fuels but the efficiency of the drivetrain is also of importance. The technical development potential for further emission reductions is considerable for all fuels but the advantage for the best fuel options will remain in the future.

I Kommunikationsforskningsberedningens – KFB – publikationsserier redovisar forskare sina projekt. Publiceringen innebär inte att KFB tar ställning till framförda åsikter, slutsatser och resultat.

KFB-rapporter försäljs genom Fritzes Offentliga Publikationer, 106 47 Stockholm. Tel: 08-690 91 90,
fax: 08-690 91 91, e-post: fritzes.order@liber.se internet: www.fritzes.se
Övriga KFB-publikationer beställs och erhålls via KFB. Man kan dessutom abonnera på tidningen KFB-Kommuniké.

KFB Reports are sold through Fritzes', S-106 47 Stockholm.
Other KFB publications are ordered directly from KFB

KFB
KOMMUNIKATIONS
FORSKNINGS
BEREDNINGEN

AVGASEMISSIONER FRÅN LÄTTA FORDON DRIVNA MED OLIKA DRIVMEDEL

Effekter på hälsa, miljö och energianvändning

En rapport för

KFB

Ecotraffic R&D AB

Peter Ahlvik
Åke Brandberg

September 1999

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sida

SAMMANFATTNING I–VII

1 INLEDNING 1

2 BAKGRUND 3

3 EMISSIONSKOMPONENTER OCH EFFEKTER 4
3.1 Kolmonoxid CO 4
3.2 Kolväten (HC) 4
3.3 Kväveoxider (NO_X) 5
3.4 Partiklar 5
3.5 Oxider av svavel (SO_X) 6
3.6 Växthusgaser 6
3.7 Lätta aromater 7
3.8 Alkener 7
3.9 Aldehyder 8
3.10 Polycykliska aromatiska föreningar (PAC) 8
3.11 Övriga emissionskomponenter 8

4 METODIK 10
4.1 Avgränsning av studien 10
4.1.1 Fordonskategorier 10
4.1.2 Tidsramar 10
4.1.3 Val av fordonspopulationer 11
4.2 Litteraturstudie 11
4.2.1 Litteratursökningar 11
4.2.2 Val av litteratur 12
4.3 Undersökta motor- och drivmedelskombinationer 12
4.3.1 Prioritering av olika motor- och drivmedelskombinationer 12
4.3.2 Produktionsmetoder och råvaror 13
4.4 Livscykelperspektivet 14
4.5 Korrektioner av emissioner 15
4.5.1 Åldring 16
4.5.2 Klimat 16
4.5.3 Körmönster 16
4.5.4 Totala korrektioner 17
4.5.5 Faktorer som inte beaktats 18
4.6 Undersökta effekter 19
4.6.1 Försurning 19
4.6.2 Ozonbildning 20
4.6.3 Luftvägssjukdomar, akuta hälsoeffekter 23
4.6.4 Luftvägssjukdomar, kroniska hälsoeffekter – cancerrisker 24
4.6.5 Växthuseffekten 27
4.6.6 Energiomsättning 27

5 RESULTAT FÖR FORDON AV ÅRSMODELL 93/94 29
5.1 Korrektioner 29
5.1.1 Inverkan av åldring 29

5.1.2 Inverkan av klimat 37
5.1.3 Inverkan av körmönster 37
5.1.4 Möjlig inverkan av faktorer som ej beaktats 39
5.1.5 Jämförelse med andra studier 40
5.2 Emissionsfaktorer för olika emissionskomponenter 41
5.2.1 Reglerade emissioner 42
5.2.2 Försurande ämnen (NO_X och SO_X) 52
5.2.3 Växthusgaser 53
5.2.4 Lätta aromater 56
5.2.5 Alkener 58
5.2.6 Aldehyder 60
5.2.7 Polycykliska aromatiska föreningar (PAC) 62
5.2.8 Energianvändning och bränsleförbrukning 68
5.3 Effekter på hälsa och miljö 72
5.3.1 Försurning 72
5.3.2 Ozonbildning 75
5.3.3 Luftvägssjukdomar 77
5.3.4 Cancerrisker 81
5.3.5 Växthuseffekt 83
5.3.6 Energiomsättning 86
6 RESULTAT FÖR EL OCH ELHYBRIDER 90
6.1 Potential till minskad bränsleförbrukning 90
6.1.1 Teoretisk bakgrund för potential till lägre bränsleförbrukning 90
6.1.2 Alternativa motorer och bränslen 93
6.1.3 Resultat från PNGV programmet 93
6.1.4 Inverkan av hybridsystem för konventionella motorer 96
6.1.5 Serie eller parallell? 97
6.1.6 Batteriutveckling 98
6.1.7 Mercedes seriehybrid 99
6.1.8 Toyota Prius, parallellhybrid 99
6.2 Inverkan på emissioner 101
6.2.1 Teoretisk bakgrund för potential till lägre emissioner 101
6.2.2 Exempel på några emissionsresultat för hybridbilar 102
6.3 Kostnader 105
6.4 Elfordon 106
6.4.1 Energiomsättning för elbilar 106
6.4.2 Slutsatser om eldrift 108
7 UTVECKLING I FRAMTIDEN 109
7.1 Krav på emissioner och bränsleförbrukning 109
7.2 Motor och drivsystem 110
7.2.1 Utveckling av ottomotorer 111
7.2.2 Utveckling av dieselmotorer 113
7.3 Effekter på hälsa och miljö i framtiden 116
7.3.1 Försurning 116
7.3.2 Ozonbildning 116
7.3.3 Luftvägssjukdomar 118
7.3.4 Cancerrisker 121
7.3.5 Växthuseffekt 122
7.3.6 Energianvändning i fordonet 124
8 DISKUSSION OCH SLUTSATSER 126

8.1 Metodik 126
8.1.1 Prioriteringar 126
8.1.2 Korrektioner och beräkningsmodell 126
8.1.3 Beräkning av effekter 126
8.2 Analys av resultat 127
8.2.1 Försurning 127
8.2.2 Ozonbildning 127
8.2.3 Luftvägssjukdomar 127
8.2.4 Cancerrisker 128
8.2.5 Klimatgaser 128
8.2.6 Energianvändning och energiomsättning 128
8.2.7 Utveckling av motorer och drivsystem 128
8.2.8 El- och elhybrider 130
8.3 Slutsatser och rekommendationer 130
9 REFERENSER 132

TABELLFÖRTECKNING

Sida

Tabell 1: *Undersökta motor- och drivmedelskombinationer* ---- *13*
Tabell 2: *Relativa faktorer för reaktiviteten hos kolväten (NMHC) i avgaserna från olika drivmedel* ---- *21*
Tabell 3: *Relativa cancerrisker (bensen = 1)* ---- *25*
Tabell 4: *Uppskattat antal dödliga cancerfall i Sverige från luftföroreningar i tätort[16]26*
Tabell 5: *Växthusgaspotential för olika emissionskomponenter (relativt CO_2)* ---- *27*
Tabell 6: *Tillskott till emissionerna på grund av körmönstret (start)* ---- *38*
Tabell 7: *Emissioner för 1993 års fordon i USA (Mobile5 beräkningar) [39]* ---- *40*
Tabell 8: *Svavelinnehåll* ---- *53*
Tabell 9: *Jämförelse mellan en seriehybrid och ett konventionellt drivsystem (källa: Mercedes [62]).* ---- *99*
Tabell 10: *Bränsleförbrukning för Toyota Prius och några andra bilar med låg bränsleförbrukning* ---- *100*
Tabell 11: *Japanska 10 – 15 emissionskraven samt emissioner för Toyota Prius* ---- *104*
Tabell 12: *Emissioner för Toyota Prius och några andra bensinbilar* ---- *104*
Tabell 13: *Beräknad energianvändning för en elbil* ---- *107*
Tabell 14: *EU:s emissionsgränser för personbilar* ---- *109*

FIGURFÖRTECKNING

Sida

Figur 1: *MIR (Maximum Incremental Reactivity) för några olika organiska föreningar* ---- *22*
Figur 2: *CO som funktion av körsträcka för bensinbilar 92 – 95* ---- *31*
Figur 3: *HC som funktion av körsträcka för bensinbilar 92 – 95* ---- *31*
Figur 4: *NO_X som funktion av körsträcka för bensinbilar 92 – 95* ---- *32*
Figur 5: *CO vid 80 000 km för olika årsmodeller av bensinbilar* ---- *33*
Figur 6: *HC vid 80 000 km för olika årsmodeller av bensinbilar* ---- *33*
Figur 7: *NO_X vid 80 000 km för olika årsmodeller av bensinbilar* ---- *34*

Figur 8: *Jämförelse med resultat för bensinbilar i denna studie och resultat från USA* ---- 41
Figur 9: *CO emissioner för alternativ med högst prioritet* ---- 42
Figur 10: *CO emissioner för dieselmotorer* ---- 43
Figur 11: *HC emissioner för alternativ med högst prioritet* ---- 44
Figur 12: *NMHC emissioner för alternativ med högst prioritet* ---- 45
Figur 13: *HC emissioner för dieselmotorer* ---- 46
Figur 14: *NO_X emissioner för alternativ med högst prioritet* ---- 47
Figur 15: *NO_X emissioner för dieselmotorer* ---- 48
Figur 16: *Partikelemissioner för alternativ med högst prioritet* ---- 49
Figur 17: *Partikelemissioner för dieselmotorer* ---- 50
Figur 18: *Emissioner av fossil CO_2 för fossila drivmedel* ---- 54
Figur 19: *Emissioner av fossil CO_2 för biodrivmedel* ---- 55
Figur 20: *Emissioner av bensen för alternativ med högst prioritet* ---- 56
Figur 21: *Emissioner av bensen för dieselmotorer* ---- 58
Figur 22: *Emissioner av alkener för alternativ med högst prioritet* ---- 59
Figur 23: *Emissioner av alkener för dieselmotorer* ---- 60
Figur 24: *Emissioner av aldehyder för alternativ med högst prioritet* ---- 61
Figur 25: *Emissioner av aldehyder för dieselmotorer* ---- 62
Figur 26: *Emissioner av PAC vid olika temperatur för några bilar* ---- 63
Figur 27: *Emissioner av PAC för alternativ med högst prioritet* ---- 67
Figur 28: *Emissioner av PAC för dieselmotorer* ---- 67
Figur 29: *Teknikskifte* ---- 69
Figur 30: *Jämförelse av några relevanta motordata för bensin och dieselbilar med samma prestanda* ---- 70
Figur 31: *Jämförelse av acceleration och bränsleförbrukning för bensin och dieselbilar med samma prestanda* ---- 71
Figur 32: *Jämförelse av bränsleförbrukning för alternativ med högst prioritet* ---- 71
Figur 33: *Jämförelse av bränsleförbrukning dieselmotorer* ---- 72
Figur 34: *Utsläpp av försurande ämnen för fossila drivmedel* ---- 73
Figur 35: *Utsläpp av försurande ämnen för biodrivmedel* ---- 74
Figur 36: *Korrigerade utsläpp av försurande ämnen för biodrivmedel* ---- 75
Figur 37: *Ozonbildningspotential för alternativ med högst prioritet* ---- 76
Figur 38: *Ozonbildningspotential för dieselmotorer* ---- 77
Figur 39: *Lokalt producerad NO_X för alternativ med högst prioritet* ---- 78
Figur 40: *Lokalt producerad NO_X för dieselmotorer* ---- 78
Figur 41: *Lokalt producerade partikelemissioner för alternativ med högst prioritet* ---- 79
Figur 42: *Lokalt producerade partikelemissioner för dieselmotorer* ---- 80
Figur 43: *Cancerriskindex för alternativ med högst prioritet* ---- 82
Figur 44: *Cancerriskindex för dieselmotorer* ---- 83
Figur 45: *Utsläpp av klimatgaser för fossila drivmedel* ---- 84
Figur 46: *Utsläpp av klimatgaser för biodrivmedel* ---- 85
Figur 47: *Korrigerade utsläpp av klimatgaser för biodrivmedel* ---- 86
Figur 48: *Energiomsättning för fossila drivmedel* ---- 87
Figur 49: *Energiomsättning för biodrivmedel* ---- 88
Figur 50: *Korrigerad energiomsättning för biodrivmedel* ---- 89
Figur 51: *Musseldiagram för bränsleförbrukning för en 1,25 liters bensinmotor [60], modifierat av Ecotraffic.* ---- 91

Figur 52: *Bränsleförbrukningspotential för olika drivsystem* ---- 94
Figur 53: *Emissioner för Mercedes seriehybridbil (prototyp) [62]* ---- 103
Figur 54: *Kostnader för olika drivsystem* ---- 105
Figur 55: *Energiomsättning för elbilar* ---- 107
Figur 56: *Olika optioner för framtida ottomotorer [56] (bearbetat av Ecotraffic)* ---- 112
Figur 57: *Ozonbildningspotential i framtiden för alternativ med högst prioritet* ---- 117
Figur 58: *Ozonbildningspotential i framtiden för dieselmotorer* ---- 117
Figur 59: *Lokalt producerad NO_X i framtiden för alternativ med högst prioritet* ---- 118
Figur 60: *Lokalt producerad NO_X i framtiden för dieselmotorer* ---- 119
Figur 61: *Lokalt producerade partikelemissioner i framtiden för alternativ med högst prioritet* ---- 120
Figur 62: *Lokalt producerade partikelemissioner i framtiden för dieselmotorer* ---- 120
Figur 63: *Cancerrisk i framtiden för alternativ med högst prioritet* ---- 121
Figur 64: *Cancerrisk i framtiden för dieselmotorer* ---- 122
Figur 65: *Utsläpp av klimatgaser i framtiden för fossila drivmedel* ---- 123
Figur 66: *Utsläpp av klimatgaser i framtiden för biodrivmedel* ---- 123
Figur 67: *Reduktion av energianvändningen i otto- och dieselmotorer i framtiden* ---- 124
Figur 68: *Relativt förhållande för energianvändningen i otto- och dieselmotorer* ---- 125

SAMMANFATTNING

Inledning

Transportsektorn står främst genom motorers utsläpp som källa för stor och växande andel av många ämnen, som genom luftförorening har effekter på hälsa och miljö. Vid försök att bedöma hur dessa kan påverkas, minskas/elimineras är det viktigt att rätt metodik användes för att beskriva verkligheten och att det finns kända eller åtminstone misstänkta samband mellan utsläpp och identifierade och kvantifierbara effekter i form av försurning, ozonbildning, cancerrisker, växthuseffekt. För andra effekter, t.ex. luftvägssjukdomar, finns inte kvantifierbara eller ens säkerställda samband utan endast misstänkta för utsläpp av partiklar, ozon, kvävedioxid, aldehyder.

För energianvändningen är det givetvis viktigt att skilja mellan och särredovisa förnybara och ej förnybara (fossila) energiråvaror och ta hänsyn till hela kedjan från råvara till slutanvändning.

Bakgrund

Tidigare har ett antal studier sammanställt emissioner från olika alternativa drivmedel. Några studier finns också som belyser effekterna på hälsa och miljö från vissa emissionskomponenter från några alternativa drivmedel. I den föreliggande studien har en teknikneutral sammanställning av emissionsdata för ett antal drivmedel gjorts i olika tidsperspektiv. Dessa data har sedan använts som indata för att beräkna några olika effekter på hälsa och miljö från utsläppen. För effekter av regional och global karaktär har dessutom framställningen av drivmedlen beaktats. Indata för dessa beräkningar har hämtats från en tidigare Ecotraffic studie: Life of Fuels.

Den föreliggande rapporten omfattar kategorin lätta fordon drivna med olika drivmedel och som normfordon för jämförelser har valts bensindriven modell från år 93/94, för vilka dataunderlaget är tillfredsställande stort. De motor/drivmedelskombinationer som studerats är otto- resp. dieselmotor med bensin, dieselolja, RME, alkoholer (metanol, etanol) och metangas (fossilgas, biogas) som drivmedel. Viss jämförelse med el- och elhybridfordon görs också.

Metodik

Prioriteringar

De undersökta drivmedels- och motorkombinationerna har indelats i två olika grupper, högst prioriterade och lägre prioriterade. I den förstnämnda gruppen har bränslen för ottomotorer placerats och den andra gruppen omfattar bränslen för dieselmotorer. Huvudkriteriet för detta val har varit att den förstnämnda gruppen kan göras bränsleflexibla (FFV) eller kan använda två olika bränslen (bi-fuel). Därmed kan fordonen nå en bredare användning under en introduktionsperiod innan en infrastruktur har byggts upp för ett nytt driv-

medel än motsvarande dedikerade[1] fordon. På längre sikt är det dock troligt att bättre lösningar kan hittas genom fordon som är speciellt optimerade för ett visst bränsle .

Korrektioner och beräkningsmodell

I rapporten korrigeras mätdata från laboratoriemiljö till verklighetens förhållanden beträffande klimat, körmönster och fordonsålder som de viktigaste kriterierna att ta hänsyn till. För att kunna bedöma risker för hälsa och miljö behövs utom de reglerade utsläppen kunskap om många oreglerade ämnen, som med hjälp av vägningsfaktorer kan ge uttryck för förändrade risktal i jämförelser av olika kombinationer. En ytterligare viktig faktor för att bedöma riskförändringen är vilket genomslag en ny teknik kan få. Utan ett potentiellt stort genomslag blir riskminskningen liten hur bra en kombination än är.

För att kunna göra en korrekt jämförelse mellan olika drivmedel är det nödvändigt att beräkna emissionerna och deras effekter under hela fordonets livslängd, dvs korrigera för fordonets åldring. I denna studie har det visat sig att det underlag som hittills finns för dessa korrektioner fortfarande är begränsat. Insamling av kompletterande underlag samt nya tester är de möjligheter som finns för att kunna förfina detta material. Användningen av en mer sofistikerad modell för beräkning av emissionerna under fordonets livslängd kan också öka precisionen i beräkningarna. En jämförelse mellan resultat från andra studier visar dock att även en enkel modell som den som använts här kan ge resultat av samma storleksordning som dessa studier.

Underlaget för korrektioner av temperatur och körmönster visar att dessa korrektioner blir stora i flera fall, t ex för bensin- och alkoholdrivna ottomotorer. Det är därför viktigt att både generera mer underlag för dessa beräkningar och att förfina beräkningsmodellerna.

Utifrån den gångna utvecklingen görs bedömningar av pågående och kommande möjlig utveckling av bränslesystem, motorer och katalytiska reningssystem i syfte att minska bränsleförbrukning och skadliga emissioner i förhållande till normbilen.

Beräkning av effekter

Vid de beräkningar av effekterna som gjorts kan konstateras att underlaget för dessa beräkningar varierar kraftigt beroende på vilken effekt som undersöks. Exempelvis är det tämligen enkelt att beräkna försurning och ozonbildning eftersom dessa effekter har undersökts i många tidigare studier och metodiken för beräkningarna är enkel. Svårigheterna att beräkna cancerrisker är däremot mycket större. Dels måste många emissionskomponenter beaktas, av vilka få analyseras vid normala emissionsundersökningar, och dels har inte riskfaktorer tagits fram ännu för alla dessa emissionskomponenter. Omfattande utvärderingar pågår dock bl a i USA, som på sikt kan leda till att ett betydligt bättre underlag kommer att finnas tillgängligt för denna typ av beräkningar.

Resultat

Försurning

Resultaten för försurning visar stora skillnader mellan olika drivmedel. Eftersom NO_X emissionerna från fordonen kommer att minska kraftigt i framtiden, samtidigt som svavelhalten i drivmedlen också kommer att reduceras avsevärt för de konventionella fossila

[1] Dedikerade: fordon optimerade för ett bränsle.

drivmedlen, blir framställningen av drivmedlet och produktionen av råvaran för dess framställning ännu viktigare i framtiden. Framställningsmetoderna för vissa av de alternativa drivmedlen är ännu inte tillräckligt utvecklade för att definitiva slutsatser skall kunna dras med avseende på deras inverkan på försurningen. *Det är således angeläget att studera dessa frågor vidare.*

Ozonbildning

Ozonbildningspotentialen är lägre för alla andra drivmedel än bensin. Bäst är metan och alkoholdrivna dieselmotorer medan alkoholdrivna ottomotorer ligger högre. Av alkoholerna är metanol den alkohol som ger den lägsta ozonbildningspotentialen. Dieselolja och RME ger också en låg ozonbildningspotential – trots att den specifika reaktiviteten är högre eller av samma storleksordning som bensin – på grund av de låga HC emissionerna. För att erhålla en låg ozonbildningspotential måste dels sammansättningen av de oförbrända organiska föreningarna i avgaserna bestå av ämnen med en låg specifik reaktivitet och dels skall dessa emissioner totalt sett vara låga. *Även om skillnaderna mellan drivmedlen kommer att minska i framtiden är det dock uppenbart att detta kommer att vara en väsentlig fördel för alternativa drivmedel som metan och alkoholer under överskådlig tid framöver.*

Luftvägssjukdomar

Två av de ämnen som orsakar luftvägssjukdomar, NO_X och partikelemissioner, ligger generellt högre för dieselolje- och RME-drivna dieselmotorer än för ottomotorer.

När det gäller NO_X emissionerna från dieselmotorer finns goda förutsättningar att väsentligt minska dessa med alkoholbränslen (och DME) medan RME inte har samma potential. Dock bör man med RME på längre sikt kunna nå samma – eller en lägre – nivå än med dieselolja. Det är troligt att kraven på att minska NO_X emissionerna på lång sikt kommer att leda till att en teknik för efterbehandling av avgaserna introduceras för dieselmotorer. Man kan också notera att NO_X-problematiken är liknande för vissa tekniska lösningar för ottomotorer, t ex direktinsprutning, som har potential till väsentligt lägre bränsleförbrukning än konventionella system. Detta kommer sannolikt att leda till en intensifiering av FoU-insatserna inom området.

Partikelemissionerna är också generellt högre för dieselolja och RME än för övriga drivmedel. Sannolikt leder detta till att partikelfilter kommer att introduceras i stor skala på medellång sikt och/eller att ett helt nytt förbränningssystem kommer att introduceras på längre sikt för dessa motorer. Frågan om partiklarnas hälsofarlighet och huruvida de allra minsta partiklarna är farligare än de större partiklarna är också en problematik som måste utredas och som väsentligt kan påverka motorutvecklingen på lång sikt. Skulle det visa sig att de minsta partiklarna också är de mest hälsofarliga är det möjligt att partikelfilter på längre sikt även måste introduceras i bilar med ottomotorer.

Det är ingen tvekan om att flera alternativa drivmedel har en fördel när det gäller NO_X och partikelemissioner i jämförelse med de konventionella fossila drivmedlen. Den framtida utvecklingen (t ex NO_X rening och partikelfilter) leder dock till att skillnaderna minskar på längre sikt.

Cancerrisker

Svårigheterna när det gäller att uppskatta cancerriskerna är stora. Dels är underlaget litet och dels är de riskfaktorer som utarbetats tämligen osäkra. Det är därför sannolikt att den bild som ges här måste revideras på sikt. De resultat som erhållits visar i alla fall att can-

cerriskerna generellt lägre är för alla alternativa drivmedel än för bensin och dieselolja. Lägst cancerrisk ger metan men även de alkoholdrivna dieselmotorerna har en potential till en mycket låg cancerrisk. Den reformulering av de fossila drivmedlen som har gjorts (Mk 1 dieselolja), eller som kommer att göras (Mk 1 bensin), leder sannolikt till en väsentlig förbättring i detta avseende men underlagen för sådana uppskattningar är ännu i minsta laget. *Även om den fortsatta tekniska utvecklingen kommer att leda till betydande framsteg inom detta område kommer dock de alternativa drivmedlen fortsättningsvis att ha vissa fördelar i detta avseende.*

Klimatgaser

Man kan först konstatera att en lägre bränsleförbrukning – dvs en ökad energieffektivitet – generellt ger lägre utsläpp av klimatgaser. Utsläppen av klimatgaser är högst för bensin av alla undersökta drivmedel. Andra fossila drivmedel ger något lägre utsläpp men den största förbättringen kan åstadkommas med biodrivmedel. Detta gäller naturligtvis under förutsättning att utsläppen i produktionsledet kan hållas låga, vilket varit en av förutsättningarna för de drivmedelsalternativ och produktionsmetoder som valts. Även i framtiden kommer de biobaserade drivmedlen att kunna behålla sin fördel framför de fossila drivmedlen. *Eftersom andra emissioner än CO_2 från de fossila drivmedlen kommer att minska kraftigt i framtiden torde just klimatgaser vara den största fördelen för biodrivmedel på lång sikt.*

Energianvändning och energiomsättning

När det gäller energianvändningen i fordonet kommer den, för såväl otto- som dieselmotorer, att kunna minskas i framtiden. Skillnaden mellan dessa två motortyper kommer att öka något de närmaste åren för att sedan åter minska. Orsaken till detta förhållande är att direktinsprutning nu introduceras i stor skala för dieselmotorer medan motsvarande utveckling (och andra förbrukningsminskande koncept) ännu inte nått lika långt för ottomotorer. I framtiden finns möjligheter att utnyttja de alternativa drivmedlens egenskaper för att minska bränsleförbrukningen. Den möjliga förbättringen i jämförelse med motsvarande bensin- eller dieseloljedrivna motorer torde dock endast röra sig om några procentenheter.

Energiomsättningen är i dag högre för de biobaserade drivmedlen sett i hela kedjan p g a att de utgår från ett mer ursprungligt råmaterial än de fossila drivmedlen. Förbrukningen av de fossila resurserna i produktionsledet för biobaserade drivmedel kan dock vara liten för de bästa framställningsmetoderna.

Utveckling av motorer och drivsystem

Det kan först konstateras att utveckling av teknik och drivmedel kan för normbilen ge goda möjligheter att komma till rätta med hälso- och miljörisker men att en långtgående reduktion av växthusgaser torde kräva övergång till drivmedel på förnybar bas och att kostnaderna kan visa sig vara för höga för bästa lösningar. En önskvärd utveckling kommer inte av sig själv utan måste drivas av skärpta emissionskrav och efterfrågan av ny teknik. De krav, som diskuteras för tiden efter 2005 och är på nivån EZEV (tiondel av ULEV), bedöms som uppnåbara.

Vägen dit går över utveckling av konventionella otto- och dieselmotorer med transmissioner och av lättare fordon fordon med lägre luft- och rullningsmotstånd. Teknik för ottomotorbilar som uppfyller förväntade emissionskrav 2010 har redan demonstrerats på laboratoriestadiet. Alternativa bränslen (alkoholer, metan) förändrar gynnsamt utsläppens ka-

raktär och kan medge viss ökning av motorverkningsgraden genom högre kompression (högre oktantal). Metangaser intar en mellanställning i nämnda avseenden.

För dieseloljedrivna dieselmotorer kvarstår problem med NO_X- och partikelutsläpp. Ny teknik behövs för NO_X-reduktion vid mager drift och med dieselolja som drivmedel krävs sannolikt efterbehandling av avgaserna och mycket svavelfattiga (-fria) bränslen. Alkoholer ger i sig lägre NO_X-bildning och låg eller ingen partikelbildning, vilket ger möjlighet till hög EGR samtidigt som de tolererar hög EGR bättre än andra bränslen.

En sannolik utveckling av energieffektiva motorer leder mot direktinsprutade (DI) motorer. Dessa har också möjligheter att använda förnybara drivmedel i form av alkoholer vilket ger en unik kombination av låga skadliga utsläpp och en möjlighet till användning av biobaserade drivmedel. En utvecklad motor enligt dieselprincipen har så hög verkningsgrad att jämförelse med bränslecell/elmotordrift och visst batterilager inte med säkerhet alltid utfaller till det senare systemets fördel på grund av de förluster som finns i de elektriska överföringsleden och elmotorn jämfört med mekanisk transmission. Man kan dock notera att metangaser inte passar väl i direktinsprutade motorer.

Dieselmotorer är i dag betydligt mer energieffektiva än ottomotorer även om dessa drivs med bättre bränslen än bensin. Utvecklingen av direktinsprutade ottomotorer kan minska skillnaden till dieselmotorn men inte nå lika hög verkningsgrad.

Bränsleflexibilitet är en önskvärd egenskap (FFV) för att möjliggöra bred användning av ett nytt bränsle under lång omställningstid, men det tycks inte vara praktiskt möjligt att utveckla flexibilitet för alla alternativa drivmedel med framtida effektiva DI-motorer i lätta fordon. FoU-insatser för att undersöka om detta är möjligt för alkoholer och dieselolja är angelägna.

FFV-konceptet i ottomotor-bilar är rätt väl utvecklat men leder till en kompromiss beträffande prestanda med i dag oftast det sämre bränslet som styrande. Framtida FFV bör optimeras mer mot det bättre bränslet (alkohol) för att detta skall utnyttjas och framstå som attraktivt och visst avkall på topprestanda med det sämre bränslet får göras.

En intressant framtida teknik med en potential till mycket låga emissioner och bränsleförbrukning är ett förbränningssystem som innebär en kompressionständning av en förblandad bränsle- luft blandning (i princip en dieselmotor). Systemet kallas ibland HCCI (Homogenous Charge Compression Ingnition). Förutom den teknikutveckling som måste komma till stånd för att realisera konceptet är det också troligt att det kommer att ställa helt andra krav på bränslet än de som är önskvärda för dagens otto- och dieselmotorer. Exempelvis torde ett lägre cetantal än dagens dieselolja vara nödvändigt. Huruvida alternativa drivmedel, modifierade eller ej, kan vara lämpliga är en fråga som också bör belysas genom FoU-insatser.

El- och elhybrider

Hybridfordon har en potential till lägre bränsleförbrukning och reducerade emissioner i förhållande till konventionella drivsystem. En kompromiss mellan dessa två egenskaper (bränsleförbrukning och emissioner) måste dock göras vilket medför att den fulla potentialen kan vara svår att nå. Det underlag som finns för kommersiella hybridsystem är ännu så litet att några uppskattningar inte har gjort av de nivåer som är rimliga i detta avseende. För att hybridsystem skall kunna nå en större kommersiell framgång krävs dock en kraftig

reduktion av kostnaderna i framtiden. Enkla parallellhybridsystem med endast en liten batterikapacitet har bedömts som det bästa alternativet i detta avseende.

Elfordon har, om ev emissioner från värmesystemet försummas, nollemissioner lokalt. Detta är den största fördelen med elfordon. Vidare kan den totala energianvändningen i fordonet minskas i jämförelse med fordon med förbränningsmotorer. Beroende på hur elektriciteten genereras finns olika stora möjligheter att minska både energiomsättning och klimatgaser. Det största problemet med elbilar är kostnaderna. Detta i kombination med den korta räckvidden medför att elbilar under överskådlig framtid endast kommer att bli en nischlösning och därmed kommer även effekterna på miljön att bli försumbara.

Slutsatser och rekommendationer

Från de resultat som genererats i denna rapport kan en del slutsatser dras som man kan ha nytta av i framtiden när nya satsningar planeras. Det viktigaste av dessa slutsatser är:

- Dagens konventionella standardbilar byggs för att uppfylla gällande utsläppskrav men har teknisk potential till mycket lägre utsläpp (ULEV eller bättre). Nya drivmedel, metangas, alkoholer och RME, kan därutöver ändra karaktären av utsläppen med gynnsamma resultat för effekter som cancerrisk, oxidantbildning och växthuseffekt. Utvecklingen kommer inte av sig själv utan måste drivas av skärpta avgaskrav och efterfrågan av ny teknik.
- På kort sikt kan viss hälso-/miljönytta av främst lokal karaktär erhållas genom el-, CNG- och RME-drift jämfört med bensin- respektive dieseloljedrift men det synes ovisst om den motsvarar kostnaden. Dessa fordon kan demonstreras nu, men möjligheten för genomslag i stor användning måste bedömas som liten och därmed blir totala effekten på miljö och hälsa också liten. Däremot kan demonstrationer och goda exempel öka samhällets intresse för och satsningar på miljöbilar och bränslen, som sedan kan ledas in på kostnadseffektiva lösningar.
- På längre sikt måste kraftiga förbättringar av miljöprestanda för bensin- och alkoholdrift förväntas till betydligt lägre kostnader och fördelen för ovannämnda drivsätt blir allt mindre. Genomslaget för sådan ny teknik är obegränsat stort genom möjlighet för allmän användning. Därmed blir också hälso-/miljöföbättringen största möjliga, men den kommer först när kraven skärpts eller efterfrågan skapats genom upphandlingar och ev. skatteincitament. Alkoholer, etanol och främst metanol, synes ge billigaste möjlighet för överfasning till biobaserade drivmedel och som metanolbränsle i bränslecelldrivna system.
- Hybridsystem för eldrift med ombordgenererad el har potential för mycket låga emissioner, men kan vara svåra att förena med låg bränsleförbrukning och långsiktigt acceptabel kostnad.
- För att nya koncept för motor- och drivsystem skall kunna introduceras krävs ett kraftfullt stöd till FoU inom området. En kombination mellan de nya koncepten och användningen av biodrivmedel är särskilt önskvärd. Ett exempel på en mycket intressant motor/bränsle kombination är en direktinsprutad alkoholdriven ottomotor (ADI[2]). Ett annat exempel på ett angeläget område är en vidareutveckling av bränsleflexibla bilar (FFV) och i synnerhet i kombination med ADI-konceptet. På längre sikt kan också en

[2] ADI: Alcohol Direct Injection, i analogi med GDI (Gasoline Direct Injection).

alkoholdriven dieselmotor vara av intresse som i dess mest utvecklade form också kommer att använda det tidigare nämnda HCCI förbränningssystemet. En motor av denna typ kan ge en unik kombination av hög verkningsgrad och mycket låga emissioner. För gasdrivna fordon är det främst av intresse att vidareutveckla reglertekniken och katalysatorernas effektivitet för oxidation av metan. Möjligheterna att använda direktinsprutning av gas bör också undersökas även om förutsättningarna för detta kanske inte är lika goda som för alkoholbränslen.

- Det finns också en mängd åtgärder som kan göras i dag men som rent strikt inte är av teknisk karaktär. Man kan t ex påskynda teknikutvecklingen för alternativa drivmedel genom teknikupphandling. Vid upphandling bör man alltid ställa villkor motsvarande nästa officiella kravnivå för emissionerna och dessutom föreskriva en anordning för att minimera emissionerna vid kallstart. Avgränsade satsningar på mer konceptbetonade miljöbilar (FFV, gas, el, RME) kan också göras för att skapa opinion för långsiktiga satsningar på riksplanet för morgondagens (kommersiella) miljöbilar.

1 INLEDNING

Avgasemissionerna från biltrafiken är, trots betydande förbättringar de senaste åren, alltjämt en olöst fråga. Nya skärpningar av avgaskraven för både lätta och tunga fordon har nyligen aviserats från EU. Dessa krav som kommer, när de fått fullt genomslag, att ytterligare minska emissionerna från vägtrafiken. De problem som uppträder lokalt (främst i de större städerna) har föranlett att det i de tre större städerna i Sverige införts s k miljözoner. Vidare har man nu börjat ställa mer långtgående emissionskrav än de gällande vid upphandlingar av busstrafik och i vissa fall även för lätta fordon[3].

Den roll som alternativa drivmedel skall ha inom detta område har fortfarande ej helt definierats av regeringen. Detta trots att flera statliga utredningar behandlat frågan. Alternativbränsleutredningen är den senaste utredningen som speciellt fokuserat på dessa frågor [1][4]. En viss vägledning om den framtida inriktningen finns i ett betänkande från Miljöhälsoutredningen [2] samt den trafikpolitiska propositionen från mars 1998 [3]. Nedanstående sammanfattning av transportpolitikens mål från den nämnda propositionen kan vara av intresse att belysa i detta sammanhang.

Regeringens förslag: Det övergripande målet för transportpolitiken skall vara att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet.

Ovanstående formulering visar en övergripande långsiktig målsättning för trafikpolitiken. Trots denna viljeinriktning kan man konstatera att det ännu inte finns någon planering innehållande en konkret målsättning för en introduktion av alternativa drivmedel. En förklaring till detta kan vara att de alternativa drivmedlen ännu är så dyra att en storskalig introduktion i nuläget inte är tänkbar ur ekonomisk synpunkt. Samtidigt kan man dock konstatera att de miljö- och hälsoproblem som trafiken förorsakar har uppmärksammats i propositionen. Nedanstående utdrag ur propositionen bekräftar detta.

Regeringens bedömning: Vägtrafiken utgör stommen i trafiksystemet. En väl fungerande vägtrafik är viktig för medborgarna och näringslivet och för att tillgodose lokala, regionala, interregionala och internationella transportbehov. Vägtrafikens dominerande problem är de negativa effekter som vägtrafiken ger på miljön och folkhälsan.

Baserat på den samlade kunskap som nu finns torde det framstå som klarlagt att flera alternativa drivmedel har en avsevärd potential till lägre emissioner än de konventionella drivmedlen. Huruvida denna potential kan utnyttjas fullt ut med dagens teknologi är en annan fråga som är minst lika viktig. Den logiska följdfrågan är också hur lång utvecklingstiden blir för att denna potential skall kunna förverkligas och vilka insatser som i så fall kommer att krävas. Trots att flertalet sammanställningar av emissionsprestandan för de alternativa

[3] Man måste faktiskt notera att när krav i upphandlingar ställs på att fordon skall uppfylla *dagens* emissionskrav är faktiskt detta krav redundant och därmed också ointressant. Alla fordon som säljs på marknaden måste ju uppfylla de gällande emissionskraven!

[4] Siffra inom hakparentes avser referens i referenslistan i slutet av rapporten.

drivmedlen gjorts (flera inom ramen för de statliga utredningar som utförts), har vi funnit att någon heltäckande utvärdering som även innefattar de olika effekterna av avgasemissionerna ännu inte föreligger. Ett av syftena med denna sammanställning är att belysa dessa frågor. En minst lika viktig följdfråga är den framtida potentialen och de möjligheter och konsekvenser som framtida motor- och drivsystemsteknik kommer att medföra. Utredningen bygger till stor del på data som har genererats i Sverige, bl a inom Kommunikationsforskningsberedningens (KFB:s) Biodrivmedelsprogram och Naturvårdsverkets ramavtal med MTC.

Innan man gör en sammanställning av data för bränsleförbrukning och utsläpp är det viktiga att göra några reflektioner över aktuella frågeställningar och förutsättningar/utgångspunkter för jämförelserna.

Avsikten är att söka få en bild av hälso- och miljönyttan av miljöbilar (i jämförelse med bensindrift och dennas utveckling). Nyttan måste sedan avvägas mot kostnaden. Kostnaden för åtgärden (miljöbilen) kan säkrare bedömas än nyttovinsten, som ibland inte alls kan uttryckas i kronor (t.ex. ev. minskad klimatförändring). Värderingar av detta slag ryms inte inom ramarna för denna studie, men kan kanske vara av intresse för ett fortsatt arbete i senare fas.

För att kunna bedöma nämnd nytta är det således effekterna av utsläppens förändringar på respektive problem som måste anges snarare än att visa på officiella sifferdata för olika utsläpp. Det är helt nödvändigt att i stället för intetsägande data för totala utsläpp av oförbränt (HC,) använda data över hela profilen av icke reglerade ämnen i emissioner genom avdunstning och avgaser och bedöma effekten därav.

Effekten beror dels på hur stor förändring resp. miljöbil (inkl. dess bränsle) kan åstadkomma, dels på vilket genomslag resp. miljöbil kan få. Utan ett stort genomslag hjälper det inte hur låga utsläpp miljöbilen (inkl. dess och bränslets tillverkningskedja) har.

Förutsättningarna för stort genomslag är viktiga att undersöka. Detta måste även innefatta möjlig bränsletillförsel och bränslets råvarubas. Det måste anses vara tveksamt om subventionerade satsningar skall göras på alternativ, som är för små och har begränsade hälso- och miljöfördelar samt innebär splittring av resurserna. I stället bör dessa koncentreras till alternativ som på sikt kan ge stora förbättringar. Principiellt är idealet att ha mycket få olika bränslen, helst bara ett men med många olika råvaror som bas, av kostnadsskäl i både bränslehantering och vid tillverkning av fordonet.

2 BAKGRUND

Ecotraffic och/eller dess medarbetare har tidigare sammanställt data om avgasemissioner och deras effekter. Ett exempel är det material som Ecotraffic tagit fram för Alternativbränsleutredningen och som vävts in i slutrapporten från denna utredning [1]. Ett annat exempel är ett underlagsmaterial (bilaga) till Alternativbränsleutredningen om emissioner med alternativa bränslen [4] och en sammanställning för KFB om emissionsfaktorer för fordon drivna med biodrivmedel [5 och 6]. Likaså har en uppdatering material inom samma område från nya internationella publikationer gjorts för Naturvårdsverket som ett underlag för ett regeringsuppdrag som Naturvårdsverket har inom området [7].

Trots ovannämnda publikationer och liknande svenska och internationella sammanställningar verkar det ändå som om det befintliga materialet inte är ett tillräckligt underlag för beslutsfattare. En brist i de ovannämnda publikationerna är att de i princip bara handlat om emissionsfaktorer. Trots att såväl reglerade som icke reglerade emissionskomponenter behandlats kvarstår önskan om en sammanställning av de effekter som dessa emissioner förorsakar. Då behovet av ett sådant underlag varit stort ledde detta till att Ecotraffic under sommaren 1998 erhöll ett uppdrag från Trafikkontoret i Göteborg att sammanställa ett material för de mest intressanta alternativen. Då Ecotraffic erfarit att intresset för detta material varit stort, ansöktes under hösten 1998 medel från KFB för en komplettering av materialet samt en sammanställning av en rapport med detta underlag som bas. I detta sammanhang kan också nämnas att Trafikkontoret givit sitt medgivande att det befintliga materialet användes för detta ändamål. Därmed är också Trafikkontoret en av projektets finansiärer.

De effekter som var av primärt intresse för denna studie är följande:

- Försurning/kväveövergödning – svavel- och kväveoxider (SO_X resp. NO_X) ammoniak.
- Vegetationsskador (sura gaser, ozon).
- Ozonpotential – kväveoxider och flyktiga reaktiva organiska ämnen.
- Luftvägssjukdomar – ozon (O_3), kvävedioxid (NO_2), oxiderade ämnen som aldehyder.
- Cancerrisk – polycykliska aromatiska ämnen (PAC), fina partiklar, gaser som bensen, butadien, eten, propen, aldehyder (formaldehyd, acetaldehyd, akrolein).
- Siktbarhet (partiklar, droppar).
- Förändring av växthuseffekt – fossil koldioxid (CO_2), metan (CH_4), dikväveoxid (N_2O), m.fl.

De omedelbara utsläppen från fordon och bränslehantering ger ofta inte hela bilden utan omvandlingar i atmosfären tillkommer något senare, t.ex. ozonbildning, oxidation till kvävedioxid, oxidation av kolväten till aldehyder, etc. Förutom ozon berörs dessa omvandlingar ej i denna sammanställning. Det skulle krävas omfattande beräkningar av spridning och kunskaper om atmosfärskemin för att ta hänsyn till dessa effekter, vilket är något som legat utanför ramarna för detta projekt.

3 EMISSIONSKOMPONENTER OCH EFFEKTER

En kort sammanfattning av de olika emissionskomponenterna och deras effekter görs i detta kapitel. En mer omfattande sammanställning av trafikens hälso- och miljöeffekter har gjorts av Ecotraffic i en rapport för Trafikkontoret i Göteborg [8].

3.1 Kolmonoxid CO

Kolmonoxid (CO) binder till de röda blodkropparna och försämrar därigenom blodets syretransportförmåga. Särskilt personer med nedsatt lungfunktion och/eller hjärt- och kärlsjukdomar är känsliga för exponering av CO. Effekten av att ha exponerats för CO finns kvar i flera timmar efter exponeringen.

I utomhusluften har halterna av CO börjat minska, främst beroende på införandet av den katalytiska avgasreningen för bensindrivna bilar. Fortfarande finns dock lokala miljöer där halterna är höga. Höga halter uppträder främst vintertid genom att emissionerna av CO vid kallstart av bensindrivna bilar är kraftigt förhöjda. De tunga fordonen bidrar endast obetydligt till utsläppen av CO.

Vissa indikationer finns på att CO kan påverka atmosfärskemin genom att minska oxidationen av flyktiga organiska föreningar (VOC) och därmed skulle även en liknande effekt som från dessa föreningar kunna allokeras till CO. Andra indikationer är att ozonbildningen kan öka på grund av CO. Den specifika reaktiviteten är förvisso mycket låg för CO i förhållande till många VOC komponenter men eftersom emissionerna av CO ofta är flera tiopotenser högre än för enskilda VOC kan CO ha en viss betydelse även i detta avseende. En annan effekt av CO är att den är en växthusgas med större inverkan på klimatet än CO_2. En minskning av CO emissionerna genom en oxidering till CO_2 gör faktiskt en viss nytta i detta sammanhang, vilket ofta är ett försummat faktum.

Både när det gäller de senaste och kommande emissionsgränserna i Europa och USA/Kalifornien kan man notera att sänkningen av gränsvärdena för CO inte alls varit lika stor som t ex för HC. Även om det finns en viss samvariation mellan CO och HC för dagens bilar, är det inte alls givet att CO kommer att minska i samma omfattning som HC i framtiden. Det finns därför skäl för att fortsättningsvis också försöka begränsa CO emissionerna.

3.2 Kolväten (HC)

Kolväten (HC) är ett samlingsnamn för alla kolväteföreningar och kolväteliknande föreningar i avgaserna. Bland dessa föreningar finns såväl föreningar som är rätt harmlösa hälsosynpunkt (t ex metan) som cancerframkallande ämnen (t ex bensen) och irriterande ämnen (t ex aldehyder). HC deltar också i bildningen av ozon. Den relativa hälsofarligheten av HC i avgaserna är kraftigt beroende av bränslets sammansättning. Häri ligger ofta de största fördelarna med alternativa bränslen och reformulering av konventionella bränslen.

HC mäts med ett instrument som i princip räknar antalet kolatomer. Även ämnen som strängt taget inte är kolväten, t ex ämnen som också innehåller syre, ger en viss (om än mindre) respons i analysatorn. Ingen hänsyn tas till ämnenas relativa hälsofarlighet. Höga HC nivåer är dock ett tecken på att förbränning eller efterbehandling av avgaserna (oxida-

tion) fungerar dåligt, dvs att systemet fungerar dåligt ur teknisk synpunkt. HC kan även användas som indikator på nivån av diverse hälsofarliga ämnen. Förutsättningen är naturligtvis att bränslet är detsamma i de fall som jämförs. Man kan t ex anta att emissionerna av ett visst hälsofarligt kolväte grovt sett minskar i samma omfattning som de totala HC emissionerna sänks för framtida fordon. Denna tes har i flera fall använts i våra skattningar men med de begränsningar som nämndes tidigare.

3.3 Kväveoxider (NO_X)

Kväveoxider (NO_X) är ett samlingsnamn för kvävemonoxid (NO) och kvävedioxid (NO_2). Den senare komponenten är den hälsofarligare av de båda komponenterna. Andelen NO_2 är oftast relativt låg i avgaserna men i atmosfären oxideras NO till NO_2 och sedan vidare till salpetersyra. Halterna av NO_2 i luften ligger ofta över gränsvärdena för luftkvalitet i tätorterna och speciellt vid vissa speciella atmosfäriska förhållanden (inversioner). NO_2 verkar irriterande för personer med luftvägssjukdomar och kan i höga koncentrationer bryta ned lungvävnad, även om koncentrationerna i utomhusluften inte är tillräckligt höga för att detta skall vara något reellt problem. Paradoxalt nog verkar det som om personer med vissa lungsjukdomar mår bättre av att inandas luft med låga koncentrationer av NO. Orsaken förmodas vara att människor med friska lungor bildar små mängder NO vilket är nödvändigt för vissa processer i lungan men denna bildning sker inte för de sjuka personerna.

Kväveoxider bildar med luftens syre ozon med kolväten ozon under inverkan av solljus och vid samtidig närvaro av kolväten höjs ozonhalten. Beroende på halterna i atmosfären av kväveoxider och kolväten är antingen den ena eller den andra av dessa komponenter styrande för ozonbildningen. Kväveoxiderna bidrar dessutom, genom oxidering till salpetersyra, tillsammans med svaveloxider (SO_X), genom oxidering till svavelsyra, till försurningen. Ammoniak (NH_3) är också en förening som bidrar till försurningen. Det finns ett fåtal rapporter under de senaste åren som visar att emissionerna av ammoniak inte är försumbara från personbilar. Tyvärr är antalet studier så pass litet att en heltäckande bild av denna emissionskomponent inte kan erhållas för samtliga drivmedel. Vi har därför valt att inte inkludera ammoniak i undersökningen.

Emedan halterna av NO_2 fortfarande är höga i utomhusluften i tätorterna bör man försöka minska NO_X emissionerna kraftigt från transportsektorn.

3.4 Partiklar

Partikelemissioner är, enligt den definition som används vid avgastester på fordon, allt material som kan uppsamlas på ett provtagningsfilter vid en temperatur under +52 °C. Avgaserna måste spädas med luft för att sänka temperaturen under denna nivå. Härigenom filtreras förutom fasta partiklar, även oförbrända bränslerester, olja, sulfater (från bränslets svavel) och bundet vatten, mm., ur de utspädda avgaserna. I partikelemissionerna återfinns ett flertal hälsofarliga och cancerframkallande ämnen som t ex polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Även de fasta partiklarna anses vara potentiellt hälsofarliga i höga koncentrationer. Den totala mängden partiklar är dock inte något bra mått på hälsofarligheten, eftersom den biologiska aktiviteten kan variera kraftigt beroende på vilket bränsle som använts.

Det har också framkommit indikationer på att även kemiskt helt inerta partiklar (som t ex sot) kan ha hälsoeffekter. Cancer har påvisats på råtta i höga koncentrationer av inerta partiklar. Det verkar också finnas ett samband mellan daglig dödlighet och partikelkoncentrationer. Partiklarnas storlek och storleksfördelning kan ha en avgörande betydelse för dessa effekter. Detta innebär sannolikt att framtida avgaskrav kommer att även fokusera på andra faktorer än den totala partikelmassan. Emedan den totala massan av partiklar i tätortsluften till stor del härrör från andra källor än trafikens avgaser, har det visat sig att förbränningsprocessernas andel (inkl. avgaser från fordon) av de minsta partiklarna är dominerande i jämförelse med andra källor.

Det kan också vara värt att notera att partiklarna påverkas av förhållandena i atmosfären. Dels agglomererar partiklar (klumpar ihop sig) och ökar därför i storlek och dels försvinner partiklar från atmosfären genom bl a deponering. Nya partiklar kan även bildas från sulfater och nitrater (tillsammans med luftens fukt) och redan tidigare partiklar kan öka i storlek genom att kolväten, sulfater, nitrater och vatten kan adsorberas på dem. Ett exempel är att partiklar från dieselmotorer normalt innehåller 20 – 40 % flyktiga ämnen medan partiklar från tätortsluften kan innehålla 80 % flyktiga ämnen eller mer.

Ytterligare en effekt av partiklar i atmosfären, liksom även av droppar (av t ex svavelsyra), är påverkan på siktbarheten (och nedsmutsning). Denna effekt var tidigare en av de mest uppmärksammade effekterna av partiklar innan (de förmodade) effekterna av partiklarna på hälsa (luftvägssjukdomar och cancer) kom att uppmärksammas.

3.5 Oxider av svavel (SO_X)

Svaveloxider (SO_X) är ett samlingsnamn för SO_2 och SO_3. På liknande sätt som i fallet med NO_X är emissionerna av SO_2 dominerande i avgaserna men SO_2 oxideras i atmosfären till SO_3. SO_X bidrar till försurningen genom att svavelsyra bildas i atmosfären från dessa komponenter. Vidare kan dessa föreningar verka irriterande för personer med lungsjukdomar. Kombinatoriska effekter med andra luftföroreningar kan också förekomma, dvs inverkan av dessa ämnen förstärks i kombination med SO_X.

Emissionerna av SO_X kan direkt härledas till halten av svavel i bränslet och därför har alla beräkningar av SO_X emissionerna skett med utgångspunkt från svavelinnehållet i bränslet.

3.6 Växthusgaser

Den helt dominerande växthusgasen från fordon är koldioxid (CO_2). När mätningar av CO_2 i avgaser bearbetas bör man notera att det finns oförbrända ämnen i avgaserna (CO och HC) som, när de oxideras fullt ut, kommer att bilda vatten och CO_2. Ifall man beräknar CO_2 utifrån bränslet innehåll av kol får man därför ett högre värde. Det kan tyckas som en nackdel ur växthusgassynpunkt med en fullständigare förbränning i motorn och användning av katalysator genom att emissionerna av CO_2 då ökar i jämförelse med äldre fordon som inte oxiderar dessa ämnen lika effektivt[5]. Emellertid är de oförbrända ämnena mycket mer potenta växthusgaser än CO_2 vilket innebär att det är en klar fördel om oxidationen är fullständig.

[5] Detta användes som argument mot användningen av katalysatorer för personbilar för några år sedan av bl a en hög företrädare för en biltillverkare. Argumentet är dock helt felaktigt.

Metan (CH_4) är en växthusgas som är drygt 20 gånger mer potent än CO_2 och den finns i inte helt obetydliga koncentrationer i bilavgaser. Speciellt gäller det för fordon drivna med metan (fossil naturgas och biogas). Utsläppen av metan måste därför beaktas vid sammanställningen av växthusgaser.

Dikväveoxid (N_2O eller lustgas) är en mycket potent växthusgas med en inverkan ca 300 ggr större än CO_2. N_2O kan bildas i katalysatorn under vissa betingelser (speciellt från åldrade katalysatorer) och är därför en av de få negativa effekter som katalysatorn kan ha på miljön. Inverkan på människa är försumbar i låga koncentrationer och i höga koncentrationer tämligen väl dokumenterad genom att lustgas används inom sjukvården som smärtstillande medel. Emissionsvärden för N_2O från personbilar är något osäkra och speciellt gäller det äldre fordon. N_2O kan också bildas i marken[6] från kvävenedfallet (NO_X) men bör då generellt räknas som ett bidrag till växthuseffekten som bör allokeras till NO_X. Omfattningen av denna sekundärt bildade N_2O är dock tämligen osäker.

Avgasernas CO, HC och NO_X är också mer potenta växthusgaser än CO_2. Problemet när det gäller HC är att sammansättningen varierar kraftigt beroende på bränsletyp, motortyp, körmönster mm. Det är därför svårt att beräkna en faktor för HC, vilket också medfört att HC inte finns med i de senaste publikationerna om faktorer för växthusgaserna. Ett liknande problem finns för NO_X eftersom inverkan från denna komponent är komplex. Vi har i alla fall valt att ta med dessa komponenter med de tidigare använda faktorerna eftersom ett utelämnande av dessa komponenter skulle medföra ett större fel än att använda en något osäker faktor. När det gäller HC har vi dock valt varianten NMHC i stället för HC för att skilja på metan och tyngre kolväten.

3.7 Lätta aromater

Bensen är ett aromatiskt cancerframkallande ämne som finns i bensin och där halten av bensen är reglerad. Vidare kan bensen bildas från tyngre aromater och i små mängder även på annat sätt. Generellt sett är emissionerna av bensen från andra bränslen än bensin därför som regel låga. Toluen och xylener är andra hälsofarliga, dock ej cancerframkallande, lätta aromater som ofta brukar analyseras när man analyserar bensen. Bensen, toluen och xylen brukar ofta benämnas med samlingsnamnet BTX. Aromater tyngre än bensen, och i synnerhet alkylerade aromater, bidrar kraftigt till ozonbildningen.

3.8 Alkener

Eten, propen och 1,3 butadien är hälsofarliga och cancerframkallande ämnen. Dessa ämnen karakteriseras av en dubbelbindning mellan två kolatomer. Som regel står 1-3 butadien för den största andelen av den cancerframkallande effekten. Analysen av alkener i avgaserna är svår och spridningen i resultaten är därför ofta betydande. Olika mätmetoder ger dessutom olika resultat vilket inte är tillfredsställande. Genom att dessa ämnen är starkt reaktiva är halveringstiden kort och eventuellt borde detta kanske beaktas när riskerna för exponering bedöms. Om man inte tar hänsyn till dessa omständigheter leder det till en viss överskattning av effekterna från alkenerna. Tyvärr har en analys av detta slag legat utanför ramarna för denna studie.

---

[6] En del N_2O bildas också i marken helt naturligt men vi försummar den effekten här eftersom vi ju endast är intresserade av antropogena effekter.

3.9 Aldehyder

Aldehyder är ämnen som verkar irriterande för luftvägarna. Vidare är formaldehyd och acetaldehyd misstänkt cancerframkallande, där den förra är den mest potenta. Aldehyder kan förekomma i höga koncentrationer från alkoholdrivna motorer.

Aldehyder är tämligen instabila och detta är således en effekt som sannolikt borde beaktas i atmosfärskemin. Å andra sidan kan också aldehyder bildas sekundärt i atmosfären (och i katalysatorn) genom att aldehyderna är en oxidationsprodukt som bildas som mellansteg innan kolväten slutligt oxideras till CO_2 och H_2O. Vi har dock inte beaktat några av dessa effekter.

3.10 Polycykliska aromatiska föreningar (PAC)

Polycykliska aromatiska föreningar (PAC) är, enligt den definition som används i Sverige, en grupp av ämnen som består av tre eller flera ringformade kolväten, varav minst två av dessa ringar är bensenringar. De flesta av dessa ämnen i bilavgaser är polycykliska aromatiska kolväten (PAH) som kan sägas vara en undergrupp till PAC. Vissa av PAC ämnena är cancerogena, misstänkt cancerogena eller mutagena. En förening som är starkt cancerframkallande är 1-nitropyren och därför brukar man ofta särredovisa denna förening.

3.11 Övriga emissionskomponenter

Det finns ett stort antal icke reglerade emissionskomponenter än de undersökta komponenterna som kan vara av intresse ur hälso- och miljösynpunkt. Några exempel kan hämtas från den lista på cancerframkallande ämnen som EPA och CARB i USA har listat. Den grupp av ämnen som ligger högst på nämnda listor är dioxiner. Cancerriskindexet för dioxiner ligger t ex hela 5 tiopotenser (!) högre än för det mycket potenta ämnet 1,3 butadien[7]. Halterna av dioxin är emellertid mycket låga i fordonsavgaser, vilket medför att den totala effekten inte blir alarmerande hög. Dessutom finns endast ett fåtal mätningar i fordonsavgaser tillgängliga när det gäller dioxiner vilket medför att en riskuppskattning knappast kan göras med nuvarande underlag. Andra ämnen som ligger högt på CARB:s lista är 6-värt krom, kadmium, icke organiskt arsenik och nickel. Halterna av dessa ämnen torde dock vara låga i fordonsavgaser.

De olika PAC föreningarna är väsentligt olika när det gäller mutagena och/eller cancerogena effekter. Ett mycket potent sådant ämne är t ex 1-nitropyren. Överhuvudtaget finns flera andra nitrerade PAC som också uppvisar liknande egenskaper. Ett exempel är 3-nitrobensantron som relativt nyligen uppmärksammades i en vetenskaplig rapport som ett ämne som har mycket hög biologisk aktivitet i Ames test [9]. Upptäckten väckte stor uppmärksamhet i massmedia, framförallt på det sätt som resultaten framfördes. En mer neutral analys av resultaten och en jämförelse med effekter och halter för andra nitrerade PAC (t ex 1,8-dinitropyren) visar att flera tidigare kända ämnena av denna typ kan ge lika stort eller större bidrag till cancerrisken från avgaserna. I en nyligen publicerad SAE-rapport från Volkswagen har 3-nitrobensantron och några andra nitrerade PAC mätts och i denna rapport framgår nivån för dessa emissionskomponenter i avgaserna från två moderna

[7] Nya rön från EPA i USA har visat att cancerriskindexet för 1,3-butadien kanske bör minskas med 2 tiopotenser.

dieselbilar. Analyserna av de nitrerade PAC föreningarna är så pass fåtaliga i litteraturen att det för närvarande inte varit möjligt att göra en sammanställning av dessa komponenter för alla undersökta drivmedel.

Andra ämnen av intresse att utvärdera vore t ex tyngre aldehyder, ketoner, cyanider, fenoler mm. Resultaten är dock för närvarande tämligen få för dessa komponenter, varför en noggrannare analys av dessa ämnen för närvarande inte är aktuell.

4 METODIK

4.1 Avgränsning av studien

4.1.1 Fordonskategorier

Det vore naturligtvis av intresse att studera effekterna på hälsa och miljö från samtliga större kategorier av fordon och arbetsmaskiner. Eftersom man då skulle få en mycket stor mängd av olika kategorier att studera (minst ett tiotal) skulle omfattningen av studien bli mycket stor, alternativt skulle kvaliteten på arbetet sjunka. Vi har därför valt att koncentrera oss på personbilar. Valet är självklart eftersom personbilarna står för en stor andel av luftföroreningarna i tätorter och är den i särklass största användningen av oljeprodukter av alla kategorier. I det senare fallet är det dessutom uppenbart att personbilarna står för den största andelen av utsläppen av klimatgaser från vägtrafiken.

4.1.2 Tidsramar

När det gäller de emissionsdata som finns tillgängliga från olika källor är det uppenbart att kunskapen är störst om fordon som är några år gamla. För de allra nyaste bilarna finns som regel bara uppgifter från fordonens certifiering, vilka bara omfattar de reglerade emissionskomponenterna. Å andra sidan är de äldsta bilarna i fordonspopulationen så gamla att tillgången på mätdata är mycket knapp. Speciellt gäller detta många av de icke reglerade emissionskomponenterna. Vi har därför valt att välja fordon av årsmodell 1993/1994 som bas för studien. Dels för att dessa fordon nu har nått ca halvvägs vad gäller den totala körsträckan under fordonets livslängd och dels för att det finns mycket data tillgängliga för dessa fordon. Vidare kan man säga att dessa fordon representerar den andra generationen (enligt vår definition) av Europeiska bilar med katalytisk avgasrening (här avses bensinbilar). Därför kan man förmoda att en del av de barnsjukdomar som den första generationen[8] katalysatorbilar led av torde ha rättats till och resultaten bör således vara mer representativa för denna teknologi.

Alternativa drivmedel har i dag en obetydlig del av marknaden och är därför av störst intresse i ett mer långsiktigt perspektiv. Det är således viktigt att även göra en prognos över emissionsutvecklingen i framtiden. Vi har valt år 2000 och 2010 som lämpliga årtal för dessa prognoser. Den utveckling av alternativen som förutsätts ske är i egentlig mening ingen prognos eftersom vi inte tar hänsyn till en förväntad marknadsutveckling för alternativen. Skulle det förhålla sig så att det inte blir någon större marknad för ett visst drivmedel är det knappast troligt att den nödvändiga teknikutvecklingen kommer att ske i praktiken. Vårt förhållningssätt är emellertid att beakta en utveckling som utifrån tekniska ståndpunkter är möjlig och som sannolikt skulle ske ifall en efterfrågan finns. Huruvida denna utveckling sedan faktiskt kommer till stånd för alla de undersökta alternativen beror på en mängd andra faktorer, inte minst politiska faktorer och ekonomiska incitament.

---

[8] Här avses bilar som började produceras 1989 genom de skärpta emissionskraven som infördes detta år och de bilar som kom redan 1987 genom de frivilliga kraven från och med detta år. Årsmodellerna 1993/1994 sammanfaller i princip med den skärpning av kraven i Europa som kom i och med de s k Euro I kraven och därmed har vi ansett att dessa fordon tillhör den andra generationen bilar med katalytisk rening.

4.1.3 Val av fordonspopulationer

Den sammansättning av fordonspopulationer som ligger till grund för beräkningarna av emissionerna har valts enbart av tekniska skäl – fordonspopulationerna skall (i idealfallet) representera medeltalet av den teknik som används eller kommer att användas under respektive tidsperiod. I våra överväganden ligger t ex ingen försäljningsviktning av olika bilmärken eller modeller. Ej heller har vi förutsatt några drastiska förändringar i användandet av bilar eller i kundernas preferenser av biltyper. Man kunde t ex tänka sig att resandet med kollektivtrafik skulle öka väsentligt i framtiden[9] eller att den ökande trenden till två eller flera bilar per hushåll skulle leda till att medelbilen skulle minska i storlek. Några sådana överväganden har vi emellertid inte gjort. I förutsättningarna finns dock att t ex bränsleförbrukningen för nya bilar kommer att minska i framtiden som följd av det åtagande som bilbranschen gjort inom EU (25 % till 2008). Detta kommer att leda till att till att verkningsgraden i drivsystemet måste höjas men också att framdrivningsmotståndet för fordonet måste minskas. I det senare fallet är en viktminskning av karossen en av de viktigaste faktorerna. Huruvida dessa förändringar också kommer att påverka bilparkens sammansättning är inte helt klart men uppenbart är i alla fall att bränsleförbrukningen måste sänkas. Vi har dock försökt ta hänsyn till hur drivsystemet kommer att optimeras för att minska bränsleförbrukningen. Det är oundvikligt att en kompromiss mellan emissioner och bränsleförbrukning blir fallet, vilket kommer att ha en viss inverkan på de framtida emissionsminskningarna.

4.2 Litteraturstudie

Underlag för studien har tagits fram genom litteraturstudier. I huvudsak har vi strävat efter att använda resultat som publicerats i Sverige eftersom dessa resultat sannolikt är de mest representativa för den svenska fordonspopulationen. Eftersom viktiga data emellertid saknas har vi i många fall varit tvungna att söka data även från utländska källor. I första hand har vi då strävat efter att använda data för fordon som även finns på den svenska marknaden. I andra hand har kriteriet varit att den teknik som används i dessa fordon även skall vara representerad i de fordon som finns i den svenska fordonspopulationen.

4.2.1 Litteratursökningar

Vi har i huvudsak använt litteratursökningar och litteratur som hämtats hem för de tidigare utförda studierna inom området [4 – 7]. I flera av dessa fall har sökningarna utförts i SAE:s databas. Ecotraffic har införskaffat den variant av databasen som benämns "Automotive Engines". Denna databas är en mindre version av den större "Global Mobility Database" (GMD). Automotive Engines 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 biografier 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 via Internet. Ecotraffic använde den senare varianten eftersom den uppdateras en gång i månaden till skillnad från en gång i året för den förra varianten. Nackdelen är naturligtvis att sökningen inte är lika snabb som för CD-varianten.

[9] Vi har i och för sig inte sett några sådana tecken men rent hypotetiskt vore det kanske ett intressant alternativ att undersöka.

4.2.2 Val av litteratur

Eftersom det finns en mängd tillgängliga data i olika referenser har ett visst urval gjorts. Det första självklara kriteriet har varit att data för 1993 och 1994 års fordon skall härröra från fordon som funnits i produktion. När det gäller prognoserna för framtiden är det däremot av intresse att även beakta resultat som i dag kan karakteriseras som forsknings- och utvecklingsresultat utan direkt fokusering på produktion. Sannolikt kommer de tekniska lösningar som används i de framtida fordonen att baseras på resultaten från de nämnda resultaten. Svårigheterna ligger självfallet i att avgöra vilka lösningar som har en förutsättning att kunna kommersialiseras.

4.3 Undersökta motor- och drivmedelskombinationer

Emissionerna med olika drivmedel påverkas ej enbart av bränsletyp (kemisk sammansättning, fysikaliska egenskaper mm) utan även, i minst lika hög grad, av det drivsystem (och typ av motor i synnerhet) som används. Vissa typer av drivsystem, som t ex eldrift eller några varianter av bränsleceller, ger överhuvudtaget inga emissioner från framdrivningen av fordonet (emissioner från bränsledriven värmare för kupén kan tillkomma i vissa fall). Det är värt att notera att vi valt att inkludera den efterbehandling som används för att minska avgasemissionerna i drivsystemet.

4.3.1 Prioritering av olika motor- och drivmedelskombinationer

Det är med ledning av ovanstående resonemang därför viktigt att – för att inte säga nödvändigt – att beakta även drivsystemet och i synnerhet den motortyp som används när emissionerna från alternativt drivna fordon undersöks. I flera fall visar det sig också att de alternativa drivmedlen kan ha stora fördelar – eller nackdelar – för vissa typer av motorer eller efterbehandlingsutrustningar. I de diskussioner med KFB som fördes innan projektet startades framkom att KFB hade en önskan om att de faktorer som påverkas av motor- och drivsystemstyp skulle prioriteras högt. Samtidigt kan man konstatera att de möjliga kombinationerna av drivmedel och drivsystem är till synes oändliga och därför måste en avvägning göras för att inte studien skall bli alltför splittrad. Vi har därför i samråd med KFB valt att prioritera vissa drivmedels- och drivsystemskombinationer.

De undersökta kombinationerna framgår av **Tabell 1**. De alternativ som tillmätts mindre intresse har satts inom parentes och behandlas endast översiktligt i studien. Eldrift finns av förståeliga skäl ej med i tabellen. För att göra studien med fullständig diskuteras även hybriddrift (i varianten med ett elektriskt drivsystem och förbränningsmotor) översiktligt inom området eldrift.

Tabell 1: Undersökta motor- och drivmedelskombinationer

	Drivmedel					
	Bensin	**Dieselolja**	**RME**	**Etanol**	**Metanol**	**Metangas**
Ottomotor[a]	X	-	-	X	X	X
Dieselmotor[b]	-	X	(X)	(X)	(X)	-

Anmärkningar:

[a] Med ottomotor avses en motor som arbetar enligt ottoprincipen, dvs i praktiken en tändning av bränsleblandningen med tändstift. Även om framtida motorer för t ex bensindrift kan komma att ha stora likheter med dieselmotorer har vi valt att innefatta även dessa varianter i begreppet.

[b] Med dieselmotor avses en motor som arbetar enligt dieselprincipen, dvs i praktiken en motor med kompressionständning (eller glödstiftsassistans). Då två huvudtyper av dieselmotorer används i dag (direkt och indirekt insprutning), gäller för varje tidsperspektiv den aktuella sammansättningen av populationen.

Man kan för alternativen i **Tabell 1** notera att kombinationer av dieselmotorer och alternativa bränslen endast behandlas med låg prioritet (RME) eller endast översiktligt (etanol och metanol). Orsaken till detta är i det första fallet att RME endast kan bli ett nischbränsle och därför knappast kan komma att få någon större miljöpåverkan (varken positiv eller negativ). RME finns därför med i studien men den tid som lagts ned på underlaget för detta drivmedel är väsentligt mindre än för de prioriterade drivmedlen. När det gäller de alkoholdrivna dieselmotorerna kan man konstatera att sådana motorer inte kan göras bränsleflexibla på samma sätt som ottomotorer för samma drivmedel. Det torde därför vara ytterst svårt att introducera alkoholdrivna dieselmotorer för lätta fordon annat än i begränsade fordonsflottor med separat infrastruktur för distribution och tankning. Personbilar som används av allmänheten måste av förståeliga skäl kunna tankas vid befintliga tankningsställen. Detta innebär att innan en infrastruktur byggt upp för det nya drivmedlet måste dessa fordon, för att kunna användas normalt, vara antingen bränsleflexibla (FFV) eller av tvåbränsletyp (bi-fuel). Detta är inte praktiskt möjligt för dieselmotorer (alkohol och dieselolja) och därför kan denna motortyp knappast komma ifråga förrän efter en introduktionsfas (dvs efter 2010).

4.3.2 Produktionsmetoder och råvaror

I vissa fall, särskilt för biodrivmedel, är det också av stor betydelse på vilket sätt drivmedlet har producerats och vilka råvaror som använts. De kvalitetskrav som ställs på bränslet har också en viss betydelse för både pris, energianvändning och emissionsegenskaper. För att förenkla inhämtningen av indata har de data som genererats i en tidigare utförd studie av Ecotraffic, "Life of Fuels" använts [10]. En sammanställning av de undersökta drivmedlen och de olika alternativen redovisas nedan.

Bensin framställs från råolja och i dag är få andra alternativa råvaror av något större kommersiellt intresse. Den bensinkvalitet som valts som basalternativ motsvarar den första så

kallade "reformulerade" bensin som införts i Sverige (miljöklass 2). Svavelhalten är 100 ppm. I framtiden förutsätts att renare reformulerade bensinkvaliteter används.

Dieselolja framställs liksom bensin också av råolja. Den kvalitet som använts vid beräkningar i produktionsledet är av miljöklass 1 (10 ppm Svavel). Denna bränslekvalitet har i dag över 90 % av dieseloljemarknaden för vägtransporter. Tyvärr har det inte varit möjligt att med tillräcklig trovärdighet beräkna effekterna på hälsa och miljö av miljöklass 1 dieselolja utan i stället har miljöklass 3 valts. Orsaken till detta är den begränsade tillgången på underlag.

RME framställs från rapsolja genom omförestring. De kvalitetskrav och specifikationer som gäller enligt svensk standard har förutsatts.

Etanol kan framställas från en mängd olika sockerhaltiga råvaror men även från råvaror som innehåller cellulosa. I det senare fallet måste cellulosan omvandlas till socker genom en speciell process (hydrolys eller "försockring") för att vara tillgänglig för jäsning. Genom att cellusahaltiga råvaror har en potential att i framtiden ge det lägsta priset och det största utbytet räknat per hektar mark är denna råvara av störst intresse. Emellertid är processerna för framställning av etanol ur cellulosa är i dag ännu inte färdigutvecklade. Det är därför troligt att framsteg kan göras i tillverkningsledet i jämförelse med de data som finns i Ecotraffics tidigare utredning [10]. I detta fall har etanol från träavfall valts.

Metanol kan framställas ur både fossila och icke fossila råvaror och har därmed tillsammans med metan den största råvarubasen av alla alternativa drivmedel. Ett alternativ som undersökts är framställning från fossil naturgas (NG). Metanol från energiskog (salix) är det biobaserade alternativet som valts. Tyvärr finns här en viss skillnad i jämförelse med etanol eftersom råvaran där är träavfall men detta alternativ är inte ett alternativ som utretts fullständigt i Life of Fuels, varför en del nödvändiga data saknas. Tillverkningsprocesserna för att tillverka metanol av fossil naturgas är kommersiella i dag vilket medför att endast mindre framsteg är att förvänta i framtiden. När det gäller bioråvaror har utvecklingen nått längre för metanol än för etanol men fortfarande kvarstår en hel del utveckling innan processen är optimerad med avseende på kostnader och utbyte.

Metan är huvudbeståndsdelen i fossil naturgas och detta är ett av de alternativ som utretts. Det biobaserade metanalternativet representeras av biogas framställd av lucern. Denna gröda är intressant eftersom potentialen från avloppsslam och avfall är mycket begränsad. I båda de senare fallen har dessutom en stor del av den kommersiellt och tekniskt sett intressanta potentialen redan utnyttjats för andra ändamål. Det bör dock tilläggas att även om alla de uppräknade råvarorna skulle användas för biogasframställning är potentialen mycket begränsad. Genom att möjligheterna till ett stort genomslag är litet blir därmed också potentialen för de miljöförbättrande effekterna låg. Genom att det finns en viss skillnad i sammansättning mellan fossil naturgas och biogas torde det också resultera i en marginell skillnad för vissa emissionskomponenter mellan dessa alternativ. Dessa skillnader har dock försummats eftersom emissionsdata är begränsade och härrör från båda alternativen.

4.4 Livscykelperspektivet

En av utgångspunkterna för studien har varit att emissionerna skall beräknas i ett livscykelperspektiv. Råvaran för drivmedelsframställningen samt de metoder som används vid framställningen kan ha en avgörande betydelse för resultaten i ett livscykelperspektiv – i synnerhet gäller detta för de alternativa drivmedlen. Det är därför också viktigt att beakta

emissionerna och energiomsättningen i bränslecykeln. Däremot har framställning, skrotning och övrig användning av energi i fordonet försummats (underhåll mm). Denna ståndpunkt kan försvaras med att både energiomsättning och emissioner för dessa ändamål är små i förhållande till de ovannämnda bidragen. Likaså kan man förmoda att t ex framställning och skrotningen av karossen inte skiljer sig speciellt mycket mellan de olika alternativen och det är ju egentligen *skillnaden* mellan alternativen som är av intresse. Samma resonemang gäller för flera av drivsystemen. Varför skulle t ex en bil med en alkoholmotor skilja sig speciellt från en bil med en bensinmotor i detta avseende. En annan faktor av betydelse är att vissa indata för en del av alternativen fortfarande är tämligen osäkra. Detta förhållande gäller t ex för batterier till elbilar.

Under de senaste 10 åren har drygt ett tiotal internationellt kända livscykelanalyser gjorts. En av dessa är den studie, "Life of Fuels", som Ecotraffic utförde i början av 1990-talet [10]. En utvärdering av flera av dessa studier gjordes av Blinge inom ramen för Alternativbränsleutredningen [1]. Inom den föreliggande studien och i en tidigare studie som Ecotraffic genomfört för Naturvårdsverket har några av de nytillkomna undersökningarna också studerats [7, 11]. Slutsatser av dessa utvärderingar var att ingen av dessa rapporter kan sägas ha väsentligt högre kvalitet än de andra. Sedan Ecotraffics studie Life of Fuels gjordes har visserligen en hel del nya data framkommit, vilket tydligt visar vissa svagheter i underlaget som skulle kunna förbättras vid en ny analys. Emellertid är inte dessa svagheter av någon avgörande betydelse för de totala resultaten. Inom ramen för denna studie var det också omöjligt att göra en ny studie av den omfattning som Life of Fuels hade. Vårt förslag var därför att ograverat använda resultaten från nämnda rapport. Då de beräkningar som gjordes i Life of Fuels utfördes utan datorstöd har dessa beräkningar nu implementerats i programmet MS Excel. Beräkningarna av de totala utsläppen har på så sätt förenklats. Därigenom är det också enklare om man i ett senare skede vill uppdatera dessa beräkningar och/eller jämföra med andra beräkningar.

4.5 Korrektioner av emissioner

Det som är av störst intresse för emissionsresultat är de medelemissioner som fordonet genererar under hela sin livslängd. Detta angreppssätt har ofta varit helt försummat vid jämförelser av emissioner från fordon. I många sammanhang nöjer man sig t ex med att jämföra emissionerna från helt nya fordon (ofta i form av certifieringsresultat) som dessutom som regel endast omfattar det temperaturintervall på +20 till +30 °C som är specificerat för certifieringen. Sådana jämförelser kan i och för sig vara informativa och relevanta för vissa jämförelser mellan liknade koncept för samma bränsle men kan bli gravt missvisande ifall man jämför olika drivmedel eller motorteknologier. Exempelvis ger gasdrivna ottomotorer väsentligt lägre utsläpp vid låga temperaturer än bensindrivna ottomotorer. I fallet alkoholer erhåller man oftast högre utsläpp än med bensin. Dessa omständigheter är självfallet av stor vikt för att jämförelsen skall vara relevant för vårt klimat. Det synes självklart att det är mycket viktigt att ta hänsyn till sådana och andra liknande förhållanden när man skall göra en rättvisande jämförelse mellan olika drivmedel eller vitt skilda motorteknologier. Samtidigt är det vanskligt att försöka korrigera för alla tänkbara faktorer genom flertalet av dessa endast har en mycket liten inverkan på emissionerna samtidigt som underlaget är av undermålig kvalitet. Likaså blir beräkningsgången vid ett sådant förfarande ofta oöverskådlig. I denna studie har vi nöjt oss med att göra korrektioner för körmönster, åldring och klimat. De beräkningar som utförts bör därför vara lätta att följa.

4.5.1 Åldring

Vid avgascertifiering av lätta fordon tar man hänsyn till åldringen av emissionsrelaterade komponenter (t ex katalysator) till motorn genom att tillverkarna gör praktiska tester för att kunna beräkna en s k *försämringsfaktor*. Denna försämringsfaktor skall gälla för en körsträcka av 80 000 km. Eftersom certifieringen oftast sker med nya fordon multipliceras det uppmätta värdet med försämringsfaktorn. På så sätt kan man säga att certifieringsvärdena redan tagit hänsyn till åldringen. I Sverige har vi också sedan tidigare enligt våra avgasbestämmelser ett åtagande från tillverkarna som reglerar hållbarheten vad gäller emissionerna. Vid en körsträcka upp till 80 000 km skall gränsvärdena innehållas. På uppdrag av Naturvårdsverket utför MTC tester (s k efterkontroll) på slumpvis utvalda fordon för att övervaka detta.

De försämringsfaktorer som anges av tillverkarna representerar oftast idealfallet. Detta innebär att de tester som tillverkarna gjort för att ta fram försämringsfaktorerna kan avvika kraftigt från normal körning. Detta är också en rent praktisk fråga eftersom det skulle ta flera år i anspråk att göra åstadkomma detta vid användning av fordonet hos normala bilförare. Denna tid finns självfallet inte till förfogande i utvecklingen av en ny motorgeneration. Den procedur som finns för framtagande av försämringsfaktorerna har alltså tillkommit av rent praktiska skäl. Ifall avgasreningssystemet och handhavandet alltid skulle fungera på samma sätt som i tillverkarnas åldringstester skulle *alla* bilar som testas vid efterkontroller *alltid* uppfylla normerna. Så är inte fallet utan det händer relativt ofta att bilmodeller måste återkallas av tillverkaren för att man skall kunna rätta till vissa (oförutsedda) fel och brister som finns på fordonen.

I vår sammanställning har vi i stället för att använda försämringsfaktorerna valt att ange emissionsvärden där en försämring använts som mer motsvarar resultaten från verklig användning. Detta innebär att resultat från oberoende tester av fordon med olika körsträcka använts för att ta fram denna faktor. Vidare har vi även använt tester med fordon som haft en längre körsträcka än 80 000 km. Av praktiska skäl och genom bristen på underlag har vi inte använt data för en längre körsträcka än 160 000 km. Genom att vi förutsatt en linjär försämring med ökande körsträcka representerar resultaten vid 80 000 km *medelemissionerna* under fordonets livslängd (vid den aktuella temperaturen). För att undvika sammanblandning med benämningen *försämringsfaktorer* har i stället begreppet *åldringsfaktor* använts i vårt material.

4.5.2 Klimat

Tester av avgasemissioner utförs normalt vid ett temperaturintervall mellan +20 – +30 °C. Detta är en kraftig avvikelse från Svensk årsmedeltemperatur som ligger på ca +7 °C. Fordonens emissionsegenskaper påverkas kraftigt av temperaturen. Man kan påvisa att utsläppen av de flesta emissionskomponenter (förutom NO_X) ökar vid lägre temperaturer. Ökningen är som regel linjär eller svagt konvex. Olika bränslen påverkas dock olika mycket av en temperatursänkning. Gasbränslen fungerar t ex mycket väl vid start i lägre temperaturer, medan utsläppen för bensin och alkoholer försämras väsentligt. Därför har det varit väsentligt att korrigera för inverkan av temperaturen. Liksom i det tidigare fallet har metoden med en korrektionsfaktor använts.

4.5.3 Körmönster

De körcykler som används vid certifiering och liknande tester är inte alltid anpassade till svenska körförhållanden när det gäller körsträckan per kallstart. Emissioner från tre olika

körcykler har använts i beräkningarna, nämligen den amerikanska FTP-75 körcykeln, nuvarande Europeiska körcykel och framtida Europeiska körcykel. Enkelt uttryckt kan man vid beräkning av utsläppen för ett visst körmönster anta att dessa består av emissionerna från ett varmkört fordon plus tillägget för kallstarten. En möjlighet att beräkna emissionerna för en godtycklig körsträcka vore därför att använda ett underlag för "varmemissioner" och ett för kallstarttillägget. Dessa faktorer kan räknas ut ifall emissionerna för varje delmoment i körcykeln har mätts. Denna metod används t ex av VTI i deras beräkningsprogram och i den s k Copert beräkningsmodellen [12] som används av många europeiska länder för att beräkna ländernas utsläpp. Kallstarttillägget brukar beräknas som differensen mellan två likadana delar av körcykeln där den ena delen utgör kallstarten och den andra delen består av samma körmönster som vid starten men med varm motor[10]. Tyvärr visar det sig att data för de olika delmomenten i körcykeln ofta saknas i publicerad litteratur. Skulle man begränsa sitt underlag till enbart den litteratur där emissionerna för varje delmoment finns tillgängliga, vore underlaget alltför magert för att utföra denna studie eftersom vi i detta fall också behandlar alternativa drivmedel (till skillnad från de ovannämnda studierna). Man måste alltså låta de resultat man har för kallstart representera en större fordonspopulation. Det som är viktigt i sammanhanget är att notera att kallstarttillägget är olika för olika motortyper och bränslen samt att kallstarttillägget torde minska kraftigt i framtiden genom att emissionsnivån sänks generellt. Av rent praktiska skäl har kallstarttillägget för de framtida uppskattningarna av emissionerna beräknats som en korrektionsfaktor i stället för en addition.

För att resultaten för emissionerna skall vara överensstämmande med praktiska förhållanden bör körsträckan per kallstart helst vara överensstämmande med den körcykel man vill skall representera det fall man vill studera. Så är inte alltid fallet. En möjlighet är då att korrigera emissionerna från mätningen för att de bättre skall överensstämma med den körsträcka som föreligger i det aktuella fallet. Den amerikanska FTP-75 körcykeln som till för några år sedan användes i Sverige har t ex en viktning av startfasen med en faktor 0,43. Den ekvivalenta körsträckan per start blir då hela 28 km, vilket avviker kraftigt från medelkörsträckan i Sverige som enligt resvaneundersökningar är knappt 15 km. I övriga länder i Europa är medelkörsträckan ca 12 – 15 km. I tätorter, där miljöproblemen är som störst, är körsträckan betydligt kortare än de medelkörsträckor som nämndes ovan. Körsträckan för både den gamla (EDC) och den nya (NEDC) europeiska körcykeln är 11 km. I det förra fallet görs emellertid ingen mätning av emissionerna under de första 40 sekunderna (med tomgång) efter start av motorn, vilket också måste beaktas i sammanhanget. Korrektioner som tar hänsyn till de förhållanden som beskrivits ovan har gjorts. Förfarandet vid korrigeringen beskrivs mer i detalj i kapitel 5.

4.5.4 Totala korrektioner

Det är troligt att inverkan av temperatur och åldring är två faktorer som är kopplade till varandra. Då spridningen mellan enskilda fordon är stor torde det vara svårt att med statistiska metoder separera dessa effekter helt från varandra. Därför kan det inte undvikas att vissa felaktigheter uppstår vid beräkningarna. Genom att faktorerna för åldring och klimat multipliceras med varandra finns risk för en *överskattning* av emissionerna om korrektionen skulle avse endast dessa två faktorer. Orsaken till detta är att faktorn för klimatkorrek-

[10] Detta förfarande kan bara tillämpas ifall körcykeln ifråga innehåller sådana avsnitt. Metoden har använts frekvent för den amerikanska körcykeln men det finns dock vissa invändningar mot att använda metoden för den europeiska körcykeln.

tionen som regel baserar sig på tester med nyare fordon än medelfordonet (80 000 km). Därmed skulle man alltså få en överkorrektion. Den ovan beskrivna metoden (VTI, Copert m fl) att använda kallstarttillägg är ej heller den felfri i sammanhanget. Eftersom de tester som ligger till underlag för materialet (på samma sätt som nämnts ovan) utförts med tämligen nya fordon kan detta medföra en *underskattning* av emissionerna genom att tillägget blir alltför litet.

När det gäller korrektionerna för körcykeln kan man också hävda att metoden är grov och även här är korrektionsfaktorn säkert kopplad till de två övriga faktorerna. Ett sådant fenomen är att de två korrektionerna ovan (åldring och klimat) används på FTP-75 körcykeln. Då denna körcykel innehåller viktsfaktorer för varje delmoment i körcykeln blir körsträckan per kallstart lång. Den korrektion vi gör för att körcykeln avviker från den medelkörsträcka per kallstart som vi avser att studera baserar sig på samma (eller delvis samma underlag) som beskrivits ovan. Eftersom dessa resultat tagits fram med relativt nya fordon är de sannolikt för låga eftersom åldringen inte finns med. Detta leder till en *underskattning* av emissionerna. Totalt sett kanske denna underskattning tillsammans med den ovan beskrivna överskattningen leder till ett någorlunda rättvisande resultat.

Sammanfattningsvis kan man säga att beräkningsmetoderna för att beräkna emissionerna under fordonets livstid bör utvecklas vidare i framtiden för att helt rättvisande emissionsfaktorer skall kunna tas fram. Likaså bör man notera att kunskaperna om fordonsemissionerna för ett visst fordon alltid är bristfälliga när det gäller nyproducerade fordon (åldring mm). Det är därför svårt att använda sig av enbart certifieringsdata för att välja fordon ur emissionssynpunkt.

4.5.5 Faktorer som inte beaktats

Trots att ett flertal faktorer har beaktats vid korrigeringen av emissionsdata kvarstår det faktum att ytterligare faktorer som påverkar emissionerna har försummats. Några sådana faktorer är:

- Förångat bränsle (eng.: evaporative emissions) från tanken och fordonet i övrigt har inte beaktats. I vissa fall kan dessa emissioner vara betydande, t ex för äldre bensinbilar. Även om nya bilar med katalysator också har en kolbehållare för att ta hand om förångat bränsle är ingalunda dessa emissioner försumbara. En orsak till att dessa emissioner inte tagits med är att det finns få karakteriseringar av de enskilda kolvätena. För att användas i beräkningar av effekter är det nödvändigt.
- Sekundärt bildade emissionskomponenter i omgivningens närhet har inte inkluderats i bedömningen av nivåerna av främst icke reglerade emissionskomponenter.
- Skillnader mellan körcykler som t ex mellan FTP-75 och NEDC körcykeln har inte kunnat beaktas fullt ut. Jämförelsen med svenska körförhållanden är bristfällig. Exempelvis kan emissionerna för bensinbilar i citytrafik vid korta körsträckor och kall väderlek vara väsentligt förhöjda. Å andra sidan är emissionerna vid långa sträckor av landsvägskörning betydligt lägre än emissionerna i körcykeln.
- Emissionerna utanför det område (varvtal och last) som omfattas av körcykeln kan för vissa fordon vara betydande. Exempelvis kan CO emissionerna för en katalysatorbil under *en enda* kraftig acceleration motsvara åtskilliga mils landsvägskörning med varm motor (och katalysator). Även om körcykeln vore synnerligen representativ för verklig körning med respektive fordonskategori torde det inträffa ibland att man hamnar utanför

det område som körcykeln ligger inom. Eftersom inga korrektioner gjorts för dessa förhållanden leder det sannolikt till att emissionerna underskattats.

- Inverkan av högemitterande fordon har försummats. Det finns förvisso några enstaka fordon i underlaget med förhöjda emissioner men inte en enda av dessa bilar kan karakteriseras som ett högemitterande fordon. I en nyligen publicerad rapport från Lenner och Karlsson på VTI uppskattas t ex ökningen av HC emissionerna på grund av högemitterande fordon (baserat på underlag från IVL) till 17 % [13].
- Inga korrektioner har gjorts för att ta hänsyn till att personbilar ofta är tyngre lastade (även släp, husvagn mm) än vid testning på chassidynamometer.
- Inverkan av reformulerade bränslen på emissionerna har inte beaktats. För dieseldrift är det t ex uppenbart att svenskt bränsle av miljöklass 1 ger väsentligt lägre emissioner av framförallt vissa icke reglerade emissioner (t ex PAC) i jämförelse med normal europeisk dieselolja (och certifieringsbränsle). Betydande minskningar – om än något mindre än i det förra fallet – torde också föreligga för den miljöklass 1 bensin som är på väg att introduceras på marknaden.

4.6 Undersökta effekter

Då effekterna av avgaserna är det som är av störst intresse i denna studie görs här en kort genomgång av de effekter som hänger samman med de olika emissionskomponenterna. Av praktiska skäl har ibland flera effekter sammanförts under samma rubrik. De behandlade effekterna är:

- Försurning/kväveövergödning – svavel- och kväveoxider (SO_X resp. NO_X) ammoniak.
- Vegetationsskador (sura gaser, ozon).
- Ozonpotential – kväveoxider och flyktiga reaktiva organiska ämnen.
- Luftvägssjukdomar – ozon (O_3), kvävedioxid (NO_2), oxiderade ämnen som aldehyder.
- Cancerrisk – polycykliska aromatiska ämnen (PAC), fina partiklar, gaser som bensen, butadien, eten, propen, aldehyder (formaldehyd, acetaldehyd, akrolein).
- Siktbarhet (partiklar, droppar).
- Förändring av växthuseffekt – fossil koldioxid (CO_2), metan (CH_4), dikväveoxid (N_2O), m.fl.

De omedelbara utsläppen från fordon och drivmedelshantering ger ofta inte hela bilden utan omvandlingar i atmosfären tillkommer något senare, t.ex. ozonbildning, oxidation till kvävedioxid, oxidation av kolväten till aldehyder, etc.

Inverkan på ovannämnda effekter av olika drivmedel och motortyper för personbilar diskuteras i kapitel 5.

4.6.1 Försurning

Försurning genom *svaveloxider* beror helt på bränslets halt av svavel. Bensinstandarden har i dag en formell maximal halt på 1.000 ppm_{vikt} men i praktiken ligger den i genomsnitt omkring 100 ppm_{vikt}. Sänkning till max. 50 ppm_{vikt} eller lägre förutses på 5 - 10 års sikt. Miljöklassade vägdieseloljor har max. 50 ppm_{vikt}, den dominerande MK1 max. 10 ppm_{vikt}.

De alternativa drivmedlen metan (CNG, biogas), metanol, etanol, RME har alla försumbart låga svavelhalter (mindre än 10 ppm_{vikt}). Utsläpp vid tillverkningen kan ha viss betydelse i LCA-perspektiv.

För försurning/övergödning genom *kväveoxider* spelar bränslets halt av kväve mycket liten roll då den är låg i alla drivmedel för vägfordon. Den stora bildningen av kväveoxider sker från luftens kväve vid förbränningen och beror till stor del på motortekniska förhållanden men bränslets egenskaper har visst inflytande genom inverkan på förbränningstemperaturen och förmågan att brinna stabilt i mager blandning (stort luftöverskott) eller vid hög avgasåterföring (EGR). Vidare är även möjligheterna till reduktion av kväveoxider i en katalysator av avgörande betydelse när det gäller emissionerna från motorn.

Trots stora minskningar av utsläpp och nedfall, främst av svaveloxider, är försurning fortfarande ett stort problem och överskrider på många håll acceptabla kritiska belastningar för mark- och vattenområden. Uppnådda minskningar innebär bara att takten i försurningen minskar.

Såväl oxider som syror orsakar direkta växt-, korrosions-, vittrings- och djurskador genom torr deposition och indirekta skador genom sur nederbörd, våt deposition. Hälsoeffekter förstärks om syrorna adsorberas på partiklar eller bildar fina droppar och partiklar (t.ex. ammoniumsulfat). Samtidig närvaro av både svavel- och kväveoxider har visats ha synergistisk effekt på både vittring och hälsoskador.

Både oxiders och syrors uppehållstider i atmosfären kan vara långa (många dagar) och utsläppseffekterna sprids över stora områden. Försurningen är därigenom ett lokalt och storregionalt problem och mindre beroende av utsläppspunkter även om effekten är störst genom högre koncentration i luften före utspädningen under transport. De sura utsläppen faller under internationella avtal om begränsning av luftföroreningar genom långväga transporter, Long Range Transboundary Air Pollution (LRTAP).

4.6.2 Ozonbildning

Ozonbildning sker under solljusets inverkan i atmosfären från luftens syre och kväveoxider och vid samtidig närvaro av flyktiga organiska ämnen höjs ozonhalten. Dessas medverkan varierar genom att olika ämnen är olika reaktiva, vilket beskrivs genom de ges olika faktorer vid sammanvägning av deras bidrag. Nivån på dessa är dessutom beroende av halten kväveoxider i atmosfären och meteorologiska förhållanden. Bränslets sammansättning och därmed avgasernas halt av olika ämnen, vilka ofta inte är reglerade, har stor betydelse för ozonbildningen. Det finns även andra oxidanter såsom PAN (peroxiacetylnitrat) som har liknande egenskaper som ozon ur hälso- och miljösynvinkel men de är ännu föga undersökta till förekomst och påverkan.

Ozonhalterna är under sommarhalvåret vid eller över de halter som ger påverkan på växtligheten över stora områden. Periodvis kan halterna vara så höga att rekommenderade gränsvärden överskrids och människors påverkas. De senaste epidemiologiska undersökningarna indikerar också att gränsvärdena kan vara för höga. Vegetationsskador på jordbruksgrödor uppskattas till miljardbelopp och påverkan genom långsammare skogstillväxt värderas till än högre tal. Ozons livslängd i atmosfären är relativt lång, vilket gör ozon till ett storregionalt fenomen med gränsöverskridande utbredning.

Beräkning av ozonbildningen (IVL 1998) fordrar kunskap om utsläpp och om kemiska reaktioner i atmosfären och tillgång till spridningsmodeller under olika geografiska och

meteorologiska förhållanden [14]. Resultatet beror av halterna av kväveoxider och organiska ämnen i luftmassan och deras förhållande. Det kan finnas situationer lokalt då ökning av halten kväveoxider skulle leda till minskad ozonbildning men avsiktlig ökning av utsläpp kväveoxider för detta är självfallet inte någon användbar strategi med hänsyn till andra områden dit luftmassan når och till deras övriga effekter. Oftast är dock förekomsten av organiska ämnen viktigast för ozonhaltsökningen särskilt som det förekommer naturliga sådana utsläpp, isopren från lövträd och terpener från barrträd. Minskning av ozonhalterna kan därför i praktiken endast åstadkommas genom minskning av både organiska ämnen och kväveoxider.

Beräkning av ozonbildning är således en komplex uppgift, som ger olika resultat i olika områden. Jämförelse mellan olika bränslen kan dock ske på enklare sätt och få viss rangordning mellan dem genom att utifrån kända reaktionsförlopp i atmosfären studera hur stor den potentiella ozonbildningen kan bli. Eftersom resultat blir olika beroende på lokala/regionala förhållanden kan det bara illustreras för en typ av förhållanden. **Figur 1** illustrerar fallet då halten organiska ämnen är bestämmande för bildningspotentialen och är det som vanligen användes i USA. Det synes dock som rangordningen mellan olika ämnen under andra förhållanden är likartad med några få undantag.

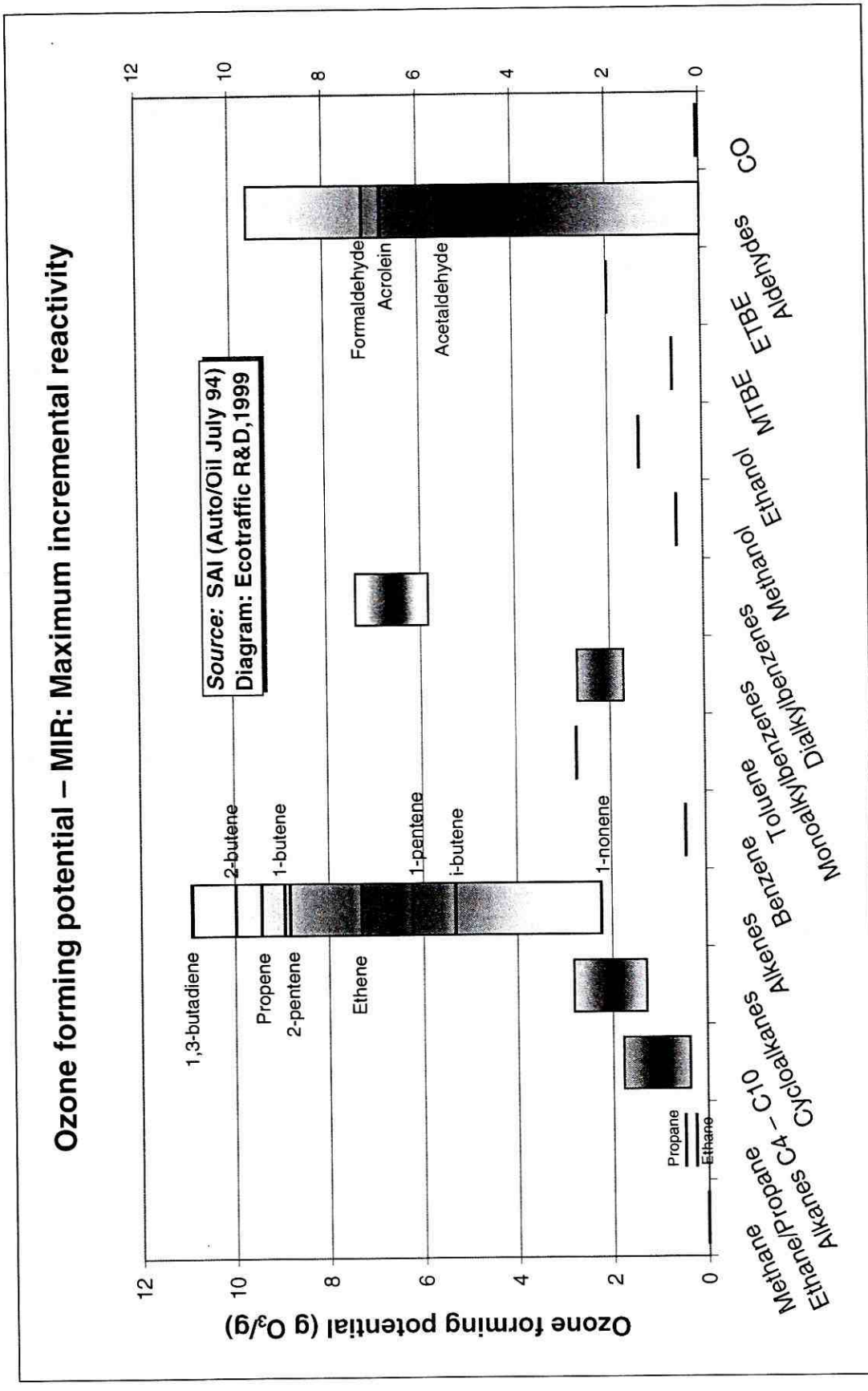
För att kunna beräkna ett bränsles ozonpotential måste hela sammansättningen av massan av emissioner genom avdunstning och via avgaser vara känd. För alternativa bränslen har dessa beräknade och sammanvägda värden jämförts med standardbensins och relationen uttryckts som en faktor RAF (Reactivity Adjustment Factor) för massutsläppet och anger således ozonpotentialen relativt bensin. De faktorer som använts i beräkningarna i denna rapport anges i **Tabell 2**. Om bensin sätts till 1 har som typiskt värde för E85 angivits 0,65, för 0,41, osv... En jämförelse där dieselolja satts till 1,0 visas också i **Tabell 2**.

Tabell 2: *Relativa faktorer för reaktiviteten hos kolväten (NMHC) i avgaserna från olika drivmedel*

	RAF[a]	
Drivmedel (motortyp)	Rel. bensin	Rel. diesel
Bensin (ottomotor)	1,00	0,76
Etanol, E85 (ottomotor)	0,65	0,49
Metanol, M85 (ottomotor)	0,41	0,31
Metan (ottomotor)	0,38	0,29
Dieselolja (dieselmotor)	1,32	1,00
RME (dieselmotor)	1,22	0,92
Etanol, E100 (dieselmotor)	0,30	0,23
Metanol, M100 (dieselmotor)	0,20	0,15

Anmärkningar:

[c] RAF: Reactivity Adjustment Factor. I tabellen anges RAF både relativt bensin och relativt dieselolja.



Figur 1: MIR (Maximum Incremental Reactivity) för några olika organiska föreningar

Underlag för **Tabell 2** har hämtats bl a från avgasbestämmelser (M85 enl. USA och Svenska A14) och diverse testresultat (E85, dieselolja och metan). I de flesta fall har som regel endast resultat för högre temperaturer funnits men i ett fall, dieselolja jämfört med bensin, finns även underlag för –10 °C [15]. Genom interpolation har ett värde för +7 °C erhållits. Det kan vara värt att notera att dieselolja i denna undersökning hade ett mycket högre värde vid –10 °C (1,67) relativt bensin än vid +25 °C (1,055), vilket kan föranleda vissa tvivel. Skillnaden mellan dessa bränslen blir därför också relativt stor vid +7 °C. Det är möjligt att resultaten även för de övriga drivmedlen också skulle ändras om hänsyn kunde tas till effekterna av temperaturen. Metan, M100 och E100 har de lägsta faktorerna av alla drivmedel. I det första fallet finns en hel del underlag men i de två senare fallen är det endast fråga om prototypmotorer. Det kan vara värt att notera att metanolbränslena (M85 och M100) har en lägre faktor än etanolbränslena (E85 och E100). Orsaken till detta förhållande är den betydligt längre MIR-faktorn för metanol i förhållande till etanol vilket inte fullt ut kompenseras av den lägre MIR-faktorn för acetaldehyd i förhållande till formaldehyd.

Ozonproblemet synes vara ett växande problem och ytterligare åtgärder för minskning av ozon är således nödvändiga. Detta måste ske genom minskning av utsläpp av både kväveoxider och organiska ämnen och en reduktion av dessas reaktivitet.

4.6.3 Luftvägssjukdomar, akuta hälsoeffekter

Luftvägssjukdomar, allergier och astma visar en kraftigt stigande trend och förknippas med utsläpp av ämnen som finns i eller bildas av bilavgaser, kvävedioxid, ozon, aldehyder, partiklar. Verkan kan vara att ämnena ökar känsligheten för luftvägspåverkan hos personer med astma och för upptag av allergener. Personer som bor i tätorter med förorenad luft riskerar kraftigare och mer långdragna besvär än de som bor i områden med renare luft. Det finns ännu inte så klart fastlagda samband mellan olika ämnen och luftvägsbesvär att vägningstal kan ställas upp för kvantitativ bedömning av risker.

För minskning av luftvägspåverkan spelar bränslena sammansättning och därmed avgasernas halt av olika oreglerade ämnen en avgörande roll.

Akuta hälsoeffekter var tidigt fokuserade på kolmonoxid, CO, genom dess förmåga att hindra blodets upptagning av syre och därigenom minska prestationsförmågan, vilket är en särskild risk för personer med hjärtsjukdomar. Även kvävemonoxid, NO, har i högre halter egenskapen att blockera syreupptagningen.

Andra akuta effekter är svaveldioxids irritation av slemhinnor och av vävnader i särskilt de övre andningsvägarna (på grund av hög löslighet i vatten) med ökade andningssvårigheter som följd. Astmatiker i arbete är en särskilt känslig grupp. Samtidig närvaro av sot och partiklar och svaveldioxid tycks ge en synergistiskt förstärkande effekt.

De starkt oxiderande gaserna kvävedioxid och ozon orsakar irritationer i ögon och luftvägar särskilt längre ned genom mindre löslighet i vatten och kan skada slemhinnor och lungvävnader och spridas till andra organ med blodet. Resultatet kan bli nedsatt lungfunktion och sämre motstånd mot infektioner. För oxidanter särskilt känsliga grupper är astmatiker och personer med luftvägssjukdomar. Kvävedioxid anses tillsammans med svaveldioxid

och ozon medansvarig för uppkomst av allergier och överkänslighet genom att påverkade vävnader blir inkörsport för allergener. Oxidanterna misstänks också spela en roll för uppkomst av och utveckling av cancer, dock utan att själva vara mutagena.

Lätta kolväten har med undantag för aromater och n-hexan låg akut toxicitet och har direkta effekter endast i höga koncentrationer i form av narkotiska effekter av ospecifikt slag (huvudvärk, trötthet, koncentrationssvårigheter). Den akuta hälsoeffekten sker främst genom kolvätenas medverkan i ozonbildningen och genom möjligheten till bildning av toxiska metaboliter (omvandlingsprodukter) i kroppen. N-hexan är ett sådant exempel genom bildning av en metabolit med neurotoxiska egenskaper i det perifera nervsystemet. Andra oxidationsprodukter av kolväten i atmosfären är aldehyder, som ger irritationseffekter i ögon och luftvägar och misstänks orsaka uppkomst eller befrämja utveckling av hudirritationer och allergier.

Korttidsexponering för fina partiklar kan ge påverkan av lungfunktionen, luftvägssymtom (irritation, hosta, inflammation) och sensibilisering för angrepp av andra ämnen. De anses också innebära en inte försumbar risk för utveckling av lungcancer.

4.6.4 Luftvägssjukdomar, kroniska hälsoeffekter – cancerrisker

Genom kemiska ämnen orsakas av lång tids exponering för dessa i mycket låga koncentrationer, vilket förekommer i tätorter och i vissa områden med stor industriell verksamhet. Fokus är riktat mot ökningen av den allmänna astmafrekvensen och mot risken för cancer i olika former. Dessa är en följd av ämnenas förmåga att kemiskt binda till cellernas DNA och starta en cancerutveckling direkt eller indirekt genom sina omvandlingsprodukter (metaboliter) i kroppen. Något tröskelvärde, under vilket risk för cellskada inte finns, anses inte föreligga för den mekanism som kan leda till cancer. Risken ökar med ackumulerad dos av ämnet och det antal oreparerade cellskador som uppstått.

En lång rad kemiska ämnen har förmågan att binda till DNA och bäst känd är bensen, för vilken samband har fastställts mellan exponering och en cancerform (leukemi) hos människa (andra former finns i andra organ efter spridning i kroppen). Andra som troliga eller möjliga cancerogena klassade ämnen, med trafiken som stor bidragsgivare, är gasformiga olefiner (vätefattiga kolväten, främst 1,3-butadien, eten, propen), aldehyder (formaldehyd, acetaldehyd, akrolein), gruppen PAC (polycykliska aromatiska föreningar) och ultrafina partiklar. Dessa senare har på senare tid fått ökad uppmärksamhet, då de, även utan adsorberade, genotoxiska ämnen, i höga doser kan orsaka utveckling av lungcancer. Butadien, bensen, form- och acetaldehyd betecknas "air toxics" i amerikansk lagstiftning, och partiklar från dieseloljedrift är klassat som cancerogent.

Ozon har i cellstudier visats kunna binda till DNA och betraktas som genotoxiskt men klassas inte som cancerogent. Kvävedioxid har inte befunnits ha direkta cancerframkallande egenskaper men andra indirekta mekanismer misstänks vara möjliga. För både ozon och kvävedioxid behövs mer forskning innan slutsatser kan dras.

I **Tabell 3** visas en sammanställning av den relativa cancerrisken enligt några olika källor för ett antal ämnen. De källor som använts är Törnqvist och Ehrenberg [16], US EPA [17, 18] och Kalifornien (CARB [19] och CAPOCA [20]). Det framgår tydligt av sammanställningen i **Tabell 3** att alla ämnen inte ger samma risk för död genom cancer utan deras potens är olika och har kommit till uttryck i olika vägningstal, som måste användas för att kunna jämföra risken med olika drivmedel. Tyvärr finns inte full enighet om vilka talen skall vara, vilket **Tabell 3** också visar. Risktalet 1 för bensen motsvarar en riskfaktor (ris-

ken för cancer vid livslång, 70 år, exponering för 1 µg/m^3 av ämnet i luften) på $2{,}9 \cdot 10^{-5}$ (CARB).

Tabell 3: *Relativa cancerrisker (bensen = 1)*

Bedömare[a] / Ämne	US EPA 1990	US EPA 1999	CARB	CAPCOA	"Sverige"
1,3-butadien	34	36	6	10	20
bensen	1	1	1	1	1
formaldehyd	1,6	1,67	0,2	0,45	6
acetaldehyd	0,27	0,28	0,1	0,1	0,25
eten		(0,64)[b]	–	(0,5)[b]	4,5
propen		(0,02)[b]	–	(0,2)[b]	1,2

Anmärkningar:

[a] US EPA: US Environmental Protection Agency [17, 18]
CARB: California Air Resources Board [19]
CAPOCA: California Air Pollution Control Officers Association [20]
"Sverige": Törnqvist, Ehrenberg, Strålningsbiologiska Institutionen vid Stockholms Universitet, bearbetade data [16]

[b] Beräknat som 5 % av data för motsvarande epoxider

Klart synes vara att butadien innebär högsta risk och propen och acetaldehyd lägsta medan meningarna går starkt isär om formaldehyd. Nyligen (aug. 1999) har en ny utvärdering gjorts av USEPA som antyder att det höga värdet för butadien inte längre är hållbart underbyggt utan indikerar en "unit risk"-faktor en hundradel av den tidigare! Detta har ännu inte fått genomslag i de officiellt använda vägningstalen.

När det gäller cancerrisken för PAC kan man först notera att PAC är ett samlingsnamn för ett stort antal föreningar. För närvarande analyseras upp till 28 komponenter vid Stockholms Universitet, som bl a utför analyserna av provtagningar som utförts vid MTC, men i litteraturen finns ibland så många ämnen som 50 eller ännu fler. Emissionerna för totala mängden PAC är således starkt beroende av hur många komponenter som analyserats. I flera fall har det dessutom visat sig att ett antal 2-ringade aromatiska föreningar (t.ex. naftalin) brukar finnas med bland PAC föreningarna. Detta är principiellt felaktigt eftersom en förening med endast två ringar sträng taget inte är en PAC förening ("poly" skall tolkas som fler än två i detta sammanhang). Eftersom bränslet ofta innehåller mycket högre halter av 2-ringade föreningar (diaromater) blir också halterna i avgaserna ofta höga av dessa föreningar. En annan viktig fråga i sammanhanget är att PAC kan finnas både i partikelfasen och i den semivolatila fasen. Den kompletta bilden kan inte erhållas ifall inte en analys av prov gjorts för båda faserna. Likaså bör resultaten för de båda faserna särredovisas för tydlighetens skull. Svårigheterna när det gäller bearbetningen av data för PAC kan, som indikerats ovan, knappast överdrivas. I vårt fall har det ju dessutom gällt att jämföra data som genererats vid tester i olika laboratorier. I några fall har vi dessutom varit tvungna att göra egna uppskattningar.

Som poängterats ovan har olika ämnen kraftigt varierande cancerrisk. Det är också känt att sammansättningen av de olika organiska ämnena i avgaserna varierar mellan olika till bränslen. Bränslets sammansättning kan således ha en avgörande betydelse för cancerris-

ken. Ett exempel på en rapport där inverkan av olika drivmedelsspecifikationer (etanolbränsle med olika tändförbättrare) på cancerrisken har undersökts är en rapport av Westerholm m fl [21].

Utsläppen av cancerriskämnen i råvaru- och produktionsleden bedöms vara betydligt lägre än vid slutanvändningen med bidrag från biobränsleeldning som möjligt frågetecken. Ofta sker dessa utsläpp dessutom långt från tätbebyggda områden och kan följaktligen inte ha samma effekt som ämnen som släpps ut lokalt. Vi har därför valt att inte ta med de ämnen som släpps ut i dessa led.

Naturvårdsverket i Sverige har gjort bedömningen att den beräknade cancerrisken för allmänheten genom förorenad luft (vartill bilavgaser är starkt bidragande) i tätorter är minst 10 gånger högre än acceptabelt och detta är bakgrund till kravet att utsläppen av cancerriskämnen i avgaser skall reduceras med minst 90 %.

En sammanställning av antalet cancerfall i Sverige från den tidigare nämnda studien av Törnqvist och Ehrenberg visas i **Tabell 4** [16]. Den höga andelen av cancer förorsakat av PAC kan speciellt noteras. Dessutom förorsakas den största delen av dessa cancerfall av upptaget via näringskedjan (bl a deponering på grödor).

Tabell 4: *Uppskattat antal dödliga cancerfall i Sverige från luftföroreningar i tätort[16]*

Ämne (anmärkning)[a]	**Antal döda[b]**
PAH/PAC (som B[a]P[a], i part. fas)	100
PAH/PAC (upptag via näringskedjan)	~300
PAH/PAC (i gasfas)	?
Eten (alla cancerformer)	30
Propen	5
1,3-butadien	~50
Bensen (alla cancerformer[c])	10
Formaldehyd (alla cancerformer)	25
Acetaldehyd	<1
Andra karbonyler	?
Summa	***521***

Anmärkningar:

[a] B[a]P: Benso[a]pyren

[b] En osäkerhet med en faktor 3 anses föreligga på grund av statistiska och teoretiska felaktigheter

[c] Leukemi står för hälften av cancerfallen från bensen

Cancerrisken är en av de viktigaste faktorerna att bedöma när det gäller olika avgaskomponenter i fordonsavgaser som påverkar människors hälsa. Samtidigt är dessa ämnen och deras effekter ännu långt ifrån fullständigt utredda. Det finns därför tungt vägande skäl att intensifiera forskningen inom detta område.

4.6.5 Växthuseffekten

Växthuseffektens förhöjning genom människans aktiviteter bedöms nu som mycket sannolik. Koldioxid från fossila energiråvaror är största orsak följt av metan, ozon (marknära) och dikväveoxid (i avgaserna och bildad i marken från nedfall av NO_X). Bränslets ursprung är den viktigaste faktorn då fossila bränslen inte ingår i något kretslopp så som biobränslen gör. Genom dem är reduktion av utsläppta växthusgaser på över 80 % möjlig, och utsläppen sker främst i nästan helt i råvaru- och produktionsleden, där de egentligen kan undvikas genom användning av drivmedel och gödning på biobas. Vid högt utbyte av produkter från råvara har processbränslet (fossilt, icke-fossilt) självfallet mindre betydelse.

Tabell 5: Växthusgaspotential för olika emissionskomponenter (relativt CO_2)

	Pot. relativt CO_2	
Växthusgas (100 års persp.[a])	LoF[b]	Denna studie
Koldioxid (CO_2)	1	1
Kväveoxider (NO_x)	7	7
Kolmonoxid (CO)	3	3
Kolväten u. metan (NMHC)	11	11
Metan (CH_4)	21	24,5
Lustgas (N_2O)	290	320

Anmärkningar:

[d] Växthusgaser i ett 100 års perspektiv. Alla siffror i denna studie har hämtats från IPCC:s senaste sammanställning utom för NO_X och HC där samma värden som i LoF har använts.

[e] LoF: Life of Fuels

En sammanställning av de faktorer som använts i denna studie samt i Life of Fuels har gjorts i **Tabell 5**. Använda viktningsfaktorer för andra gaser i relation till koldioxid baseras på livslängd i atmosfären och är sedda i ett 100-årsperspektiv.

4.6.6 Energiomsättning

Den totala energiomsättningen (eller resursförbrukningen) är en viktig faktor oavsett bränsle. Visserligen kan man hävda att en ökad energiomsättning för biodrivmedel inte spelar någon roll ur växthuseffektsynpunkt då ju råvaran för dessa drivmedel är neutral med avseende på CO_2. Det man glömmer i det sammanhanget är att den tekniskt/ekonomiskt tillgängliga bioråvaran (när hänsyn tagits även till andra sektorers behov) är mindre än den årliga förbrukningen av fossil energi i Sverige. Därför är en relativ minskning av energiomsättningen av lika stor betydelse för biodrivmedel som för fossila drivmedel. Om man exempelvis minskar energianvändningen med 10 % i ett fordon drivet med biodrivmedel är det liktydigt med en motsvarande ökning av mängden *ersatt* fossilt drivmedel. Det synes självklart att denna förbättring av effektiviteten är likvärdig med en 10 % minskning av energiomsättningen för ett konventionellt fordon. Man bör alltså ställa lika stora krav på effektiviteten i fordon avsedda för biodrivmedel som för fossila drivmedel.

För närvarande, och för överskådlig tid framöver, kommer den totala energiomsättningen per energienhet färdigt motorbränsle att vara högre vid framställningen av biodrivmedel än för framställningen av konventionella fossila drivmedel. Detta är till stor del betingat av sammansättningen av råvaran i de båda fallen. Sett i ett livscykelperspektiv kommer alltså den totala energiomsättningen att vara större för biodrivmedel. Det finns däremot stora

möjligheter att minska användningen av fossil energi i produktionen av biodrivmedel. Man bör i sin framställning således redovisa både den totala energiomsättningen och användningen av fossil energi. Därtill är det viktigt att redovisa olika resultaten för olika råvaror och produktionsmetoder för biodrivmedel.

Även om den tekniskt/ekonomiskt tillängliga bioråvaran är liten i förhållande till användningen av fossil energi är det en myt att *produktionen* av bioråvara skulle vara den begränsande faktorn. Det hävdas att den totala solenergiinstrålningen till jorden är av storleksordningen 10 000 ggr hela världens energianvändning. Om blott 1 ‰ av denna energi binds i biomassa (den verkliga bindningen anses större) utgör denna fortfarande en potentiell resurs som är 10 ggr större än användningen. Självfallet är det så att hela denna potential aldrig kommer att kunna utnyttjas men det framgår klart att denna resurs är stor. Ett försök att uppskatta denna potential lokalt har gjorts för Trollhättan regionen i ett EU-projekt som Ecotraffic medverkar i som (koordinator) [22].

5 RESULTAT FÖR FORDON AV ÅRSMODELL 93/94

De resultat som redovisas i rapporten är naturligtvis av olika kvalitet, främst beroende på de indata som funnits tillgängliga. Bäst indata finns självfallet för de bensindrivna lätta fordonen. Sedan följer de dieseloljedrivna fordonen, de ottomotorbaserade alternativa drivmedlen, RME för dieselmotor och minst data finns för de övriga alternativa drivmedel som används i dieselmotorer. Av olika praktiska skäl har ej heller de senast nämnda alternativen rönt något större kommersiellt intresse, varför de även har prioriterats lågt i denna sammanställning. Det kan också nämnas att det förhållande som beskrivits ovan för kvaliteten och tillgången på indata gäller för såväl reglerade som icke reglerade emissioner. För att i någon mån särskilja mellan resultat som baserar sig på indata med olika kvalitet och dessutom ta hänsyn till vår prioritering har vi valt att redovisa de flesta resultat i två olika grupper. Indelningen i grupper följer den indelning som tidigare visats i **Tabell 1** för de undersökta fordons- och bränslekombinationerna.

Alla tillgängliga resultat från litteraturen kan inte heller användas då rådata inte finns tillgängliga eller när förutsättningen för undersökningen skiljer sig för mycket från de förutsättningar som valts i vårt fall. Ett exempel på detta är en stor undersökning som Rijkeboer m.fl. har utfört på 10 fordon, 8 personbilar och 2 lätta lastbilar [23]. Fem av fordonen drevs av ottomotorer (bensin) och lika många av dieselmotorer (dieselolja). Alla bensindrivna fordonen fanns också i en version som konverterats till drift med motorgas (LPG) och två av dessa var även avsedda för drift med metan. Urvalet av fordon med ottomotorer hade gjorts med avsikten att alla bilar skulle vara försedda med katalytisk rening av trevägskatalysatortyp. I övrigt fanns motorer med 2 eller 4 ventiler samt med flerportsinsprutning (multi-point injection) och med insprutning med endast en insprutningsventil (single-point injection). En av bilarna hade dessutom EGR. När det gäller dieselfordonen var urvalet inte lika teknikneutralt i förhållande till de bensindrivna fordonen. Endast två av dieselfordonen var utrustade med katalysator och en liknande situation gällde EGR, där endast tre hade denna utrustning. Både EGR och katalysator är en förutsättning för låga emissioner med dieselmotorer. Vidare var alla utom ett av fordonen utrustade med motorer med indirekt insprutning. Som resultat av urvalet kan man konstatera att fordonsflottan för de fordon som var utrustade med ottomotorer (bensin, LPG och CNG) var representativa för sin ålderskategori medan dieselfordon, även om de kunde vara representativa för viss teknik som användes under tidsperioden, inte kan anses uppfylla vårt krav på teknikneutralitet. I TNO:s studie användes fem olika körcykler. Oftast har man endast redovisat ett vägt medeltal av dessa körcykler och som ett medeltal för de olika fordonskategorierna, vilket medför att rådata som vore nödvändiga för våra beräkningar saknas. Slutsatser är att i stort sett inga resultat från TNO:s studie har kunnat användas.

5.1 Korrektioner

Som tidigare beskrivits i kapitlet om metodiken har korrektioner gjorts för åldring, klimat och körmönster. I detta kapitel visas några exempel på resultat från detta material.

5.1.1 Inverkan av åldring

Svårigheterna att beräkna effekterna av åldring på emissionerna är betydande. Detta gäller speciellt för koncept där en katalysator används för efterbehandling av avgaserna. Fördelen

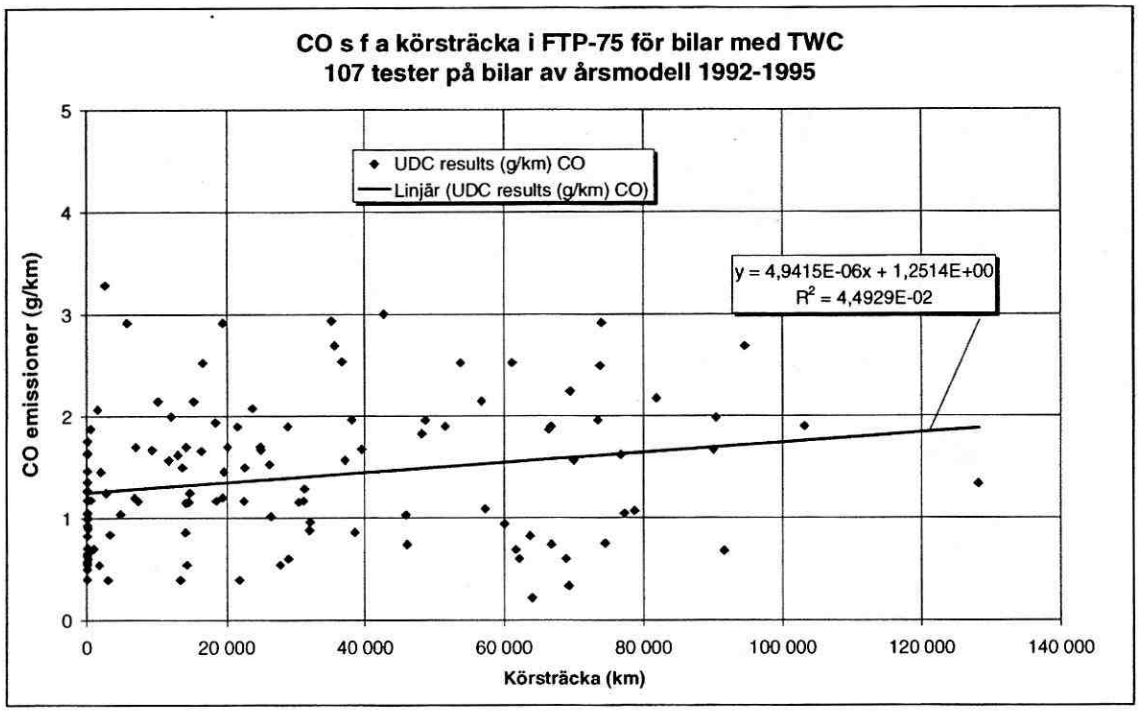
med den så kallade trevägskatalysatorn är att emissionsnivån sjunker avsevärt. Exempelvis kan emissionerna av CO, HC och NO_X minska med mer än 90 % i en körcykel och ännu mer (t o m över 99 %) under konstant motorbelastning med varm motor och katalysator. Problemet är att systemet är mycket känsligt för små störningar, varvid en kraftig ökning av emissionerna äger rum. Vidare är emissionsbilden även med nya fordon och väl fungerande reningssystem mycket olika för fordonsindivider. Ett exempel på detta är att en bil kan ha låga NO_X emissioner men betydligt högre CO emissioner i förhållande till respektive gränsvärde, medan förhållandet för en annan bil är det motsatta. Orsaken till dessa förhållanden är helt enkelt att systemet har så många frihetsgrader.

De omständigheter som beskrivits ovan medför att en statistisk utvärdering av resultat för åldring (t ex genom linjär regression) ofta ger mycket låga korrelationskoefficienter. En bidragande orsak till detta är att det underlag som ofta står till buds inte varit tänkt att användas för detta ändamål. Detta innebär t ex att vitt skilda fordon testats vid olika vägmätarställningar och vid olika tillfällen. Ofta är skillnaden i ålder mellan fordonen dessutom stor. Helst skulle man vilja testa ett urval av fordonsindivider flera gånger vid olika tillfällen under ett antal år. Härigenom skulle spridningen orsakad av skillnaderna mellan individerna minska. Tyvärr är man i stället hänvisad till tester som utförts i ett annat syfte. Det är svårt att uppskatta hur stor population av fordon som egentligen skulle behövas för att materialet skall bli helt tillförlitligt. Vår uppskattning är att det skulle behövas uppemot 1 000 fordonstester för att representera en kategori av fordon. Med kategori av fordon avses här t ex en population av fordon som t ex skall representera fordon certifierade enligt en viss avgasbestämmelse. Ett annat praktiskt problem man har är att de resultat som behövs för uppskattningen av inverkan av ålder (körsträcka) inte kan erhållas förrän efter en lång tid efter att fordonen tagits i bruk.

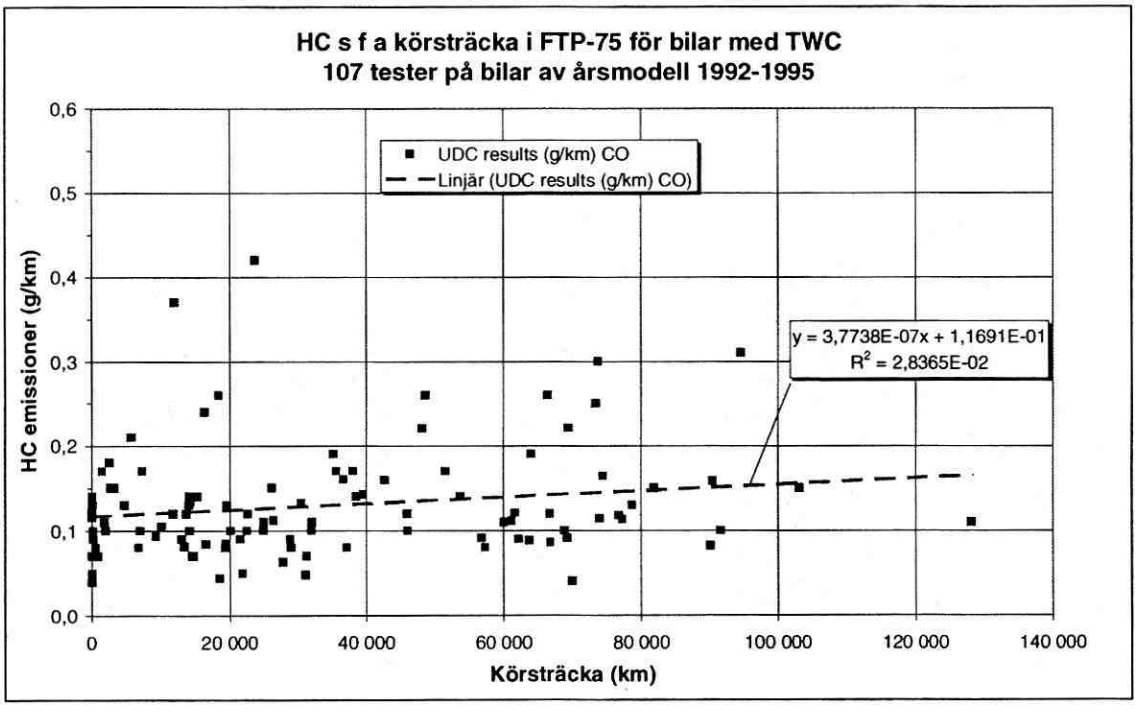
Resultat för fordon med bensindrivna ottomotorer

I en KFB-rapport där en av författarna till denna rapport medverkat gjordes en utvärdering av olika tester utförda vid MTC [5, 6]. Material från samma publikationer har även använts denna gång men med en komplettering med nya resultat från MTC [24 – 33] och från VTT [34, 35]. En omfattande rapport av tester vid VTT har nyligen publicerats i en doktorsavhandling av Laurikko vid VTT [35]. Avhandlingen behandlar i huvudsak emissioner vid kallstart men en undersökning av hållbarheten för emissionsutrustningen redovisas också. Det tidigare nämnda materialet har kompletterats med dessa fordon. En påtaglig brist i det totala materialet är att antalet fordon av åldersklasserna 1993 och 1994 är få. Eftersom medelkörsträckan inte avviker speciellt mycket mellan de olika ålderskategorierna har åldersklasserna 1992 – 1995 ansetts kunna representera fordon för årsmodellerna 1993 till 1994. På så sätt utökas det tillgängliga materialet till 107 bilar.

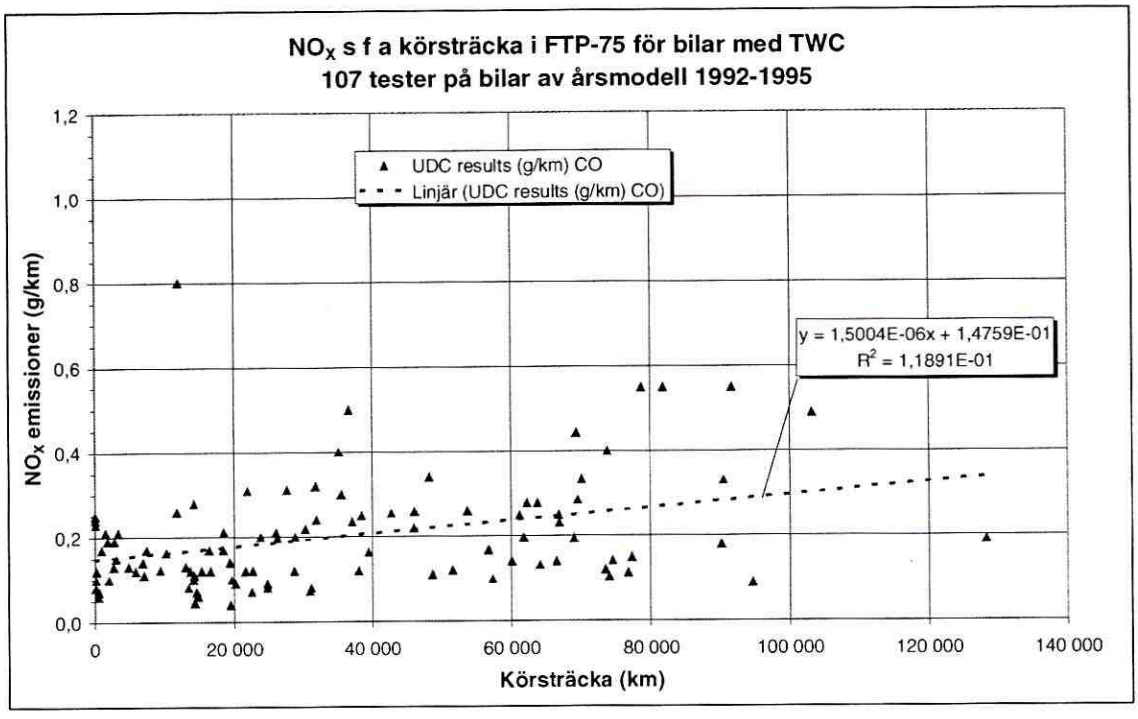
Några exempel på resultat för de fordon som underlaget enligt ovan baserats på visas i **Figur 2** till **Figur 4**.



Figur 2: *CO som funktion av körsträcka för bensinbilar 92 – 95*



Figur 3: *HC som funktion av körsträcka för bensinbilar 92 – 95*



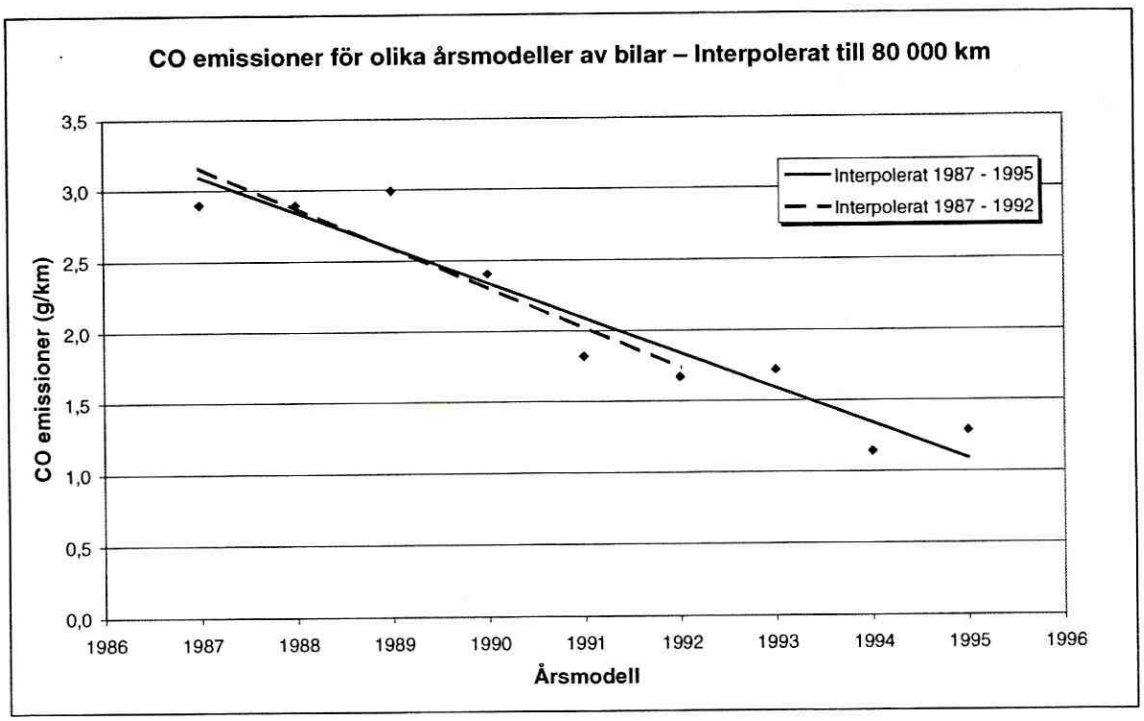
Figur 4: *NO_X som funktion av körsträcka för bensinbilar 92 – 95*

Även om figurerna ovan visar en mycket stor spridning och korrelationskoefficienten för regressionsanalysen är mycket låg är det ändå tydligt att det finns en viss effekt av körsträckan. En annan iakttagelse är att inga högemitterande fordon finns i underlaget och även att antalet fordon som inte klarar de emissionsgränser de certifierats för är förhållandevis få[11]. Vidare finns mycket få fordon med en körsträcka över 80 000 km. Detta är naturligtvis en klar brist som sannolikt medför att en påtaglig underskattning av åldringsfaktorn är att förvänta.

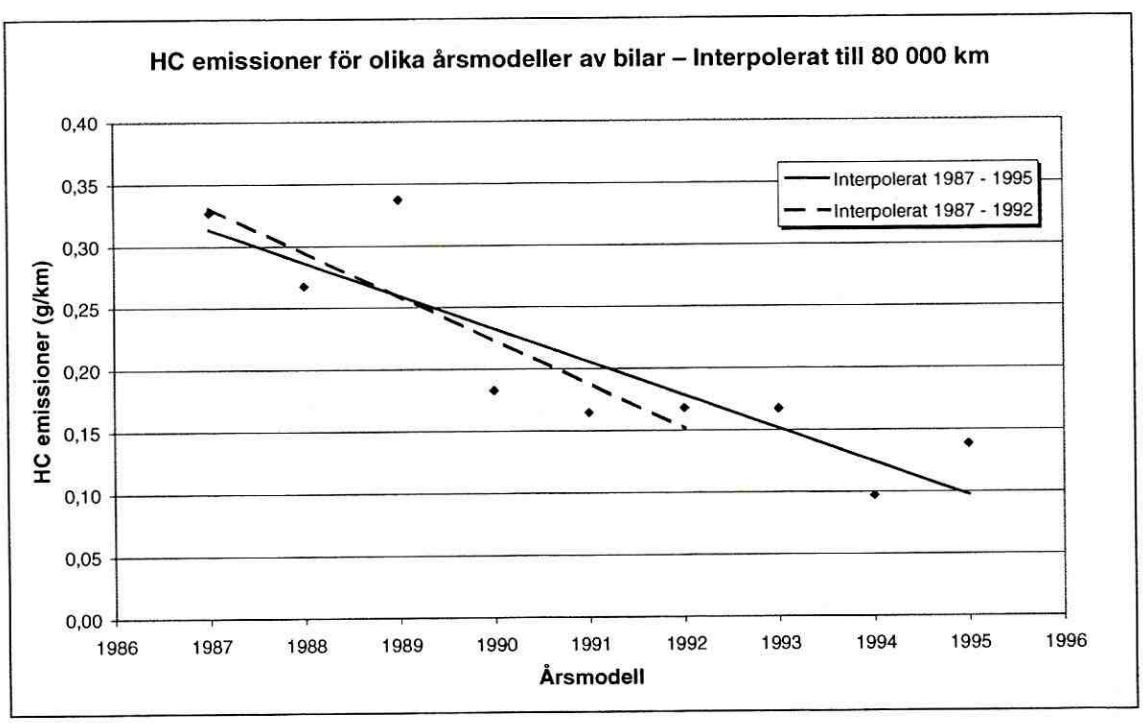
I rapporten av Egebäck m fl gjordes försök till en uppskattning av åldringseffekterna för varje åldersklass [5, 6]. Tyvärr var materialet alltför litet för att det skulle vara möjligt erhålla ett trovärdigt underlag för varje enskild årsmodell. Både medelnivå och åldringsfaktor varierade starkt mellan för varje årsmodell. Endast för de äldsta åldersklasserna, där flest fordon fanns kunde en rimlig trend skönjas, dvs en gradvis sänkning av emissionsnivån och en minskning av åldringsfaktorn. Därför valdes i den utredningen en faktor för den äldsta fordonskategorin baserat på materialet medan en gradvis förbättring antogs gälla för nyare fordon.

I denna utredning har, till skillnad från den rapport som beskrevs ovan, ett försök gjorts att ta fram faktorer som är mer direkt baserade på underlaget. Först har emissionsvärden för de olika emissionskomponenterna beräknats för en körsträcka av 80 000 km genom linjär regression för varje årsmodell. Sedan har en liknande beräkning gjorts som funktion av årsmodellen. Det underlaget visas i **Figur 5 – Figur 7** för de enskilda emissionskomponenterna. Eftersom flest fordon fortfarande finns i åldersklasserna 1987 till 1995 visas separata trendlinjer för 87 – 95 och för 87 – 92. Skillnaden mellan dessa båda fall är dock inte stor.

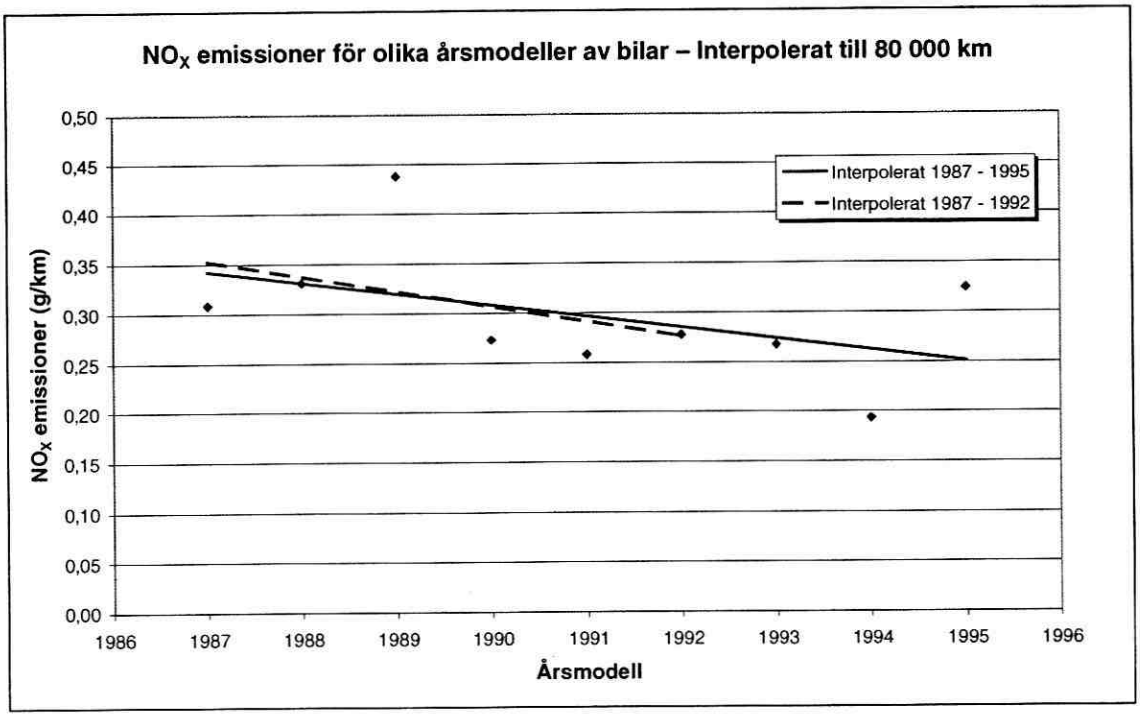
[11] Majoriteten av fordonen var certifierade enligt den amerikanska FTP-75 körcykeln.



Figur 5: *CO vid 80 000 km för olika årsmodeller av bensinbilar*



Figur 6: *HC vid 80 000 km för olika årsmodeller av bensinbilar*



Figur 7: *NO_X vid 80 000 km för olika årsmodeller av bensinbilar*

I de tidigare beskrivna figurerna syns en påtaglig förbättring av absolutnivån med tiden. Särskilt påtagligt är detta för CO och HC emissionerna. I och med att underlaget enligt tidigare beskrivning inte är tillräckligt omfattande och fordonen egentligen har en för kort körsträcka finns en påtaglig risk för att en underskattning av såväl absolutnivå som åldringsfaktor görs. En granskning av resultaten för de enskilda fordonen visar dessutom att de fordon som testats av VTT inte har körts lika långt som övriga fordon. Dessutom finns en tydlig trend till att emissionsnivån generellt är lägre för dessa fordon. Sannolikt är det senare enbart fråga om en slump eftersom antalet fordon i de senare fordonsklasserna dessutom är litet. En möjlighet att förbättra uppskattningarna vore att ta in fler resultat i materialet. Problemet är att detta är ett omfattande arbete eftersom resultaten då måste hämtas från material som genererats i utlandet. En annan möjlighet vore att göra en mer sofistikerad statistisk bearbetning av materialet. Detta är dock inte att rekommendera utan att först utöka materialet.

Resultat för övriga fordon med ottomotorer

Som beskrivits ovan är underlaget för de bensindrivna bilarna inte tillräckligt stort för att vara helt acceptabelt. Självfallet är underlaget för de övriga drivmedlen, med undantag av dieseldrivna bilar, mycket mindre. Den enda framkomliga vägen att uppskatta åldringseffekterna för dessa drivmedel är att förutsätta att dessa fordon beter sig på samma sätt som motsvarande fordonstyper för fossila bränslen. Detta är också en logisk slutsats eftersom vi förutsatt att teknikneutralitet skall gälla för alla fordonen. Något som skulle motsäga denna slutsats är ifall det finns bränslerelaterade effekter på avgasreningen.

En positiv effekt för alternativa drivmedel är att de flesta av dessa drivmedel innehåller mycket låga halter av svavel. Effekterna av svavel för katalysatorer kan vara av två slag. Dels finns en korttidseffekt som yttrar sig så att en del av de aktiva sätena (ädelmetallkornen) i katalysatorn temporärt blockeras varvid effektiviteten avtar och dels finns en lång-

tidseffekt som generellt ökar åldringen och därmed minskar omsättningen under alla förhållanden. När det gäller korttidseffekten kan det dock vara möjligt att katalysatorn så att säga "regenereras" under vissa driftsförhållanden varvid effektiviteten åter ökar. I medeltal under fordonets livslängd kommer dock omsättningen att vara lägre än med ett helt svavelfritt bränsle. En variabel i sammanhanget är dessutom att certifieringsbränsle kan vara i stort sett svavelfritt (enligt gällande bestämmelser) vilket generellt bör ge lägre emissioner än handelsbränsle. Långtidseffekten av svavel är att åldringen går snabbare och detta borde ge de alternativa drivmedlen en klar fördel framför bensin. För dieselolja är förhållandet i stället det att den vanligaste kvaliteten på marknaden (MK 1) har en mycket låg svavelhalt (<10 ppm), vilket i praktiken medför att svavlet inte är något problem för detta bränsle när det gäller åldringseffekterna. Svavelhalter på några ppm kan faktiskt också förekomma i flera av de alternativa drivmedlen trots att de principiellt anses som svavelfria. Ett exempel på effekterna av mycket låga halter av svavel är för metangasdrivna tunga fordon där det visat sig att svavlet kan medföra en kraftig reduktion av omsättningen av metan redan efter en mycket kort användning [36].

Förväntade negativa effekter på åldringen av alternativa drivmedel kan t ex vara att den benägenhet till korrosion som alkoholerna uppvisar kan påverka insprutningssystemet på ett negativt sätt (igensatta filter, spridare mm). Överhuvudtaget har en hel del problem med föroreningar i bränslet som kan leda till försämrade emissionsegenskaper kunnat konstateras för flera alternativa drivmedel. RME har i vissa fall visat sig ge problem med koksbildning i insprutare och i cylindrarna. Huruvida dessa effekter egentligen endast beror av bränslespecifikationen eller problem att innehålla denna kan inte säkert fastställas i dag. En snabbare degradering av motoroljan har även noterats för några alternativa drivmedel, vilket på sikt också kan leda till försämrade emissionsegenskaper. Andra tänkbara problem kan vara materialkompatibilitet i bränslesystemet, i fordonet och vid distribution och tankning av bränslet. Det är dock svårt att ännu uttala sig säkert om huruvida de ovannämnda problemen verkligen härrör från bränslets egenskaper eller om det bara är fråga om tillfälliga problem i drivmedelsframställning, hantering mm.

Som konstaterats ovan är erfarenheterna av åldring på alternativa fordon hittills mycket begränsade. De tester som utförts inom ramarna för KFB:s Biodrivmedelsprogram är för få och har utförts vid en för kort körsträcka för att ge någon större vägledning. Det enda man kan notera är att emissionerna verkar öka med tiden. I USA finns dock en del resultat som kan ge en indikation på hur väl avgasreningen fungerar efter en längre tids användning av alternativa drivmedel i jämförelse med bensin. En rapport från Winebrake och Deaton vid James Madison Universitet behandlar emissionernas försämring med tiden för några alternativa drivmedel [37]. De undersökta drivmedlen var E85, M85, CNG samt reformulerad bensin. Det kan med hänvisning till ovanstående resonemang vara av intresse att sammanfatta en del av resultaten i den nämnda rapporten. Resultaten behandlades statistiskt av författarna för att kunna avgöra ifall det fanns några skillnader mellan fordonen för alternativa drivmedel och motsvarande bensindrivna fordon vad gäller emissionernas försämring med tiden. Skillnaderna ansågs signifikanta vid ett konfidensintervall av 95 %. Några av rapportens resultat var:

- Inga statistiskt signifikanta skillnader fanns mellan något av de alternativa bränslena och respektive referensfordon för bensin för CO emissionerna.
- Den observerade skillnaden för emissionerna av totalkolväten (THC) mellan CNG och motsvarande bensinbil var signifikant. CNG bilarna gav en högre försämringfaktor än

bensin. Skillnaderna mellan de övriga drivmedlen var inte statistiskt signifikanta för THC emissionerna.

- Skillnaden i försämringen av NO_X emissionerna mellan CNG och reformulerad bensin var statistiskt signifikant. Fossilgas har en större försämring än reformulerad bensin. Skillnaderna mellan de övriga drivmedlen är för NO_X emissionerna inte statistiskt signifikanta.
- Skillnaden i försämringen av NMHC emissionerna mellan CNG och reformulerad bensin var statistiskt signifikant. Återigen hade CNG en större försämring än reformulerad bensin. Skillnaden i försämringen av NMHC emissionerna mellan M85 och reformulerad bensin var också statistiskt signifikant. Till skillnad från fallet med CNG uppvisade M85 en mindre försämring än reformulerad bensin. Emellertid låg försämringarna i båda fallen på en så låg nivå att skillnaden hade en försumbar praktisk betydelse.

Resultaten enligt ovan var enligt rapportens författare delvis tvärtemot den gängse uppfattningen (i USA) om så kallade "rena bränslen". Man skulle kunna tro att de "renare förbränningsegenskaperna" (s k "cleaner burning fuels") även skulle resultera i lägre försämringsfaktorer än konventionella bränslen. Detta har ansetts gälla speciellt för CNG som betraktats som ett av de "renaste" bränslena. Något som man också hade förväntat sig var att alkoholerna bl a på grund av sina korrosiva egenskaper skulle ge större försämringar än bensin. Denna analys motsägs av att M85 hade marginellt mindre försämring och E85 inte uppvisade någon signifikant skillnad i jämförelse med bensin. Några tänkbara orsaker till de något kontroversiella resultaten diskuteras också av Winebrake och hans medförfattare men inga av förklaringarna som gavs i rapporten verkar ge något speciellt hållbart stöd för någon av de framförda hypoteserna.

Med ledning av de få resultat som finns för försämringen av emissionerna med tiden för de alternativa drivmedlen kan emellertid ingen definitiv slutsats dras och det bästa alternativet är att använda samma åldringsfaktorer som för respektive motortyp för fossilt drivmedel. Detta innebär att alla alternativa drivmedel för ottomotorer ansätts ha samma åldring som för de bensindrivna fordonen. Detsamma gäller för de alternativa drivmedlen för dieselmotorer där ju dieselolja är referensen.

Resultat för övriga fordon med dieselmotorer

I den tidigare citerade KFB rapporten om alternativa drivmedel [5, 6] hade ett material från MTC bearbetats. Under en tidig period efter inträdet i EU hade Naturvårdsverket bestämt att alla dieseldrivna lätta fordon som direktimporterades måste emissionstestas enligt en obetydligt förenklad procedur (med avseende på emissionstestet) i jämförelse med efterkontroll. MTC var det enda avgaslaboratorium i Sverige som kunde utföra denna typ av tester[12]. Tack vare den stora mängd tester som genomfördes finns ett relativt stort underlag för bedömning av åldringen. Totalt fanns 147 tester för bilar av årsmodell mellan 1989 och 1995 i detta material. De flesta bilarna var av årsmodell 1992 och 1993, dvs lämpliga som underlag för den aktuella uppskattningen av ålderseffekterna på bilar av 1993 till 1994 års modell.

När det gäller urvalet av bilar kan man dock konstatera att genomsnittet av bilarna var både stora och tunga (sannolikt också dyra). En del av bilarna hade en mycket låg vägmätar-

[12] Den långa väntetiden och den krångliga proceduren ledde dessutom otvivelaktigt till att importen av dieseldrivna lätta fordon hämmades under denna period.

ställning vilket kan antyda manipulation medan andra hade körts mycket långt vilket kan antyda att de använts i speciella tillämpningar (t ex taxi). De flesta bilar hade före testerna (efter rekommendation från MTC) genomgått en grundlig service och i flera fall hade katalysatorn bytts ut. Således kan man knappast påstå att bilarna skulle vara speciellt representativa för bilar i svensk trafik. Emellertid är detta det bästa underlag som finns att tillgå med avseende på antalet fordon. Eftersom resultaten dessutom visar mycket små försämringar (CO, HC och partiklar) och t o m en liten förbättring i ett fall (NO_X) skulle knappast ett mer gediget underlag ge något annat resultat. De värden som togs fram i KFB rapporten med detta underlag som bas har därför använts även i denna studie.

5.1.2 Inverkan av klimat

De korrektioner som används för att korrigera för klimat är desamma som i den tidigare citerade rapporten för KFB [5, 6]. Detta underlag baseras i sin tur i huvudsak på undersökningar vid MTC [24 – 33] och VTT [34, 35]. Det underlag för kallstart som finns beskrivet i Laurikkos rapport vore en väsentligt komplettering ifall det kunde användas som underlag även för korrektionerna för temperatureffekterna [35]. Tyvärr finns inte de emissionsdata som är nödvändiga för beräkningarna (delresultat för körcykeln) publicerade i rapporten. Det är dock viktigt att i framtida arbeten kunna komplettera med dessa resultat.

En mycket intressant upptäckt i Laurikkos rapport är inverkan av vägmätarställningen på emissioner vid lägre temperatur och vid kallstart. Detta material är den första av författarna kända undersökningen där inverkan av temperatur och åldring undersökts simultant. När det gäller inverkan av åldringen vid +22 °C kan man konstatera att dessa resultat är mycket snarlika de resultat (endast någon procents skillnad vid okulär avläsning av diagrammen) som erhållits i vårt underlag för fordon av årsmodell 1992 och 1994. Fordonspopulationen i Laurikkos material är mellan 1990 och 1995 års modell. Laurikko har även beräknat förhållandet mellan emissionerna vid –7 och +22 °C för varje avsnitt i körcykeln. Det förvånande med dessa resultat är att förhållandet *sjunker* med ökad körsträcka för CO och HC emissionerna. Däremot *ökar* förhållandet för NO_X emissionerna. Ett förhållande som är konstant som funktion av vägmätarställningen skulle bekräfta att den modell för beräkningarna som använts i denna rapport vore helt riktiga. Ifall resultaten i Laurikkos rapport gäller generellt, ger de beräkningar som gjorts i denna rapport en *överskattning* av CO och HC emissionerna och en *underskattning* av NO_X emissionerna. En förklaring till att förhållandet mellan emissionerna vid de två olika temperaturerna minskar för CO och HC med ökande vägmätarställning kan i och för sig bero på att nivån vid +22 °C ökar *mer* än vid –7 °C. En annan förklaring till resultaten är att antalet fordon i Laurikkos undersökning är för litet eller att skillnaderna beror på att tekniken i fordonen ändras med tiden och detta är den egentliga orsaken till de fenomen man kan notera.

Med ledning av ovanstående resonemang inses att korrektioner för klimat och åldring kanske inte kan utföras på ett riktigt sätt bara genom att anta att ett enkelt samband finns. Tyvärr är nog det material som nu finns för litet för att det skall vara lönt att genomföra en undersökning med mer avancerade statistiska metoder.

5.1.3 Inverkan av körmönster

Eftersom den övervägande delen av materialet som använts i denna studie baserar sig på den amerikanska FTP-75 körcykeln har som den sista korrektionen en korrektion till en körsträcka av 11 km per kallstart gjorts. Valet är inte slumpmässigt eftersom just den körsträckan råkar vara den som gäller för dagens europeiska körcykel och för den som kom-

mer att gälla från och med nästa avgasbestämmelser i Europa (Euro III f o m 2000-10-01). Denna körsträcka är endast något längre än medelkörsträckan i tätort och valet är därför en rimlig kompromiss eftersom de flesta effekterna av avgaser är lokala. Beräkningsfelet för de regionala och globala effekterna blir ej heller alltför stort.

I denna rapport har i princip samma starttillägg (och faktorer i vissa fall) för körmönster använts som det tidigare citerade arbetet för KFB [5, 6]. Större delen av underlaget har för bensin och dieseldrivna bilar hämtats från en undersökning av Lenner på VTI [38]. För de alternativa bränslena har beräkningen gjorts på liknande sätt men naturligtvis på ett mindre underlag än i VTI:s fall. Korrektionerna har beräknats för en temperatur av +7 °C. Inga andra korrektioner för körmönstret än bidraget för start har gjorts. Resultaten för 1993/1994 års fordon visas i **Tabell 6** (avrundade siffror) uttryckta som tillägg (i g/km för gasformiga emissioner och mg/km för partiklar).

Tabell 6: *Tillskott till emissionerna på grund av körmönstret (start)*

	Körmönsterbidrag vid +7 °C			
Drivmedel	**CO** (g/km)	**HC** (g/km)	**NO_X** (g/km)	**Part** (mg/km)
Bensin	3,6	0,4	0,07	7,5
Etanol	2,2	0,15	0,01	i. d.
Metanol	1,9	0,14	0,01	i. d.
Metan	0,19	0,08	0,02	i. d.
Diesel	0,11	0,02	0,03	12,6

Förklaringar:

[a] i. d.: inga data

Det framgår av **Tabell 6** att korrektionerna för CO och HC (som väntat) är störst för bensin och alkoholerna. Viss skepsis kan anföras varför alkoholerna skulle vara bättre än bensin vad gäller tillägget för HC. Motsvarande korrektioner för metan och diesel är mycket små och visar dessa drivmedels goda egenskaper när det gäller kallstart. Gas är ju som bekant i gasform redan under bränsle-luft prepareringen och därför behövs ej någon nämnvärd anrikning ("uppfetning") av bränslemängden vid start för att åstadkomma en brännbar blandning i motorn. Det lär i och för sig finnas gasfordon i "bi-fuel" utförande där starten sker på bensin. Detta förfarande är med hänsyn till de emissioner den strategin förorsakar vid start helt förkastligt och det är säkert helt andra orsaker än emissioner som ligger till grund för detta. För dieselmotorer sker bränsle-luft prepareringen i huvudförbränningsrummet (direktinsprutning) eller i förkammaren (indirekt insprutning). Det höga insprutningstrycket i kombination med luftrörelserna i förbränningsrummet gör att atomiseringen (finfördelningen) av bränslet blir god. Vidare tillåter även förfarandet att motorn kan köras med stort luftöverskott i starten vilket också ger fördelar för CO och HC emissionerna under start.

Tillskottet för NO_X emissionerna är mycket litet eller försumbart för alla drivmedel. Orsakerna är att NO_X-bildningen undertrycks vid låga temperaturer (start) och höga bränsle-luft tal (bensin och alkoholer vid start), vilket kompenserar den något fördröjda tändningen av

katalysatorn vid lägre temperaturer. En effekt som kan ge ett startbidrag även för NO_X emissionerna är när EGR används. Vid start används (för ottomotorer) normalt ingen EGR vilket kan ge ett visst bidrag till startemissioner för NO_X.

Partikelemissionerna ökar för både bensin och diesel vid start och därför finns ett tillskott när körsträckan per kallstart minskar. Korrektionen för partikelemissionerna för bensin har inte använts (dvs satts till noll) eftersom de bästa resultaten för detta bränsle härrör från tester i den nya europeiska körcykeln (NEDC) där man enligt tidigare resonemang inte skall göra någon korrektion. Korrektionen för diesel har däremot använts. Inga data finns för de övriga drivmedlen men man kan förmoda att nivån är väsentligt *lägre* än för bensin och diesel. Alkoholerna ger inte upphov till partikelbildning på samma sätt som bensin- och dieselolja gör vid luftunderskott och vid diffusionsförbränning (som också sker vid luftunderskott). Gasdrift behöver inte någon anrikning av bränsle-luft förhållandet vid start och borde därför ha stora fördelar i detta avseende. Eftersom underlaget är mycket begränsat (eller saknas helt i vissa fall) när det gäller de alternativa drivmedlens partikelemissioner skall de värden som används i rapporten ses som en uppskattning som baserats på de få resultat som finns och i vissa fall på de ingenjörsmässiga överväganden som har gjorts.

5.1.4 Möjlig inverkan av faktorer som ej beaktats

Några av de faktorer som listades i kapitel 4 kan vara av intresse att beakta i framtida arbeten. Dessa är:

- Inverkan av högemitterande fordon.
- Inverkan av körning utanför körcykeln
- Inverkan av förångningsemissioner

Det är känt från undersökningar i USA att dessa tre faktorer kan ge ett stort bidrag till emissionerna under fordonets livslängd. I **Tabell 7** visas ett exempel från beräkningar utförda för Kalifornien av Ross m fl. med hjälp av bl a EPA:s modell för emissionsberäkningar, Mobile 5 [39].

Som framgår av **Tabell 7** ger fordonen med felaktigheter i emissionsutrustningen det största enskilda bidraget till CO och HC emissionerna. I det material som använts i Ecotraffics rapport finns få fordon med höga emissioner, vilket torde ge en kraftig underskattning av emissionerna om förhållandena är likartade i Sverige. Bidraget från den felaktiga emissionsutrustningen ger också ett kraftigt bidrag till NO_X emissionerna. Det är möjligt att bidragen från de högemitterande fordonen inte är fullt lika stort i Sverige tack vare den årliga besiktningen[13] som, trots den enkla metodiken (test vid tomgång och/eller hög tomgång), i alla fall borde kunna fånga de mest förorenande bilarna. Det är knappast troligt att den övervakning som utförs i USA på fordon i trafik är lika effektivt och "drabbar" av förståeliga skäl inte alla bilister vilket systemet med besiktning i Sverige gör. En kontamination av katalysatorn av bly från blyad bensin var tidigare ett vanligt förekommande fel i USA och även om den frekvensen sannolikt är väsentligt lägre för bilar av 1993 års modell är den inte orimligt att tro att detta fortfarande kan förekomma. Även om liknande fel också har inträffat i Sverige torde förekomsten av sådana fel vara mindre än i USA.

[13] Vi bortser här ifrån att nya bilar inte kontrolleras varje år i Sverige.

Tabell 7: Emissioner för 1993 års fordon i USA (Mobile5 beräkningar) [39]

	Emissioner (g/km)		
Delbidrag	**CO**	**HC**	**NO_X**
Varmt fordon, moderat körning	0,61	0,06	0,12
+70 °F kallstart	0,41	0,04	0,04
+20 °F kallstart	1,03	0,11	0,06
Utanför körcykeln	1,74	0,03	0,15
Åldring	1,31	0,13	0,27
Felaktigheter i emissionsutrustn.	3,73	0,37	0,28
Summa avgasemissioner	***8,83***	***0,75***	***0,92***
Förångningsemissioner	0,00	0,31	0,00
Drivmedelsframställning	0,04	0,06	0,20
Totala emissioner	***8,86***	***1,12***	***1,12***

Nästa viktiga bidrag är emissionerna från körning utanför körcykeln. Bidraget från denna parameter är störst för CO emissionerna, därnäst för NO_X emissionerna men trots allt förvånande litet för HC emissionerna. Tyvärr finns få användbara resultat i Sverige som skulle kunna användas för att beräkna detta tillskott. Utvecklings- och konsultföretaget Rototest har utfört en mängd tester av s k "avgaslandskap" och körning utanför de områden som omfattas av de körcykler som används vid certifiering. Dessa resultat kan i och för sig ge en viss vägledning men är svåra att använda som underlag för beräkningar. De mätmetoder som använts präglas av en viss egenart och jämförelser mellan andra laboratorier har inte dokumenterats väl. Detsamma gäller dokumentationen av de undersökningar som utförts av detta företag. Kanske kan dock underlag av detta slag i kombination med undersökningar av körmönster från verklig trafik användas i framtida beräkningar.

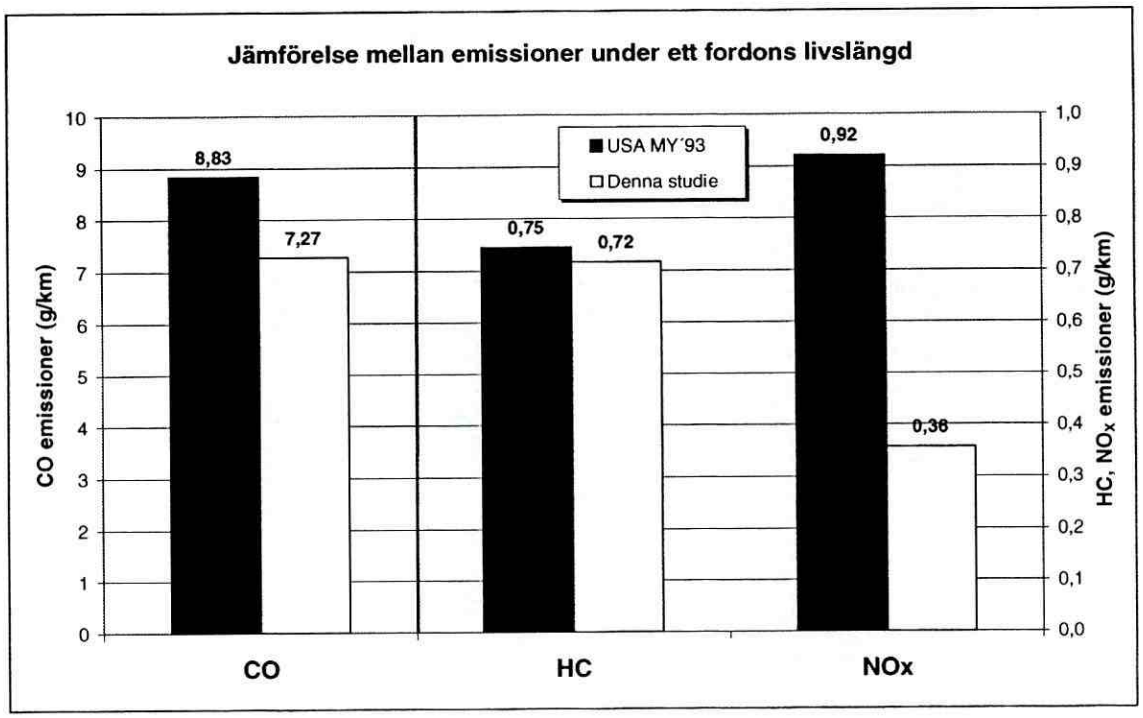
Förångningsemissionerna ger ett förhållandevis stort bidrag till HC emissionerna. Detta bidrag torde vara mindre för den svenska bilparken på grund av den lägre temperaturen i jämförelse med Kalifornien. I stället bör vårt bidrag till HC emissionerna från kallstart vara väsentligt större.

Sammanfattningsvis kan konstateras att bidraget från de tre uppräknade parametrarna kan vara rätt stort för ett flertal emissionskomponenter. Vissa svårigheter finns vad gäller underlag men åtminstone för förångningsemissionerna har i ett flertal andra undersökningar (VTI, Copert m fl.) finns material som kan användas. Med kompletteringar för alternativa bränslen från studier i USA borde man kunna få fram ett heltäckande underlag. Detta arbete har dock legat utanför ramarna för denna studie.

5.1.5 Jämförelse med andra studier

Det kan vara av intresse att jämföra resultaten för de bensindrivna bilarna i denna studie med motsvarande resultat från den tidigare nämnda amerikanska studien [39]. Detta har

gjorts i **Figur 8**. Endast resultaten för avgasemissionerna har beaktats från den amerikanska studien (se även **Tabell 7** för fler detaljer).



Figur 8: Jämförelse med resultat för bensinbilar i denna studie och resultat från USA

Som synes i **Figur 8** är resultaten mycket lika för CO och HC emissionerna. Att dessa emissioner borde vara högre i Sverige än i Kalifornien är knappast någon kontroversiell tes eftersom vårt klimat är mycket kallare. Snarare förhåller det sig så att skillnaden borde vara tämligen stor. Eftersom färre faktorer beaktats i vårt material är detta en orsak till att skillnaden är så liten.

Skillnaden för NO_X emissionerna är mycket stor. De två största bidragen till skillnaderna är sannolikt faktorer som högemitterande fordon och körning utanför körcykeln, faktorer som inte beaktats i vår studie. Temperaturen har, som visats tidigare, ingen avgörande inverkan på NO_X emissionerna.

5.2 Emissionsfaktorer för olika emissionskomponenter

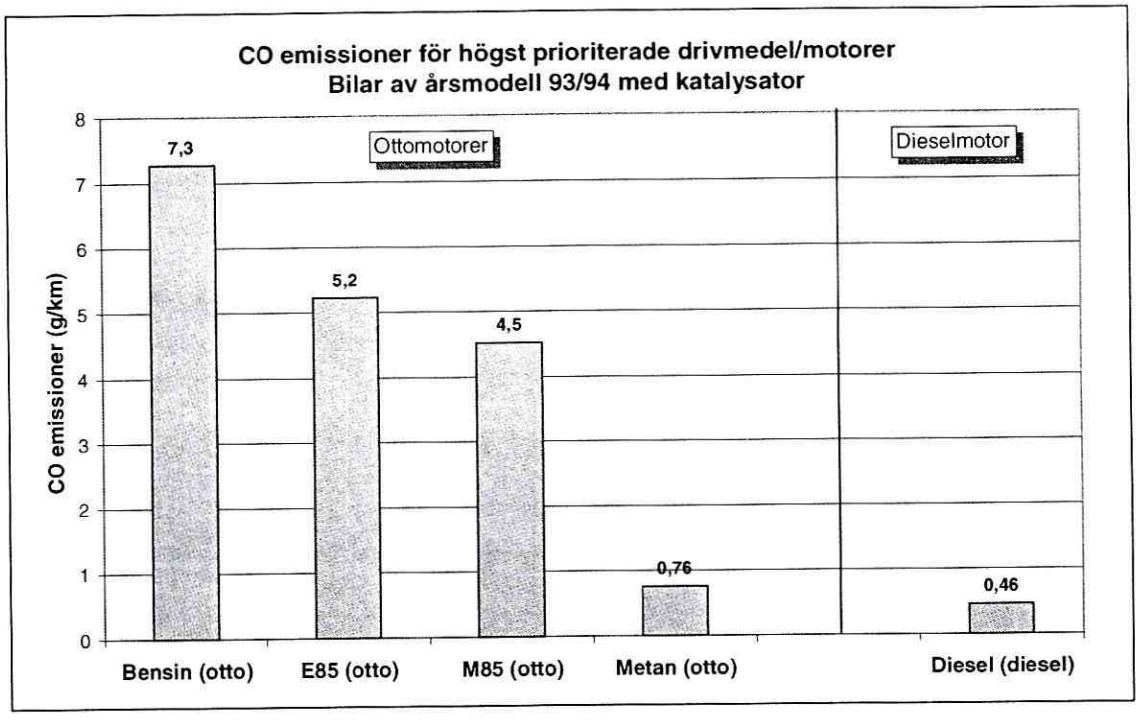
Resultaten i detta kapitel har organiserats enligt de hög- respektive lågprioriterade drivmedels- och motoralternativen i **Tabell 1**. Av naturliga skäl har mest tid och möda använts för de högst prioriterade alternativen. För att inte inspirera läsaren till alltför långtgående jämförelser mellan de olika alternativen från respektive kategori har de flesta figurerna organiserats så att de båda kategorierna redovisas separat. Endast för klimatgaser och energiomsättning har denna princip frångåtts genom att de fossila och de biobaserade alternativen redovisas i var sin kategori.

5.2.1 Reglerade emissioner

Med reglerade emissioner avses de emissionskomponenter som regleras i avgasdirektiven. De gasformiga komponenterna CO, HC och NO_X är inom EU reglerade för lätta fordon drivna med konventionella drivmedel som bensin och dieselolja och därtill är även partikelemissionerna reglerade för den senare kategorin av fordon. Av praktiska skäl redovisas även partikelemissionerna för de övriga drivmedlen här trots att de strängt taget inte kan hänföras till de reglerade emissionerna för dessa drivmedel.

CO emissioner

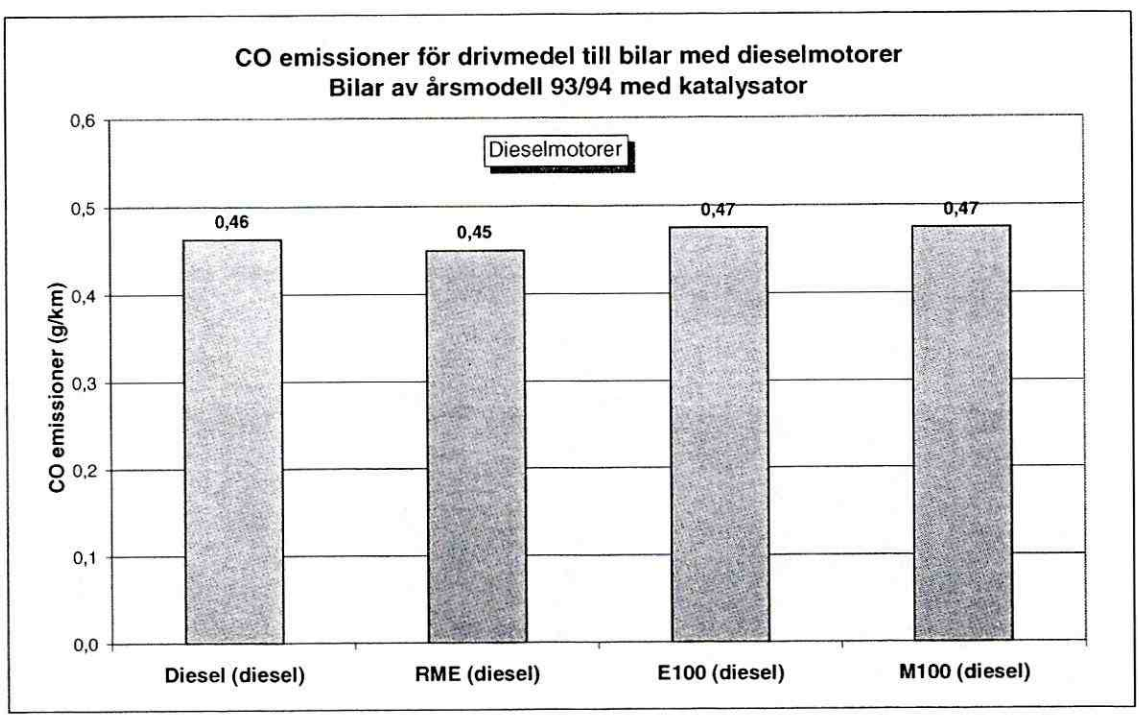
I **Figur 9** och **Figur 10** har resultaten för CO emissionerna för de olika drivmedlen visats. Observera att skalorna är väsentligt olika (skillnad med mer än en tiopotens) för de båda figurerna.



Figur 9: *CO emissioner för alternativ med högst prioritet*

CO emissionerna är som väntat högst för de bensindrivna fordonen. Alkoholerna följer därnäst och sedan kommer metan och dieselolja. Det bör noteras att skillnaden mellan etanol och metanol är osäker då resultaten härrör från ett fåtal fordon och genom att det dessutom är fråga om olika märken av bilar. I etanolfallet har resultat använts från tester på de Ford Taurus bilar som funnits med i KFB:s biodrivmedelsprogram. Det skall förtydligas att det är resultat bilarna av 1995 års modell som använts eftersom tekniken i dessa bilar härstammar från tidigt 90-tal och därför torde resultaten vara jämförbara med övriga fordon/bränsle kombinationer som skall representera årsmodellerna 1993/1994. CO emissionerna för gas är låga främst beroende på de låga emissionerna vid lägre temperaturer. Gasdrift kräver som tidigare beskrivits mycket lägre – eller ingen – anrikning vid kallstart och får därmed lägre CO och HC emissioner än flytande drivmedel vid start. Skillnaderna blir dessutom mycket större vid lägre temperaturer vilket medför att skillnaden i detta fall blir ungefär en tiopotens.

CO emissionerna är låga även för dieselmotorer eftersom dessa körs med stort luftöverskott och dessutom har en mycket liten – eller ingen – anrikning vid start. Detta ger en fördel med ca en tiopotens för emissionerna från motorn (före katalysatorn) i jämförelse med en bensinmotor. Oxidationen av CO är vid normala reglerade tester (vid +20 – +30 °C) dock lägre än för en bensinmotor på grund av den lägre avgastemperaturen vilket generellt brukar ge en skillnad mellan dessa bränslen som är väsentligt mindre än en tiopotens. Skillnaden ökar dock markant under kallstart vid lägre temperaturer, som beskrivits tidigare, vilket vid den valda temperaturen (+7 °C) återigen ger en skillnad något större än en tiopotens. Det kan antas att en del av de fordon som ligger till grund för resultaten för dieselolja *inte* har varit utrustade med katalysatorer vilket torde ge en viss överskattning av emissionerna i jämförelse med en helt teknikneutral jämförelse. Tyvärr finns inte alltid uppgifter om detta att tillgå (utan mer omfattande efterforskningar). Effekten av att katalysator kan saknas på en del av fordonen är dock sannolikt liten.



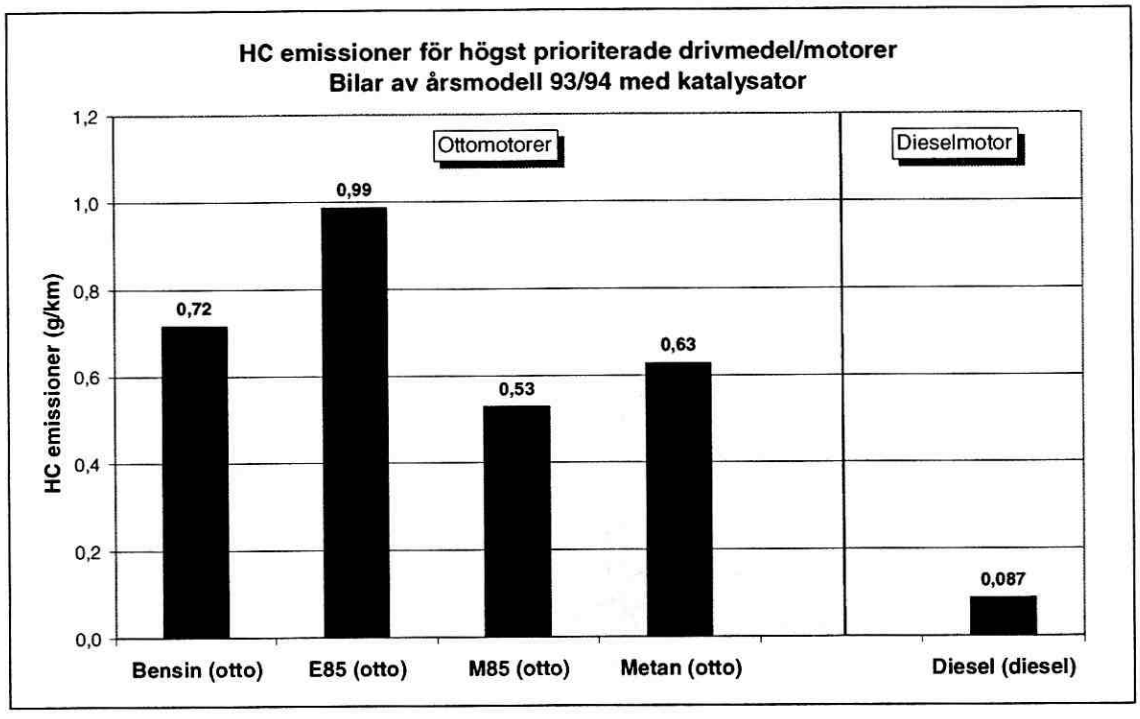
Figur 10: *CO emissioner för dieselmotorer*

Skillnaderna mellan alternativen med dieselmotorer är väsentligt mindre än mellan de ottomotorbaserade alternativen och absolutnivån är mer än en tiopotens lägre än i det förra fallet. Att RME och dieselolja ger ungefär samma CO emissioner är känt. Ofta beror nog de skillnader som noteras i tester på individuella skillnader i responsen för RME än på någon större fundamental skillnad mellan drivmedlen i detta avseende. Man kunde förvänta sig att alkoholerna skulle ge högre CO emissioner än dieselolja eftersom detta har noterats för motorer till tunga fordon. En väsentlig skillnad är dock att de två alkoholmotorer som använts som underlag för beräkningarna [40 – 45] båda är av den direktinsprutande typen medan majoriteten av de dieseloljedrivna motorerna hade indirekt insprutning 1993/1994. En annan bidragande orsak är att en av de alkoholdrivna motorerna hade en så kallad startkatalysator monterad mycket nära avgasgrenröret [40 – 45]. Någon sådan teknik fanns inte på normala dieseloljedrivna motorer under den aktuella tidsperioden. Man kan diskutera

ifall detta är en teknikneutral jämförelse men det finns faktiskt en par anledningar till att det varit mycket lättare att implementera den tekniken på alkoholmotorer än på dieseldrivna motorer. Den första anledningen är att alkoholerna inte innehåller något svavel, vilket europeisk dieselolja gör (<500 ppm). Den andra anledningen är att den lägre avgastemperaturen underlättar en katalysatorplacering nära motorn.

HC emissioner

I **Figur 11** till **Figur 16** visas HC respektive NMHC emissionerna för de olika alternativen. Orsaken till att även NMHC emissionerna visas är att HC emissionerna från metandrivna motorer till största delen består av metan. Metan är inte hälsofarligt men det är en mycket potent växthusgas och det är därför rimligt att särredovisa NMHC i de fall som gasdrivna motorer finns med. Observera att skalorna varierar mellan figurerna (med en faktor 5 – 6).



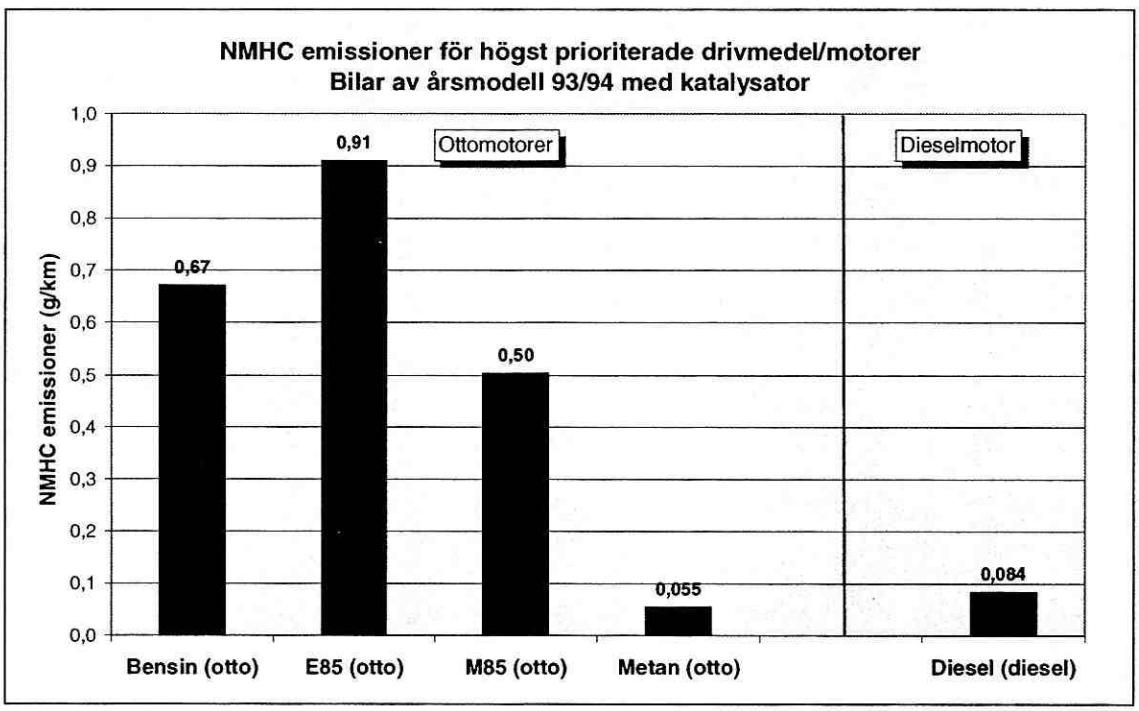
Figur 11: *HC emissioner för alternativ med högst prioritet*

HC emissionerna är högst för E85 och därnäst följer bensin. Vid +22 °C är skillnaden till etanolens fördel men den kraftigare ökning av emissionerna vid sjunkande temperaturer medför att M85 ger lägre HC emissioner än E85 men den skillnad som finns mellan etanol och metanol är sannolikt alltför stor enligt samma resonemang som tidigare beskrevs för CO.

Metan ger marginellt lägre (totala) HC emissioner än bensin. Detta är vid första anblicken något förvånande eftersom metan är ett av de svåraste kolvätena att oxidera i en katalysator. Temperaturen där konverteringen i katalysatorn börjar (light-off) ligger mycket högre för metan än för andra (tyngre) kolväten. Generellt sett sjunker tändtemperaturen i katalysatorn med ökande storlek för kolväten, även om det också finns skillnader mellan olika typer av kolväten. Normalt brukar de nackdelar som metan har i detta avseende resultera i högre HC emissioner än för andra bränslen för ottomotorer. Orsaken till att detta förhållande inte erhållits är att en metandriven ottomotor har väsentligt lägre HC emissioner från

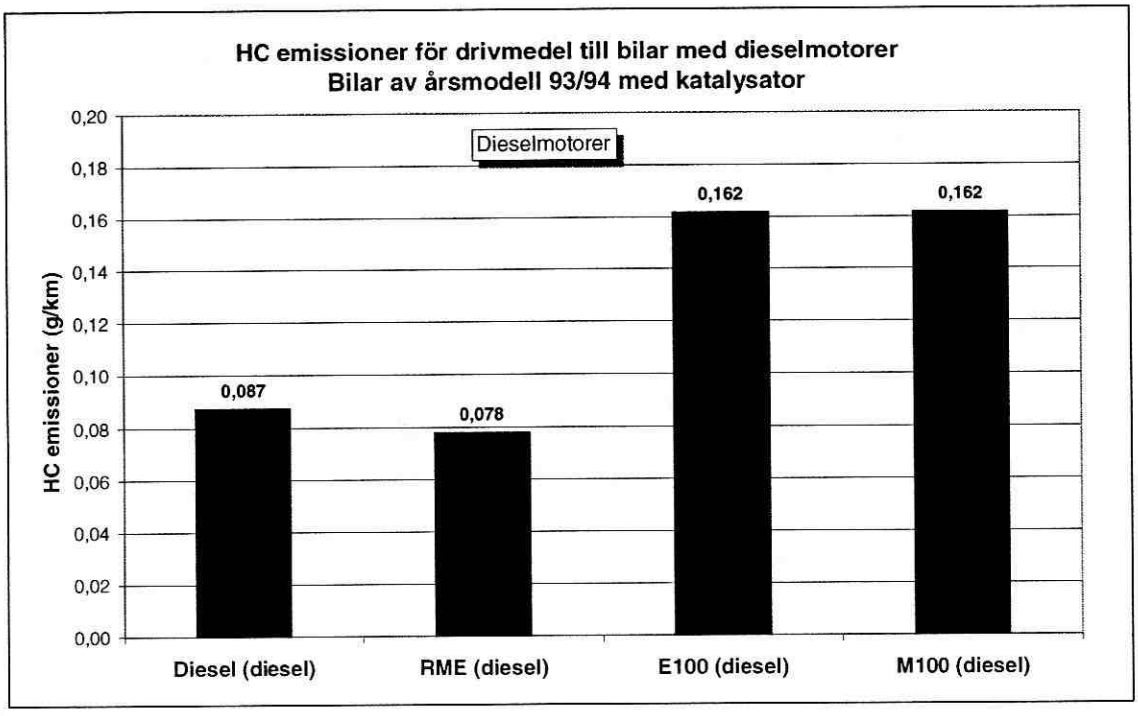
motorn (före katalysatorn) än t ex bensin. Eftersom kallstart vid lägre temperaturer vägts in i vår modell resulterar detta i att HC emissionerna ligger på ungefär samma nivå som för bensin. En viss brasklapp måste dock bokföras eftersom åldringen torde ge ett mycket större utslag på oxideringen av metan (ökning av HC emissionerna) emedan tändtemperaturen ju är högre för metan än för andra kolväten. Eftersom den modell som använts i dessa beräkningar bygger på antagandet att åldringen är lika stor som för bensindrivna motorer leder det sannolikt till att HC emissionerna (inkl. metan) *underskattats* för metandrivna fordon.

HC emissionerna är låga för dieselmotorer av samma skäl som för CO emissionerna. Skillnaden blir av naturliga skäl större vid den temperatur som förutsatts här (+7 °C) i jämförelse med resultaten för högre temperaturer. Liksom i fallet med CO emissionerna kan den möjlighet att en del av de dieseldrivna fordonen inte varit utrustade med katalysator i viss mån ha påverkat resultaten för HC emissionerna.



Figur 12: *NMHC emissioner för alternativ med högst prioritet*

När i stället jämförelsen görs för NMHC emissionerna blir bilden en annan för metan. Eftersom metan kan räknas bort från HC emissionerna blir NMHC emissionerna för fordon drivna med metan betydligt lägre än de totala HC emissionerna. Normalt utgör metan 90 – 95 % av HC emissionerna, vilket också är fallet för de resultat som erhållits här. De övriga drivmedlen ger låga emissioner av metan och resultaten skiljer sig alltså föga från resultaten för HC.



Figur 13: *HC emissioner för dieselmotorer*

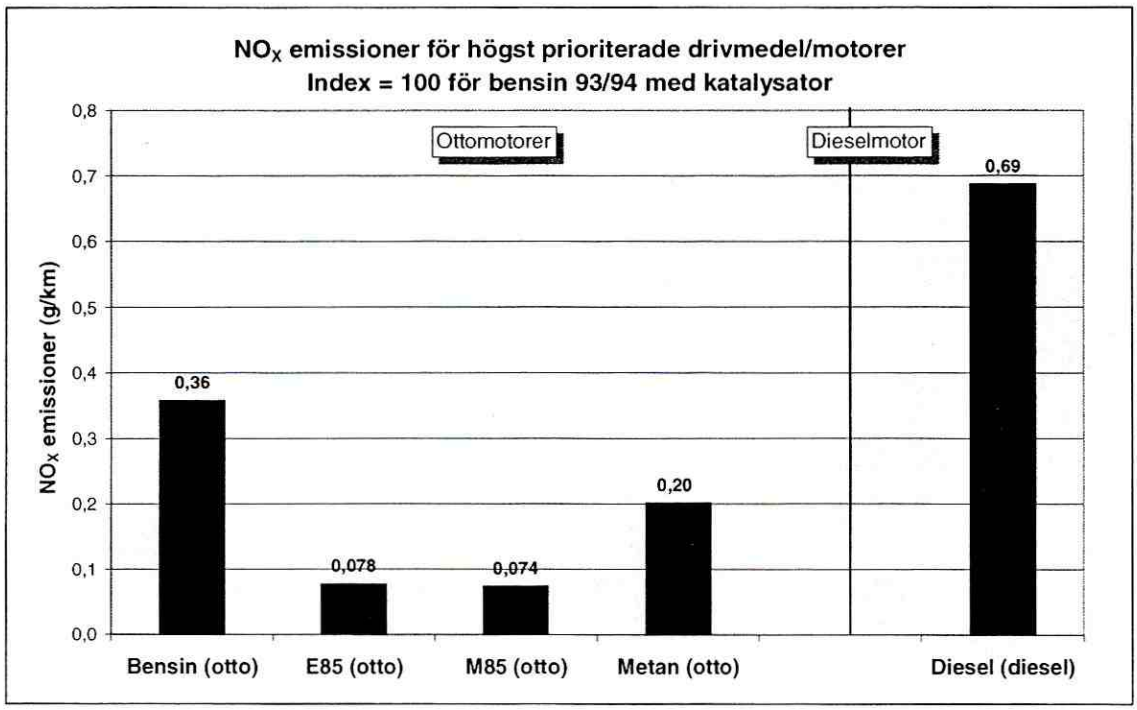
HC emissionerna för dieselmotorer drivna med RME och dieselolja ligger på ungefär samma nivå i det underlag som använts här. I en del undersökningar, t ex på tunga motorer, har RME erhållit väsentligt lägre HC emissioner än dieselolja på grund av att de oförbrända organiska föreningarna[14] från RME har en så hög kokpunkt att de fångas upp i det förvärmda filter eller i den förvärmda slang som finns i provtagningssystemet före HC instrumentet. Dessa komponenter har trots uppvärmningen en lägre temperatur än kokpunkten för ren RME. Det finns därför skäl att anta att HC emissionerna från RME *underskattas* med nuvarande mätmetoder och att emissionerna i stället borde vara högre än för dieselolja.

HC emissionerna för alkoholerna i dieselmotor är signifikant högre än för dieselolja. Detta stämmer också med liknande observationer för tunga fordon. Det finns dock inte något tillförlitligt experimentellt underlag för etanol, utan vi har antagit att nivån bör ligga ungefär lika som för metanol. Alkoholerna har ett betydligt lägre värmevärde än dieselolja och därför används mycket större spridarhål än för dieselolja. Dessutom är förångningsvärmet högre än för dieselolja. Båda dessa egenskaper torde leda till att en mycket större mängd av bränslet hamnat på förbränningsrummets väggar (s k väggvätning), vilket är ett fenomen som brukar leda till högre HC emissioner. Det är dock troligt att denna nackdel kan minskas i framtida motorer med en bättre bränsle-luft preparering som de nya generationerna av insprutningsutrustning ger.

NO_X emissioner

I **Figur 14** och **Figur 15** visas NO_X emissionerna för de olika kategorierna av fordon.

[14] De organiska föreningarna i avgaserna från RME skall strängt taget inte klassas som HC eftersom de innehåller syre.



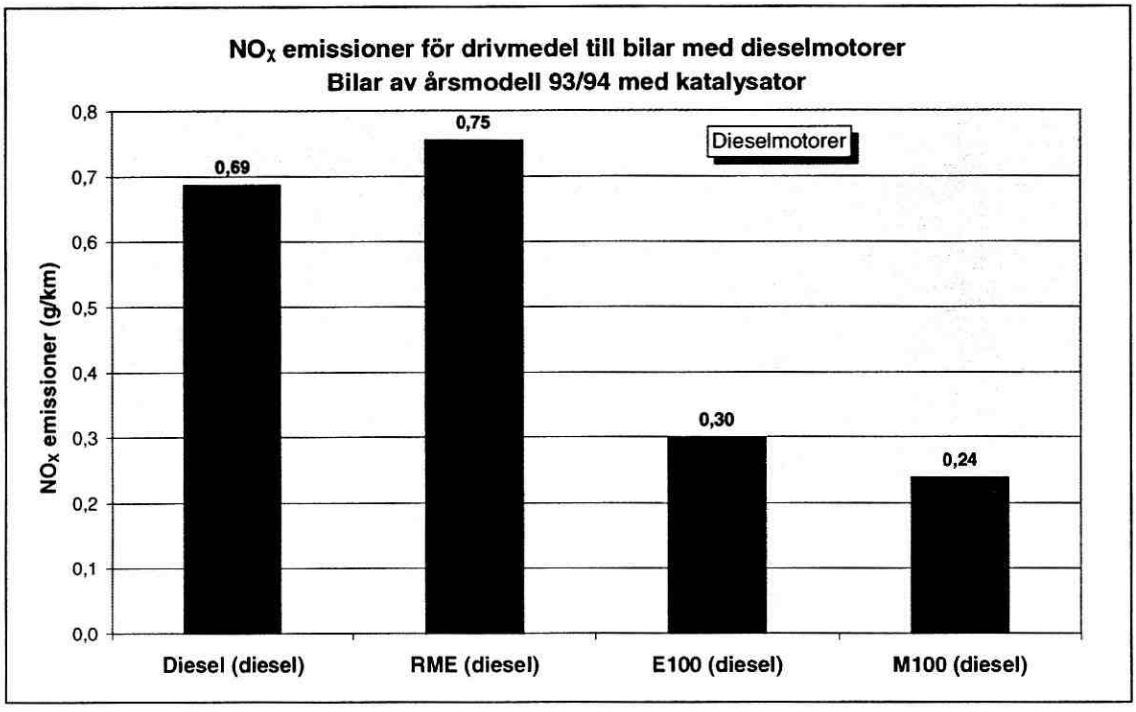
Figur 14: *NO_X emissioner för alternativ med högst prioritet*

NO_X emissionerna är högst för dieselmotorer och lägst för alkoholer, vilket är helt enligt förväntningarna. Dieselmotorer arbetar med högt luftöverskott vilket (med dagens katalysatorteknik) omöjliggör användningen av en NO_X reducerande katalysator för att minska NO_X emissionerna. De åtgärder som används för att minska NO_X emissionerna i motorn (EGR, förbränningsförlopp mm) ger i och för sig en lägre NO_X nivå ut från motorn än från en ottomotor[15] men eftersom katalysatorn har ingen eller en mycket ringa effekt på NO_X emissionerna blir nivån efter katalysator ca 2 ggr högre än från en bensinmotor.

Alkoholer har en lägre förbränningstemperatur än bensin vilket generellt ger lägre NO_X emissioner än bensin. Vidare kan större mängder EGR användas på grund av dessa bränslens förbränningsegenskaper. Metanol borde generellt ge något lägre NO_X emissioner än etanol så den skillnad som finns i detta fall torde bero på individuella skillnader mellan bilarna. För övrigt har de bilar som kördes på E85 mycket låga NO_X emissioner även med bensin vilket torde medföra att skillnaden i jämförelse med bensin är för stor.

Metan ger generellt inga speciella fördelar jämfört med bensin vad gäller förbränningstemperaturen ifall förbränningssystemet är anpassat för respektive bränsle, så länge EGR inte används. Ifall EGR används i båda fallen finns vissa möjligheter att använda något högre EGR nivåer för metan, vilket kan ge lägre NO_X emissioner. Det är dock troligt att den skillnad som föreligger i **Figur 14** mellan metan och bensin är *för* stor för en helt teknikneutral jämförelse.

[15] En normal NO_X nivå före katalysator för en ottomotor är 1,5 – 2,5 g/km, vilket är 2 – 5 ggr högre än för en dieselmotor av den typ som används i personbilar.



Figur 15: NO_X emissioner för dieselmotorer

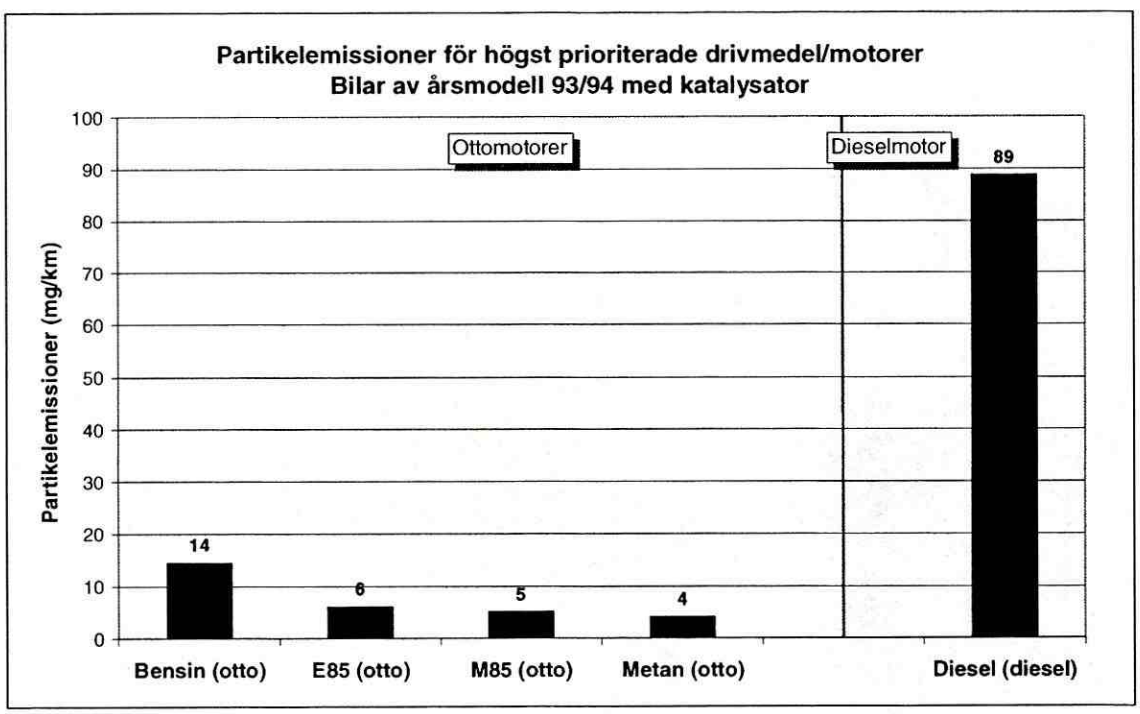
RME ger normalt högre NO_X emissioner än dieselolja. De fundamentala orsakerna till detta är inte fullständigt utredda men en kraftigt bidragande orsak till detta är att insprutningstidpunkten förskjuts mot en tidigare insprutning på grund av den högre viskositeten för RME. Tydliga indikationer på att så är fallet har visats av May m fl. [46]. Den skillnad som erhölls på en personbilsmotor med förkammare var en skillnad på nära 3 °vevvinkel. Författarnas tumregel för hur stor NO_X ökningen som orsakas av denna tidigareläggning av insprutningstidpunkten är av storleksordningen 10 – 15 %. Den observerade skillnaden ligger i närheten av det intervallet. Nyare dieselmotorer har ofta en mätning av den verkliga insprutningstidpunkten i spridaren med en återkoppling till styrenheten, vilket borde ge ungefär samma insprutningsvinkel för båda drivmedlen. Detta är sannolikt också förklaringen till att NO_X emissionerna varit snarlika för RME och dieselolja för nyare typer av dieselbilar. Det bör också tilläggas att den tidigare nämnda tumregeln avser dieselbränsle av miljöklass 3 (MK 3). Bränsle av miljöklass 1 (MK 1) har visat sig ge lägre NO_X emissioner än MK 3 i tunga dieselmotorer, vilket skulle indikera att RME fortfarande borde ge högre NO_X emissioner i jämförelse med detta bränsle. Emellertid har det också visat sig att skillnaden mellan MK 1 och MK 3 varit betydligt mindre för lätta fordon än de ca 10 % som ofta citeras för tunga motorer. Rapporter från MTC av Laveskog [47] och Ahlvik [48] har givit skillnader mellan dessa bränslen på endast några enstaka procentenheter. Sammanfattningsvis torde RME ge högre NO_X emissioner för äldre dieselbilar medan skillnaderna för nya bilar bör bli små. I framtiden finns kanske möjligheter att utnyttja de lägre emissionerna av sotpartiklar för RME i jämförelse med dieselolja till att minska NO_X emissionerna genom att öka mängden EGR.

NO_X emissionerna för de alkoholdrivna bilarna är betydligt lägre än för dieselolja och i nivå med bensindrivna bilar. Detta trots att dessa två alkoholmotorer är av dieseltyp och således inte erhåller någon reduktion av NO_X emissionerna i katalysatorn. Orsaken till detta förhållande är först och främst att alkoholerna ger en lägre förbränningstemperatur än

dieselolja men det är också möjligt att man utnyttjat möjligheterna till en ökad mängd EGR i jämförelse med dieselolja. Alkoholerna ger som bekant ingen sotbildning vid diffusionsförbränning vilket ger möjligheter att öka EGR mängderna. De resultat som rapporterats i litteraturen ger lite varierande NO_X nivåer men här har ett medelvärde av de mest representativa testerna använts. Den lägsta nivå som uppnåtts med metanol (M100) är 0,1 g/km vilket måste anses som ett mycket lågt värde för en motor helt utan NO_X reduktion i en katalysator. Vidare har man uppnått denna nivå med en insprutningspump med en mekanisk reglering och en reglering av EGR mängden som likaså varit helt mekaniskt. Det vore knappast förvånande ifall en betydligt lägre nivå kunde erhållas med en modern elektroniskt reglerad insprutningspump och en elektronisk reglering av EGR mängden. Kyld EGR och en optimering av förbränningssystemet borde ge ytterligare sänkningar av NO_X nivån liksom katalysatorer som har en viss reducerande effekt på NO_X emissionerna. *Därmed skulle denna motortyp i framtiden kunna uppnå den unika kombinationen av dieselmotorns oöverträffat höga verkningsgrad och ottomotorns låga NO_X emissioner.*

Partikelemissioner

Partikelemissionerna för de prioriterade alternativen visas i **Figur 16** och **Figur 17**. Observera att skalan uttryckts i mg/km och inte i g/km som annars brukar vara fallet för emissionsgränser mm.



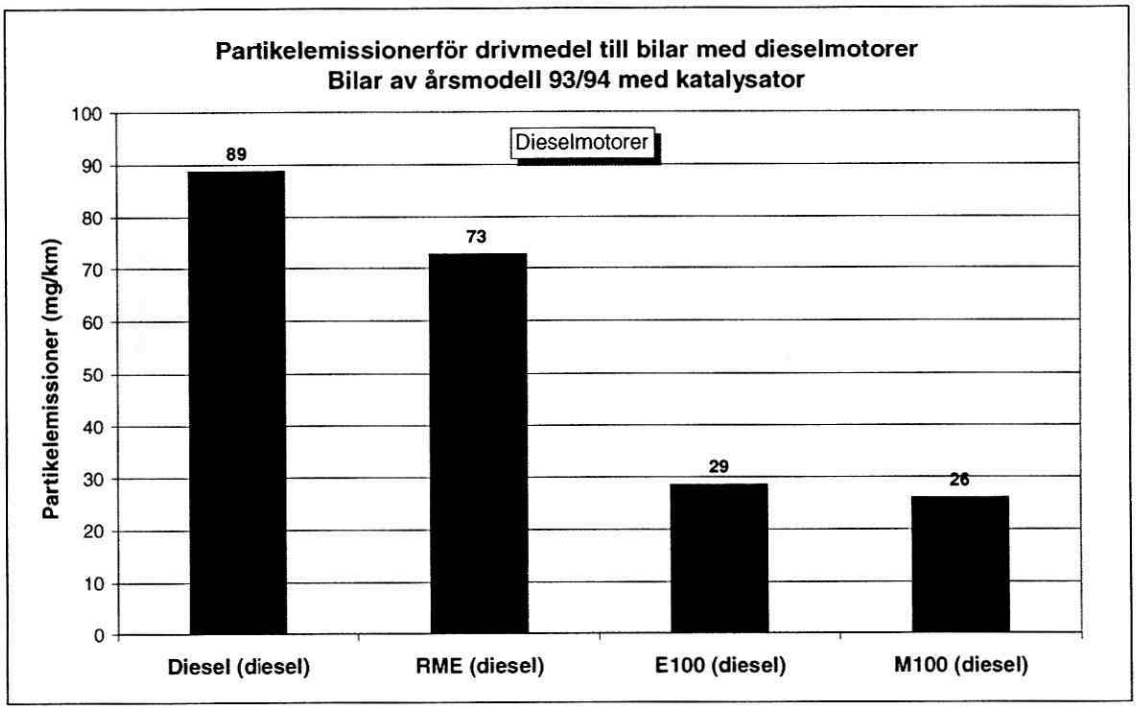
Figur 16: *Partikelemissioner för alternativ med högst prioritet*

Partikelemissionerna i **Figur 16** är som väntat högst för de dieseldrivna bilarna. Eftersom den relativa nivån påverkas tämligen lite av körförhållanden och temperaturer är den nivå som visas i **Figur 16** är inte mycket högre än den nivå som erhålls i EDC och FTP-75 körcyklerna vid den temperatur (+20 – +30 °C) som gällde för de avgasbestämmelser som fordonen var certifierade för.

Partikelemissionerna är ca en faktor 6 lägre för bensindrivna bilar än för dieseldrivna bilar. Här påverkas nivån *relativt sätt* mer av temperatur och körförhållanden än för dieseldrivna fordon och normalt är nivån under 10 mg/km vid högre temperaturer. Den största delen av emissionerna från bensindrivna bilar genereras under kallstartperioden på grund av den anrikning av bränsle som behövs för att säkerställa körbarheten under denna period. Det är således uppenbart att partikelemissionerna skulle kunna minskas ifall denna anrikning av bränsle kunde undvikas under startperioden.

När det gäller partikelemissioner från fordonen med alternativa drivmedel har resultaten i litteraturen varit få. Inga av de resultat som hittats har dessutom genererats vid lägre temperaturer, vilket torde vara det viktigaste driftsfallet vad avser partikelemissionerna. Därför har i stället emissionsnivån skattats utifrån kunskaper om de fundamentala skillnaderna i bränsle-luft preparering som finns mellan bränslena och deras olika kemiska sammansättning. Det är t ex känt att alkoholer inte är benägna att bilda sot under diffusionsförbränning och under förblandad förbränning med mycket litet luftöverskott. Detta bör ge väsentligt lägre partikelemissioner vid kallstart än bensin. Bränsle-luft prepareringen för gasformiga bränslen är som bekant väsentligt enklare vid kallstart än för bensin eftersom bränslet redan befinner sig i gasfas. Därför bör också partikelemissionerna vid kallstart att vara betydligt lägre vid kallstart för gas än för bensin. Partikelemissionerna består inte enbart av sot utan även andra ämnen som, oförbränt bränsle (i vätskefas), sulfater och bundet vatten, nitrater, smörjolja samt aska från oljan är några av dessa komponenter. Partikelemissionerna från alkoholer och gas bör även minska som följd av att alla dessa komponenter utom de två sistnämnda (utom möjligen bränslet för alkoholerna) torde minska för dessa drivmedel. Det är därför t o m troligt att den skattning som gjorts är *för* konservativ och att den verkliga skillnaden således kan bli större.

Partikelemissionerna för dieselmotorerna visas i **Figur 17**.



Figur 17: *Partikelemissioner för dieselmotorer*

Enligt det underlag som använts här ger RME något lägre partikelemissioner än dieselolja. I litteraturen är detta det vanligaste resultatet men i något fall finner man även samma nivå som för dieselolja eller en något högre nivå. Eftersom RME innehåller knappt 10 % syre bör sotbildningen bli väsentligt lägre under diffusionsförbränning i jämförelse med dieselolja. Dock skulle upp till 20 % syre vara erforderligt för att i princip eliminera sotbildningen, vilket är fallet för etanol och metanol. Det väsentligt högre kokpunktsintervallet och den högre viskositeten är faktorer som normalt ger högre sotbildning i dieselmotorer och sannolikt också medför ett väsentligt handikapp för RME. Kanske kan en framtida förädling av RME bränslet (eller råvaran) förbättra detta förhållande.

Gemensamt för alla undersökningar där en analys av partikelprovet gjorts är att andelen flyktiga ämnen är mycket högre för RME än för dieselolja. Detta är inte förvånande eftersom kokpunkten för RME är mycket högre än för dieselolja och det är därför sannolikt att en större andel av det oförbrända bränslet kondenserar på provtagningsfiltret. När katalysator används på fordonet kunde man förvänta sig att oxidationen skulle minska partikelnivån i mycket högre utsträckning för RME än för dieselolja. Nu förhåller det sig emellertid så för dieselmotorer till personbilar att omsättningen i katalysatorn är väsentligt lägre än för bensindrivna bilar, trots att större bränslemolekyler som regel är lättare att oxidera i en katalysator. Ett exempel är den tidigare nämnda rapporten av May där konverteringsgraden för HC för de två testade bilarna varierade mellan 5 och 32 % beroende på bilindivid och körcykel [46]. Detta är väsentligt lägre än de konverteringsgrader av HC på över 90 % som ofta erhålls för bensinmotorer. Orsaken till att konverteringen av HC är så låg i dieselmotorer beror dels på att avgastemperaturen (i körcykeln) är låg i förhållande till bensindrift och dels att katalysatorn oftast placerats långt från motorn. I det senare fallet är orsaken att en högre temperatur (som erhålls för en placering närmare motorn) kan ge upphov till sulfatbildning med dieselolja som bränsle vilket kan *öka* partikelemissionerna jämfört med fallet utan katalysator. Det finns (ännu) inget fordon där möjligheterna med lågsvavlig svensk dieselolja eller RME tagits tillvara genom att utnyttja potentialen till en motornära katalysatorplacering. I framtiden när dieselolja med lägre svavelhalt kommer att introduceras i EU är det möjligt att de förbättringar i efterbehandlingen som indikerats ovan även kan leda till att den relativa skillnaden mellan dieselolja och RME med avseende på partikelemissionerna kommer att öka.

Partikelemissionerna för alkoholerna är väsentligt lägre än för dieselolja och RME. Detta är fullt naturligt med hänsyn till förbränningsegenskaperna. Liknande resultat har även uppmätts för tunga fordon. Dock är partikelemissionerna för de alkoholdrivna dieselmotorerna högre än för motsvarande ottomotorer och för bensindrift. Det finns flera tänkbara orsaker till detta. För det första uppvisar de få resultat som hittats i litteraturen en ganska stor spridning [40 – 45]. En bidragande orsak till detta är sannolikt att man avrundat värdet uppåt till den lämpligaste högre enheten (i g/km eller g/mile). Det lägsta värde som redovisats i en rapport av Bruetsch m fl låg på 0,02 g/mile (0,0124 g/km) och även i detta fall kan man misstänka att värdet avrundats uppåt till närmaste jämna enhet [45]. Bruetsch och medarbetare redovisar också ett resultat utan katalysator på 0,10 g/mile (0,062 g/km) vilket får anses som ett mycket högt värde. Detta kan i sin tur tyda på att den aktuella prototypen (en motor från VW) hade en hög oljeförbrukning. För framtida (optimerade) alkoholdrivna dieselmotorer finns knappast någon andledning att förvänta sig en väsentligt högre partikelnivå än för bensindrivna ottomotorer. Förhållandet kan till och med bli det omvända i framtiden ifall det visar sig att partikelemissionerna för direktinsprutade bensinmotorer blir

väsentligt högre än för konventionella bensinmotorer. En del resultat som tyder på att detta är fallet har visats i en tidigare rapport av en av denna rapports författare [49].

Under senare år har det framkommit vissa indikationer på att det inte är partikelns massa som är avgörande för hälsoeffekterna utan snarare partiklarnas storlek och antalet partiklar. Vissa forskare hävdar i stället att det är partiklarnas area som är den parameter som vore bäst att jämföra ur hälsosynpunkt. Det har också påstått att nya dieselmotorer, och speciellt direktinsprutade motorer med högt insprutningstryck, skulle ge betydligt fler av de minsta partiklarna som anses som de hälsofarligaste. I en nyligen publicerad rapport från MTC har fem dieselbilar testats men i den rapporten kunde man bara konstatera att partikelstorleksfördelningen var i princip densamma för alla de testade bilarna [50]. Det kan därför kanske vara motiverat att låta hälsoeffekterna representeras av partikelmassan för de dieseloljedrivna bilarna. Jämförelserna blir därför enkla. Svårare är det dock med andra bränslen än dieselolja. Normalt leder en minskning av partikelnivån till att det maximala värdet för partikelstorleksfördelningen förskjuts mot mindre storlekar (utan att totala antalet partiklar nödvändigtvis behöver öka). Detta behöver emellertid inte alltid vara fallet utan i vissa fall är storleksfördelningen bimodal, dvs den har två toppar. Det har i och för sig visat sig att sannolikheten för att de minska partiklarna, i de fall där man noterat sådana fenomen, består av vätskedroppar (sulfater, kolväten eller vatten). Ofta har dessutom dessa partiklar genererats till följd av det ofullkomliga provtagningssystemet och torde inte uppstå i verklig trafik. Ett fall då det finns risk för att mycket små partiklar genereras är då ett partikelfilter utan katalytisk beläggning används. Genom att sotpartiklarna då mer eller mindre försvinner kan sedan de flyktiga ämnena bilda nya partiklar genom kärnbildning (kondensation) i stället för att kondensera på sotpartiklarna. De filter som i dag används kommersiellt för tunga fordon (CRT) har dock en katalytisk beläggning och detta kommer troligen att vara fallet även för andra partikelsystem i framtiden. Sammanfattningsvis finns i alla fall vissa skäl att tro att motorer med låga partikelemissioner, som t ex ottomotorer, och kanske också framtida dieselmotorer i alla fall kan få en partikelstorleksfördelning som är förskjuten mot mindre storlekar. Även om detta i sig *inte* behöver innebära att antalet partiklar eller arean av partiklarna ökar, kan det i alla fall leda till att hälsoeffekterna av dessa partiklar i relation till dagens dieselmotorer *underskattas* (dvs skillnaden mellan dessa kategorier av motorer *överskattas*) när partiklarnas massa används i beräkningarna.

5.2.2 Försurande ämnen (NO_X och SO_X)

Emissionerna av svaveloxider står i direkt proportion till innehållet av svavel i bränslet och kan därför enkelt beräknas om man har kännedom om svavelinnehållet i bränslet. Emissionerna av kväveoxider från fordonet behandlades ovan under avsnittet 5.2.1. Ammoniak är också ett ämne som kan öka försurningen men eftersom underlaget för emissioner av ammoniak fortfarande är något begränsat har inte dessa emissioner beaktats.

Vid beräkningen av SO_X emissionerna för årsmodell 1993/1994 har för de olika bränslenas innehåll av svavel använts värden enligt **Tabell 8**.

Bensin har för närvarande det högsta svavelinnehållet av alla fordonsbränslen på den svenska marknaden om man bortser från miljöklass 3 dieselolja som har en gräns på 500 ppm. Trots det ligger svavelinnehållet i bensinen lägre än gränsen på 1000 ppm. Denna gräns kommer att sänkas till 50 ppm, eller möjligen 30 ppm (fordonsindustrins krav), till år 2005. Bensin med svavelhalt lägre än 50 ppm kommer sannolikt att införas redan tidigare på flera marknader i Europa (före 2001 i Tyskland). Övriga bränslen i tabellen är i stort sätt fria från svavel. Det innehåll av svavel för E85 och M85 som angetts i tabellen härrör från bensinen. På grund av skillnaderna i densitet mellan alkoholerna och bensinen blir svavelhalten något lägre än det volymetriska innehållet skulle indikera. Dieselolja av miljöklass 1 brukar som regel innehålla lägre halt av svavel än gränsen på 10 ppm. Metan och RME innehåller normalt bara spår av svavel men i vissa fall kan betydligt högre halter förekomma än de som angivits i tabellen.

Eftersom försurande ämnen kan hänföras till regionala miljöproblem har även emissionerna vid framställningen av drivmedlet beaktats. Värden för dessa emissioner har hämtats direkt från Life of Fuels.

Tabell 8: Svavelinnehåll

Bränsle	S (ppm_{vikt})
Bensin[a]	100
E85[b]	14,4
M85[b]	14,4
Metan	2
Dieselolja[c]	6
RME	4
E100	0
M100	0

Anmärkningar:

a Gräns: 1000 ppm

b Svavel för E85 och M85 har beräknats med 15 volymsprocent bensin och resten alkohol.

c Gräns: 10 ppm

5.2.3 Växthusgaser

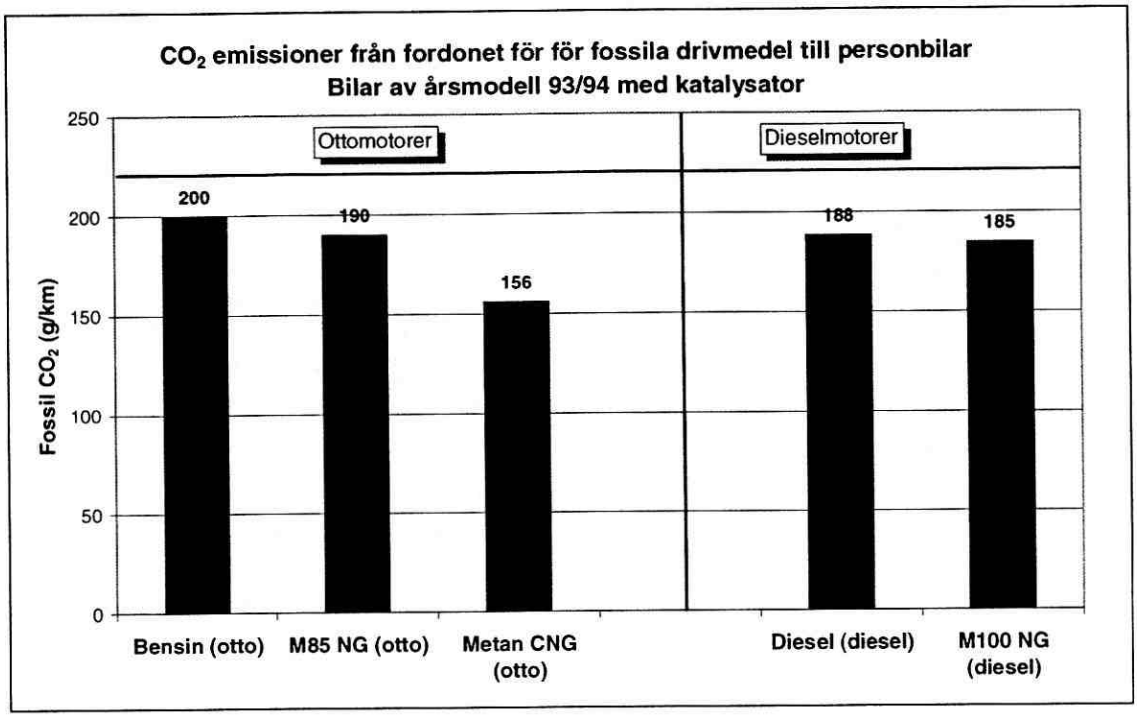
Emissionerna av växthusgaser från fordonen domineras av CO_2. Här kan man notera att de *rena* icke fossila bränslenas bidrag till CO_2 i avgaserna är noll eftersom råvaran till bränslet är icke fossil. De bränslen som är blandningar av fossila och icke fossila komponenter, som t ex E85 och M85, får ett bidrag från den fossila delen i bränslet.

När emissionerna från växthusgaser beaktas skall man strängt taget beakta alla typer av växthusgaser i avgaserna och – vilket är minst lika viktigt – även de emissioner av växthusgaser som uppkommer vid framställningen av bränslet. Detta beräkningssätt används tyvärr ännu inte i de europeiska bestämmelserna för emissioner CO_2 från personbilar utan man nöjer sig med de i avgaserna uppmätta CO_2 emissionerna[16]. En summering av alla klimatgaser (fordon och bränsleframställning) görs i avsnitt 5.3.5 av detta kapitel. Trots det kan det vara av intresse att separat redovisa de fossila CO_2 emissionerna från fordonet då dessa emissioner som regel är dominerande. Observera att i detta fall anges endast CO_2, vilket betyder att *högre* utsläpp av oförbrända ämnen (CO, HC, metan, partiklar) ger en *lägre* siffra än i det fall då man har låga emissioner av dessa ämnen. En redovisning av de *uppmätta* CO_2 emissionerna i avgaserna är ett vanligt sätt att redovisa CO_2 emissioner vid emissionsmätningar (MTC m fl). En beräkning av CO_2 emissionerna från mängden förbrukat bränsle ger, med hänvisning till ovanstående resonemang, alltid en *högre* siffra[17]. Eftersom moderna motorer oftast är utrustade med katalysatorer blir inte skillnaden normalt särdeles stor. Endast vid kallstart vid låga temperaturer kan skillnaden vara av någon större betydelse eftersom CO och HC emissionerna då kan vara höga.

[16] CO_2 emissionerna måste numera redovisas av tillverkarna.

[17] Vid bränsleförbrukningsmätningar för lätta fordon brukar man oftast (enligt bestämmelserna) beräkna bränsleförbrukningen utifrån de uppmätta emissionskomponenterna i stället.

När man har som ambition att endast visa emissionerna av fossil CO_2 är det betydelsefullt vilket ursprung bränslet har. Diagrammen har därför, i stället för den tidigare indelningen, delats in i fossila och icke fossila drivmedel. **Figur 18** visar de fossila CO_2 emissionerna från fossila drivmedel.



Figur 18: *Emissioner av fossil CO_2 för fossila drivmedel*

Bensindrivna ottomotorer har som väntat de högsta CO_2 emissionerna. Verkningsgraden i motorn är lägst och (det fossila) kolinnehållet per energienhet i bränslet är högst av alla de undersökta drivmedlen. Dieselolja av MK 1 har faktiskt ett något lägre kolinnehåll per energienhet medan MK 3 är ganska lika bensin i detta avseende.

M85 har lägre emissioner av fossil CO_2 i avgaserna, dels på grund av att verkningsgraden är något högre och dels på grund av att andelen kol per energienhet i bränslet är något lägre än för bensin. En hypotetisk användning av *fossil* E85 skulle ge liknande resultat som för M85.

Metan från fossil naturgas har de lägsta emissionerna av fossil CO_2 i avgaserna. Här är också verkningsgraden i motorn något högre än för bensin men det kompenseras delvis av den högre vikten, vilket medför att energianvändningen blir i stort sätt densamma som för bensin. Däremot är skillnaden i kolinnehåll per energienhet i jämförelse med de andra bränslena påtaglig och det är denna effekt som står för den största skillnaden.

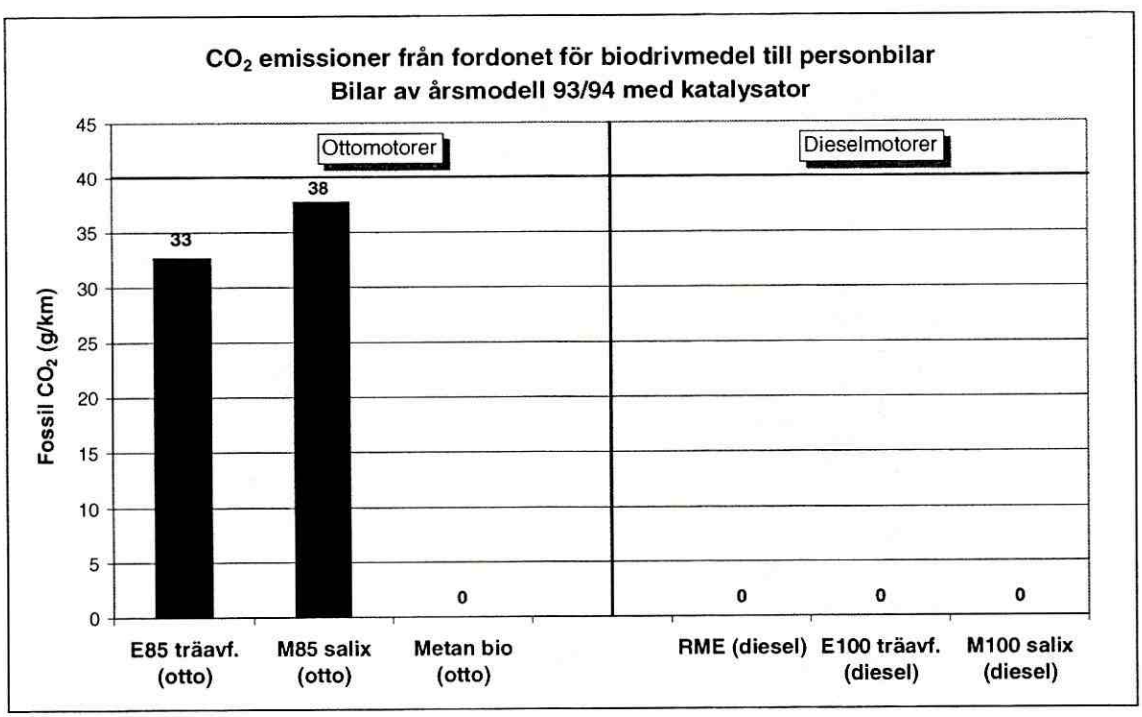
Dieselolja ger också lägre emissioner av CO_2 än bensin, men skillnaden är relativt liten (6 %) och definitivt mindre än de siffror som brukar anföras av bilindustrin för de bilar som produceras i dag. En orsak är att jämförelsen av bränsleförbrukning och energianvändning i jämförelse med bensin gjorts för fordon med *samma* prestanda (en beskrivning av metodiken för jämförelserna ges i avsnitt 5.3.6). Den påtagliga skillnad som fanns i specifikt effektuttag (kW/liter motorvolym) mellan bensin och dieselmotorer för åren 1993/1994, medförde att en dieselmotor för samma prestanda måste vara betydligt större

och tyngre, vilket automatiskt ökar bränsleförbrukningen. En annan orsak till den relativt blygsamma skillnaden är att andelen dieselmotorer med direktinsprutning (DI) var låg i jämförelse med indirekt insprutning (IDI) under den nämnda tidsperioden. DI motorer har som bekant en betydligt lägre bränsleförbrukning än IDI motorer. Samma situation som för DI/IDI gäller även för användningen av överladdning (turbo), vilket ökar motoreffekten och därmed automatiskt förbättrar förhållandet mellan bränsleförbrukning och prestanda.

M100 ger marginellt lägre emissioner av CO_2 än dieselolja. Vi har ansatt en verkningsgrad[18] som är något lägre än för dieselolja eftersom det är troligt att den hypotetiska M100 motorn (hypotetisk eftersom den inte varit kommersiell) knappast skulle ha optimerats lika väl som alternativet för dieselolja. Däremot är kolinnehållet i bränslet per energienhet lägre än för dieselolja vilket mer än väl kompenserar för den något lägre verkningsgraden. Skillnaden mellan M100 och M85 blir marginell som följd av förutsättningarna ovan (störst andel IDI motorer och jämförelse vid samma prestanda).

Det kan vara värt att notera att både M85 och M100 varianterna av motorerna ovan ger högre CO_2 emissioner än metan. Den helt dominerande orsaken till detta förhållande är att kolinnehållet per energienhet är mycket lägre för metan än i de båda övriga fallen. Detta förhållande kan i sin tur härledas till framställningen av metanol.

I **Figur 19** visas emissionerna av fossil CO_2 för de icke fossil alternativen. Observera att skalan har ändrats i förhållande till den tidigare figuren.



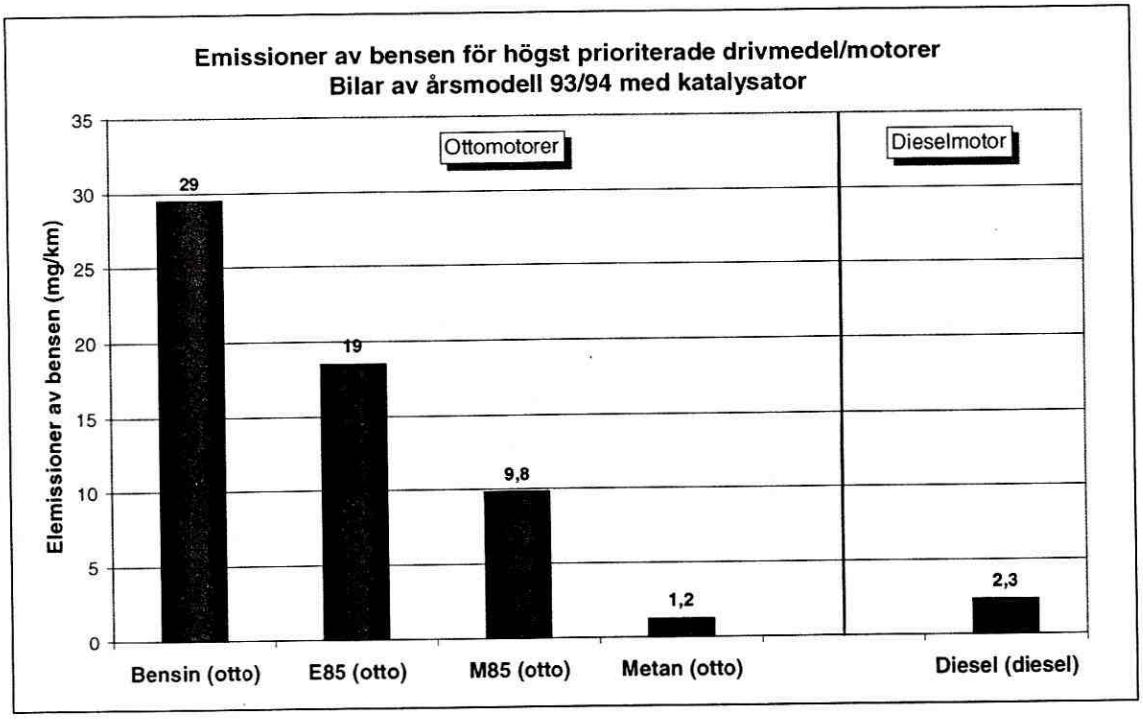
Figur 19: Emissioner av fossil CO_2 för biodrivmedel

[18] Observera att detta skulle ha förutsatt samma andel DI motorer i förhållande till IDI motorer som för dieselolja och detsamma för andelen motorer med överladdning. Detta är ett rent hypotetiskt antagande eftersom de båda M100 motorerna som använts som underlag båda varit av typen DI med turbo. Å andra sidan uppfylls förutsättningarna för teknikneutralitet genom detta antagande.

Enligt de förutsättningar som beskrivits ovan är E85 och M85 de enda drivmedel som kan ha några emissioner av fossil CO_2 i avgaserna (vi bortser från smörjoljan). Dessa emissioner står i proportion till den mängd bensin som använts i båda fallen. Verkningsgraden är som nämnts något högre för alkoholerna än för bensin. Genom att energiinnehållet i alkoholerna är lägre än bensin blir *andelen* av bensinens energiinnehåll lägre än den volymetriska andelen på 15 % vilket också påverkar resultaten. För E85 är energiandelen för bensin 20,8 % och för M85 är motsvarande siffra 26,3 %. Detta innebär naturligtvis att den fossila andelen i E85 bränslet är lägre än i M85 bränslet eller med andra ord: det behövs fler fordon för att ersätta samma mängd fossilt drivmedel med M85 än med E85 under dessa förutsättningar. Man skall i och för sig komma ihåg att andelen bensin för både M85 och E85 har satts utan att någon större optimering har gjorts. Man kan t ex notera att de fysikaliska egenskaperna för etanol medför att E85 bilarna är svårare att starta vid låga temperaturer än M85, vilket kanske borde föranleda en högre inblandning av bensin i E85 i vårt klimat. I båda fallen är det dock i allra högsta grad önskvärt att man helt kunde undvika inblandning av bensin i alkoholbränslena. Däremot är de bränsleflexibla egenskaperna fortfarande önskvärda.

5.2.4 Lätta aromater

Till lätta aromater räknas bensen, toluen och xylener. Emissionsvärden för de två första komponenterna har kunnat fastställas (med varierande tillförlitlighet) för alla drivmedlen, däremot är mängden data för xylen mindre. I nedanstående diagram visas av prioriteringsskäl endast emissionerna av bensen eftersom detta ämne har visat sig vara cancerframkallande till skillnad från de två övriga lätta aromaterna.



Figur 20: *Emissioner av bensen för alternativ med högst prioritet*

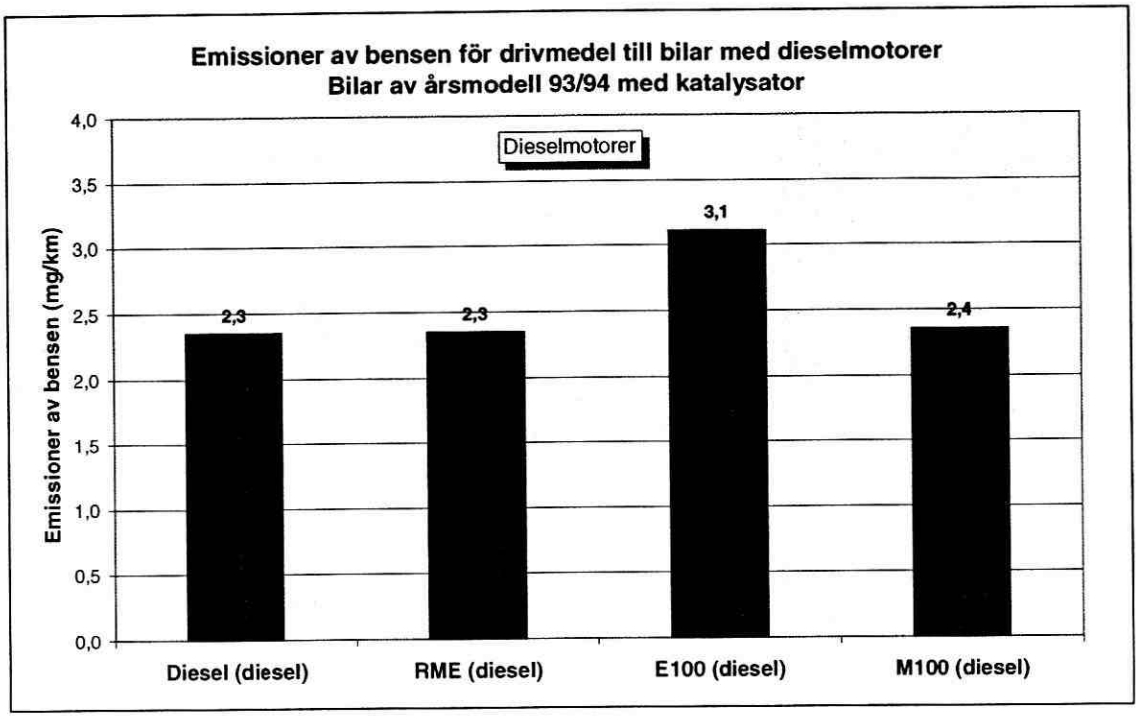
Emissionerna av bensen är som väntat högst för bensin eftersom bensin innehåller mest bensen av alla de undersökta drivmedlen. Halten av bensen i bensinen är dock maximerad i

bränslespecifikationen på grund av de hälsoeffekter som bensen har. Denna halt kommer att sänkas i framtida bensinspecifikationer och de lägsta halterna som finns i kommersiell reformulerad bensin är i dag på 1 %. Detta är en reduktion med en faktor 5 i förhållande till äldre specifikationer som använts för svensk bensin (MK 3 och tidigare). Sannolikt ligger den realistiska gränsen för vad man kan åstadkomma med reformulerad bensin inom den närmaste framtiden omkring 1 % bensen. En reduktion till denna nivå kommer ändock att medföra en väsentlig reduktion av emissionerna av bensin i avgaserna. Reduktionen kommer emellertid inte att bli så stor som en faktor 5 eftersom bensen även kan bildas i motorn (och möjligen även i katalysatorn) från tyngre aromater. Ett index på 1:13 brukar användas i detta sammanhang. Därmed indikeras också att en reduktion av de tyngre aromaterna kommer att ha en viss effekt på emissionerna av bensen.

Alkoholerna har som väntat lägre emissioner av bensen än bensin men dock måste medges att skillnaden mellan E85 och M85 är relativt stor. Det är i och för sig känt att även motorer för ren etanol (tunga bussmotorer) inte har helt försumbara emissioner av bensen vilket antyder att en viss mängd bensen kan bildas från etanolbränslet. Sannolikt är denna bildning försumbar – eller existerar överhuvudtaget inte – för metanol som har en kemiskt enklare molekyl än etanol. Därför torde det mesta av bensen i avgaserna från M85 härröra från den inblandade bensinen vilket också förhållandet mellan resultaten för bensin och M85 indikerar. Smörjoljan kan vara en annan källa till små mängder bensen, dels genom bildning av bensen genom pyrolys och dels genom att bensen kan finnas i oljan där denna bensen bildats genom att FFV bilarna tidigare körts på bensin. Ny smörjolja innehåller ingen bensen och försumbara mängder tyngre aromater.

Emissionerna av bensen för metan och dieselolja är mycket låga och ligger mer eller mindre på detektionsgränsen vilket spridningen mellan emissionsdata för resultat från olika källor indikerar. Det torde vara svårt att bilda bensen från metan vilket indikerar att den mängd bensen som uppmätts i avgaserna kan härröra från tyngre komponenter i bränslet eller från smörjoljan. Dieselolja innehåller mycket små mängder bensen men bensen kan teoretiskt bildas från tyngre aromater. Genom att kolväteemissionerna är låga för dieselmotorer kommer dock emissionerna av bensen att bli låga för dieselolja. Sannolikt är dieselolja av miljöklass 1 väsentligt bättre i detta avseende. Detta visas också en ny rapport från VW där en minskning av bensen med 30 % noterades för två bilar där svensk MK 1 dieselolja jämfördes med ECE referensbränsle [51].

I **Figur 21** visas emissionerna av bensen för bilarna med dieselmotorer. Observera att skalan i detta fall är ändrad i jämförelse med **Figur 20** på grund av de mycket låga nivåerna.



Figur 21: Emissioner av bensen för dieselmotorer

Man kan till att börja med konstatera att emissionerna av bensen är mycket låga för alla alternativen med dieselmotorer i jämförelse med ottomotorerna (med undantag av metan).

Vi har ansatt samma nivå för RME som för dieselolja, då inga väsentliga skillnader kunnat konstateras för de få resultat som finns i det underlag som behandlats. Inga resultat för bensen har hittats i de referenser för E100 och M100 som behandlats. Därför har ungefär samma nivå ansatts för M100 som för dieselolja och RME vilket skall återspegla dels den förmodade lägre bildningen av bensen för metanol men dels också ta hänsyn till de högre emissionerna av oförbrända organiska ämnen.

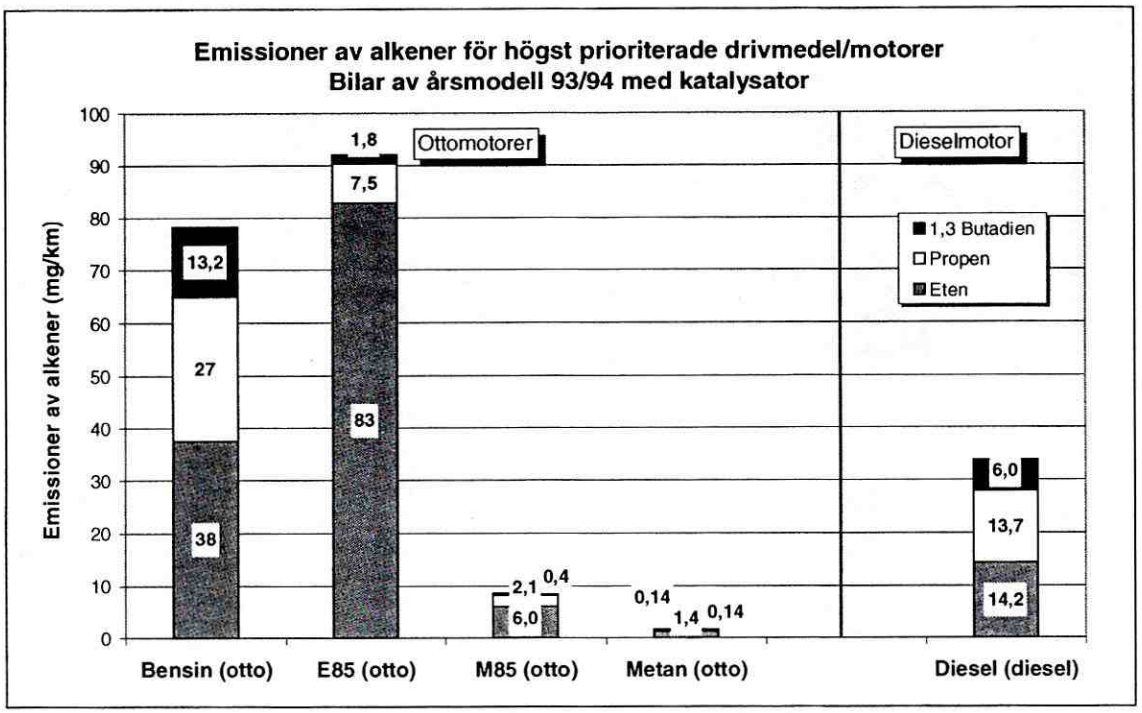
Emissionerna av bensen har i tunga fordon visat sig ligga högre för etanol (E95 med tändförbättrare) än för dieselolja när katalysator används i båda fallen. Skillnaden i HC emissioner har dock varit högre mellan bränslena i detta fall än i fallet för de resultat som använts här (för lätta fordon), vilket motiverar en mindre skillnad mellan E100 och dieselolja än för tunga fordon. Det värde som använts för E100 här är ca 50 % högre än för dieselolja. Baserat på den skillnad som fanns mellan E100 och M100 för ottomotorerna kan man kanske hävda att emissionerna av bensen överskattats för M100.

I vilket fall som helst kan konstateras att emissionerna av bensen för alla drivmedel till dieselmotorer är mycket låga vilket också medför att hälsoeffekterna från bensen i dessa fall blir praktiskt taget försumbara.

5.2.5 Alkener

Emissionerna av alkener har i nedanstående figurer redovisats tillsammans av praktiska skäl. Man skall dock notera att hälsoeffekterna för respektive komponent inte är desamma vilket medför att ett summerat värde för dessa komponenter inte kan användas. I stället bör en viktning göras om detta är syftet med jämförelsen.

I **Figur 22** jämförs emissionerna av alkener för de högst prioriterade alternativen.

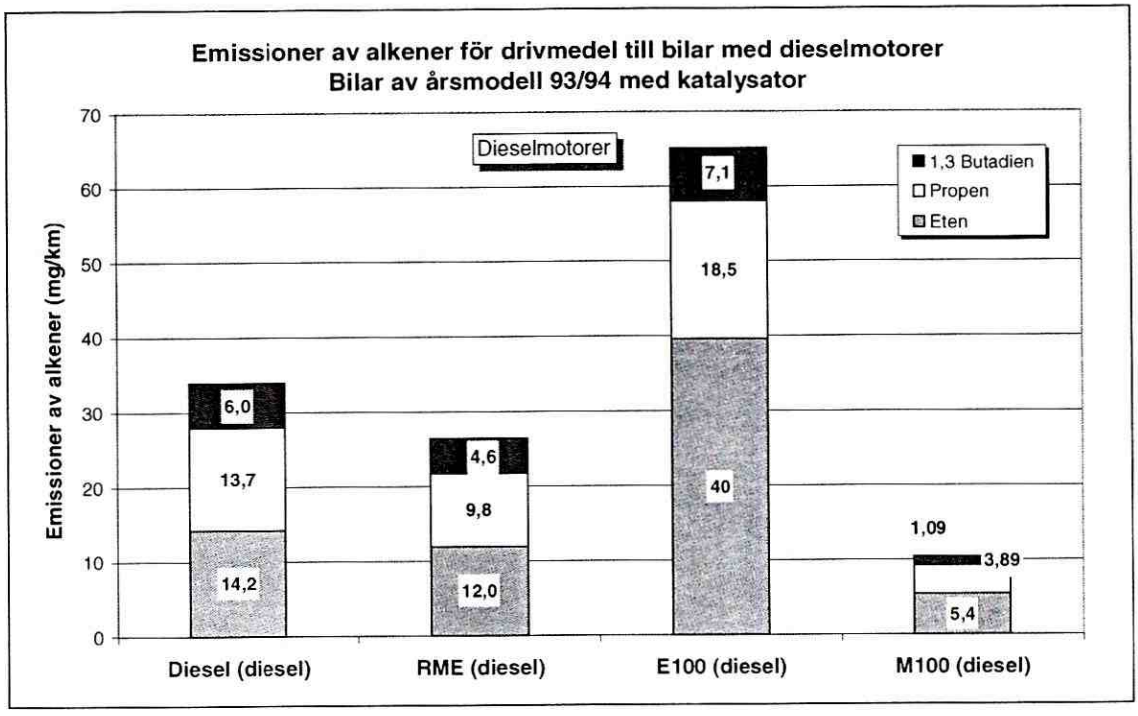


Figur 22: Emissioner av alkener för alternativ med högst prioritet

Emissionerna av alkener är högst för E85 men skillnaden till bensin är inte särskilt stor. Orsaken till de höga emissionerna av alkener för E85 är att emissionerna av eten är de högsta för alla alternativen. Höga emissioner av eten från etanol är också känt från etanoldrivna tunga dieselmotorer, vilket visar att eten kan bildas från etanolmolekylen i förbränningen. Däremot är emissionerna av propen låga och emissionerna av 1,3 butadien mycket låga för E85.

De kemiskt sett enklaste bränslena M85 och metan ger mycket låga emissioner av alkener. Det är i och för sig något förvånande att bensindelen i M85 inte ger upphov till högre emissioner av alkener än vad resultaten i **Figur 22** visar. Dock är inte emissionerna av eten helt försumbara för M85. Dieselolja ger väsentligt lägre emissioner av alkener än bensin men betydligt högre emissioner av alla alkener än M85 och metan.

Figur 23 visar emissionerna av alkener för de dieselmotordrivna alternativen. Skalan för denna figur skiljer sig från **Figur 22** eftersom nivåerna är lägre.



Figur 23: Emissioner av alkener för dieselmotorer

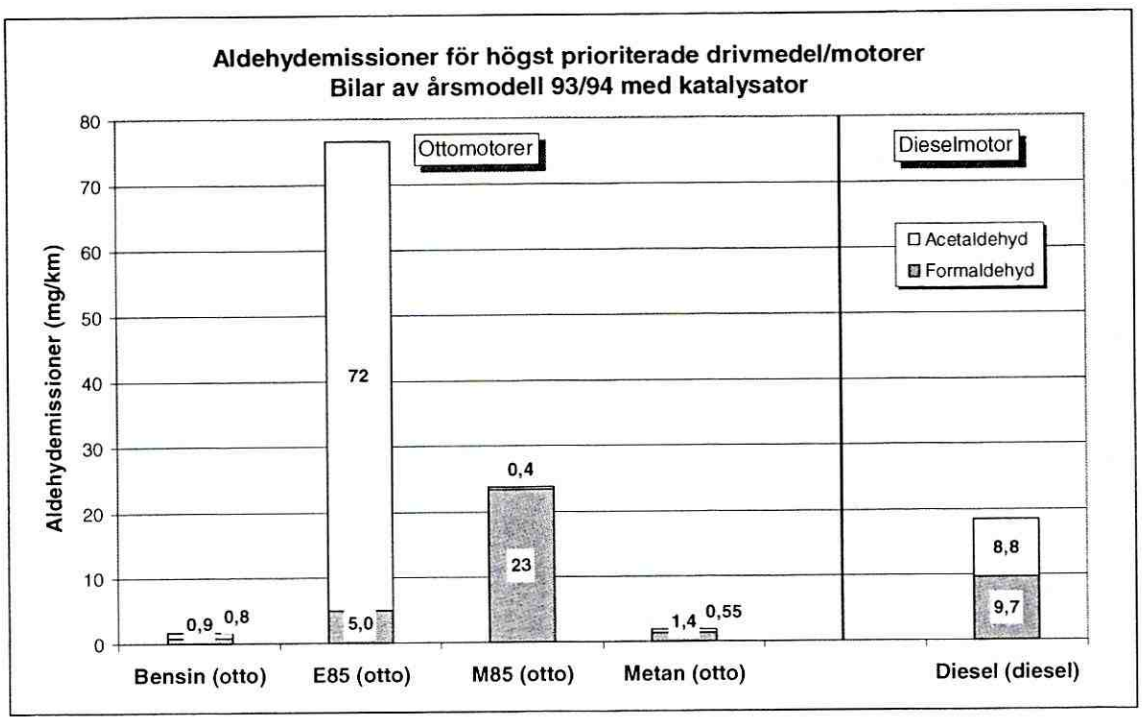
RME ger marginellt lägre emissioner av alkener än dieselolja men det bör poängteras att dessa nivåer är mycket osäkra då de baserar sig på en beräkning utifrån skillnaderna mellan RME och dieselolja för tunga motorer.

För E100 är framförallt emissionerna av eten högre än för dieselolja. I detta fall baserar sig beräkningen av emissionsnivåerna för E100 och M100 på jämförelser mellan nivåerna för tunga fordon och skillnaderna mellan emissionerna av alkener mellan E85 och M85. Det bör poängteras att resultaten för E100 och M100 är osäkra eftersom de inte baserar sig på direkta mätningar på lätta alkoholdrivna fordon med dieselmotorer. Man kan i alla fall notera att nivåerna av alkener för alla dieselmotorer förutom E100 i alla fall kan anses låga i jämförelse med bensindrivna ottomotorer.

5.2.6 Aldehyder

Aldehyderna brukar allmänt anses som alkoholmotorernas akilleshäl även om föregående figurer visade att även emissionerna av eten från motorer drivna med etanol också är ett problem som inte kan förringas. Dieselmotorer brukar generellt också ha högre emissioner av aldehyder än bensindrivna motorer. I denna sammanställning redovisas endast emissionerna av formaldehyd och acetaldehyd. Resultat för andra tyngre aldehyder finns i vissa av de referenser som undersökts.

I **Figur 24** visas aldehydemissionerna för de högst prioriterade alternativen. Liksom i fallet med alkenerna har både typerna av aldehyder (acetaldehyd och formaldehyd) visats i figuren.



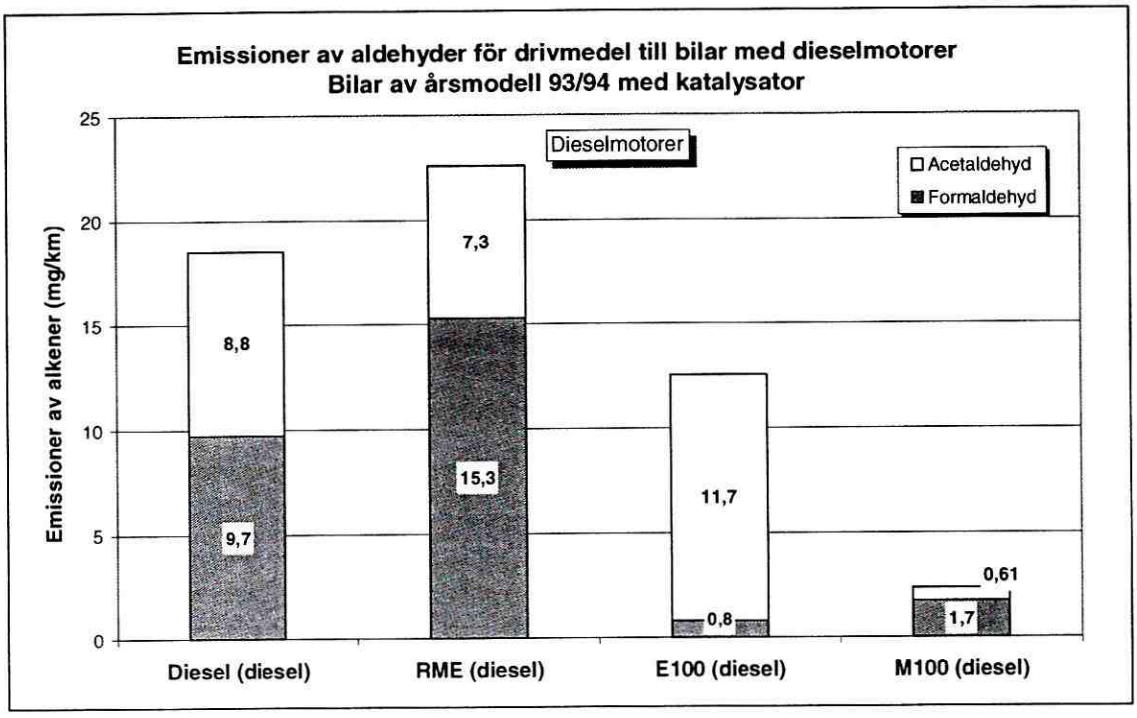
Figur 24: Emissioner av aldehyder för alternativ med högst prioritet

Figur 24 visar att emissionerna av aldehyder, som indikerats av resonemanget ovan, är högst för alkoholerna och för dieselolja. E85 ger de högsta emissionerna av acetaldehyd – en till två tiopotenser högre än för andra drivmedel – vilket i och för sig delvis kan bero på att även HC emissionerna var höga för de fordon som använts som underlag. Det bildas även en del formaldehyd för E85 men nivån för denna aldehyd är betydligt lägre. För M85 dominerar emissionerna av formaldehyd. Eftersom metanol är en mycket enkel molekyl är möjligheterna att bilda acetaldehyd små. De katalysatorer som används i dag har generellt högre aktivitet för formaldehyd än för acetaldehyd, vilket kan vara en bidragande orsak till de stora skillnaderna mellan E85 och M85.

Bensin och metan ger de i särklass lägsta emissionerna av aldehyder. I båda fallen ligger nivåerna på detektionsgränsen för de använda mätmetoderna. Förvånansvärt nog verkar det som om aldehydemissionerna för bensin är lägre vid låga temperaturer än vid höga. I detta fall ökar således inte emissionerna på samma sätt som HC emissionerna vid sjunkande temperaturer, vilket är fallet för de flesta andra organiska föreningar i avgaserna.

Aldehydemissionerna för dieselolja är väsentligt högre än för bensin och metan men dock lägre än för alkoholerna. En orsak till de förhållandevis höga emissionerna av aldehyder är sannolikt att en katalysator har en mycket låg aktivitet för HC emissioner och så även för aldehyder. I den tidigare citerade rapporten av May m fl kunde man notera en aktivitet som varierade mellan 6 och 45 % beroende på motortyp och körcykel [46]. Av de två motortyper som testades i den rapporten (en IDI och en DI) var konverteringsgraden generellt högre för DI motorn men genom att även basnivån också var högre (liksom HC emissionerna) för denna motor blev i alla fall nivån efter katalysatorn något högre.

Figur 25 visar aldehydemissionerna för fordonen med dieselmotorer.



Figur 25: Emissioner av aldehyder för dieselmotorer

RME och dieselolja har de högsta aldehydemissionerna av alla drivmedel för dieselmotorer. Det skall tilläggas att de skillnader som finns mellan dessa två drivmedel inte är signifikanta då litteraturen ofta visar varierande resultat. Ett färskt exempel för motorer till tunga fordon är en rapport från Grägg vid MTC [52] där RME gav lägre aldehydemissioner än dieselolja. Tilläggas bör att jämförelsen gjordes med dieselolja av miljöklass 1.

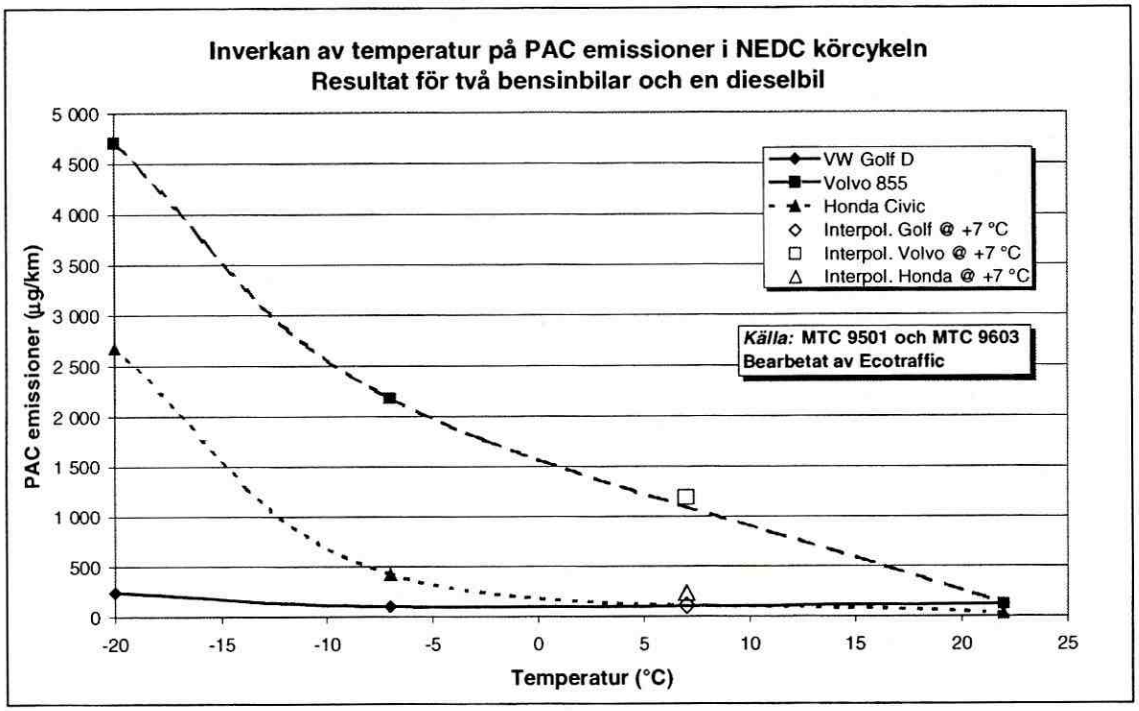
Aldehydemissionerna för alkoholerna är lägre än för dieselolja och RME. Detta är förvånande och det får anses som tveksamt om skillnaden kan verkligen vara så stor som i **Figur 25**. En orsak till de låga aldehydemissionerna kan vara att en av de testade bilarna var utrustad med en s k startkatalysator som monterats nära avgasgrenröret. Det är troligt att konverteringen av aldehyder blir hög med en sådan lösning. Emissionerna av formaldehyd var också mycket riktigt högre för den andra bilen som saknade denna katalysator. Aldehyderna för E100 har beräknats genom att samma förhållande mellan de två aldehyderna antas råda som för E85 och M85.

5.2.7 Polycykliska aromatiska föreningar (PAC)

Emissionerna av polyaromatiska föreningar är en av de mest osäkra emissionskomponenterna när det gäller att bedöma de nivåer som redovisats i litteraturen. En orsak är att dessa emissioner är en summering av en mängd olika komponenter och ofta är det olika antal komponenter som ingått i analyserna. Likaså är provtagningen av avgörande betydelse för resultatet. I vissa fall finns endast analyser av de partikelbundna PAC emissionerna. Vi har konsekvent försökt använda (eller beräkna) PAC emissionerna för både partikelbundna och semivolatila PAC. En bra översikt av PAC emissioner från fordon ges för övrigt i en nyligen publicerad rapport från Concawe [53].

En alldeles speciell omständighet i sammanhanget är det faktum att PAC emissionerna för bensindrivna ottomotorer verkar öka mycket kraftigt när temperaturen sänks. Detta notera-

des t ex i en rapport av en av denna rapports författare, där en bil testades vid den moderata temperaturen av +5 °C [54]. PAC emissionerna för denna bil var upp till 50 gånger högre än för bilar som testats vid högre temperatur. När motorvärmare användes minskade dock nivån väsentligt vilket visade att detta är en effektiv metod att minska PAC emissionerna. I en MTC rapport av Almén, Westerholm och Ludykar har några bilar undersökts vid +22 och –7 °C [31]. En komplettering av testerna med resultat vid –20 °C har gjorts i en senare rapport av samma författare som i den förra [55]. Eftersom det kan vara av intresse att jämföra inverkan av temperatur för olika drivmedel och motorutföranden har detta gjorts i **Figur 28** för de tre bilar från de båda ovannämnda rapporterna där tester finns för tre olika temperaturer (+22, -7 och –20 °C). Förutom kurvanpassningen har (linjärt) interpolerade värden för –7 °C också visats i figuren.



Figur 26: Emissioner av PAC vid olika temperatur för några bilar

De bilar som visas i **Figur 26** var följande: en dieseldriven VW Golf med motor av IDI-typ och katalysator, en bensindriven Volvo 855 av miljöklass 2 och en bensindriven Honda Civic representerande miljöklass 1. Den tekniska skillnaden mellan de båda bensindrivna bilarna förstärks av att Hondan hade en vägmätarställning av endast 3 300 km vid testtillfället medan Volvon hade en mätarställning av 24 000 km (åldringseffekterna). VW Golfen hade en mätarställning av 27 000 km vid testtillfället.

Av resultaten i **Figur 26** framgår att den dieseloljedrivna VW Golf bilen och den bensindrivna Volvo 855 hade de högsta PAC emissionerna vid +22 °C. Honda Civic hade väsentligt lägre PAC emissioner – ca en faktor fem – än de båda övriga bilarna vid denna temperatur.

Den dieseloljedrivna bilen hade i princip samma PAC emissioner vid alla temperaturer förutom en viss trend till ökning vid den lägsta temperaturen. De båda bensindrivna bilarna uppvisade i kontrast till detta en *synnerligen* kraftig ökning av PAC emissionerna vid de

lägre temperaturerna. Skillnaden jämfört med den dieseldrivna VW Golfen var vid denna temperatur en faktor 10 – 20. Ökningen av PAC emissionerna när temperaturen sjunker var väsentligt högre än ökningen av HC emissionerna för de båda bensindrivna bilarna.

Av de resultat som visats ovan framgår det klart att man måste ta hänsyn till temperaturen när PAC emissionerna skall utvärderas för bensindrivna motorer och sannolikt gäller detta även för ottomotorer drivna med andra bränslen. Det synes förvånande att detta inte har uppmärksammats tidigare i litteraturen, eftersom det ju ändå är känt att HC emissionerna påverkas kraftigt av temperaturen. I den tidigare citerade rapporten från Concawe berörs överhuvudtaget inte en eventuell inverkan av temperaturen.

I utvärderingen av PAC emissionerna för bensindrivna bilar har resultaten från de tidigare nämnda MTC rapporterna använts som bas [31, 55]. De båda Volvo 855 bilarna och Opel Corsan har ansetts kunna representera tekniknivån för år 1993/1994. Den äldre Volvo 245 och den Honda Civic som också fanns med i denna undersökning är antingen "äldre" eller "yngre" än önskvärt för att representera ett teknikneutralt val av fordon. Hondan har emellertid beaktats vid uppskattningen av emissionsnivån för år 2000, då den teknik som används i denna bil är snarlik den teknik som kommer att användas för att klara Euro III bestämmelserna.

Vidare har även två bilar från en undersökning av Olsson m fl beaktats [56]. Ytterligare referensmaterial som granskats är bl a den tidigare kommenterade undersökningen av TNO [23] och tidigare nämnda undersökning av VTT [34], samt den komplettering av detta material som gjorts i en SAE rapport [57]. Inga av de resultaten från de tre sistnämnda rapporterna har dock använts för de bensindrivna bilarna. TNO:s resultat finns bara sammanställda som ett viktat värde för flera olika körcykler och kan därför inte användas direkt. Dessutom är nivån generellt låg för dessa fordon vilket ter sig något förvånande men kan bero på det speciella valet av körmönster med en lång total körstäcka per kallstart för de viktade resultaten. VTT:s resultat inkluderar i det första fallet även 2-ringade aromater men alla resultat finns publicerade vilket möjliggör en alternativ utvärdering [34]. I den förstnämnda av VTT rapporterna [34] blir dessutom nivån vid en utvärdering av PAC med 3 eller fler ringar låg. I den senare rapporten [57] finns däremot resultat som är ligger betydligt högre än i den första rapporten men resultaten för de individuella komponenterna har ej redovisats vilket omöjliggör en alternativ utvärdering. I den senare VTT rapporten har också tester vid lägre temperaturer genomförts vilket principiellt bekräftar den trend till kraftig ökning vid lägre temperaturer som kunde noteras för resultaten från MTC.

Det interpolerade medelvärdet för +7 °C har använts för att beräkna en faktor mellan PAC emissionerna vid +22 °C och +7°C för de fordon där tester finns vid flera temperaturer. "Basnivån" vid +22 °C inkluderar sedan alla mätvärden och den nämnda faktorn används för att beräkna nivån vid +7 °C. Den beräknade nivån korrigeras sedan för förhållandet mellan HC emissionerna (som beräknats på samma sätt) för dessa fordon och för fordonen i den stora populationen. Korrektionen blev t ex för bensindrivna bilar under 1 eftersom HC emissionerna för de fordon där PAC emissionerna mätts låg något högre än det stora kollektivet. Således minskade det interpolerade PAC värdet från 539 till 414 µg/km efter denna korrektion.

Det finns förhållandevis få data för PAC emissioner från alkoholdrivna fordon. De flesta data som hittats härrör dessutom från tester vid rumstemperatur. Nylund m fl. vid VTT har redovisat PAC emissioner från en FFV bil med M85 bränsle [34]. Endast resultat från den semivolatila fasen redovisas i rapporten. Totala mängden var 31 µg/km för de komponen-

ter som VTT analyserat men en utvärdering av samma PAC komponenter som analyseras av Westerholm ger 28,6 µg/km. I kommentarerna till resultaten anges att bilen körts ca 80 000 km (50 000 miles) när provtagningen utfördes. Emissionsnivån, i synnerhet för HC och NO_X, sägs då ha varit betydligt högre än när de övriga testerna gjordes i den tidigare fasen av projektet. Inga resultat för emissionsnivåerna anges dock. I den senare SAE rapporten redovisas mätningar för M85 vid både +22 °C och –7 °C i FTP-75 körcykeln. Nivån för M85 vid +22 °C är den lägsta av alla de drivmedel som redovisas. Nivån vid –7 °C är väsentligt högre (ca 5 ggr) men dock ej högre än 100 µg/km. I båda fallen ingår även 2-ringade aromater vilket medför att nivån för 3-ringade aromater torde vara något lägre. Olsson (Volvo), Westerholm (SU) m fl. har karakteriserat emissionerna från en M85 driven Volvo FFV i en SAE rapport [56]. De totala PAC emissionerna (28 komponenter) låg på 13,7 µg/km (22 µg/mile) i FTP-75 körcykeln. Den testade bilen var försedd med en elektrisk förvärmd katalysator och luftinblåsning i avgaserna under startfasen. Den använda förvärmda katalysatorn var en tidig prototyp med betydligt högre elförbrukning än senare prototyper och produktionsfärdiga lösningar. Likväl torde katalysatorn ha haft en betydande inverkan på PAC emissionerna, vilket kan anas från den inverkan katalysatorn haft på de reglerade emissionerna. En sänkning av HC emissionerna med 40 % när bensin användes i bilen redovisas i rapporten. Genom att lösningen inte är representativ för bilar av 1993/1994 års produktion kan inte heller dessa resultat inte användas i utvärderingen. I framtiden kan reformuleringar av bensinen sannolikt leda till att PAC emissionerna minskar.

Emissionsresultaten för PAC emissioner är för gasdrivna bilar också fåtaliga. TNO anger en nivå som är ca 60 % lägre än för bensin men även i detta fall har utvärderingen utförts med ett speciellt körmönster [23]. I SAE rapporten från VTT anges att de gasdrivna fordonen (CNG och LPG) hade en stor spridning varför ett medeltal för de båda temperaturerna hade använts. Detta antyder i och för sig att inverkan av temperaturen är liten för de gasformiga bränslena. Andelen högmolekylära PAC i avgaserna från CNG anges vara högre än för LPG, M85 och bensin. Orsaken till detta förhållande föreslås av författarna kunna bero på att katalysatorn förmodligen optimerats för oxidation av metan (och inte för tyngre kolväten, förf. anm.).

Då de nivåer som presenterats ovan för M85 och metan ter sig tämligen osäkra och eftersom de genererats i en annan körcykel (FTP-75) än majoriteten av de övriga data som använts har en alternativ strategi använts för att beräkna emissionerna för M85 och E85 samt ytterligare en variant för metan. Ett exempel är beräkningen för M85. I detta fall har en nivå av 25 µg/km antagits för +22 °C, dvs en lägre nivå än för bensin (48 µg/km). Eftersom korrektionen för de bensindrivna fordonen för ålder mm inte är lika hög är skillnaden dock mindre efter korrektioner. Proportionerna av PAC från metanol respektive bensin antas stå i samma förhållande som för energiandelen av respektive bränslekomponent (20 resp. 5 µg/km). Vidare antas den PAC som härrör från metanol vid lägre temperaturer öka i samma omfattning som HC emissionerna medan andelen från bensin ökar i samma omfattning som för de bensindrivna fordonen. Efter korrektioner för åldring mm erhålls en PAC nivå på 128 µg/km. Samma beräkningsmetodik har använts för E85 men med en något högre basnivå (30 µg/km). En lägre energiandel bensin i E85 samt de mindre skillnader som finns för korrektionerna ger en nivå på 119 µg/km. För metan antas att nivån vid –7 °C är 75 % av nivån för bensin vid +22 °C. Detta antagande baseras inte på några andra överväganden än att medelnivån för CNG i VTT:s tester (medel av +22 och –7 °C, vilket motsvarar +7 °C) varit ungefär lika nivån för bensin vid +22 °C samt att nivån i TNO:s

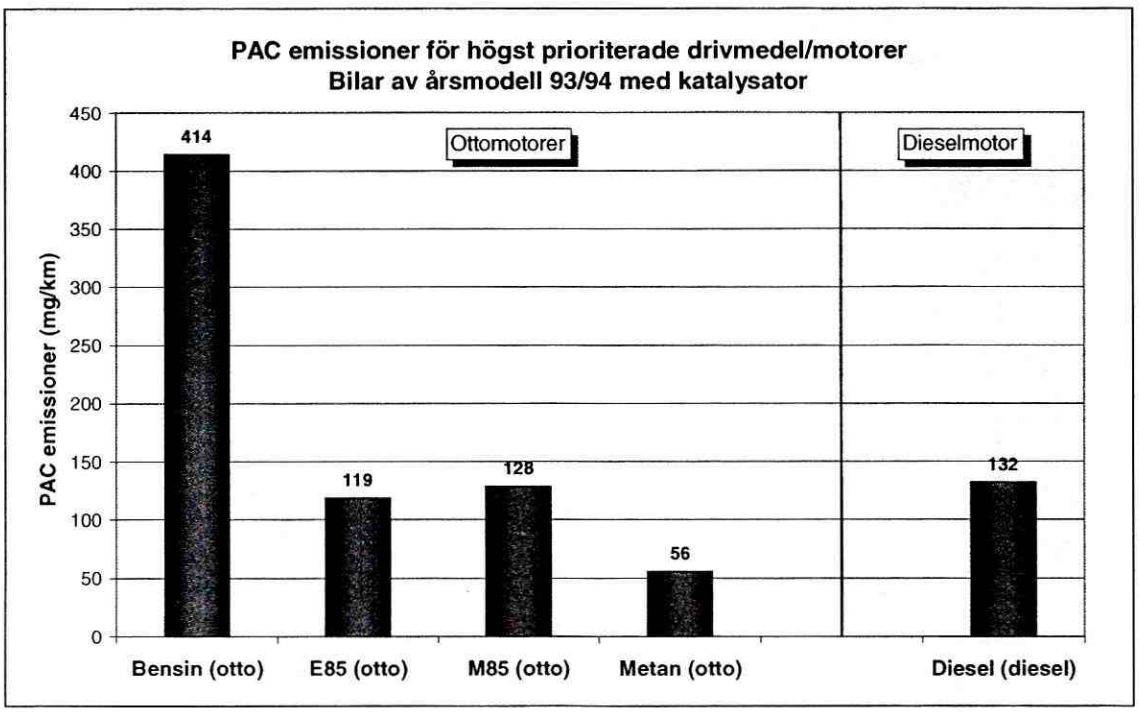
tester varit 60 % lägre vid den högre temperaturen. Dessa antaganden ger en nivå på 56 µg/km, vilket är den lägsta nivån för alla prioriterade drivmedel.

PAC emissionsnivån för dieseldrivna fordon är ej heller den enkel att uppskatta. En linjär interpolation (minsta kvadratmetoden) av alla värden för de olika temperaturerna i de båda tidigare citerade MTC rapporterna gav en nivå på 98 µg/km vid +22 °C och 134 µg/km vid –7 °C. Den tidigare nämnda VTT rapporten [36] gav en nivå på 81 µg/km vid +22 °C men då ingick även 2-ringade aromater i utvärderingen. Ifall de 2-ringade aromaterna utesluts erhålls ett så lågt värde som 23,5 µg/km. I TNO:s rapport utvärderas 17 PAH och det gav resultatet 62 µg/km [23]. Under antagande om att övriga PAC står i proportion till resultaten för den bil som testats vid VTT erhålls en nivå på 87 µg/km. Inga av resultaten från VTT och TNO har emellertid beaktats eftersom testerna hade utförts i FTP-75 i VTT:s fall och enligt ett viktat körmönster i TNO:s fall. Vidare var inte VTT:s bil utrustad med katalysator och katalysator saknades också på flera av bilarna som testades av TNO. Testerna på de två bilarna i rapporten av May m fl har i stället använts [46]. De PAC som mättes var i princip desamma som mätts av Westerholm. Tyvärr innehåller resultaten från May m fl endast tester för partikelfasen. En utvärdering av rådata från MTC:s rapport[19] visar att PAC emissionerna i den semivolatila fasen är 43 % av PAC emissionerna i partikelfasen vid +22 °C. I de beräkningar som gjorts här har vi antagit att PAC emissionerna i den semivolatila fasen är 50 % av PAC emissionerna i partikelfasen (dvs en svag överskattning i förhållande till MTC:s resultat). Vid användande av alla resultat enligt ovan erhölls en nivå på 113 µg/km vid + 22 °C och 128 µg/km vid +7 °C. Eftersom HC emissionerna var lägre för de bilar som använts i PAC-testerna än för den nivå som beräknats för hela underlaget av dieselbilar korrigerades PAC nivån också för detta, vilket slutligen gav en nivå på 132 µg/km vid +7 °C. Det kan vara värt att notera att alla resultat för PAC för dieselbilar härrör från bränslen som motsvarar MK 3 eller liknande (referensbränsle). Sannolikt ger MK 1 dieselolja betydligt lägre PAC emissioner men underlaget för en uppskattning av denna förbättring är tyvärr magert, vilket lett till att MK 3 dieselolja valt som referens.

Figur 27 visar PAC emissionerna för de prioriterade drivmedlen enligt den beräkningsmetodik som beskrivits ovan. Det är uppenbart att det i de nivåer som visas i detta diagram med stor sannolikhet förekommer felaktigheter, dels beroende på det magra underlaget och dels på att de antaganden som gjorts också kan vara behäftade med felaktigheter. Vi har emellertid inte hittat några bättre ansatser i litteraturen för hur man skall kunna uppskatta PAC-nivåerna på ett trovärdigt sätt.

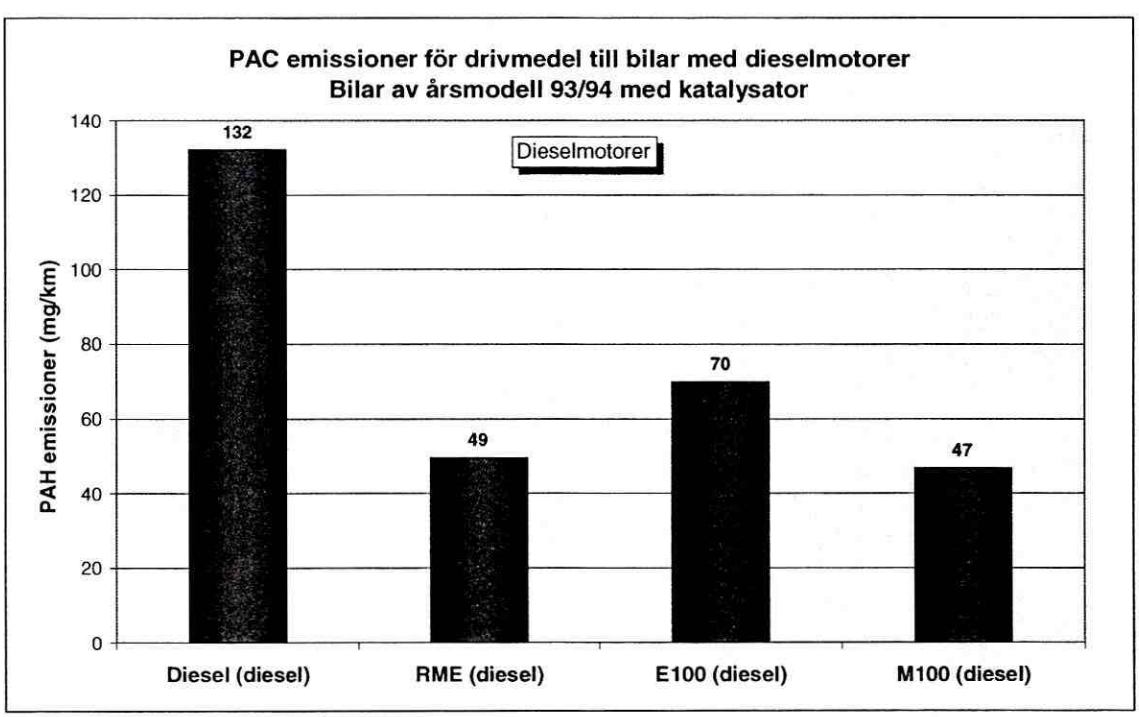
Figur 27 visar att PAC emissionsnivån är högst för bensin. Orsaken till detta är som tidigare beskrivits den kraftiga inverkan av temperaturen. Alkoholerna och dieselolja ligger på ungefär samma nivå och skillnaden jämfört med bensin är nästan en faktor 4. Metan har de lägsta PAC emissionerna av alla undersökta bränslen. Skillnaden i jämförelse med bensin närmar sig en faktor 10. Orsakerna till denna stora skillnad ligger väsentligen i PAC emissionerna vid kallstart vid låga temperaturer.

[19] Data som välvilligt ställts till förfogande från MTC.



Figur 27: Emissioner av PAC för alternativ med högst prioritet

Figur 28 visar PAC emissionerna för dieselmotorer. Notera att skalan skiljer sig från den tidigare figuren på grund av de lägre nivåerna.



Figur 28: Emissioner av PAC för dieselmotorer

I beräkningen av PAC nivåerna för RME har främst resultaten i rapporten från May m fl använts [46]. Denna rapport visar en kraftig minskning av PAC nivåerna för RME i förhållande till dieselolja. Tyvärr har ingen analys av de ingående PAC komponenterna i de båda bränslena utförts av May och hans medarbetare. Tester av skillnaden mellan RME och miljöklass 1 dieselbränsle av Grägg vid MTC har för tunga fordon gett en fördel för RME i en tidigare undersökning [58] och praktiskt taget samma resultat i en senare undersökning [52]. Den tidigare citerade rapporten från VW gav en reduktion av PAC med ca 60 % för MK 1 dieselolja i jämförelse med ECE referensbränsle och en reduktion av nitro-PAC med 70 %. Med ledning av resultaten som citerats ovan står det klart att RME bör ha väsentligt lägre PAC emissioner än normal europeisk dieselolja (vilken utgör basen för våra jämförelser). Skillnaderna i jämförelse med MK 1 dieselolja torde emellertid bli små eller försumbara. Eftersom resultaten för MK 1 dieselolja ännu är så få i litteraturen har vi valt att använda resultat för MK 3 dieselolja i våra jämförelser.

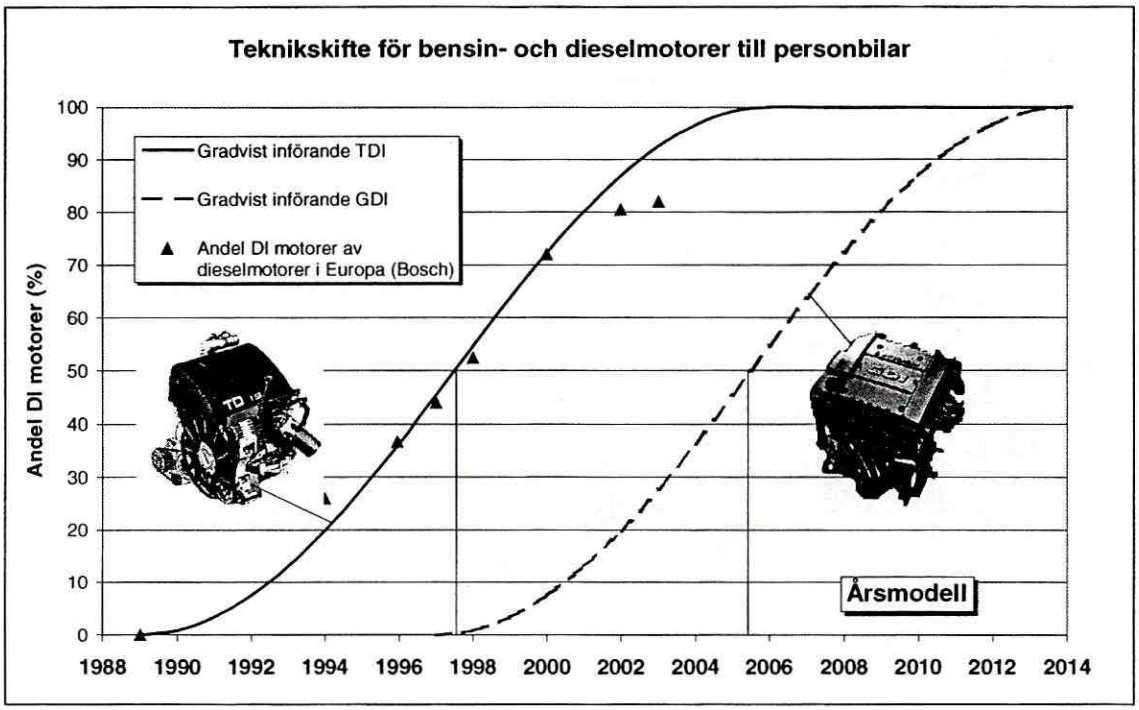
PAC emissionerna från E100 och M100 har också beräknats vara lägre än för MK 3 dieselolja. Skillnaderna i jämförelse med MK 1 dieselolja torde däremot bli små eller försumbara.

5.2.8 Energianvändning och bränsleförbrukning

Det viktigaste kriteriet vid jämförelser av energianvändningen är att jämföra alternativ med samma prestanda. Man kan möjligen tycka att det vore mer relevant att t ex jämföra de båda populationerna av bensin- och dieselmotorer som sammanställts direkt med varandra. Emellertid är det svårt att komma ifrån att prestandan är en mycket viktig faktor vid köpet av bil och en faktor som också påverkar energianvändningen även om körmönstret vid bestämningen av bränsleförbrukningen är densamma för alla typer av bilar.

En annan viktig aspekt är att de motortyper som jämförs i denna rapport antingen är ottomotorer eller dieselmotorer. De alternativa drivmedel som används måste anpassas antingen till den ena eller den andra av dessa motortyper. Av dessa båda motortyper kan två olika huvudtyper förekomma: motorer med indirekt insprutning och motorer med direkt insprutning. Det verkar mycket troligt att den senare varianten kommer att dominera marknaden i framtiden, i alla fall för dieselmotorer. Det är helt enkelt så att ett teknikskifte håller på att ske. Teknikskiftet har nått mycket längre för dieselmotorer och här kan t ex data från tillverkare av insprutningsutrustning användas för att förutspå hur snabbt teknikskiftet kommer att ske. Detta har gjorts av Ecotraffic för de båda motortyperna i **Figur 29**. Den kurvanpassning som använts är en sinuskurva.

Man ser i **Figur 29** att de direktinsprutade motorerna inom kort helt kommer att dominera marknaden för dieselmotorer medan teknikskiftet enligt vår bedömning ligger längre fram i tiden för bensinmotorerna. Det råder också en viss osäkerhet om hur snabbt lågsvavlig bensin kan införas på den europeiska marknaden, vilket i hög grad kommer att påverka i hur snabb takt bensindrivna DI motorer kan införas.

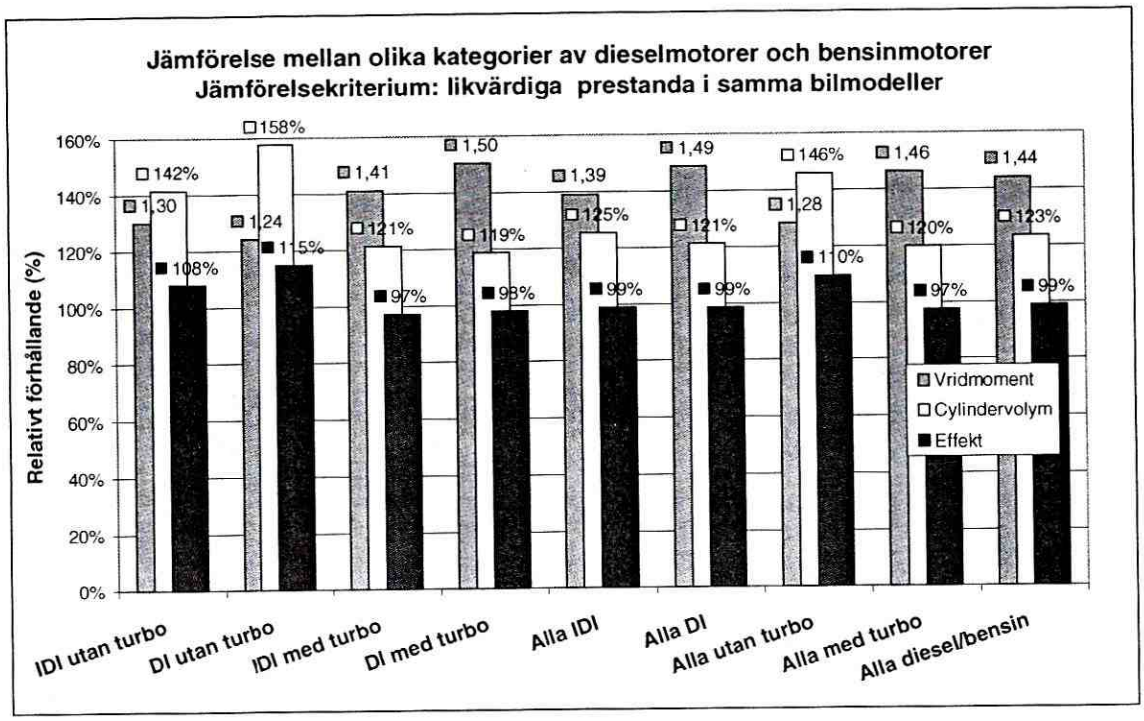


Figur 29: Teknikskifte

I bakgrundsmaterialet till ett anförande av en av denna rapports författare vid TrafikMiljö 98 konferensen i Borlänge hösten 1998 hade en jämförelse av bränsleförbrukningen mellan bensin- och dieseldrivna personbilar gjorts. Enligt kriteriet för lika prestanda kunde 78 olika bilmodeller av varierande storlek jämföras där den ena bilen var bensindriven och den andra dieseldriven (således totalt 156 olika bilar). Som kriterium för samma prestanda användes accelerationen från 0 till 100 km/h. Beroende på de föreliggande skillnaderna i motorkarakteristik innebär detta att den bensindrivna bilarna hade en något högre toppfart medan omkörningsaccelerationen på hög växel var snabbare för de dieseldrivna bilarna. Totalt sett kan man med fog påstå att prestandan för de båda kategorierna var likvärdig. De dieseldrivna bilarna klassades dessutom enligt den teknik som användes för att jämförelser med olika teknik dessutom skulle kunna göras.

Figur 30 visar vridmoment, cylindervolym och effekt för de olika kategorierna enligt kriterierna ovan. Referensen är de bensindrivna bilarna som kan jämföras med de olika dieseldrivna kategorierna av bilar och alla värden för dieselbilarna har uttryckts i relation till dessa.

Som **Figur 30** visar måste (med dagens teknologi) som regel cylindervolymen vara större för att en dieselmotor skall erhålla samma effekt. Som följd av detta blir maximala vridmomentet högre men motorns samtidigt som bilens vikt ökar. Detta är också orsaken till att effekten i vissa fall (främst motorer utan turbo) måste vara högre för dieselbilarna för att samma acceleration skall erhållas.



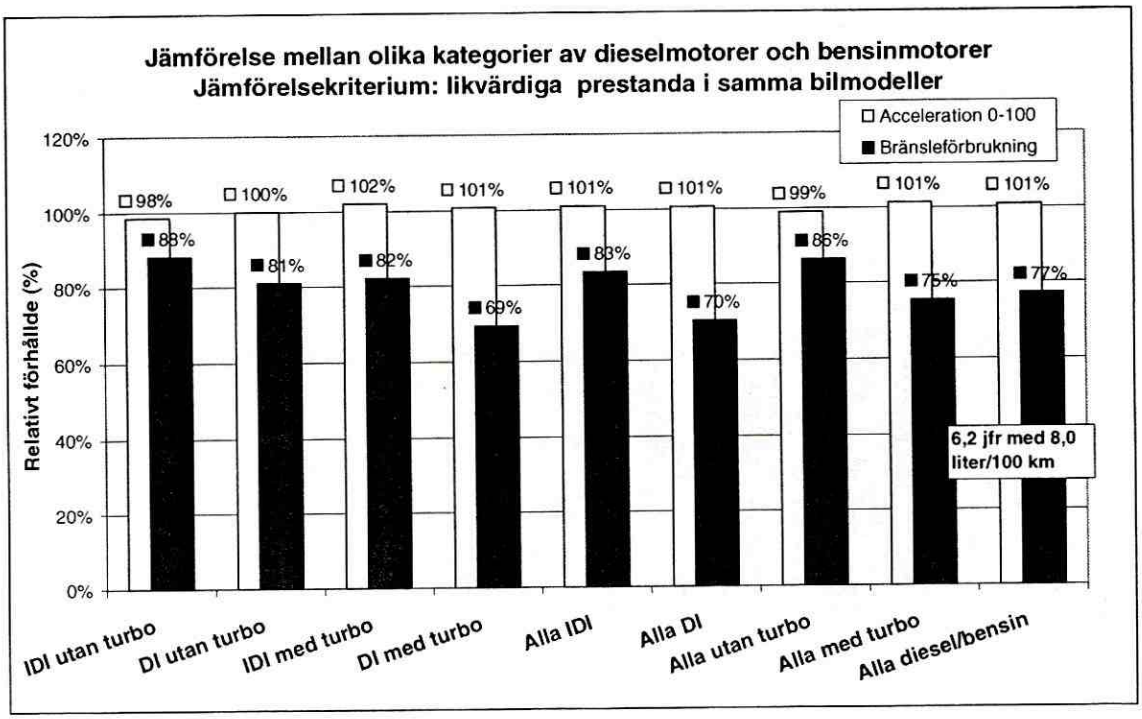
Figur 30: *Jämförelse av några relevanta motordata för bensin och dieselbilar med samma prestanda*

Figur 31 visar acceleration (procentuell skillnad 0 – 100 km/h) och bränsleförbrukning enligt den europeiska mätmetoden (EDC) för de undersökta bilarna.

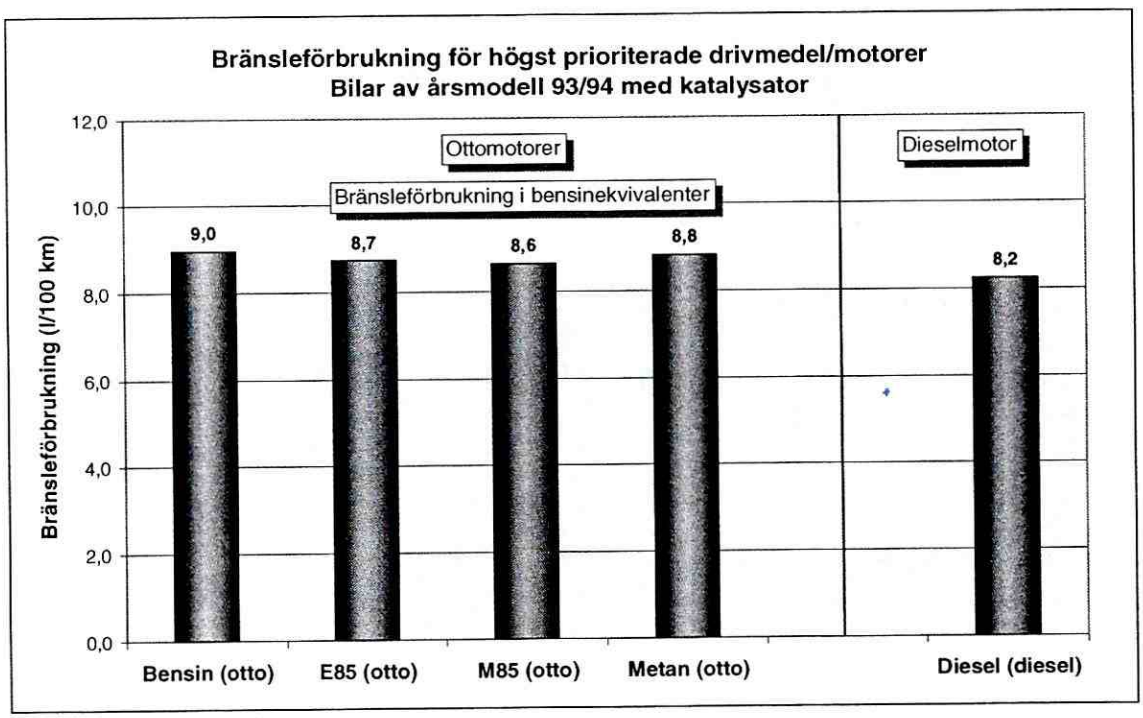
Som tydligt framgår av **Figur 31** är accelerationen praktiskt taget identisk. Bränsleförbrukningen är lägre för de dieseldrivna bilarna i samtliga fall. Genom den förhållandevis låga motoreffekten för dieselbilarna är även bränsleförbrukningen för de jämförbara bensindrivna bilarna något lägre än genomsnittet för nya bilar (försäljningsviktat) som ligger på ca 8,5 l/100 km.

När energianvändningen för de olika drivmedlen till otto- respektive dieselmotorerna skall beräknas har korrektioner tagits fram som tar hänsyn till temperatur, skillnader i verkningsgrad och vikt. Temperaturkorrektionen har gjorts på liknande sätt som för emissionerna. Alkoholer och metan ger en viss ökning av verkningsgraden i ottomotorer och för metan måste också hänsyn tas till den ökade vikten som ökar bränsleförbrukningen. För att göra jämförelsen så lik medelbilen som möjligt har en bränsleförbrukning av 8,5 l/100 km för en bensindriven bil ansatts som referens (till skillnad från 8 l/100 km enl. ovan). Med korrektion för temperaturen blir nivån 9 l/100 km. Eftersom den jämförelse som sammanställts mellan bensin och dieselbilar enligt ovan baserar sig på tekniknivån 1998 har en sammanvägning av DI och IDI teknik gjorts enligt proportionerna i **Figur 29** för 1993/1994.

I **Figur 32** och **Figur 33** har bränsleförbrukningen jämförts i bensinekvivalenter. Denna typ av jämförelse är enklare att relatera till egna referensramar än en energianvändning i MJ/km.



Figur 31: Jämförelse av acceleration och bränsleförbrukning för bensin och dieselbilar med samma prestanda

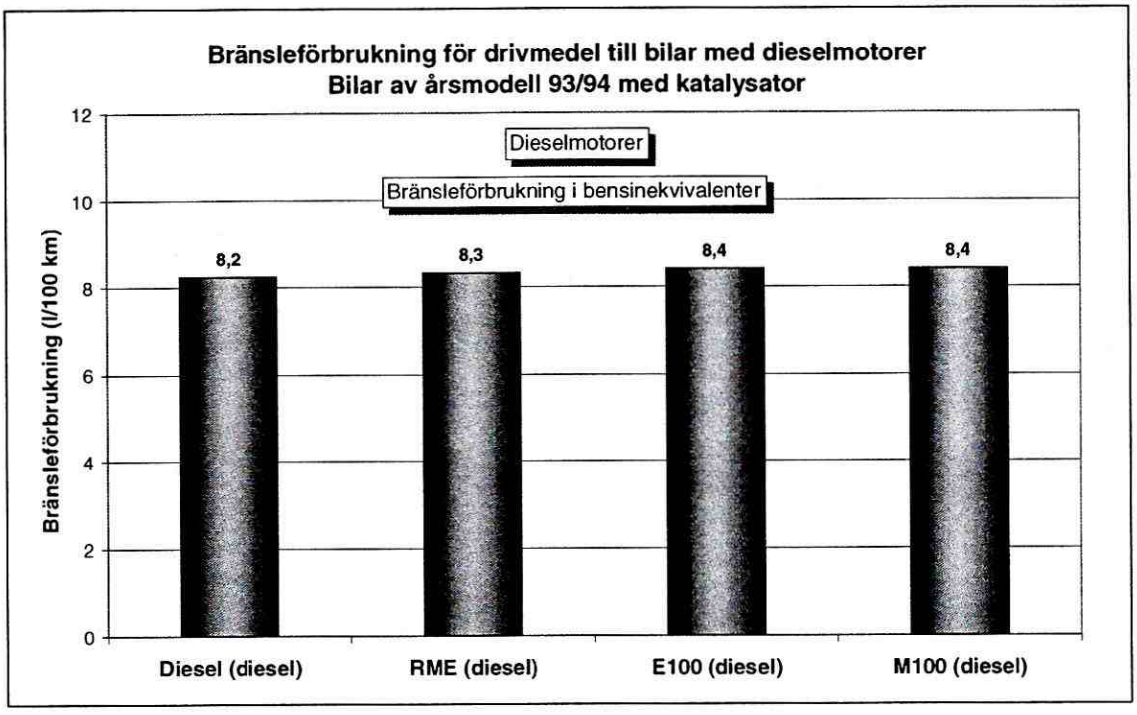


Figur 32: Jämförelse av bränsleförbrukning för alternativ med högst prioritet

Förbrukningen i **Figur 32** är högst för bensin men skillnaden jämfört med de övriga ottomotorerna är relativt liten. Dieselolja har som väntat den lägsta bränsleförbrukningen men

skillnaden i jämförelse med bensin är också i detta fall relativt liten. Orsaken är dels att jämförelsen görs på samma prestandanivå vilket ofta inte brukar vara fallet och dels på grund av att dieselmotorerna vid denna tidpunkt (1993/1994) till största delen hade indirekt insprutning.

I **Figur 33** ses att skillnaden mellan de olika alternativa drivmedlen för dieselmotorer är mycket liten. Orsaken i detta fall är att verkningsgraden skiljer sig endast marginellt mellan de olika drivmedlen.



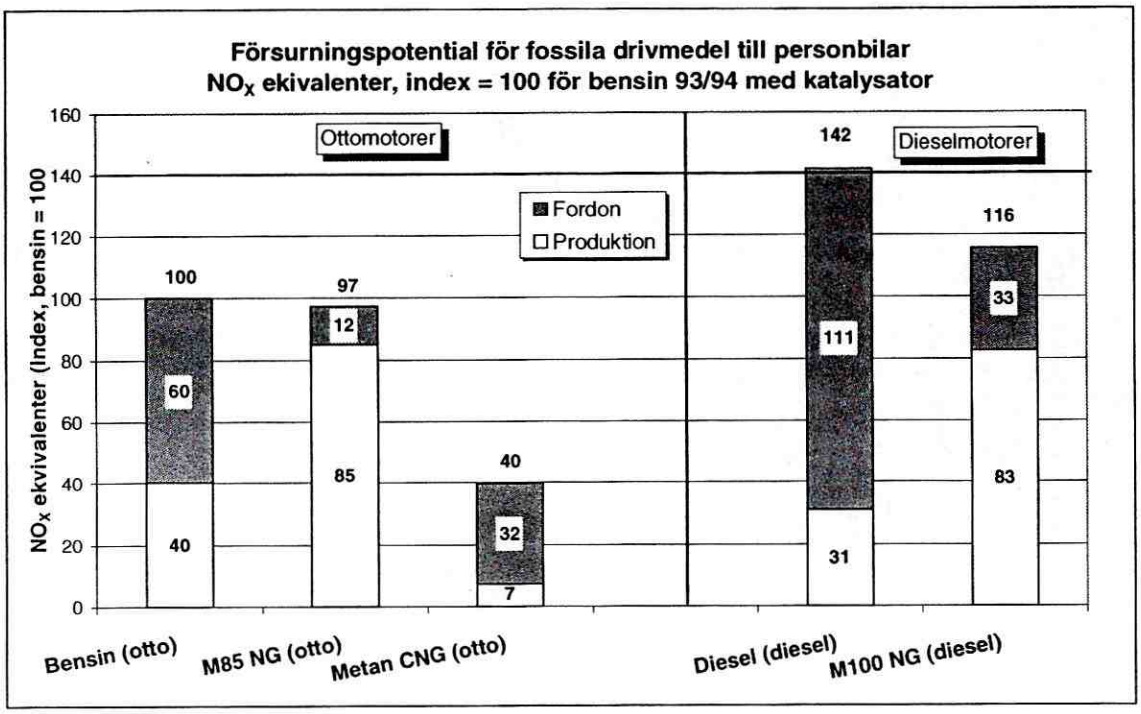
Figur 33: Jämförelse av bränsleförbrukning dieselmotorer

5.3 Effekter på hälsa och miljö

I detta kapitel redovisas de undersökta effekterna på hälsa och miljö. De figurer som används har strukturerats på liknande sätt som tidigare. För att underlätta jämförelserna har alla diagram plottats som index där bensin utgör referensen (index 100).

5.3.1 Försurning

Försurningspotentialen för de prioriterade drivmedlen, räknat som NO_X ekvivalenter, visas i **Figur 34**. En uppdelning har gjorts mellan utsläpp från produktionen av drivmedlet och utsläpp från fordonet.



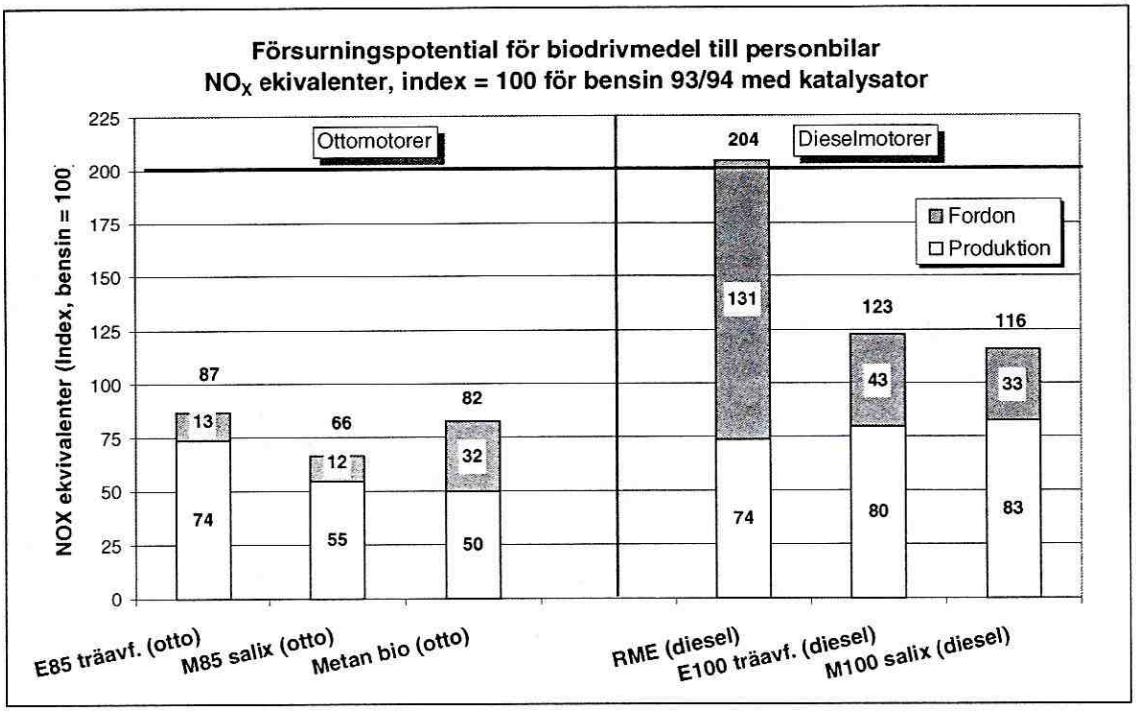
Figur 34: Utsläpp av försurande ämnen för fossila drivmedel

Figur 34 visar att utsläppen för en dieseloljedriven dieselmotor är högst av alla drivmedel och dessa utsläpp är ca 40 % högre än för bensin. Orsaken är de högre NO_X emissionerna. Ett annat påtagligt faktum att notera är att utsläppen i produktionsledet är förhållandevis höga för flera drivmedel. Dessa utsläpp står t ex för hela 40 % av de totala utsläppen för bensin.

Utsläppen av försurande gaser är också förhållandevis högt för M85 och M100. Här är problemet främst de höga utsläppen vid produktionen av den fossila metanolen. Det är i och för sig möjligt att införa väsentliga förbättringar av dessa framställningsprocesser i framtiden, varför detta torde vara en överskattning av förhållandet för en ny fabrik. Man kan också notera att utsläppen av försurande gaser är mycket låga från fordonet för M85. Orsaken till detta förhållande är dels att metanolen innehåller så små mängder svavel (svavel från den inblandade bensinen finns dock med) och dels att NO_X emissionerna är mycket låga. NO_X emissionerna för M100 i dieselmotor är högre vilket också syns i resultaten.

Metan har de i särklass lägsta utsläppen av försurande ämnen. Det är främst utsläppen i bränsleframställningen som är låga. NO_X emissionerna är också lägre än för bensin i de data som använts men i det fallet är skillnaden tveksam och beror sannolikt på skillnader mellan fordonsindividerna.

I **Figur 35** visas utsläppen av försurande ämnen för de biobaserade alternativen. Eftersom nivåerna för dessa drivmedel är högre än i det förra fallet har också skalan ändrats.



Figur 35: Utsläpp av försurande ämnen för biodrivmedel

Från resultaten i **Figur 35** kan man generellt konstatera att utsläppen i produktionsledet är höga för flera drivmedel. Sannolikt finns möjligheter att minska dessa utsläpp eftersom produktionsprocesserna för dessa drivmedel ännu inte är fullt utvecklade.

NO_X emissionerna är som tidigare nämnts höga för RME och detta resulterar i de högsta utsläppen av försurande gaser av alla undersökta drivmedel, även i förhållande till dieselolja (**Figur 34**). Den största orsaken till skillnaden jämfört med dieselolja är att utsläppen är väsentligt högre i produktionsledet. Orsaken till detta är främst emissionerna från de traktorer och lantbruksmaskiner som används vid odlingen. Det synes självklart att dessa emissioner kan minskas väsentligt i framtiden eftersom inga emissionskrav tidigare har funnits för denna kategori av motorer.

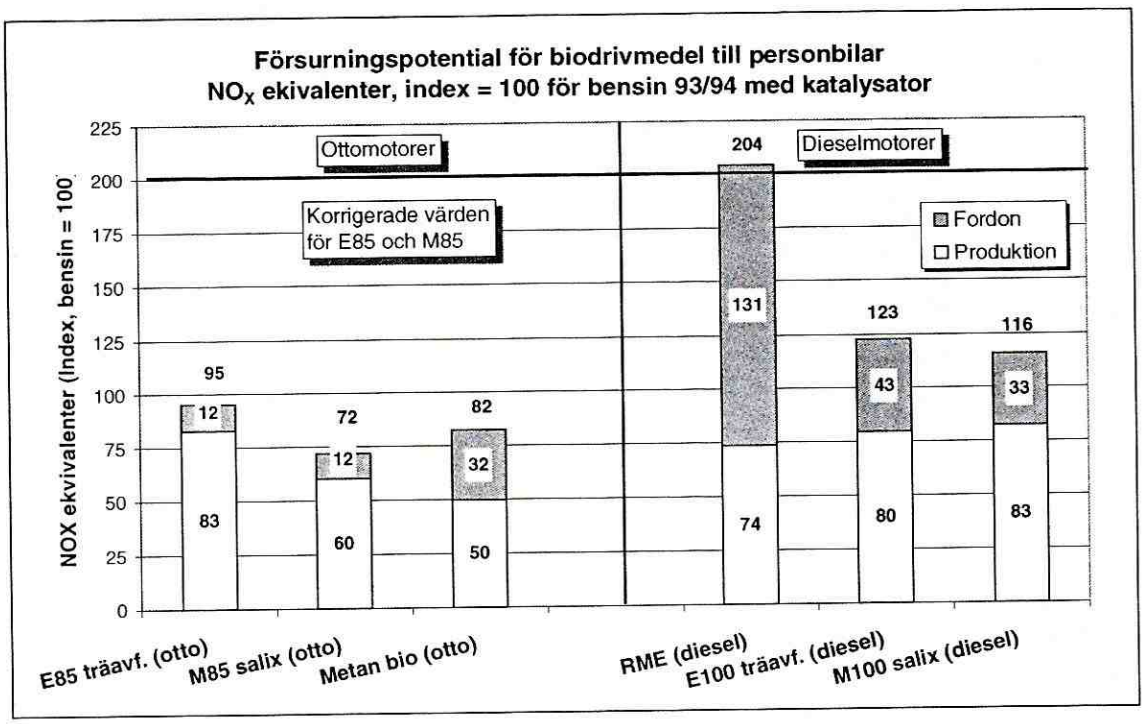
Både E100 och M100 i dieselmotor ger högre försurande utsläpp än bensin men lägre än dieselolja och RME. Skillnaderna i bränsleframställningen och de lägre NO_X emissionerna i förhållande till dieselolja och RME är förklaringar till dessa resultat.

E85 och M85 ger lägre försurande utsläpp än E100 och M100 och även något lägre utsläpp än bensin. Skillnaden i jämförelse med E100 och M100 beror dels på att utsläppen i framställningen av den bensin som används i E85 och M85 är lägre än för etanol och metanolframställningen och dels på de lägre NO_X emissionerna.

Biogas ger försurande utsläpp i nivå med E85, dvs något lägre än för bensin. Man kan dock notera att utsläppen i förhållande till fossil naturgas är betydligt högre. Liksom för RME beror detta i huvudsak på utsläpp i odlingen av lucern. Därmed finns också här en stor förbättringspotential.

Eftersom den inblandning av bensin som förekommer i E85 och M85 medför att jämförelsen mellan de biobaserade alternativen blir något haltande finns skäl att undersöka ifall inte jämförelsen kan göras på ett något mer relevant sätt. Man kan t ex genom att beräkna de

fiktiva utsläppen från ett fall där all energi skulle härröra från alkoholerna för att därmed erhålla en mer "rättvis" jämförelse. Detta är liktydigt med att *fler* fordon för E85 respektive M85 måste användas i jämförelse med ifall E100 respektive M100 kunde användas, och därför måste således eventuella ekonomiska beräkningar ta hänsyn till detta faktum. En jämförelse av det beskrivna slaget (korrigerade utsläpp) visas i **Figur 36**.



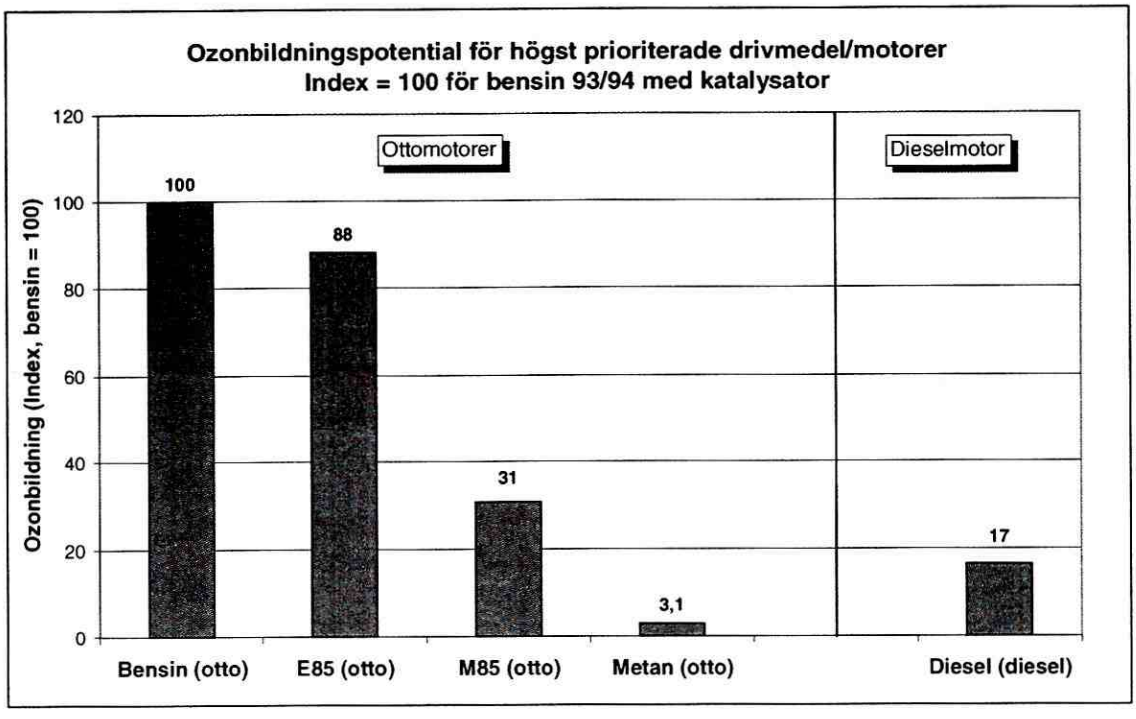
Figur 36: Korrigerade utsläpp av försurande ämnen för biodrivmedel

Den korrigering som gjorts för E85 och M85 i **Figur 36** i jämförelse med den förra figuren (**Figur 35**) visar att utsläppen för dessa drivmedel ökar något. Orsaken är att utsläppen vid produktion av bensin är lägre än för etanol och metanol med nuvarande produktionsmetoder. Därför medför också en korrigering som den som gjorts ovan att utsläppen i produktionsledet ökar i jämförelse med okorrigerade värden.

5.3.2 Ozonbildning

Ozonbildningen lokalt i Sverige styrs som regel av HC emissionerna med de halter av HC och NO_X som förekommer i tätortsluften. Olika kolväten kan ha helt olika potential till ozonbildning. Det som påverkar ozonbildningen är således såväl mängden av kolväten som sammansättningen av dem.

I **Figur 37** visas ozonbildningspotentialen för alternativen med högst prioritet.



Figur 37: *Ozonbildningspotential för alternativ med högst prioritet*

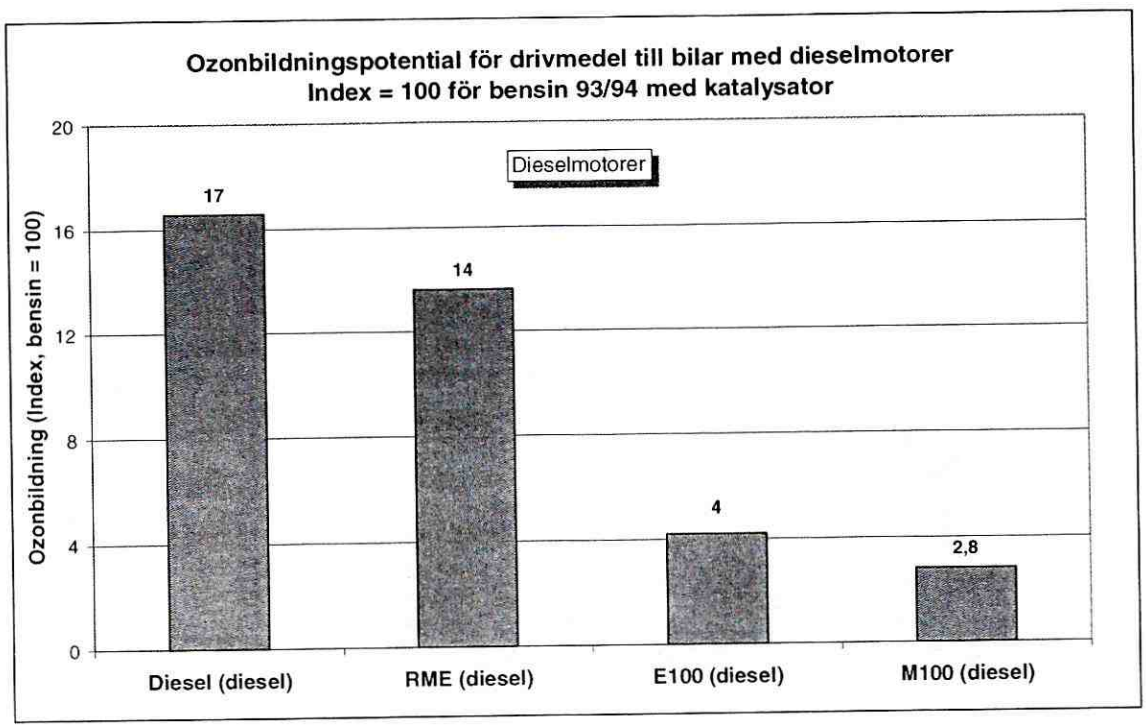
Ozonbildningspotentialen är högst för bensin följt av E85. De högre HC emissionerna för E85 motverkar det faktum att avgaserna från etanol generellt har en lägre specifik reaktivitet för HC än bensin.

M85 har en betydligt lägre ozonbildningspotential än både bensin och E85. Orsaken är dels att avgaserna från M85 har en betydligt lägre specifik reaktivitet och dels att HC emissionerna trots allt är lägre än för bensin.

Dieselolja har också en betydligt lägre ozonbildningspotential än bensin trots att reaktiviteten i detta fall är högre än för bensin – faktiskt högst av alla testade drivmedel (1,3 ggr bensin). Det är de låga HC emissionerna för dieselmotorer som är orsaken till att ozonbildningspotentialen trots allt blir lägre än för bensin.

Metan är det drivmedel som har i särklass lägst ozonbildningspotential av alla drivmedel. Dels beror detta på att det mesta av HC emissionerna består av metan och att resterande kolväten (NMHC) har en lägre specifik reaktivitet än HC från bensinavgaser (**Tabell 2**) och dels beror det på att HC emissionerna vid kallstart generellt sett är mycket låga.

Figur 38 visar ozonbildningspotentialen för alternativen med dieselmotorer. På grund av den lägre nivån har också skalan ändrats i förhållande till den tidigare figuren.



Figur 38: Ozonbildningspotential för dieselmotorer

Figur 38 visar att skillnaden mellan RME och dieselolja är mycket liten med avseende på ozonbildningspotentialen men här bör man notera att kunskaperna om den specifika reaktiviteten för RME är begränsade.

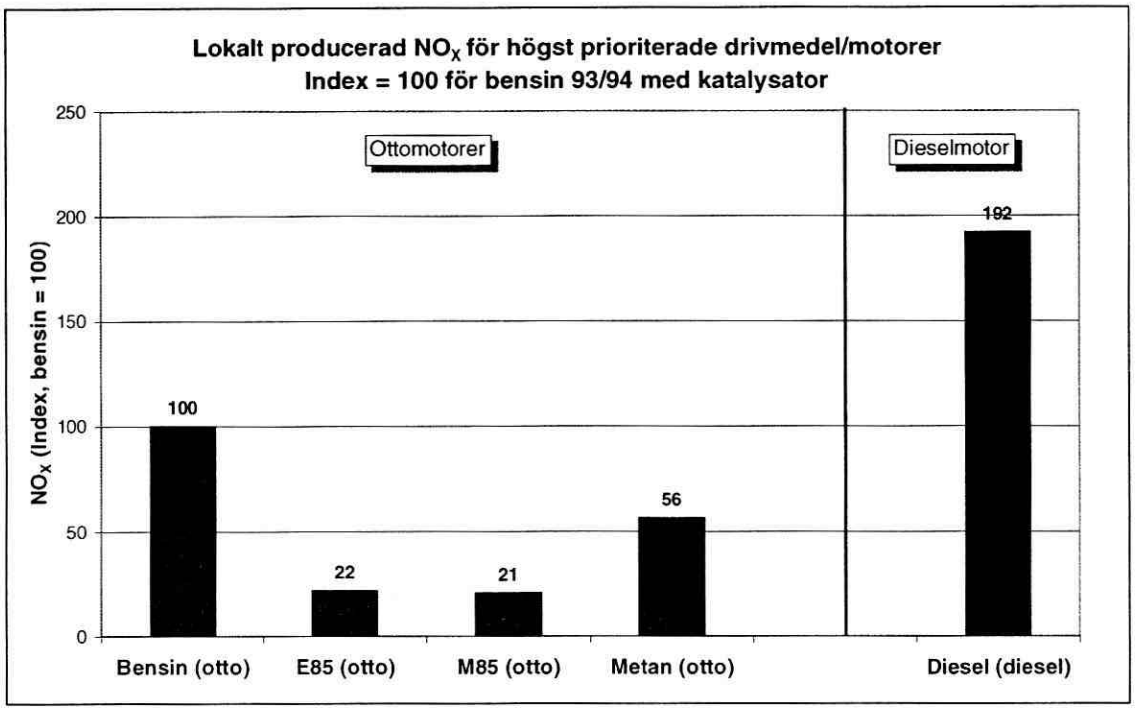
E100 och M100 i dieselmotorer bör vara väsentligt bättre än dieselolja ur ozonbildningssynpunkt. Det är främst den lägre reaktiviteten som är orsaken till detta förhållande. Båda alkoholerna hamnar på ungefär samma nivå som för metan. Det bör dock noteras att underlagen för den specifika reaktiviteten för dessa alternativ är begränsade.

5.3.3 Luftvägssjukdomar

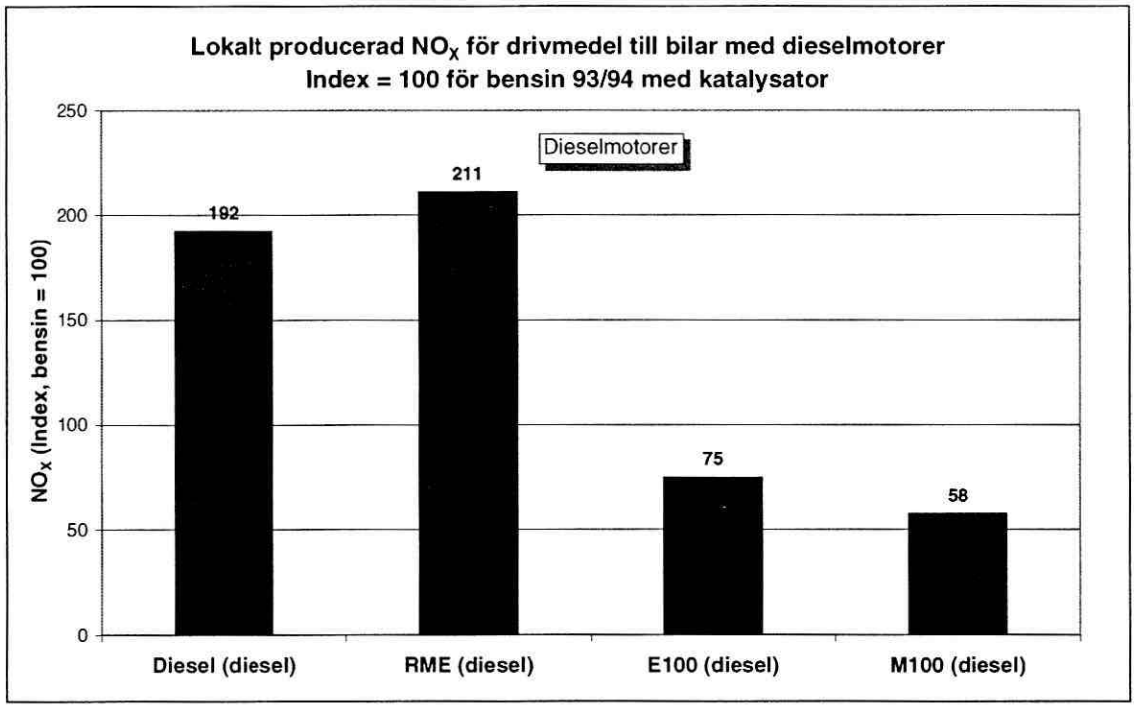
För dessa effekter har ingen sammanvägning av de olika ingående komponenterna gjorts. En orsak till detta är att samband mellan sjukdom och exponering fortfarande är osäkra och dessutom ofta av akut karaktär. Ämnen som NO_X, partiklar, ozon och aldehyder är ämnen som är av intresse i detta sammanhang. För de två första ämnena visas i detta avsnitt en jämförelse.

Även om de NO_X och partikelemissioner som beräknats för de olika motor- och drivmedelskombinationerna visades i avsnitt 5.2.1 (**Figur 14** och **Figur 15**) kan det finnas skäl att även redovisa dessa emissioner även i detta kapitel för att göra jämförelserna av effekterna kompletta. I det tidigare nämnda avsnittet var de skalor som användes i diagrammen uttryckta i absoluta enheter (g/km för NO_X och mg/km för partiklar) medan diagrammen i detta avsnitt visas som ett index vilket underlättar de relativa jämförelserna. Eftersom skillnaderna mellan de olika drivmedlen redan kommenterades i det tidigare avsnittet görs endast en kort komplettering i detta avsnitt.

I **Figur 39** visas NO_X emissionerna för de prioriterade alternativen och i **Figur 42** visas dessa emissioner för de alternativa drivmedel som kan användas i dieselmotorer.



Figur 39: *Lokalt producerad NO_X för alternativ med högst prioritet*



Figur 40: *Lokalt producerad NO_X för dieselmotorer*

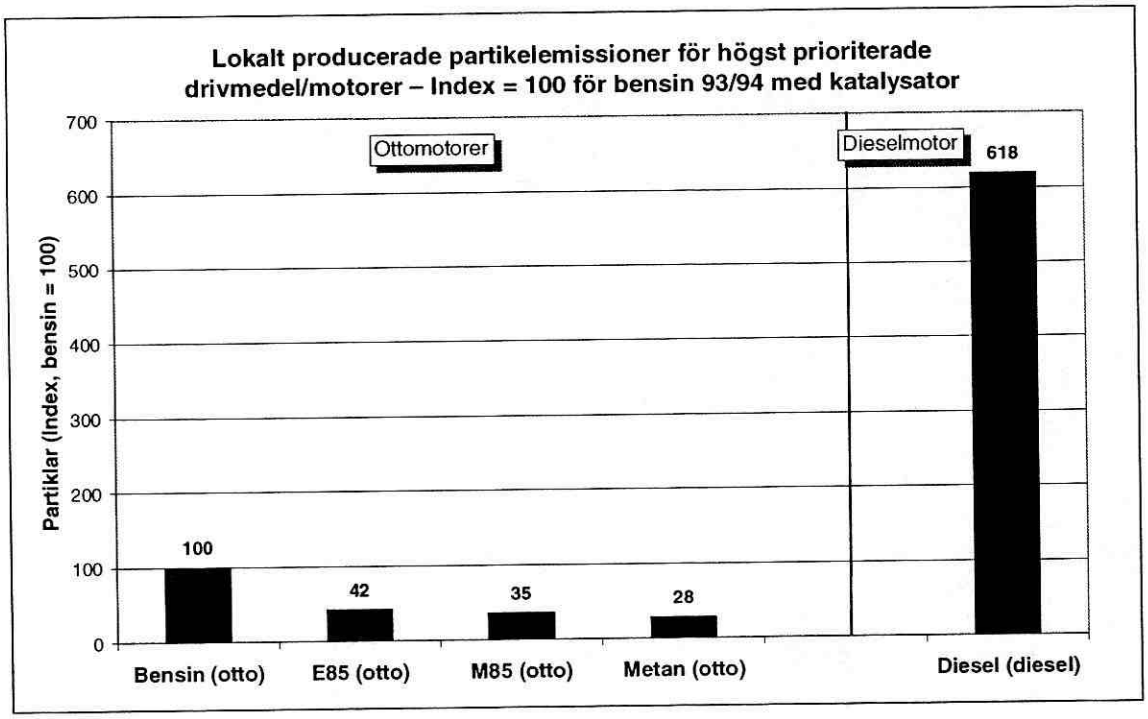
Som **Figur 39** visar är t ex NO_X emissionerna nästan 2 ggr högre för dieselolja än för bensin. Alkoholerna har en potential till att väsentligt minska NO_X emissionerna i jämförelse

med bensin, medan den skillnad som finns mellan metan och bensin troligen inte är signifikant utan beror på skillnader mellan de olika individerna av fordon.

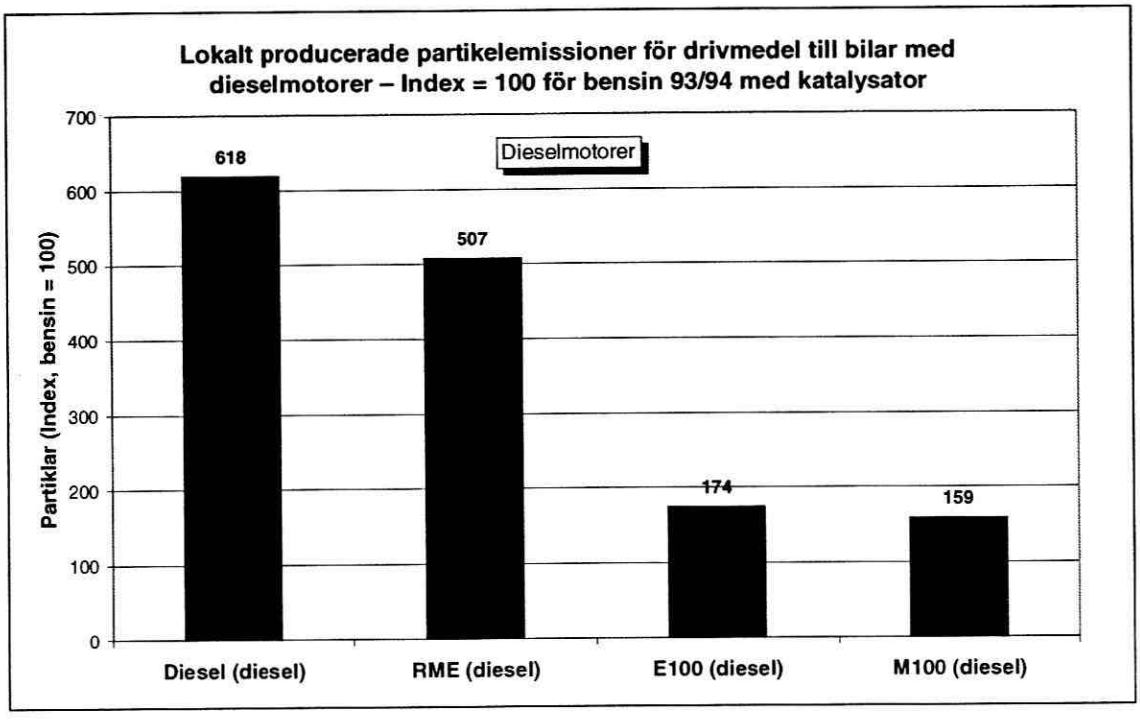
RME ökar NO_X emissionerna i jämförelse med dieselolja i äldre typer av motorer. Skillnaden torde också vara något större mellan dessa två alternativ ifall dieselolja av miljöklass 1 används i stället för miljöklass 3. Den påtagliga förbättringen av NO_X emissionerna för dieselmotorer kan åstadkommas genom en övergång till alkoholer som drivmedel. De nivåer som uppmättes i de prototypmotorer med alkoholdrift som utvecklades för ca ett decennium sedan låg på ungefär samma nivå som för bensinmotorer från den tidsperioden. En annan fördel med dessa motorer i jämförelse med alkoholdrift i ottomotorer är en väsentlig förbättring av kallstartegenskaperna och emissionerna under dessa förhållanden.

NO_X kan som tidigare beskrivits i avsnitt 4.6.3 orsaka irritation i ögon och luftvägar, samt bidra till uppkomst av allergier. Det är därför av stor vikt att minska dessa emissioner i framtiden även när det gäller luftvägssjukdomar. De alternativa drivmedlen har en stor potential att minska NO_X emissionerna.

Partikelemissionerna för respektive kategori av fordon visas i **Figur 41** och **Figur 42**.



Figur 41: *Lokalt producerade partikelemissioner för alternativ med högst prioritet*



Figur 42: Lokalt producerade partikelemissioner för dieselmotorer

Som tidigare noterats är partikelemissionerna väsentligt högre för dieselmotorer drivna med dieselolja och RME än för ottomotorer. Den dominerande andelen av partikelemissionerna från ottomotorer genereras under kallstartfasen. Alkoholerna och metan torde ha en fördel i detta avseende genom att dessa bränslen genererar mindre sot under dessa betingelser. Den största (relativa och absoluta) förbättringen erhålls dock om alkoholer ersätter dieselolja (och RME) i dieselmotorer. Partikelnivån kan i detta fall reduceras till praktiskt taget samma nivå som för ottomotorer.

Det är troligt att framtida partikelkrav kommer att förutsätta att partikelfilter monteras på dieseloljedrivna fordon. Detta innebär att (mass) emissionerna av partiklar drastiskt kommer att minska från dessa motorer. I kombination med ett lågsvavligt bränsle (30 – 50 ppm eller ännu lägre) är det fullt möjligt att partikelemissionerna minskar till en nivå som är lägre än för dagens bensindrivna bilar. I vilken mån detta kommer att öka trycket på att också minska partikelemissionerna från dessa motorer återstår att se. Otvetydigt kommer de alternativa drivmedlen att ha en fördel när det gäller partikelemissioner. Den kanske mest intressanta frågan är hur de minsta partiklarna – som antas ge den största hälsopåverkan – påverkas av partikelfilter och alternativa drivmedel. Vissa resultat från tunga fordon indikerar t ex att antalet av de allra minsta partiklarna (s k nanopartiklar[20]) för metandrivna motorer kan ligga på samma nivå som för dieseldrivna motorer[21]. Varifrån dessa partiklar skulle härröra har inte klarlagts än. Möjligen kan det vara rester från smörjoljan (droppar och aska) som är orsaken till dessa partikelemissioner[22]. I så fall har bränslet knappast nå-

[20] Nanopartiklar är partiklar som enligt en någorlunda accepterad nomenklatur har en diameter på mindre än 50 nanometer (nm).

[21] Inga resultat för tunga alkoholdrivna motorer är ännu kända för författarna.

[22] Svavel är en annan källa till partiklar men då svavelinnehållet i fossil naturgas är mycket lågt kan detta knappast vara orsaken till bildningen av nanopartiklar för detta drivmedel.

gon inverkan på dessa emissioner då alla kolvmotorer i dag kräver olja för smörjningen. Den enda möjligheten att minska emissionerna av dessa små partiklar vore i så fall att minska oljeförbrukningen och askhalten i oljan eller att införa partikelfilter. Emellertid är det ännu ingen som på allvar diskuterar att använda partikelfilter på andra motorer än dieseloljedrivna dieselmotorer. Även i detta fall torde applikationen vara enklare för de alternativa än för de konventionella drivmedlen eftersom svavelinnehållet är lägre i det första fallet.

Ett flertal hälso- och miljöeffekter är förknippade med partiklar. Även om mekanismerna för dessa effekter inte är förklarade (daglig dödlighet) och stora osäkerheter råder när det gäller huruvida de effekter som noterats på försöksdjur (cancer) kan överföras på människa, finns skäl att enligt försiktighetsprincipen kraftigt minska dessa emissioner. Alternativa drivmedel har en hel del fundamentala fördelar i detta avseende, både avseende bildningen av partiklar i motorn (sot) och användningen av partikelfilter.

5.3.4 Cancerrisker

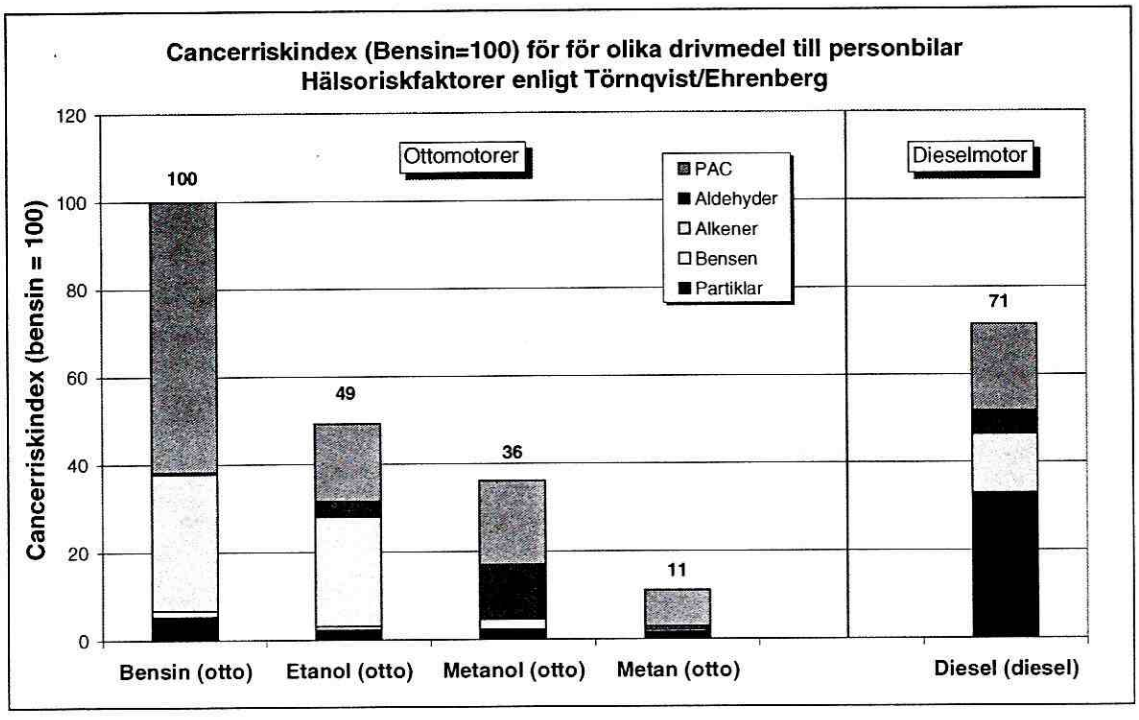
Cancerriskindexet är det kanske viktigaste indexet av alla de redovisade indexen. Potentiellt står cancerrisken för majoriteten av alla dödsfall som orsakas av trafikens emissioner. Det bör framhållas att underlaget för de riskfaktorer som använts i beräkningarna är begränsat och att nya värderingar görs hela tiden. Ett exempel är den förnyade värderingen av 1-3 butadien som enligt EPA skall minska dess riskfaktor med två tiopotenser i jämförelse med hittillsvarande uppgifter.

Osäkerheterna i de riskfaktor som använts har föranlett författarna att mana till en viss försiktighet i användandet av resultaten. För att en skillnad mellan två olika drivmedel skall anses som stor krävs enligt vår mening en skillnad på uppemot en tiopotens. Vidare bör inte skillnader mindre än en faktor två beaktas som någon egentlig skillnad.

Figur 43 visar cancerriskindexet för de prioriterade drivmedlen. De olika ämnen som bidrar till cancerrisken har redovisats separat med undantag av alkenerna och aldehyderna som redovisas i grupp.

Resultaten i **Figur 43** visar att cancerriskindexet för de konventionella fossila drivmedlen bensin och dieselolja är högst av alla drivmedel. För bensin är bidraget från PAC störst följt av alkener, där största bidraget kommer från 1,3 butadien, och partiklar. Bensen som är ett erkänt cancerframkallande ämnen och som ofta varit föremål för debatt när det gäller cancereffekter från bensinavgaser, ger ett obetydligt bidrag till det totala cancerriskindexet. Framtida reformulering av bensinen kommer sannolikt att minska bidraget från PAC för bensin.

För dieselolja är bidraget till cancerriskindexet från partiklarna störst, därnäst följer PAC och alkener. Bensen är i detta fall helt försumbart men aldehyderna, och då främst formaldehyd, ger också ett visst bidrag. För både bensin och dieselolja kan man notera att PAC nivåerna torde minska väsentligt med införandet av reformulerade bränslekvaliteter. I fallet med dieseloljan används redan i dag övervägande miljöklass 1 dieselolja för vägtransporter.



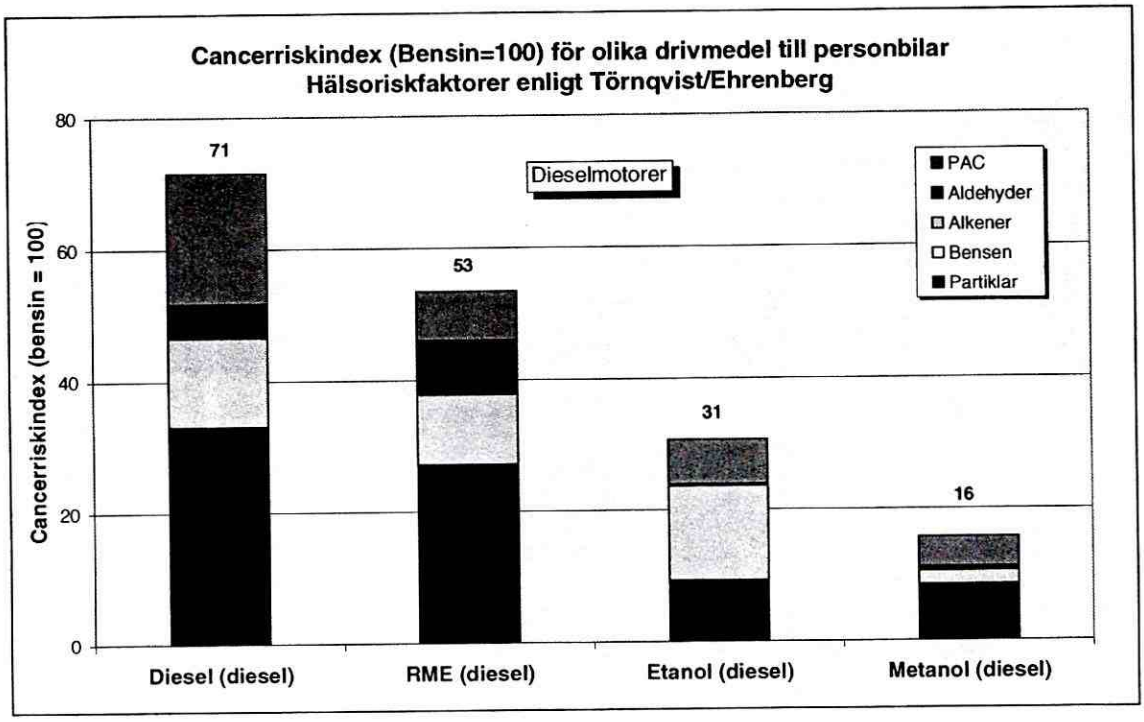
Figur 43: *Cancerriskindex för alternativ med högst prioritet*

E85 och M85 ger ungefär lika resultat men en betydligt lägre nivå än för bensin och dieselolja (ca en faktor 2). En viss fördel för M85 kan skönjas men skillnaden är mindre än den faktor 2 som använts som kriterium för en väsentlig skillnad. För E85 är bidraget från alkenerna (främst eten) och PAC störst medan PAC och aldehyderna (främst formaldehyd) ger det största bidraget för M85.

Metan är det drivmedel som ger det i särklass lägsta cancerriskindexet av alla drivmedel. Cancerriskindexet för metan domineras helt av PAC. Övriga komponenters bidrag är i stort sett försumbart.

I **Figur 44** visas cancerriskindexet för dieselmotorer. Skalan har i detta fall ändrats något i förhållande till den tidigare figuren.

RME ger ett lägre cancerriskindex än dieselolja men skillnaden är trots allt mindre än en faktor 2 (**Figur 44**). Framförallt är emissionerna av partiklar och PAC lägre för RME. Skillnaden mellan dieselolja av miljöklass 1 och RME torde bli mycket liten eller möjligen en skillnad åt motsatt håll. För tunga fordon har även tester utförts av den biologiska aktiviteten i avgaser från RME och MK 1 dieselolja. I en äldre rapport av Grägg [58] gav RME en högre biologisk aktivitet medan en senare rapport gav i stort sett identiska resultat [52]. Det är möjligt att RME ger en liten positiv effekt på cancerriskindex och biologisk aktivitet i jämförelse med MK 3 dieselolja men det torde knappast föreligga någon större skillnad om jämförelsen i stället görs mot MK 1 dieselolja.



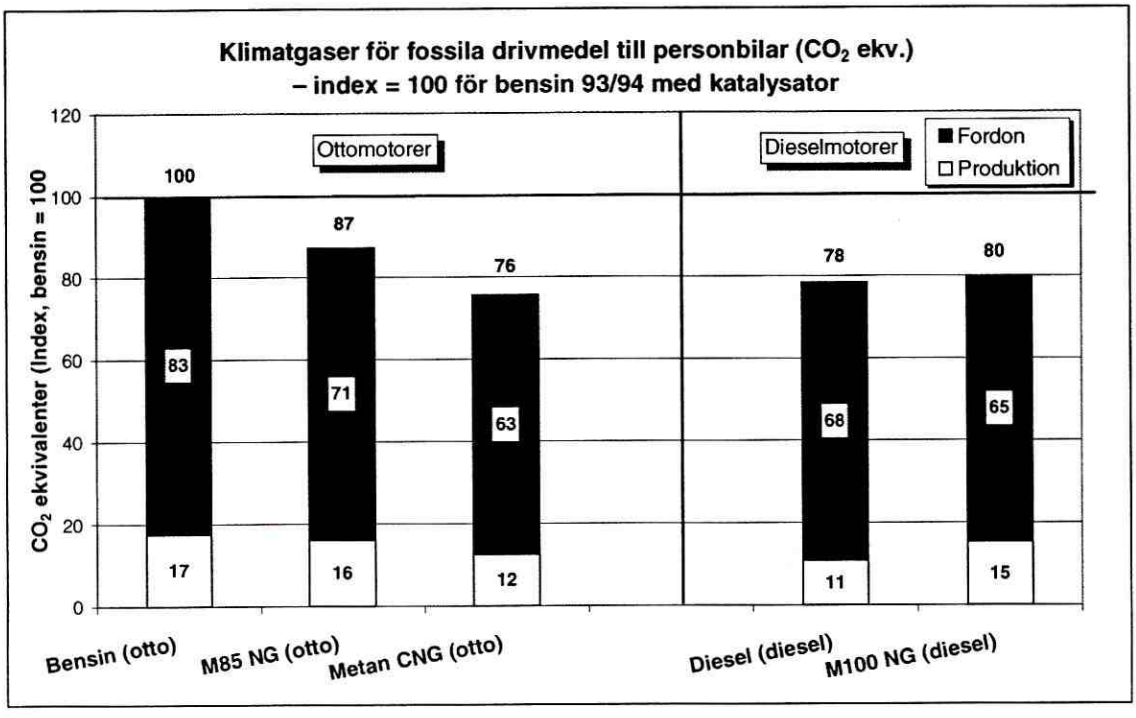
Figur 44: *Cancerriskindex för dieselmotorer*

Alkoholerna ger en väsentligt lägre cancerrisk än dieselolja. Nivån för M100 är jämförbar med metan. Den främsta orsaken till den lägre nivån för alkoholerna i jämförelse med dieselolja är att partikelemissionerna och PAC emissionerna är lägre den förra kategorin. Emissionerna av eten från E100 utgör den största orsaken till skillnaden mellan E100 och M100. Som tidigare nämnts var formaldehydemissionerna från M100 låga för de fordon som använts som underlag, vilket medför att dessa emissioner inte ger ett särdeles stort bidrag till cancerriskerna för M100.

5.3.5 Växthuseffekt

När de olika bränslenas inverkan på växthuseffekten skall jämföras är det av stor betydelse hur drivmedlet producerats. Därför har en indelning i fossila och biobaserade drivmedel gjorts.

I **Figur 45** visas emissionerna av växthusgaser (beräknade som CO_2 ekvialenter) för de fossila drivmedlen. En uppdelning i klimatgaser från fordonet (avgaserna) och från framställningen av drivmedlet har också gjort.



Figur 45: *Utsläpp av klimatgaser för fossila drivmedel*

Bensin ger de högsta utsläppen av klimatgaser av alla undersökta drivmedel. Av de fossila drivmedlen är också utsläppen i produktionsledet högst. De kvalitetskrav (oktantal mm) som ställs på bensinen kräver omfattande förädling i raffinaderiet vilket också kräver sin tribut i form av hög energianvändning och därmed stora förluster.

Emissionerna av klimatgaser från M85 är lägre än från bensin men dessa emissioner är ändå väsentligt högre än för metan. Eftersom båda dessa bränslen framställs från naturgas erhålls en fundamental fördel för metan genom att kolinnehållet per energienhet för fossil naturgas är lägre än för andra fossila bränslen. Orsakerna till skillnaderna mellan M85 och metan beror främst på den högre energiomsättningen vid framställningen av metanol. I denna process ändras (dvs ökar) också bränslets innehåll av kol per energienhet, vilket är en faktor som medför att utsläppen av CO_2 i produktionsledet trots allt är relativt små medan dessa utsläpp i stället "överförs" till fordonet. Därför ger möjligen en analys av energiomsättningen i varje led en mer relevant bild av livscykelkedjan än den bild som ges av klimatgaserna.

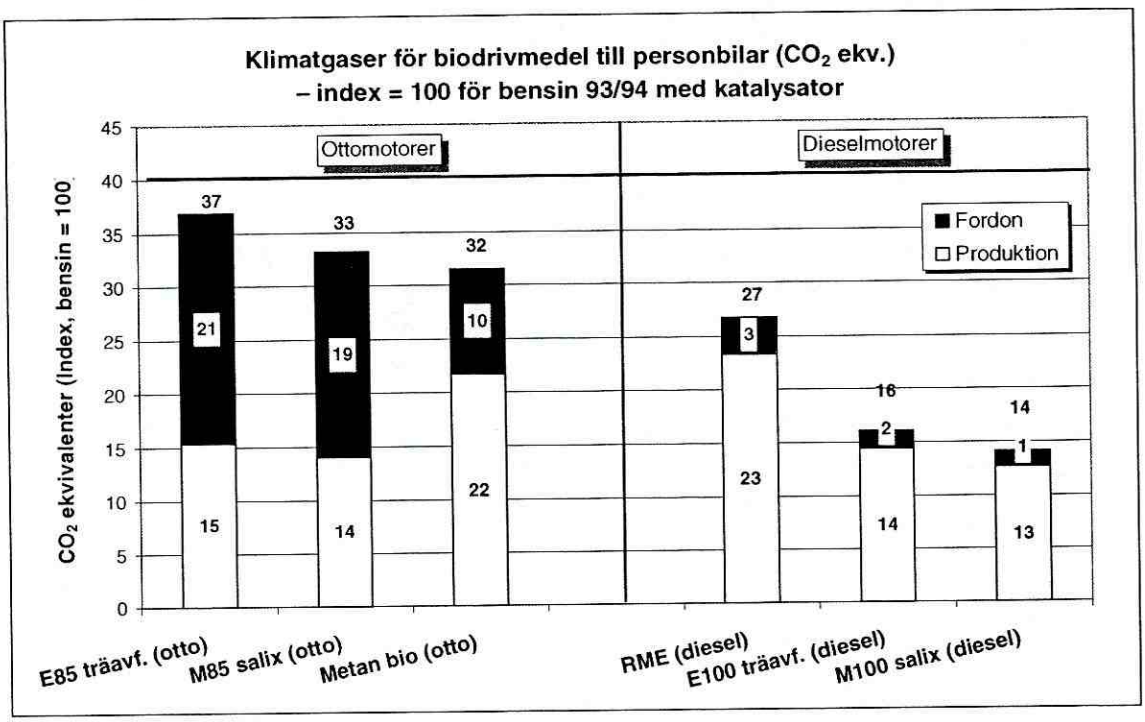
Drift med metan ger låga emissioner av CO_2 men emissionerna av metan kan ofta medföra att utsläppen av klimatgaser trots allt blir höga. De bilar som ligger till underlag för dessa beräkningar hade mycket låga emissioner av metan. En viss brasklapp måste dock lämnas för dessa resultat eftersom det i flera fall visat sig att katalysatorer för metan snabbt mister sin förmåga till oxidation av metan med väsentligt ökade emissioner av metan som följd. Det är därför möjligt att utsläppen av klimatgaser *underskattats* i detta fall.

Dieselolja ger väsentligt lägre emissioner av klimatgaser än bensin och dieseloljan ligger därmed i paritet med metan. Med hänvisning till de tidigare visade emissionerna av fossil CO_2 (**Figur 18**), där skillnaden var mindre än i **Figur 45**, inses att emissionerna av andra klimatgaser än CO_2 från dieselolja också är lägre för dieselolja än för bensin. Även emis-

sionerna av klimatgaser från raffineringen av dieselolja är lägre än för bensin. Totalt blir alltså skillnaden väsentligt större än om enbart CO_2 i avgaserna beaktas.

Användning av metanol (M100) i en dieselmotor ger lägre utsläpp av klimatgaser än i fallet med M85 i en ottomotor. Orsaken är framför allt en lägre energianvändning i fordonet men delvis också att emissionerna av andra klimatgaser än CO_2 (främst CO) är något lägre i M100 fallet samt att M85 också belastas av utsläppen från den inblandade bensinen.

I **Figur 46** visas utsläppen av klimatgaser för de alternativ som drivs med biodrivmedel. Egentligen är denna benämning något missvisande emedan ju E85 och M85 innehåller bensin. Eftersom nivåerna är lägre än i det förra fallet har också skalan justerats.

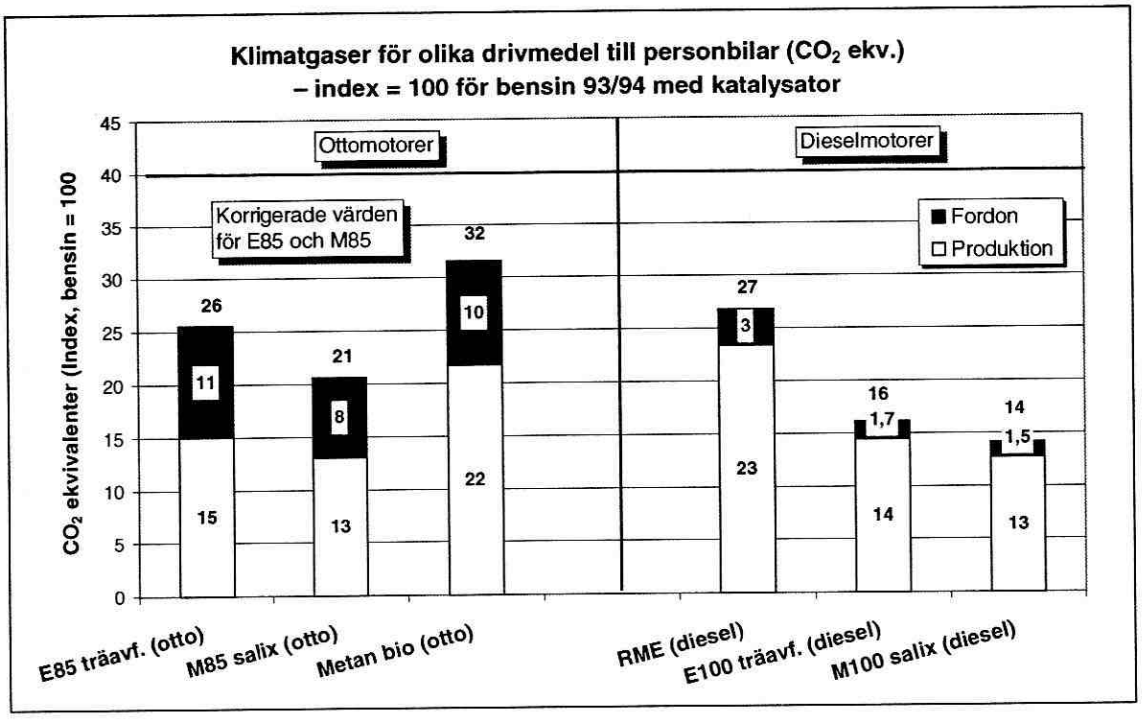


Figur 46: Utsläpp av klimatgaser för biodrivmedel

Utsläppen av klimatgaser från E85, M85 och biobaserad metan (biogas) är högst. När det gäller alkoholerna skall man dock notera att en del av emissionerna från fordonet härrör från den inblandade bensinen. Utan detta bidrag skulle emissionerna från fordonet bli lägre än från biogas (vilket visas nedan) som ju drabbas av de högre emissionerna av metan.

Emissionerna av klimatgaser från fordonet från alternativen med dieselmotorer är mycket låga och utsläppen av klimatgaser domineras helt av utsläppen i produktionsledet. Alkoholerna ger i detta fall väsentligt lägre emissioner än RME.

På samma sätt som för de försurande ämnena är också jämförelsen av klimatgaser mellan de biobaserade bränslena något haltande eftersom E85 och M85 ju innehåller en icke oväsentlig del fossil energi i form av bensin. Därför görs en korrektion liknande den som tidigare beskrivits även för klimatgaserna i **Figur 47**.



Figur 47: Korrigerade utsläpp av klimatgaser för biodrivmedel

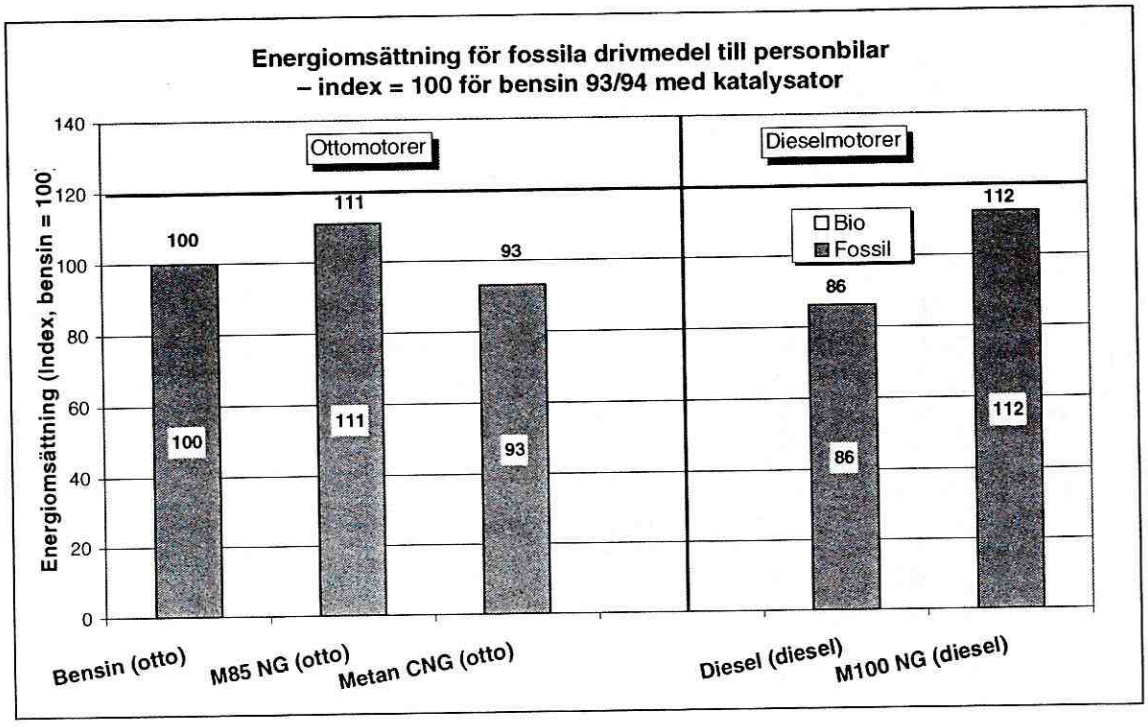
Som synes i **Figur 47** minskar emissionerna av klimatgaser från fordonet för E85 och M85 i jämförelse med resultaten i **Figur 46**. E85 och M85 ger i den korrigerade jämförelsen t ex något lägre utsläpp av klimatgaser än biogas. Utsläpp från övriga drivmedel i **Figur 47** är oförändrade i förhållande till resultaten i **Figur 46**.

5.3.6 Energiomsättning

När det gäller energiomsättningen är det viktigt att skilja på fossil och icke fossil energi. Vid drivmedelsframställningen av de icke fossila drivmedlen används ofta mer energi än vid framställningen av fossila drivmedel. Detta är fullt naturligt då råvaran till de fossila drivmedlen (råolja) är i en mycket mer lämplig form än råvaran för de icke fossila drivmedlen. Exempelvis är ju råolja flytande (nätt och jämt i och för sig) medan t ex träråvaran som används för etanoltillverkningen (i det fall som undersökts här) är bundet i fast form och dessutom i form av socker som måste spjälkas från molekylerna i cellulosan.

Undantag från regeln att biodrivmedel är mer komplicerade att framställa finns dock, som t ex RME, där en olja kan pressas fram direkt ur råvaran och där framställningen av slutprodukten egentligen är en mycket enkel process (omförestring). Som följd av ovanstående resonemang är det således viktigt att redovisa den fossila och den icke fossila energiomsättningen separat.

Figur 48 visar energiomsättningen för de prioriterade alternativen.

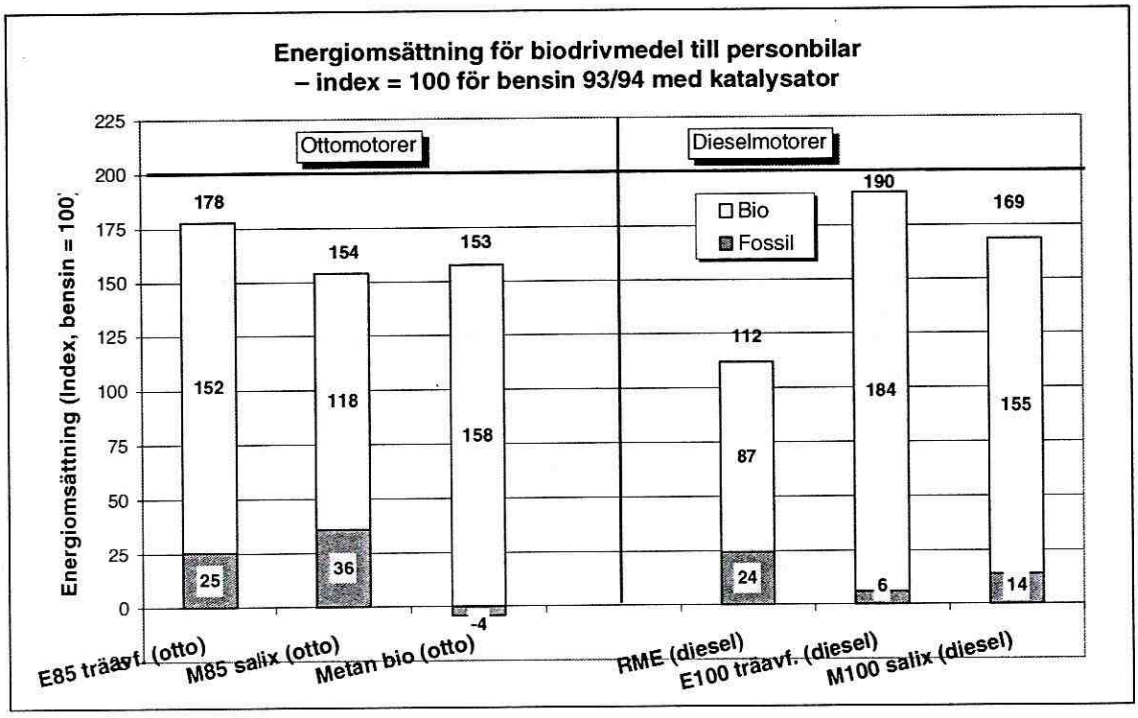


Figur 48: Energiomsättning för fossila drivmedel

I **Figur 48** framgår att energiomsättningen för metanolalternativen (M85 och M100) är högre än för alla andra alternativ vilket beror på att metanolframställningen är mer energikrävande än för övriga fossila drivmedel. Det kan vid första anblicken tyckas förvånande att energiomsättningen är marginellt lägre för M85 än för M100 trots att det senare bränslet används i en dieselmotor, vilken har högre verkningsgrad än en ottomotor. Förklaringen är att M85 är ett bränsle där även bensin ingår och förlusterna är lägre vid framställningen av bensin än för metanolframställningen. Ifall man använde M100 i en ottomotor (man kan ju rent hypotetiskt anta att detta vore möjligt) skulle energiomsättningen för detta alternativ bli ännu högre än för M100 i en dieselmotor.

Metan har en lägre energiomsättning än bensin, främst beroende på att energianvändningen vid utvinning av fossil naturgas och vid framställningen av metanbränslet är lägre än för bensin. Den lägsta energiomsättningen erhålls för dieselolja. I detta fall är energianvändningen lägre både i fordonet och vid framställningen av drivmedlet i jämförelse med bensin.

Figur 49 visar energiomsättningen för biodrivmedel. Notera att skalan inte är densamma som i tidigare diagram och att den också visar negativa värden.



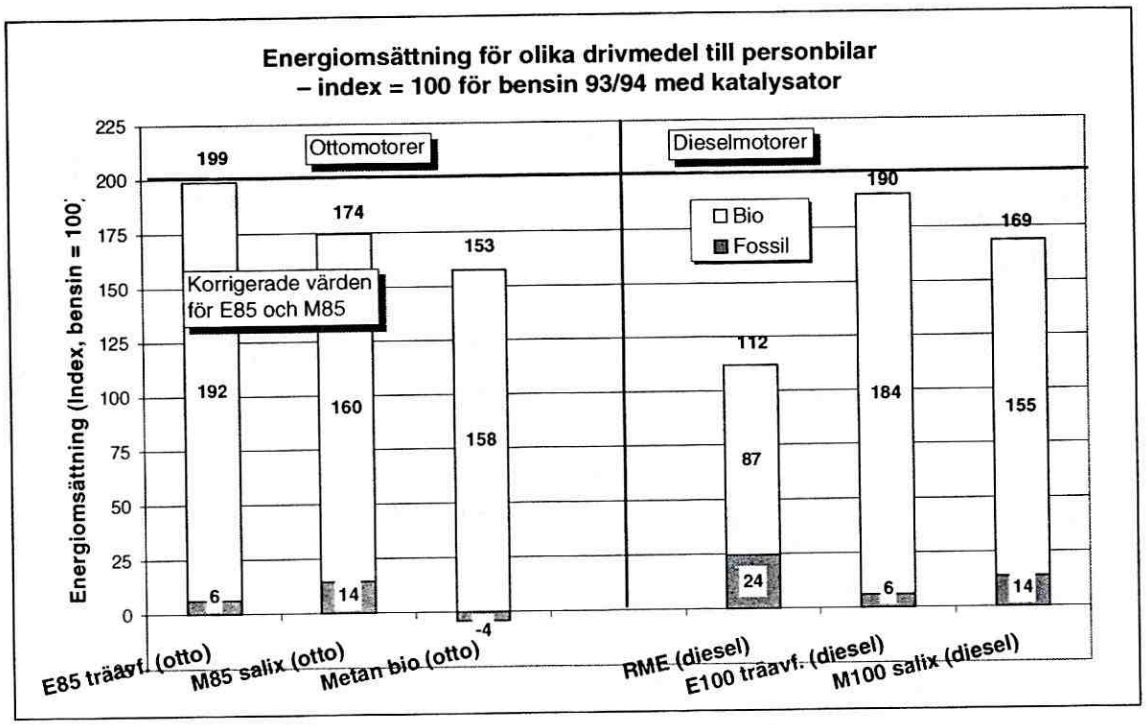
Figur 49: Energiomsättning för biodrivmedel

Resultaten i **Figur 49** visar att E100 är det biobaserade drivmedel som ger den högsta totala energiomsättningen, följt av E85 och M100. Liksom i fallet ovan är resultaten för E85 och M85 skenbart bättre i detta avseende på grund av inblandningen av bensin. Detta kräver i och för sig sin tribut i form av en högre energianvändning av fossil energi. En mer relevant jämförelse visas i **Figur 50** där en korrektion gjorts för detta.

I **Figur 50** har en korrektion av energiomsättningen för E85 och M85 gjorts på samma sätt som för klimatgaserna ovan.

Figur 50 visar att M85 ger en lägre total energiomsättning än E85, dels beroende på det högre utbytet vid framställningen av metanol och dels eftersom bensinandelen i energitermer är högre för M85 än för E85. Användningen av fossil energi i framställningen av metanol är högre än för etanol beroende på att den råvara (salix) som använts för metanolframställningen medför en ökad användning av fossil energi. Skulle jämförelsen göras för samma råvara som för etanol blir användningen av fossil energi för metanol något mindre beroende på det högre utbytet. Vidare är inblandningen av bensin (i energitermer) högre i M85 än i E85 vilket totalt sett ger en väsentligt högre användning av fossil energi för M85 än för E85. Man kan i och för sig diskutera relevansen av en jämförelse som denna mellan E85 och M85 då bränslena i energitermer ju innehåller olika andel bensin och där valet av inblandningshalt verkar mer slumpmässig än ett resultat av en omfattande optimering.

Metan ger en tämligen låg total energiomsättning och den är jämförbar med M85. Den fossila energiomsättningen är den lägsta av alla drivmedel och till och med negativ. Förklaringen till denna paradox är krediteringen för de biprodukter (gödsel och jordförbättrande ämnen) som produceras som biprodukt vid tillverkningen. I produktionsledet används dessutom i huvudsak icke fossil energi.



Figur 50: *Korrigerad energiomsättning för biodrivmedel*

RME ger den i särklass lägsta totala energiomsättningen av alla icke fossila drivmedel. Skillnaden mot bensin är endast 12 % och detta är en fördel för RME. Förklaringen är att framställningen av RME är enkel och kräver lite energi. Skillnaden kan dock vara skenbart stor då resultaten i Life of Fuels visar att en analys av kedjan för biprodukten presskaka (proteinfoder) och ej tagits med i hela omsättningen [10].

Användningen av fossil energi för RME är dock tämligen hög och den ligger i det okorrigerade fallet (**Figur 49**) på samma nivå som för E85 trots att inblandningen av bensin i E85 medför en nackdel för E85 i detta avseende. När de korrigerade värdena jämförs (**Figur 50**) ger RME den högsta användningen av fossil energi av alla icke fossila bränslen. Orsaken till denna förhållandevis höga användningen av fossil energi för RME är att en stor andel av den energi som används vid odlingen av raps är fossil energi (dieselolja).

6 RESULTAT FÖR EL OCH ELHYBRIDER

Ingen större genomgång görs här av de olika lösningarna för el- och elhybridsystem, utan det förutsätts att läsaren är införstådd med de flesta av begreppen. Eftersom denna rapport i huvudsak handlar om emissioner och deras effekter koncentreras det mesta av framställningen i detta kapitel på hybriderna. Ett par begrepp som det trots allt kan vara av intresse att förklara är serie- och parallellhybrider.

En seriehybrid är ett drivsystem där förbränningsmotorn (eller någon annan typ av energiomvandlare) och elmotorn som används för framdrivningen ligger i serie. Detta innebär i praktiken att förbränningsmotorn driver en generator som sedan, via ett batteri för mellanlagring av energin, driver elmotorn. En seriehybrid har således ingen mekanisk förbindelse (kraftöverföring) mellan förbränningsmotorn och drivhjulen.

En parallellhybrid karakteriseras av att det finns en mekanisk överföring (via växellåda) av kraften från förbränningsmotorn till drivhjulen. Ett tillskott kommer emellertid också från en elmotor som försörjs av energi från ett batteri (för mellanlagring av energin). Därmed kan kraftflödet sägas komma från två parallella håll, därav namnet parallellhybrid.

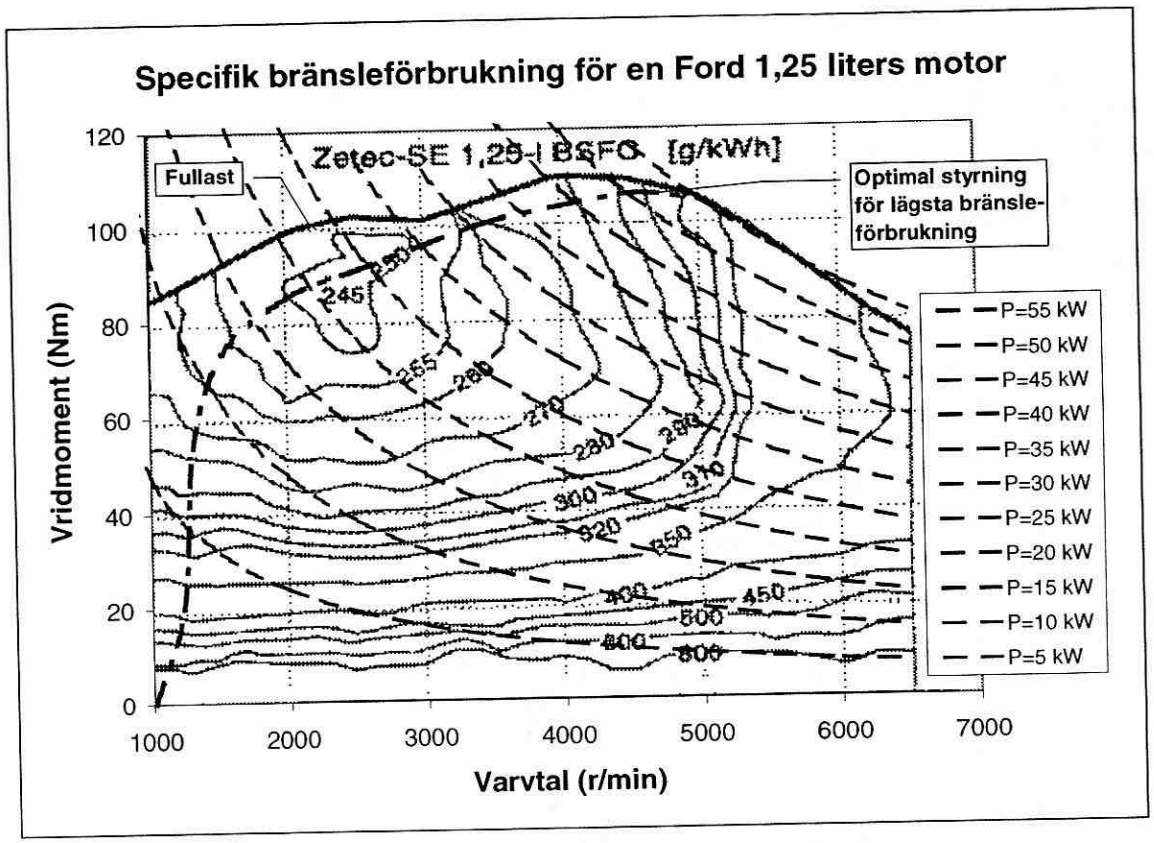
6.1 Potential till minskad bränsleförbrukning

6.1.1 Teoretisk bakgrund för potential till lägre bränsleförbrukning

Huvudsyftet med hybriddrift kan sägas vara att öka verkningsgraden genom att förbränningsmotorn får arbeta inom ett ur bränsleförbrukningssynpunkt gynnsamt område. Denna effekt kan illustreras genom att man visar ett tredimensionellt diagram över den specifika bränsleförbrukningen (i g/kWh) som funktion av varvtal och last[23]. Ett sådant diagram kallas ofta musseldiagram eftersom isolinjerna (för bränsleförbrukning i detta fall) bildas ringar som påminner om årsringarna för en mussla.

Ett exempel på ett musseldiagram för en 1,25 liters personbilsmotor från Ford visas i **Figur 51** [60]. Diagrammet har kompletterats av Ecotraffic med isolinjer för konstant effekt och en (ur bränsleförbrukningssynpunkt) optimal driftslinje.

[23] Ett diagram som visar verkningsgrad passar lika bra i detta sammanhang men i detta fall visas specifik bränsleförbrukning eftersom ett sådant diagram fanns tillgängligt.



Figur 51: Musseldiagram för bränsleförbrukning för en 1,25 liters bensinmotor [60], modifierat av Ecotraffic.

Man ser tydligt i **Figur 51** att bränsleförbrukningen längs linjerna för konstant effekt varierar påtagligt för olika motorvarvtal. I **Figur 51** har också en driftslinje för den mest gynnsamma bränsleförbrukningen ritats. Viss hänsyn har tagits till vibrationer och komfort genom att ett lägre varvtal än 1 200 r/min (den lodräta delen av linjen) inte tolererats annat än för låga laster. Det är i och för sig tveksamt om detta varvtal kan vara så lågt som 1 200 r/min av komfortskäl (vibrationer, buller mm). Det vore önskvärt (av bränsleförbrukningsskäl) att alltid följa den i figuren inlagda driftslinjen. Eftersom normal körning sällan kräver speciellt hög effekt innebär detta att man för den visade motorn som regel alltid skulle använda ett varvtalsintervall mellan 1 200 och 2 500 r/min. Av praktiska skäl kan man dock inte använda en så extrem utväxling (i slutväxeln eller i form av en 6:e eller 7:e växel) att man alltid kan utnyttja ett lågt varvtal för en bil med en motor av denna blygsamma storlek. Effektreserven vid ett sådant val av utväxling skulle vara nära noll och minsta lilla motlut skulle tvinga föraren till en nedväxling[24]. I praktiken kan man således inte uppnå den fulla potentialen till maximal verkningsgrad i förbränningsmotorn när man använder en mekanisk växellåda. En förare skulle helt enkelt inte acceptera en så frekvent användning av växellådan som en så extrem utväxling skulle innebära[25]. I tunga fordon är förhållandena annorlunda (högre vikt/effekt förhållande) och här används ofta ända upp till 16

[24] I detta sammanhang kan man erinra om att en del biltillverkare under slutet av 70-talet och i början av 80-talet faktiskt valde mycket extrema utväxlingar för att sänka förbrukningen men att detta också renderade stora klagomål från kunderna.

[25] Växlingsförloppet leder också till vissa förluster.

växlar. En automatisk växellåda kan utnyttja en något lägre utväxling[26] i slutväxeln men en automatlåda har emellertid en lägre verkningsgrad än en mekanisk växellåda så resultatet blir som regel en något högre – eller i bästa fall samma – förbrukning som för en mekanisk växellåda. Ett elektriskt drivsystem har samma – eller större – möjligheter som en automatlåda när det gäller potentialen att köra förbränningsmotorn i ett område med hög verkningsgrad men har dessutom en bättre reglerbarhet (snabbhet). Därför finns möjligheter att flytta motorns driftspunkt till ett ännu mer gynnsamt område.

En växellåda med steglöst variabelt utväxlingsförhållande (CVT, Continuously Variable Transmission) eller en seriehybrid kan teoretiskt följa kurvan i **Figur 51**. En parallellhybrid som kombineras med en steglös växellåda kan självfallet också åstadkomma samma sak medan en konventionell mekanisk växellåda inte har riktigt samma möjligheter (ändligt antal växlar). Förses den mekaniska växellådan med växlingsautomatik (á la Formel 1) kan skillnaderna i jämförelse med CVT växellådan minskas men samma komfort kan ej nås då växlingen inte är kontinuerlig. Växlingsautomatik av detta slag håller nu på att introduceras i större skala för personbilar. Ett exempel är den så kallade "3-liters bil[27]" som VW introducerat (VW Lupo 3L).

Förutom det faktum att man med en mekanisk växellåda inte kan använda en extrem utväxling i slutväxeln finns också ett problem genom att förbränningsmotorn är överdimensionerad för de flesta driftsfallen. Exempelvis måste man ju ta ut en effekt av 20 – 25 kW för att ligga inom den bästa verkningsgradsön i diagrammet. En så hög effekt ger i en liten bil en hastighet långt över det som är tillåtet i Sverige. I ett hybridsystem kan man däremot skala ned förbränningsmotorn och därmed närma sig det gynnsamma området. Även om verkningsgraden är något lägre för en mindre motor än för en stor motor kompenseras detta mer än väl av nedskalningseffekten.

Båda typerna av hybrider har möjlighet till s k *regenerativ bromsning*, vilket innebär att en betydande potential till minskad bränsleförbrukning vid stadskörning finns i jämförelse med ett konventionellt drivsystem. Sänkningen av bränsleförbrukningen vid landsvägskörning blir dock betydligt mindre än i stadstrafik eftersom det förekommer betydligt färre inbromsningar i denna typ av trafik. Tyvärr är förlusterna i mellanlagringen av energin i batteriet rätt stora (se nedan), vilket väsentligt minskar potentialen för den regenerativa bromsningen. Förlusterna i resten av eldrivsystemet är också betydande eftersom förlusterna så att säga uppkommer vid två tillfällen (vid lagring/inbromsning och vid uttag/acceleration).

Ett elektriskt drivsystem har en väsentligt lägre verkningsgrad än en konventionell mekanisk växellåda. En överföring av energin mellan två kugghjul (ett kuggingrepp) i en kuggväxel sker t ex med en verkningsgrad på ca 98 % vilket är en ouppnåelig verkningsgrad för ett eldrivsystem. Även om den maximala verkningsgraden för en bra elmotor i lämplig storlek kan vara så hög som 90 – 95 %, kan den aldrig konkurrera med en mekanisk växellåda i detta avseende. I ett eldrivsystem tillkommer också förlusterna i andra komponenter (generator, inverter, batteri mm). Den svagaste länken för eldrivsystemet är batterierna som har en verkningsgrad (ut/in) på högst 70 % i bästa fall och ofta betydligt lägre

[26] I detta fall används beteckningen "låg utväxling" för en utväxling som ger lägre motorvarvtal för en given hastighet. Matematiskt är detta helt korrekt. I populär litteratur har man tyvärr helt missuppfattat begreppen och använder begreppet att bilen är "högt växlad" eller "hög utväxling" som synonym för att bilens hastighet är högre för ett givet motorvarvtal.

[27] Med detta avses en bil med en bränsleförbrukning av 3 liter per 100 km.

(50 – 60 %) under varierande driftsförhållanden. I en situation där batterierna används mycket (som för en seriehybrid) kommer dessa förluster att vara betydande. Det är således inte förvånande att batterierna måste utrustas med ett kylsystem.

Totalt sett finns en betydande potential till en ökning av energieffektiviteten under förutsättning att verkningsgraderna för alla komponenter i drivsystemet är höga. Även här gäller ändå tesen att ingen kedja är starkare än sin svagaste länk vilket t ex leder till att en strategi för att minska förlusterna i batterierna är eftersträvansvärd.

6.1.2 Alternativa motorer och bränslen

De system som hittills beskrivits har i huvudsak baserats på användningen av konventionella kolvmotorer och för konventionella drivmedel. Ej heller har några radikala förändringar av dessa motorer diskuterats. För hybridsystem diskuteras ofta alternativa motorer (eller energiomvandlare) i stället för de konventionella kolvmotorerna. En bränslecell är också ett alternativ som kan användas i ett hybridsystem men som strängt taget inte är varken en förbränningsmotor eller en värmemotor. Eftersom de alternativa motorerna ännu inte är fullt utvecklade och ej heller kommersiella, är deras potential till lägre bränsleförbrukning och emissioner fortfarande något osäker. Vissa indikationer finns dock om hur stor potentialen är för några av dessa system. Eftersom det kommer att dröja lång tid (emot 10 år) innan någon alternativ förbränningsmotor (eller bränslecell) kan kommersialiseras bör man också jämföra denna tänkta motor (energiomvandlare) med vidareutvecklade kolvmotorer.

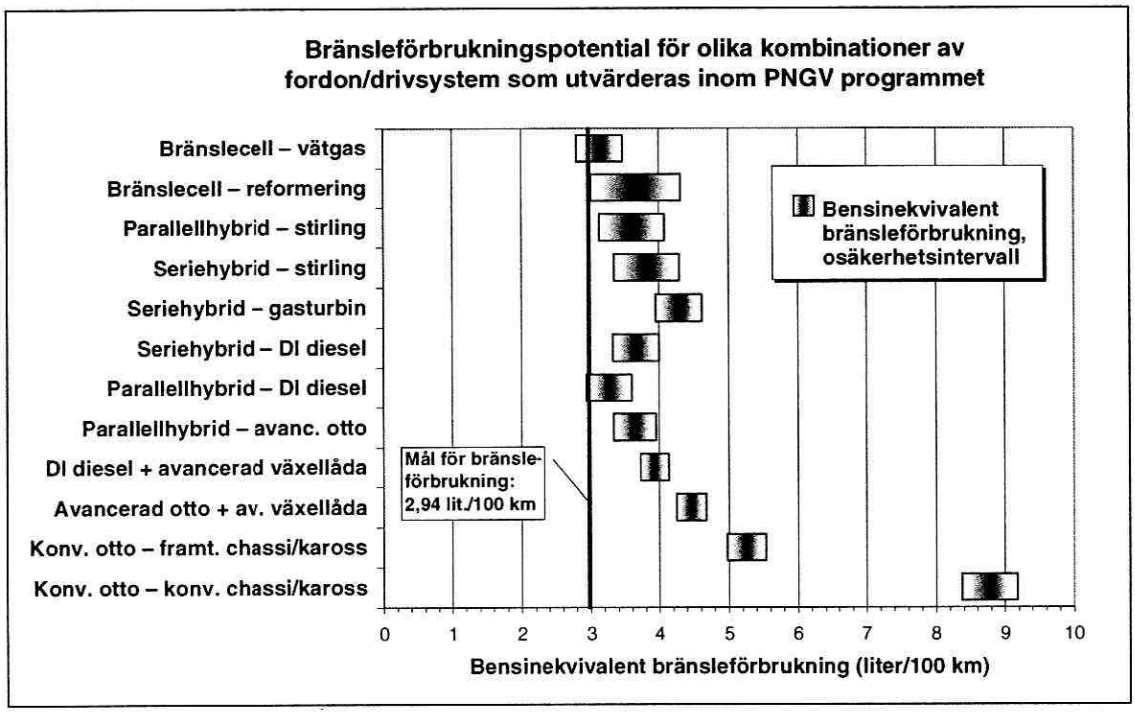
De flesta typer av förbränningsmotorer kan ofta även drivas med olika typer av alternativa drivmedel. Potentialen för de alternativa drivmedlen påverkas också av drivsystemet och är således inte nödvändigtvis densamma som för de konventionella drivsystemen. Både drivsystem och bränsle måste därför beaktas som en helhet. Som exempel på detta kan nämnas en ny reningsteknik för NO_X emissioner från alkoholer i en dieselmotor där katalysatorn fungerar bäst inom ett snävt temperaturområde. En möjlighet att åstadkomma detta är naturligtvis att använda motorn i ett hybridsystem där styrningen av motorn anpassas för att åstadkomma gynnsamma förhållanden för NO_X reduktionen. För bränsleförbrukningen kan dock som regel tesen användas att förbrukningen påverkas i ungefär samma grad av ett hybridsystem som när konventionella bränslen används.

6.1.3 Resultat från PNGV programmet

Inom det amerikanska PNGV[28] programmet har hybridsystemens potential till minskad bränsleförbrukning utvärderats. Programmet syftar till att minska bränsleförbrukningen till 3 liter/100 km (egentligen 80 miles/gallon) för ett fordon av en storlek motsvarande en normalstor amerikansk personbil (typ Ford Taurus), vilket är en betydligt större biltyp än de europeiska bilar med samma bränsleförbrukning nyligen har kommersialiserats (VW Lupo 3L). Andra högt ställda krav finns för emissioner, säkerhet, prestanda, komfort, kostnader mm. Programmet är tioårigt och startade 1994. Huvudmålet är att år 2004 kunna presentera produktionsklara prototyper som klarar de högt ställda kraven. I en nyligen publicerad utvärdering av programmet har en uppskattning av potentialen till minskad bränsleförbrukning för de olika tänkbara drivsystemen gjorts [63]. En (av Ecotraffic) bearbetad sammanställning av resultaten visas i **Figur 52**. Varje stapel i figuren representerar ett osä-

[28] PNGV: Partnership for a New Generation of Vehicles.

kerhetsintervall. Linjen strax under 3 l/100 km representerar utvecklingsmålet för bränsleförbrukningen (i bensinekvivalenter).



Figur 52: Bränsleförbrukningspotential för olika drivsystem

Det man först kan konstatera i **Figur 52** är att den pågående utvecklingen av chassi och kaross i syfte att minska *framdrivningsmotståndet* ger det största bidraget till sänkningen av bränsleförbrukningen. Målen för utveckling av chassi/kaross är nämligen mycket höga. Ur figuren kan vidare utläsas att inget av de konventionella drivsystemen (dvs icke hybrider) anses ha potential att klara målet för bränsleförbrukning ens i den nya avancerade bilen. En dieselhybrid (av parallelltyp) samt de två varianterna av bränsleceller är de enda drivsystem som tangerar målet för bränsleförbrukningen. Man kan notera att en bränslecell med reformering strängt taget också skall betraktas som ett hybridsystem eftersom elenergin kan tas både från batterierna och från bränslecellen. Det enda möjliga hybridalternativet för en bränslecell är för övrigt ett seriehybridsystem eftersom bränslecellen genererar el men inget mekaniskt arbete.

Det kan synas något förvånande att bränslecellerna trots allt inte bedöms ha en större potential än den som visas i figuren. Ofta brukar ju verkningsgrader på upp till 70 % för bränsleceller citeras, vilket skulle innebära en fantastisk förbättring i jämförelse med förbränningsmotorer (30 – 45 %). Sanningen är nog den att även om den maximala verkningsgraden för själva bränslecellen (eng.: FC stack) är mycket hög, kommer de nödvändiga hjälpsystemen att medföra stora förluster, vilket betydligt sänker verkningsgraden för hela drivsystemet. Det är ju den totala verkningsgraden som är av intresse. I det fall man använder vätgas tillkommer också stora förluster i bränsleframställningen i jämförelse med framställningen av konventionella bränslen som bensin och dieselolja. Ifall man använder en reformering kan mer lätthanterliga bränslen som alkoholer (metanol och etanol) användas, men även här är förlusterna vid framställningen större än för de konventionella fossila

drivmedlen. Det pågår också utveckling för att kunna använda bränslen som naturgas, bensin och flygfotogen (möjligen också dieselolja) i bränsleceller. Vår bedömning är dock att de tekniska svårigheterna vid denna reformering är betydande i jämförelse med metanol som är det enklaste bränslet att reformera. Därtill kommer det faktum att de höga temperaturer som krävs vid reformeringen också innebär ökade förluster (samt en mindre mängd avgaser, dvs fordonet har ej längre nollemissioner).

När PNGV programmet drogs igång 1994 satsades en hel del resurser på att utveckla även alternativa motorer som stirlingmotorer och gasturbiner. Dessa insatser har nu prioriterats ned väsentligt. Det finns två orsaker till detta. Den första är att det finns betydande tekniska problem med motorerna (exotiska material som keramer mm) som medför stora svårigheter att klara tidsplanen. Den andra orsaken är att potentialen till minskning av bränsleförbrukningen visat sig vara mindre än för bränsleceller och dieselmotorer.

Användningen av en avancerad ottomotor (parallellhybrid, av. otto i figuren) har varit ett alternativ som också utvärderats inom PNGV programmet. Med "avancerad" avses i detta fall en motor med direktinsprutning av bensin som torde ha vissa likheter med Mitsubishis GDI motor. Till att börja med konstaterade man att den avancerade ottomotorn inte skulle ha någon möjlighet att klara bränsleförbrukningsmålet och därför bestämdes att man bara skulle *följa* utvecklingen på området och endast göra mycket begränsade egna insatser. De framgångar och den beslutsamhet som bl a Mitsubishi visat har dock medfört att man något ökat insatserna för detta alternativ. Dels kan en sådan motor vara av intresse på kort sikt i ett konventionellt drivsystem och dels kan det också hända att målsättningen för bränsleförbrukningen kommer att sänkas vilket skulle innebära att det finns möjligheter för denna motor att uppfylla de nya målen.

Det mest konkreta som hittills visats upp i form av prototypfordon är att alla de tre stora tillverkarna (Chrysler, Ford och GM) visat upp körbara prototyper med parallellhybrider drivna av dieselmotorer. Fordon utrustade med bränsleceller har av förståeliga skäl inte nått lika långt i utvecklingen men även här finns prototyper. Vad gäller dieselmotorerna är det största problemet att klara av de högt ställda målen för emissionerna. Exempelvis har kraven för partikelemissioner satts till 0,01 g/mile (0,0062 g/km), vilket måste anses som en *mycket* låg nivå för denna typ av motor. I det sammanhanget kan man t ex jämföra PNGV kravet med dagens krav i Europa som för personbilar ligger på 0,08 g/km (0,10 för DI motorer) och kommande krav för år 2 000 och 2 005 på 0,05 respektive 0,025 g/kWh. Onekligen är en minskning av partikelemissionerna med en tiopotens i jämförelse med dagens dieselbilar en påtaglig utmaning. Kraven i PNGV programmet motsvarar f ö ungefär partikelnivån för en ny katalysatorrenad bensindriven ottomotor. Nivån för dessa bilar har hittills ansetts så låg att kraven för partiklar inte omfattar bilar med denna typ av motor.

Ett annat rent praktiskt problem inom PNGV programmet är att de amerikanska biltillverkarna inte utvecklat och tillverkat små dieselmotorer sedan mitten av 80-talet och således återigen måste tillägna sig tekniken från grunden. Vad gäller de konventionella drivmedlen som bensin och dieselolja måste dessa också förbättras för att man skall klara emissionsmålsättningen. Exempelvis måste svavelhalten i bensin sänkas för att den speciella typ av katalysatorer som krävs för de direktinsprutade motorerna skall kunna användas. Längst verkar diskussionerna ha kommit för dieselolja som enligt beskrivningen ovan också är ett av de högst prioriterade drivmedlen. Här har ett intimt samarbete mellan biltillverkarna och

oljebolagen initierats i syfte att utveckla både motor och drivmedel simultant. Förutom nya syntetiska[29] och reformulerade flytande dieselbränslen har också DME nämnts.

6.1.4 Inverkan av hybridsystem för konventionella motorer

En kort genomgång av potentialen till sänkning av bränsleförbrukningen för de olika varianterna av kolvmotorer kan vara av intresse. Eftersom de olika motorernas verkningsgrad varierar som funktion av varvtal och belastning (se musseldiagrammet i **Figur 51**) kommer potentialen inte att vara densamma för alla systemen. Nedan visas en lista med en rankning av den relativa förbättringen vid användning av ett hybridsystem. Observera att det inte är fråga om *absoluta* skillnader utan endast om *relativa* förbättringar. Ej heller tas någon ställning till vilken typ av hybridsystem som är det bästa för varje motortyp (serie eller parallell) utan rankningen baseras helt på förutsättningarna för respektive motortyp.

1. Konventionell ottomotor med TWC rening
2. Dieselmotor (direktinsprutad)
3. Avancerad ottomotor med direktinsprutning (stökiometrisk, EGR och TWC)
4. Avancerad ottomotor med direktinsprutning (lean-burn, EGR och deNO_X)

Den konventionella ottomotorns stora akilleshäl är att den är kvantitetsreglerad, dvs. man reglerar tillförseln av bränsle-luft blandningen med ett gasspjäll[30]. Därigenom kommer pumpförlusterna att bli betydande vid dellast. Vid fullast är dessa förluster minst eftersom gasspjället då är öppet. En jämförelse mellan en ottomotor och en DI[31] dieselmotor visar att den relativa skillnaden i energianvändning är ca 17 % lägre för den senare vid fullast (beräknat som förhållandet mellan verkningsgrader på 41 resp. 34 %) i den bästa driftspunkten (högsta verkningsgraden) i musseldiagrammet i båda fallen. Genom att pumpförlusterna ökar för ottomotorn vid låglast är det ej förvånande att skillnaden mellan motortyperna kan öka till en faktor två eller mer vid låga laster. I en körcykel ger typiska medelverkningsgrader som 14 respektive 18 % en *relativ* skillnad mellan alternativen på 20 %. Av ovanstående resonemang synes det vara uppenbart att den *relativa* förbättringen vid övergång till ett hybridsystem bör vara större för en bensinmotor. Det kommer däremot fortfarande att finnas en *absolut* skillnad kvar till dieselmotorns fördel (mindre än 20 % men större än 17 %) – om jämförelsen görs för ett hybridsystem utan regenerativ bromsning. Tar man hänsyn till att en regenerativ bromsning sannolikt kommer att användas i båda fallen minskar den *absoluta* energianvändningen för båda motortyperna i ungefär samma grad. Därmed kommer den *relativa* skillnaden att öka något (rent matematiskt) jämfört med fallet utan regenerativ bromsning.

För de avancerade ottomotorerna har målsättningen varit att minska bränsleförbrukningen vid dellast genom att minska eller helt eliminera pumpförlusterna (undvika trottling) vid dellast. Genom att de direktinsprutade ottomotorerna körs med stökiometrisk blandning (λ=1) vid fullast precis som en konventionell ottomotor, kommer verkningsgraden vid fullast att förbli densamma eller förbättras endast i mycket ringa omfattning. Två huvudtyper

---

[29] Med syntetiska bränslen avses i detta fall dieselbränsle som tillverkats från naturgas med hjälp av den s k Fischer-Tropsch processen.

[30] Bränsle-luft förhållandet är konstant stökiometriskt eller nära nog stökiometriskt.

[31] Jämförelsen görs här mellan en direktinsprutad dieselmotor med turbo eftersom denna teknologi har ca 50 % av marknaden i dag kommer att bli förhärskande för dieselmotorer i framtiden. En jämförelse med det sämsta dieselalternativet, en IDI motor utan turbo skulle vara betydligt mer fördelaktig för bensinmotorn.

av förbränningssystem för direktinsprutning verkar ha utkristalliserats. Den första typen, som redan har kommersialiserats av Mitsubishi och Toyota (endast i Japan i Toyotas fall), använder en kombination av luftöverskott (lean-burn) och EGR. Genom denna metod kan pumpförlusterna nära nog elimineras på låglast. Den andra varianten använder enbart EGR och kommer nu att kommersialiseras av Renault. Trots att direktinsprutningen väsentligt ökar EGR-tåligheten jämfört med en konventionell ottomotor kan inte pumpförlusterna helt undvikas, då motorn ändå inte tål så mycket EGR att en trottling skulle kunna elimineras. Den direktinsprutade bensinmotorn har potential till att, i ett litet område vid låg belastning, nästan nå samma verkningsgrad som en dieselmotor med den andra varianten av systemet (4). Den första varianten av systemet (3) når inte en riktigt lika låg bränsleförbrukning som den andra varianten. Eftersom avsikten med hybridsystem är att öka belastningen kommer bränsleförbrukningen att ske en större andel av tiden inom ett sådant område där skillnaderna i jämförelse med den konventionella ottomotorn blir mindre. Potentialen till en *relativ* förbättring blir således *mindre* för de direktinsprutade motorerna än för en konventionell ottomotor och sannolikt också mindre än för en dieselmotor. Ett annat övervägande man kan göra är direktinsprutade ottomotorer torde passa att parallellhybridsystem bättre än seriehybridsystem då belastningen inte förskjuts lika mycket mot högre laster i det förra fallet.

Görs jämförelsen mellan motortyperna utifrån skillnaderna i bränsleförbrukning när det gäller den *absoluta* bränsleförbrukningen kommer man att få följande rankning mellan alternativen:

1. Dieselmotor (direktinsprutad)
2. Avancerad ottomotor med direktinsprutning (lean-burn, EGR och deNO$_X$)
3. Avancerad ottomotor med direktinsprutning (stökiometrisk, EGR och TWC)
4. Konventionell ottomotor med TWC rening

6.1.5 Serie eller parallell?

Det är intressant att notera att fokuseringen när PNGV programmet startade 1994 var störst på seriehybrider men att man nu verkar prioritera parallellhybriderna högst i stället. Höga kostnader samt en mindre potential till sänkt bränsleförbrukning för seriehybriderna än vad man först antagit kan vara skäl till denna förändring av strategin. De tre hybridsystem som nu håller på att kommersialiseras (Toyota, Honda och Audi) är alla parallellhybrider även om systemen är mycket olika till sin karaktär och uppbyggnad. I vissa fall är faktiskt klassificeringen diskutabel och skulle kanske kunna anses som ett mellanting mellan de båda typerna men vi har valt att betrakta alla de ovannämnda systemen som parallellhybrider. Vidare är de tre prototyper som presenterats inom PNGV programmet alla av parallelltyp (mer renodlade än t ex Toyota). Andra signaler från europeiska tillverkare tyder också på att detta system verkar bli det mest populära på kort sikt.

Det bör också framhållas att hybridsystem ger väsentligt fler frihetsgrader i uppbyggnaden av drivsystemet än man tidigare haft med de kommersiella drivsystemen. I vissa fall kan man inte ens säkert kategorisera vilken typ det är fråga om. Sannolikt är alltså att ett flertal olika varianter kommer att användas inom en överskådlig tid innan det bästa systemet (i form av en kompromiss utifrån en mängd olika kriterier) utkristalliseras.

Det som starkt talar för ett parallellhybridsystem – åtminstone på kort sikt – är dess enkelhet. I många fall kan den normala motorn behållas (möjligen nedskalad) samtidigt som en

konventionell växellåda kan användas om man så önskar. En kombinerad elmotor och generator kan integreras i svänghjulet och tar därmed varken mer plats i anspråk eller ökar vikten i förhållande till ett vanligt svänghjul. Även om kraftelektronik mm tillkommer kommer viktökningen att hålla sig inom rimliga proportioner. Av kommersiella skäl är det också viktigt att både ett parallellhybridsystem och ett konventionellt drivsystem kan produceras med många gemensamma komponenter och i befintliga produktionsanläggningar (lätt modifierade). Förändringarna av chassi mm kommer också att vara blygsamma. Parallellhybriden kommer bara att vara en produkt till bland alla andra alternativ. En seriehybrid kräver väsentligt mer förändringar i konstruktionen av drivsystemet (och fordonet i vissa fall) och produktionen.

Sammanfattningsvis kan sägas att potentialen till minskad bränsleförbrukning med hybridsystem är stor samtidigt som ett elektriskt drivsystem är mer eller mindre en nödvändighet vid användning av bränsleceller. Man kan visserligen tänka sig att använda vätgas för att driva bränslecellen och då bortfaller behovet av ett batteri som buffert (såvida batteriet inte behövs för att kompensera effektbortfallet vid start). Ett sådant system är definitionsmässigt inget hybridsystem även om drivsystemet är elektriskt[32]. På grund av de svåra infrastrukturella problemen med hantering av vätgas är detta alternativ enligt vår mening inte realistiskt i någon större skala för lätta fordon under överskådlig framtid. För lokala flottor kan dock situationen vara en annan men då blir det också fråga om en nischlösning. Eftersom bränsleceller (liksom gasturbiner) kräver ett seriehybridsystem kan de parallellhybridsystem som nu håller på att kommersialiseras inte direkt användas till bränsleceller.

6.1.6 Batteriutveckling

I USA har en avancerad batteriutveckling (USABC[33]) initierats främst med tanke på kraven på andelen elbilar i Kalifornien. FoU-konsortiet USABC har inordnats under PNGV programmet. I och med fokuseringen på elhybrider inom PNGV programmet har mer och mer av insatserna inom USABC glidit över till att försöka uppfylla kraven för elhybrider. Det viktigaste kravet för hybridsystemen är en hög specifik effekt (W/kg och W/l). Här har också betydligt större framsteg nåtts än vad gäller lagringsförmågan (kWh/kg och kWh/l). Två intressanta alternativ som undersökts är superkondensatorer och s k svänghjulsbatterier (energilagring i svänghjul). Båda har en potential till höga effekttätheter (>1000 W/kg). Trots vissa framsteg har insatserna inom detta område prioriterats ned eftersom man anser att flera av målen inte kan nås inom PNGV programmets tidsram. Stora framsteg har dessutom gjorts för de kemiska batterierna. Tidigare ansågs en effekttäthet på 100 W/kg som ett bra värde för ett blybatteri. Nu verkar det vara fullt möjligt att nå effekttätheter på över 500 W/kg och t o m 1000 W/kg är ingen omöjlighet. I det senare fallet skulle ett effektbehov på 50 kW för ett hybridsystem kunna klaras med ett batteri med en vikt av endast 50 kg. Det är väsentligt mindre än de stora batterier för seriehybridsystem med vikter på upp till 300 kg som diskuterades för några år sedan. För de typer av parallellhybridsystem där effektbehovet är väsentligt lägre (så kallade "milda" hybrider enligt DaimlerChryslers definition) kan den ovan indikerade låga vikten kanske halveras ytterligare en gång. Därmed skulle viktökningen för ett parallellhybridsystem i jämförelse med ett konventionellt drivsystem kunna bli mycket ringa.

---

[32] Jämför med t ex lokomotiv där dieselmotorn är drivkällan men där kraftöverföringen ofta sker elektriskt via generator (på dieselmotorn) och elmotorer vid drivhjulen. Ett sådant drivsystem kallas dieselelektriskt.
[33] US Advanced Battery Consortium

6.1.7 Mercedes seriehybrid

Mercedes redovisar i en nyligen publicerad SAE rapport emissions och bränsleförbrukningsdata för en prototypbil med ett seriehybridsystem [62]. Data finns endast för FTP-75 körcykeln, dvs samma cykel som användes i den tidigare normen som Konsumentverket tillämpat (före 1997) för stadskörning. Resultaten visas i **Tabell 9**.

Tabell 9: *Jämförelse mellan en seriehybrid och ett konventionellt drivsystem (källa: Mercedes [62]).*

	Bränsleförbrukning i FTP-75		
Egenskap	**1,8 l C-klass produktion**	**Seriehybrid emissionsopt.**	**Seriehybrid opt. för förbrukning**
Acceleration 0-100 km/h (s)	12,0	14	14
Maxhastighet (km/h)	193	>150	>150
Emissionsnivå i FTP-75	TLEV[a]	EZEV[b]	-
Bränsleförbrukning (l/100 km)	9,0	8,8	8,0
Fordonsvikt (kg)	1 350	1 758	1 758

Anmärkningar

[a] TLEV nivån finns kommersiell med 2,3 liters motor men torde också vara möjlig även med 1,8 liters motor.

[b] I bestämmelserna för EZEV emissionerna inkluderas även utsläpp i distribution och tankning. De emissioner som Mercedes redovisar härrör bara från fordonet och övriga emissioner inkluderas således inte.

Liksom tidigare indikerats blir sänkningen av bränsleförbrukningen med ett seriehybridsystem rätt blygsam. Förbrukningen för bilen med det konventionella drivsystemet låg på 9,0 liter/100 km och med seriehybriden kunde 8,8 respektive 8,0 liter/100 km nås med en optimering av drivsystemets styrning för emissioner i det första fallet och för bränsleförbrukning i det andra fallet. De sänkningar av bränsleförbrukningen som åstadkommits måste anses som relativt blygsamma. En bidragande orsak till den relativt höga förbrukningen med hybridsystemet torde vara den höga vikten för bilen. Vikten har ökat från 1 350 kg för det konventionella drivsystemet till 1 758 kg för seriehybriden. Trots att medelverkningsgraden ökar för drivsystemet äts den vinsten mer eller mindre upp av den ökade vikten. Man bör dock framhålla att Mercedes hybridsystem är en prototyp som inte är färdigutvecklad och därmed har det kanske inte heller nått den fulla potentialen för ett sådant drivsystem. Vidare är de förändringar som gjorts på bilens chassi ganska små och man kan förvänta sig att en optimering även här hade medfört en förbättring. Däremot är de batterier Mercedes använt av den mest avancerade typen som beskrivits ovan och har således en effekttäthet på över 1 000 W/kg. Effektbehovet för batteriet är 55 kW. Trots dessa förnämliga batterier är viktökningen i förhållande till det konventionella drivsystemet betydande.

6.1.8 Toyota Prius, parallellhybrid

Ett annat intressant exempel att studera är Toyotas hybridbil Prius. Toyota har aviserat att Prius, som började säljas i Japan i december 1997, inte kommer att säljas i Europa med

Europaspecifikation före 1999 (mitten av år 2000 verkar vara det senaste budet). Enstaka demobilar har i och för sig funnits tillgängliga sedan senare delen av 1998. Produktionstakten har aviserats till 1 000 bilar per månad. Till skillnad från exemplet från Mercedes ovan är det alltså fråga om en kommersiell bil som redan finns i en begränsad serieproduktion. Vikten för Toyota Prius är 1 240 kg vilket torde vara i storleksordningen 100 – 150 kg mer än för en bil med ett konventionellt drivsystem. Skillnaden i vikt är dock väsentligt mindre än för den Mercedes prototyp som redovisades ovan.

De bränsleförbrukningssiffror som Toyota redovisar är på 3,6 liter/100 km i den Japanska 10 – 15 körcykeln, vilket måste anses som anmärkningsvärt lågt vid beaktande att denna körcykel är en renodlad stadskörcykel. Vid landsvägskörning torde dock differensen till en bil med konventionellt drivsystem minska. Några uppgifter om bränsleförbrukning enligt den europeiska mätmetoden har enligt vår vetskap ännu inte publicerats för denna bil. En undersökning enligt den amerikanska mätmetoden har däremot nyligen publicerats i en rapport från amerikanska EPA [64]. En omräkning av bränsleförbrukningen till SI enheter har gjorts av Ecotraffic.

***Tabell 10**: Bränsleförbrukning för Toyota Prius och några andra bilar med låg bränsleförbrukning*

Bil	**Storlek**	**Sväng-massa**	**Bränsle**	**Bränsleförbr (l/100 km)**	**Växellåda**
Suzuki Metro	Sub-compact	964	Bensin	4,32	M5
VW New Beetle	Sub-compact	1 418	Diesel	4,56	M5
VW Passat	Mid-size	1 531	Diesel	4,58	M5
VW Jetta	Compact	1 418	Diesel	4,62	M5
Toyota Corolla	Compact	1 247	Bensin	6,44	M5
Toyota Prius	***Sub-compact***	***1 361***	***Bensin***	***4,84***	***AT (THS)[a]***

Anmärkning:

[a] Automatlåda (AT) i egentlig mening saknas men funktionen av hybridsystemet (THS, Toyota Hybrid System) är jämförbar med en automatlåda.

Som synes i **Tabell 10** är bränsleförbrukningen för Toyota Prius låg och betydligt lägre än för en Toyota Corolla. Man skall dock notera att Prius är en mycket liten bil (sub-compact) och den något mindre Suzuki Metro (inom samma storleksklass) faktiskt har en något lägre bränsleförbrukning. Bränsleförbrukningen för de dieseldrivna bilarna är också lägre trots att två av dessa bilar (Passat och Jetta) är betydligt större än Prius. Den förbrukning på 28 km/liter (3,57 l/100 km) som anges av Toyota enligt den japanska 10 – 15 körcykeln är mycket lägre än den ovan uppmätta. Toyotas siffra har ofta figurerat i både svensk och internationell press. Sannolikt har dessa uppgifter i Europa uppfattats som en siffra enligt den europeiska körcykeln och i USA enligt den amerikanska körcykeln. Toyota kan knappast ha varit omedvetna om att resultaten kan misstolkas på detta sätt. Även om resultaten för bränsleförbrukningen enligt den amerikanska körcykeln för Toyota Prius är mycket låga blir emellertid inte resultaten fullt så anmärkningsvärda som de siffror som figurerat i pressen.

En viktig aspekt att beakta vid jämförelserna av bränsleförbrukningen är dock att Toyotas hybridsystem ger samma komfort som en automatlåda och därför borde jämförelserna göras med denna typ av växellådor för de konventionella bilarna. En sådan jämförelse skulle utfalla mer positivt för Toyota Prius än den av EPA utförda jämförelsen.

6.2 Inverkan på emissioner

6.2.1 Teoretisk bakgrund för potential till lägre emissioner

Eftersom hybridsystem i dag inte är kommersiella kan en noggrann värdering av potentialen till minskade emissioner inte göras. I avsnitt 6.2.2 redovisas dock några resultat från litteraturen som delvis indikerar potentialen. Frågan är om det finns några fundamentala faktorer som påverkar emissionsbilden till fördel eller nackdel för hybridsystemen.

Både med serie- och parallellhybrider finns möjligheter att helt eller delvis frikoppla motorn från körcykelns dynamik. Eftersom regleringen för ottomotorer (oavsett bränsle) som använder så kallad trevägskatalysator (TWC) är mycket känslig för transienter kan man dra slutsatsen att en stationär drift innebär vissa fördelar. Nya system för reduktion av NO_X för dieselmotorer (drivna med dieselolja eller andra drivmedel), s k deNO_X katalysatorer, kan också ha vissa fördelar av en minskning av transienterna. Likaså finns andra reglersystem som t ex EGR, där regleringen (för båda dieselolja och bensin) väsentligt förenklas vid stationär drift. Allra störst vore effekten av minskade transienter för en förbränningsmotor som körs helt stationärt. Ett sådant exempel är en så kallad "range extender", dvs i grunden en elbil som försetts med en mycket liten förbränningsmotor avsedd för underhållsladdning av batterierna. Nu visar det sig emellertid att transienterna för en förbränningsmotor i ett hybridsystem inte nödvändigtvis behöver vara mer fördelaktiga än för en motor i ett konventionellt drivsystem. Eftersom regleringen sker på ett sätt som ej kontrolleras enbart av föraren finns risk för att transienterna i form av ökning och minskning av *belastningen* faktiskt kan bli väsentligt högre i vissa fall än för en motor i ett konventionellt drivsystem. Som bekant är en förares behandling av gaspedalen inte speciellt snabb i normal trafik vilket ger ganska blygsamma belastningstransienter i de flesta fall. I ett hybridsystem, där motor regleras fritt, finns inte dessa begränsningar utan transienterna kan bli mycket snabba. Notera t ex att den optimala linjen i **Figur 51** har nära konstant varvtal inom ett effektområde där det mesta av normal körning ligger (20 – 25 % belastning) i de körcykler som används vid certifiering. Belastningstransienterna kan (om så önskas) göras mycket snabba inom detta område för ett hybridsystem. Detta gäller speciellt om optimeringen görs enbart för att nå en låg bränsleförbrukning. Man kan som synes tänka sig två extremfall av optimering, nämligen en optimering för låg förbrukning eller en optimering för låga emissioner. Det är således ej helt säkerställt att inverkan av denna parameter (transienter) med säkerhet är en fördel för hybridsystemen ur emissionssynpunkt.

Som tidigare nämnts kan motorstorleken minskas för förbränningsmotorer i ett hybridsystem. Detta innebär att medelbelastningen kan ökas med högre medelverkningsgrad i förbränningsmotorn som följd. Samtidigt innebär detta att avgastemperaturen höjs vilket sannolikt innebär en ökad omsättning i katalysatorn (räknat som medelvärde för en körcykel) under förutsättning att katalysatorn dimensionerats för detta. Den största fördelen av nedskalningen för en motor med TWC är sannolikt dock att uppvärmningen av motor och reningssystem går snabbare vilket resulterar i lägre emissioner under startfasen. För en motor av dieseltyp kan emellertid ökningen av avgastemperaturen vara mycket betydelsefull ef-

tersom det visat sig att avgastemperaturen som regel är så låg att katalysatorn inte har någon aktivitet alls under långa driftsperioder. Ett exempel är att omsättningen under hela perioden av stadskörning (de första 4 kilometrarna) i den europeiska körcykeln (totalt 11 km) för lätta fordon som regel är obetydlig. Detta innebär att omsättningen (av HC och CO) i katalysatorn för hela körcykeln ofta blir lägre än 50 %. Med ett hybridsystem finns således möjligheter att väsentligt öka omsättningen i katalysatorn.

En nackdel med en ökad medelbelastning för förbränningsmotorer är att detta som regel ger högre NO_X emissioner från motorn (före katalysator). Detta gäller för både otto- och dieselmotorer. För ottomotorerna beror ökningen på att NO_X bildningen är högre[34] (ökad temperatur) och att EGR (i de fall motorn har detta system) normalt inte används vid högre laster. När det gäller dieselmotorer är det i huvudsak effekten av minskade EGR mängder som behöver beaktas. För båda motortyperna finns alltså ett behov av att kunna öka EGR mängderna vid höga laster för att minska NO_X emissionerna om motorerna skall användas i hybridsystem eller med CVT växellådor där systemen i båda fallen är optimerade för lägsta bränsleförbrukning. Problemet med de ökade NO_X emissionerna har också uppmärksammats och rapporterats av bl a Osses m fl [61].

Elektriskt förvärmda katalysatorer har utvecklats för att minska emissionerna från ottomotorer under kallstart. Även om kommersialiseringen av sådana system knappt börjat än (BMW:s V12:a är dock ett exempel) är det uppenbart att ett elhybridsystem ger vissa fördelar i detta avseende. Det är nämligen så att även om elförbrukningen kunnat sänkas drastiskt för dessa system (en tiopotens på drygt 5 år), så behöver man ofta öka batteriets storlek för att kunna tillgodose elbehovet för katalysatorn. Detta gäller speciellt under kallstart vid låg temperatur. Nuvarande styrstrategier verkar tyvärr vara inriktade på att *stänga av* funktionen vid låga temperaturer för att kunna klara elförsörjningen och för att inte överbelasta batteriet. Med den storlek av batterier som behövs för elbilar finns inte detta problem och den elförvärmda katalysatorn skulle således kunna ha en effekt även vid låga temperaturer.

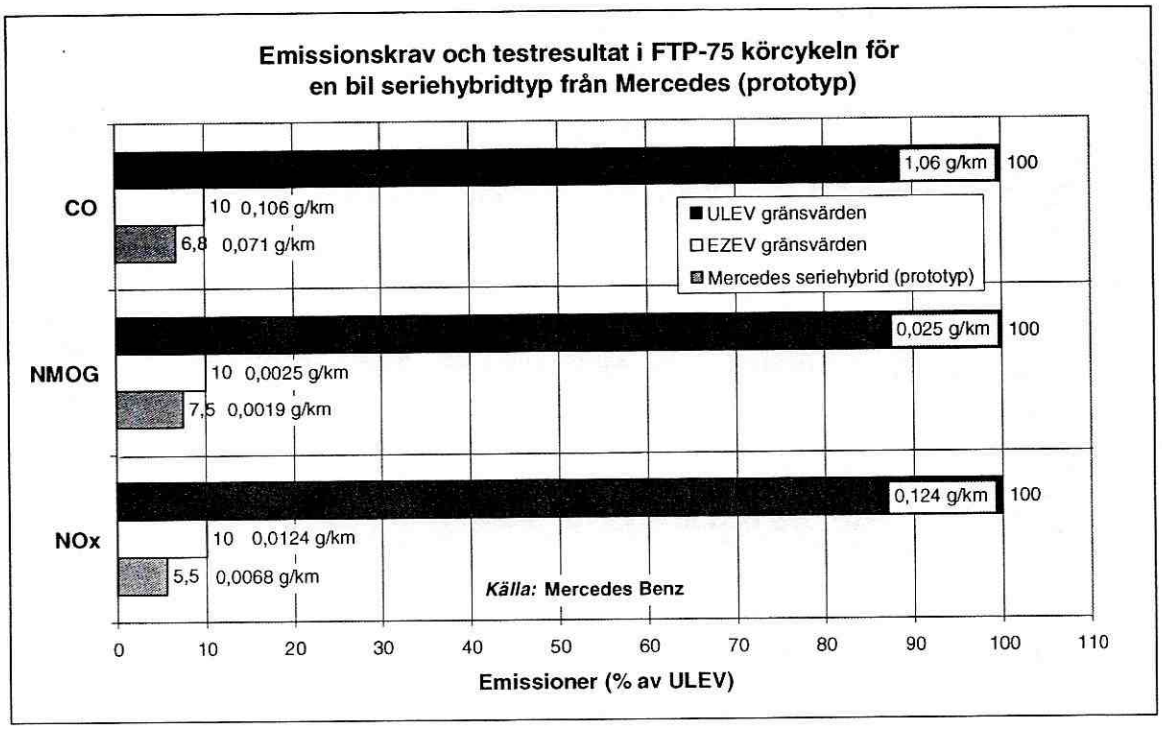
Som sammanfattning kan sägas att det finns en betydlig potential för sänkning av emissionerna vid användning av elhybridsystem. För de system där man kan ladda batterierna med extern el kan man dessutom minska emissionerna genom att bränsleförbrukningen i fordonet minskar. Detta gäller naturligtvis under förutsättning att elen kan genereras med låga emissioner.

6.2.2 Exempel på några emissionsresultat för hybridbilar

Mercedes seriehybrid

Som tidigare nämnt är potentialen till minskade emissioner störst för seriehybrider. I den ovannämnda SAE rapporten från Mercedes redovisas resultat från tester på en seriehybridprototyp [62]. I **Figur 53** har emissionsresultaten från dessa tester sammanställts.

[34] I beräkningsfallet ovan kan ökningen av NO_X emissionerna före katalysatorn vara så stor som en faktor 4. Typiska siffror är från 5 g/kWh till 20 g/kWh.



Figur 53: Emissioner för Mercedes seriehybridbil (prototyp) [62]

Det framgår tydligt av **Figur 53** att potentialen för emissionsreduktioner både med hybridsystem och med konventionella drivsystem är synnerligen stor. I jämförelse med dagens europeiska emissionsgränser är de kaliforniska ULEV gränsvärdena betydligt strängare. De krav som nyligen beslutats för år 2000 är något mildare än ULEV kraven och ligger snarare på samma nivå som de kaliforniska LEV kraven. ULEV kraven är i jämförelse med den första generationens katalysatorbilar i Sverige (mod 1987 – 1989) betydligt hårdare genom att nivåerna är ca 5-10 ggr lägre. I jämförelse med ovannämnda krav ligger förslaget till EZEV krav på en ännu lägre nivå, dvs. 10 % av ULEV kraven. Den testade bilen klarar som synes dessa krav.

Det kan vara värt att notera att Mercedes anser att det är möjligt att klara EZEV emissionskraven även utan hybridsystem. Inga uppgifter om vilken teknologi som skulle användas för en sådan lösning har dock redovisats. Man framhåller också i rapporten att det föreligger stora svårigheter att mäta så låga emissioner som det är fråga om i dessa fall.

Toyota Prius, parallellhybrid

Några emissionsdata enligt de europeiska eller amerikanska körcyklerna har Toyota ännu inte publicerat för sin Prius hybrid, men en uppgift som lämnats är att emissionerna av CO, HC och NO_X skulle vara 90 % lägre än de japanska kraven i 10-15 körcykeln. Uppgifterna från Toyota visas i **Tabell 11**.

Tabell 11: Japanska 10 – 15 emissionskraven samt emissioner för Toyota Prius

	Emissioner (g/km)		
Emissionskrav/fordon	**CO**	**HC**	**NO_X**
Krav i Japan enl. 10 – 15 körcykeln	2,1	0,25	0,25
Toyota Prius emissioner	0,21	0,025	0,025

Skulle de knapphändiga uppgifterna från Toyota också innebära att den emissionsnivå som redovisats i tabellen ovan även kommer att gälla även i den europeiska körcykeln (och med den europeiska specifikationen på bilen) innebär det att bilen är klart bättre än de europeiska Euro III kraven och snarare i nivå med de kaliforniska ULEV kraven och Euro IV kraven.

I den tidigare nämnda undersökningen av EPA mättes även emissioner [64]. Emissionsresultaten för de bensindrivna bilarna i denna undersökning visas i **Tabell 12**. En omräkning till enheten g/km har gjorts av Ecoraffic.

Tabell 12: Emissioner för Toyota Prius och några andra bensinbilar

Bil	**Storlek**	**Sväng-massa**	**CO** g/km	**HC** g/km	**NO_X** g/km
Suzuki Metro	Sub-compact	964	0,19	0,025	0,025
Toyota Corolla	Compact	1 247	0,75	0,112	0,075
Toyota Prius	***Sub-compact***	***1 361***	***0,31***	***0,037***	***0,031***

Generellt kan man hävda att emissionerna för alla bilarna i **Tabell 12** är låga. Emissionsnivån för Toyota Prius är emellertid inte lägre än för någon av de andra bilarna i tabellen. Faktum är att Suzuki Metro har den lägsta emissionsnivån av alla de testade bilarna.

Slutsatser om emissionspotentialen

Tyvärr finns i dag inga kommersiella hybridfordon tillgängliga i större skala vilket medför att den faktiska emissionsnivån med dagens tekniknivå inte kan fastställas med någon större trovärdighet. Vi har därför i detta avsnitt nöjt oss med att visa den potential som finns för tekniken. Genom att den potentialen för låga emissioner i framtiden är så stor framstår en hybridbil som ett mer realistiskt alternativ än renodlade elbilar eftersom de övriga egenskaperna är klart mer tilltalande för hybriden.

Liksom visats tidigare vad gäller potentialen till minskad bränsleförbrukning kan även en rankning göras för de olika konventionella motortypernas emissionspotential i ett hybridsystem. I detta fall baseras rankningen för enkelhetens skull på enbart två emissionskomponenter: NO_X och partikelemissioner. En sådan lista visas nedan för de fyra olika alternativen.

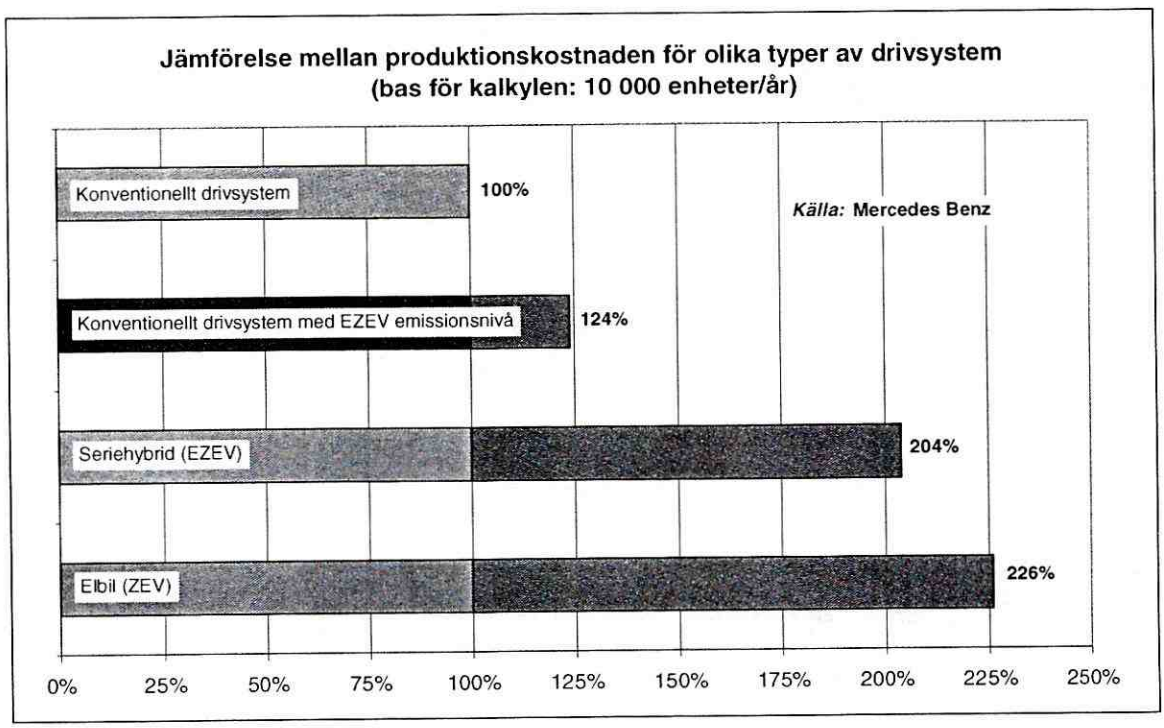
1. Konventionell ottomotor med TWC rening
2. Avancerad ottomotor med direktinsprutning (stökiometrisk, EGR och TWC)
3. Avancerad ottomotor med direktinsprutning (lean-burn, EGR och deNO_X)

4. Dieselmotor (direktinsprutad)

Det är möjligt att göra motsvarande rankning även för andra emissionskomponenter än för NO_X och partiklar men bilden blir här mer komplicerad beroende på teknikval och har därför utelämnats av utrymmesskäl.

6.3 Kostnader

Kostnader ingår egentligen inte i denna utredning men det kan likväl vara av intresse att i korthet belysa dessa frågor. Eftersom det i dag inte finns någon egentlig produktion av elhybrider är den faktiska merkostnaden naturligtvis svår att uppskatta. Dock kan man inte komma ifrån att fordonet måste ha ett drivsystem som i princip innebär en fördubbling av kostnaden för det konventionella drivsystemet. Eftersom batterier också måste finnas i systemet ökar kostnaden ytterligare i de fall som batterierna måste vara mycket stora (seriehybrider). Försiktiga bedömningar antyder att en vanlig mindre/mellanstor bil som med ett konventionellt drivsystem i dag kostar ca 150 000 kr skulle kosta upp till 100 000 kr mer utrustad med ett hybridsystem även om tillverkningen skulle ske i tämligen stor skala (10 000 enheter per år). Den bedömning som Chrysler gjort är att deras prototyp (PNGV) skulle kosta 15 000 dollar mer (120 000 kr). Detta är dock en avsevärd förbättring jämfört med merkostnaden för den tidigare prototypen från samma tillverkare (+60 000 dollar). De nämnda kostnadsuppskattningarna torde dock vara tämligen osäkra. Den beräkning av kostnaden som Mercedes gjort för den tidigare nämnda seriehybriden visas i **Figur 54**.



Figur 54: *Kostnader för olika drivsystem*

Det framgår klart av figur 6 att kostnaden för ett drivsystem för såväl en hybridbil som för en ren elbil vida överstiger kostnaden för ett konventionellt drivsystem. Dock bör man ta

hänsyn till att seriestorleken är liten (10 000 bilar) i detta fall. På längre sikt och i större serier kan kanske kostnaden sannolikt minskas till ca 25 000 kr, men även denna merkostnad är *för* hög för att kostnaden skall kunna motivera annat än en nischanvändning av tekniken (vilket i och för sig medför ökade kostnader om volymerna inte kan hållas uppe). Det framgår även av figuren att ett drivsystem av konventionell typ utvecklat för EZEV gränsen kommer att bli betydligt billigare. Eftersom ett parallellhybridsystem har en potential att bli betydligt billigare än ett seriehybridsystem är detta ett mycket kraftigt skäl för att det förra systemet kommer att röna en större framgång på kort och medellång sikt.

Vår uppfattning om hybridsystem för personbilar är att merkostnaden för seriehybrider inom överskådlig framtid (till 2010) kommer att vara alltför hög för att systemet inom denna tidsperiod skall kunna slå ut det konventionella drivsystemet. Även om ett parallellhybridsystem kan bli något billigare torde även merkostnaden i detta fall utgöra ett avsevärt hinder. Ett antal tekniska genombrott måste således ske för att hybridsystem på längre skikt på allvar skall kunna konkurrera med de konventionella drivsystemen för personbilar. Den stora potentialen till lägre bränsleförbrukning kommer dock sannolikt att medföra att intresset fortsättningsvis kommer att vara stort för dessa drivsystem.

6.4 Elfordon

För tydlighetens skull kan det vara skäl att poängtera att med elfordon avses i detta fall "rena" elfordon, dvs fordon där den enda drivkällan är en elmotor och där elmotorn försörjs från ett energilager. Detta energilager är normalt ett kemiskt batteri. Om man bortser från emissionerna från en eventuell bränsledriven värmare[35] kommer således emissionerna från en elbil att vara noll. Man kan därför nöja sig med att jämföra energiomsättningen för en elbil (inkl. produktion av elektriciteten) med energiomsättningen för andra bilar.

6.4.1 Energiomsättning för elbilar

I dag finns få serieproducerade kommersiella elbilar. Renault Clio är ett undantag i detta avseende eftersom denna bil produceras på samma produktionslina som de bensin- och dieseldrivna versionerna av samma bil. I en MTC rapport från en av denna rapports författare har energianvändningen för två individer av den eldrivna varianten av Renault Clio mätts [65]. I de redovisade siffrorna i rapporten ingår även förlusterna i laddningsaggregat och batteri (vid laddning) vilket måste tas hänsyn till eftersom Life of Fuels inkluderat dessa förluster i elproduktionen. Vidare måste man ta hänsyn till bilens vikt och storlek samt inverkan av temperatur. För den testade bilmodellen var svängmassan[36] 1360 kg, vilket är en betydligt högre vikt än för en normal bensindriven Renault Clio men trots allt är det en mindre bil än den som använts som referens i denna studie (medelbil av "Svenssonstorlek"). En hypotetisk eldriven bil av denna storlek kommer också att bli betydligt tyngre och här har det förutsatts att svängmassan för en sådan bil skulle öka till 1 600 kg, vilket sannolikt är något i underkant eftersom svängmassan också innefattar ett tillägg för förare mm (vilket medför att svängmassan är högre än tjänstevikten). Vid testerna av den nämnda elbilen utfördes även tester av räckvidden för stadskörning vid normal (+20 °C) och vid

[35] En bränsledriven värmare är f n den bästa lösningen för elbilar men även andra system är tänkbara på längre sikt.

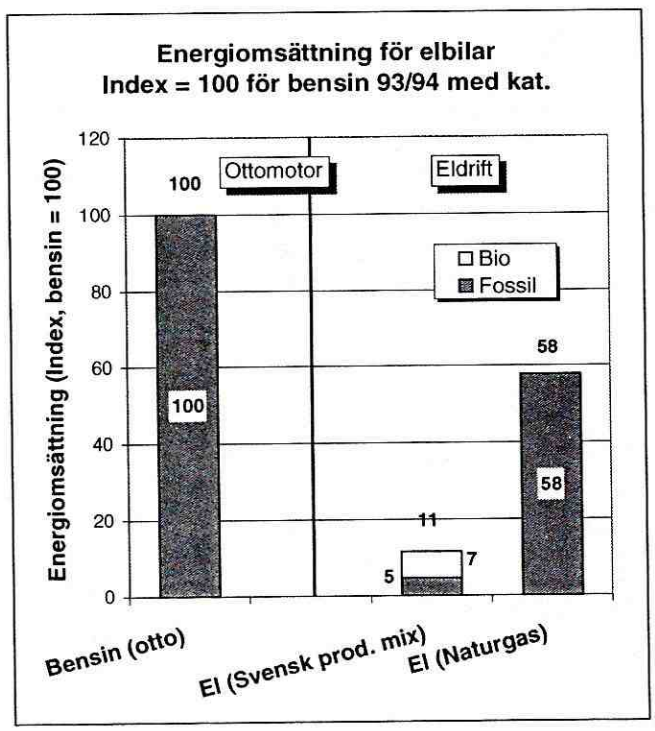
[36] "Svängmassa" är den ekvivalenta vikten för det svänghjul som skall motsvara bilens tröghet vid testning på chassidynamometer. Svängmassan inkluderar även ett påslag för förare mm. Av praktiska skäl indelas svängmassan i olika intervall.

lägre temperatur (-15 °C). Resultaten av dessa tester visade att energianvändningen ökade med nära 70 % när temperaturen sänktes. Eftersom även batteriernas kapacitet också minskade (ca 15 %) halverades i stort sett räckvidden (från 75 till 37 km). Huvudorsaken till den ökade energianvändningen var sannolikt den ökade trögheten i transmission och övriga delar i drivsystemet (hjullager mm) samt det ökade rullningsmotståndet (däck). Genom att energianvändningen för en elbil är låg blir dock denna ökning procentuellt större än för en bil med förbränningsmotor. Den höga energianvändningen vid kallstart föranledde tillverkaren att ändra specifikationen för oljan i slutväxeln varför detta bör minska ökningen något. I och med att en längre körsträcka avverkades vid båda temperaturerna än de 11 km som satts som referens i detta fall är strängt taget inte underlaget korrekt för en beräkning av ökningen som funktion av temperaturen på det sätt som gjorts för övriga bilar. Faktorn för förhållandet mellan energianvändningen vid +7 och +20 °C har antagits vara linjär som funktion av temperaturen och har beräknats till 1,25. Resultaten från beräkningarna av den totala energianvändningen visas i **Tabell 13**.

Tabell 13: *Beräknad energianvändning för en elbil*

		Korr. för vikt	Korr för temp.
Biltyp	Energi anv. (kWh/ton km)	Energi anv. (kWh/km)	Energi anv. (kWh/km)
Elbil (batteri)	0,171	0,273	0,342
	Energianvändning i bensinekv. (l/100 km)		
Elbil (batteri)	1,91	3,05	3,82

Med resultaten enligt ovan (**Tabell 13**) och resultaten från Life of Fuels för elproduktionen erhålls en energiomsättning enligt diagrammet i **Figur 55**. Det framgår tydligt att eldrift ger en väsentligt lägre fossil energiomsättning än för de övriga drivmedlen. Genom att primärenergin för kärnkraft och vattenbaserad elkraft ansetts som förnybar (icke fossil, dock ej biobränsle) i Life of Fuels, blir den svenska produktionsmixen särdeles fördelaktig i detta avseende. I det sammanhanget kan man också erinra om att nuvarande europeisk energistatistik räknar med en verkningsgrad på 33 % för ett kärnkraftverk (en faktor 3 gånger producerad el). Således hade resultatet blivit ett annat ifall beräkningen för den svenska produktionsmixen genomförts för *pri-*



Figur 55: *Energiomsättning för elbilar*

märenergi istället för som i detta fall (bio respektive fossil energi). Det resultat som erhållits för eldrift (index 58) där elektriciteten producerats från fossil naturgas är lägre än i fallet när naturgas används direkt i en ottomotor (index 93, se **Figur 48**). Den relativa reduktionen (från ottomotor till eldrift) är 38 % för dessa två fall. En motsvarande jämförelse med dieseloljedrift, som är har högst effektivitet av alla fossila drivmedel, ger en reduktion på 33 % för elbilen.

De resultat som visats ovan visar att den reduktion av energiomsättningen som kan åstadkommas med eldrift är betydande men dock långt ifrån de kraftiga reduktioner som ofta brukar citeras. Uppgifter om att en elmotor har en verkningsgrad på 90 % medan en förbränningsmotor endast når 10 % används frekvent, vilket kunde antyda att skillnaden energianvändning skulle bli en tiopotens. Även om siffran för den konventionella bensinbilen (10 %) inte är alldeles felaktig i stadskörning och i ett livscykelperspektiv blir inte skillnaden så stor som den 10 tiopotens som ibland brukar hävdas.

6.4.2 Slutsatser om eldrift

Eldriftens stora fördel är frånvaron av de lokala emissionerna. Vidare är energiomsättningen i systemet lägre än för fossila drivmedel. Därav följer också det faktum att utsläppen av växthusgaser minskar i ungefär samma omfattning som energianvändningen om jämförelsen görs med samma typ av primärenergi som bas (t ex naturgas). Det svenska produktionsmixen ger ännu större fördelar då både vattenkraft och kärnkraft har låga utsläpp av CO_2. I framtiden kommer emellertid det europeiska elnätet att knytas samman ännu mer än i dag vilket medför att en jämförelse med svensk elproduktion inte är helt relevant. Således tillkommer problematiken med kolbaserad elproduktion på kontinenten vilket måste beaktas. Sammanfattningsvis kan sägas att elbilar har stora fördelar för de lokala emissionerna men att eldriftens fördelar när det gäller energiomsättning och växthusgaser ofta har överskattats.

Eldrivna bilar är en nisch i dag och kommer så att förbli under lång tid framöver. Endast i några enstaka fall kan man finna användningsområden där eldriften har sådana egenskaper att intresse finns för att betala den merkostnad som är förknippad med det dyra drivsystemet (batterierna). Genom att genomslaget på marknaden blir litet under överskådlig framtid kommer också de totala effekterna på miljö och hälsa att bli små.

7 UTVECKLING I FRAMTIDEN

7.1 Krav på emissioner och bränsleförbrukning

Eftersom motorutvecklingen i framtiden till stor del kommer att handla om att minska avgasemissionerna kan det vara skäl att göra en kort genomgång av EU:s avgaskrav för lätta fordon. Dessa avgaskrav visas i **Tabell 14**.

Tabell 14: *EU:s emissionsgränser för personbilar*

		Emission och gräns (g/km)				
Direktiv	**Införande[a]**	**CO**	**HC**	**NO_X**	**HC+NO_X**	**PM[b],**
91/441/EEC, bens & diesel	6/92 1/93	2,72	---	---	0,97	0,14
94/12/EC, bensin	1996-10 1997-10	2,2	---	---	0,5	---
94/12/EC, diesel IDI[c]		1,0	---	---	0,7	0,08
94/12/EC, diesel DI[d]		1,0	---	---	0,9	0,10
98/69/EC, bensin	10/2000 10/2001	2,3	0,20	0,15	---	---
98/69/EC, diesel[f]		0,64	---	0,50	0,56	0,05
Steg IV (2005), bensin	10/2005 10/2006	1,0	0,10	0,08	---	---
Steg IV (2005), diesel[f]		0,50	---	0,25	0,30	0,025

Anmärkningar:

[a] De två datum som anges i tabellen för införande avser att standarden införs stegvis. Det första datumet är för nya fordon (dvs nya certifieringar) och det senare datumet är för alla nyregistrerade fordon.

[b] Partikelgränsvärdet gäller bara för dieseldrivna fordon.

[c] IDI: indirekt insprutning

[d] DI: direkt insprutning

[e] Det nya direktivet för 2000/2001 baseras på den nya EU körcykeln (NEDC), som använder en modiferad procedur vid kallstart, och därför är CO gränsvärdet (2,3 g/km) strängare än gränsvärdet i 94/12/EC direktivet (2,2 g/km) som använde den äldre EU körcykeln (EDC). Eftersom även HC emissionerna är högre i NEDC körcykel blir den reduktion i HC+NO_X som kan beräknas med ledning av värdena i tabellen (från 0,50 till 0,45 g/km) mycket större än vad siffervärdena skulle indikera.

[f] Dieselmotorer påverkas mindre av förändringen av startproceduren i den nya NEDC körcykeln än bensindrivna motorer och därför är jämförelsen mellan äldre gränsvärden och nya gränsvärden mer relevant i detta fall.

Förutom kravet på emissioner har EU och den europeiska bilindustrin (representerat av branschföreträdaren ACEA) enats om att minska bränsleförbrukningen med 25 % fram till 2008[37]. Denna överenskommelse innebär att CO_2 emissionerna från fordonet[38] skall reduceras till 140 g/km vilket motsvarar en bensinförbrukning av ca 5,9 l/100 och en dieselolje-

[37] Motsvarande åtagande förväntas även av tillverkare utanför EU (för de bilar som säljs inom EU).

[38] Med detta avses att CO_2 mäts i avgaserna i stället för att beräknas från en mätt bränsleförbrukning. Inga andra klimatgaser beaktas och ej heller tas någon hänsyn till utsläpp av klimatgaser i produktionsledet.

förbrukning av 5,3 l/100 km[39]. På grund av den högre verkningsgraden för dieselmotorer torde det bli lättare att klara kraven med dieseldrivna bilar och det spekuleras därför i att den nu rådande trenden i EU – att andelen av dessa bilar ökar – kommer att fortsätta även under de närmaste åren. För att klara kraven på en minskning av bränsleförbrukningen med 25 % måste både drivsystemet och fordonet utvecklas vidare. I denna sammanställning har det förutsatts att minskningen av framdrivningsmotståndet för fordonet skall stå för ca hälften av minskningen (13 %) medan förbättringarna av drivsystemet skall stå för resten (12 %). I detta sammanhang bör också nämnas att även hjälpaggregat och övrig komfortrelaterad utrustning måste vidareutvecklas för att man skall få det önskade genomslaget i praktiken. När det gäller framdrivningsmotståndet kan man dela in förlusterna i tre olika komponenter som rullningsmotstånd, luftmotstånd och tröghet (vikt). För att ovanstående exempel skall kunna fullföljas kommer följande reduktioner för ett något godtyckligt valt typfordon att krävas:

- Rullningsmotstånd: från 0,009 till 0,0078
- Luftmotståndskoefficient (alt. red. av frontarea): från 0,32 till 0,278
- Vikt: från 1450 kg till 1261 kg

Förutsättningarna ovan kräver självfallet inte att alla dessa tre parametrar reduceras i *samma* omfattning (i relativa tal). För rullningsmotståndet torde förbättringen vara tämligen enkel att åstadkomma eftersom nya däck med sådana egenskaper redan har introducerats på marknaden. Fortsatta förbättringar torde vara möjliga. Reduktionen av luftmotståndet är en svår uppgift men knappast omöjlig medan reduktionen av vikten sannolikt kommer att bereda de största problemen. Det är därför troligt att den optimala lösningen kommer att innebära att de relativa minskningarna inte blir lika stora för alla parametrarna.

När bränsleförbrukningen för vårt normfordon uppskattats i framtiden har vi, som nämnts ovan, antagit en förbättring med 25 %. Eftersom det medlebilen i Sverige är större än medelbilen i EU kan dock inte det mål i absoluta tal som citerats ovan nås i Sverige om fordonsstorleken även i framtiden kommer att vara större i Sverige. Någon hänsyn har emellertid inte tagits till en ev sådan trend utan en *relativ* förbättring med 25 % har antagits.

7.2 Motor och drivsystem

I den framtida utvecklingen av motorer och drivsystem har det förutsatts att en vidareutveckling av de konventionella otto- och dieselmotorerna kommer att ske och att dessa motortyper helt kommer att dominera marknaden under den tidsperiod som studeras här (2000 – 2010). Visserligen kommer hybridsystem och sannolikt också bränsleceller att introduceras inom tioårsperioden men något större genomslag för dessa nya drivsystem kommer knappast att ske under denna tidsperiod[40]. Detsamma gäller för eldrivna bilar som

[39] För att beräkna den bränsleförbrukning som motsvarar en CO_2 nivå av 140 g/km måste även hänsyn tas till att en del av kolet i bränslet avges från motorn i form av CO och HC (kolbalans). Vid beräkningen ovan har antagits att emissionsnivån för dessa emissionskomponenter motsvarar Euro IV nivån (för respektive bränsle). En skärpning av dessa emissionsgränser till 2008 skulle vara liktydig med en (marginell) sänkning av bränsleförbrukningen.

[40] Det finns en viss möjlighet att enklare parallellhybridsystem kan få ett relativt stort genomslag under förutsättning att de tekniska problemen kan lösas inom en snar framtid och att kostnaderna kan reduceras till en rimlig nivå.

också kommer att förbli en nisch under denna period. Någon storskalig introduktion (mer än några enstaka procent) av något alternativt drivmedel kan ej heller förväntas ske, även om de alternativa drivmedlen med stor sannolikhet kommer att användas i större skala än i dag, och kanske t o m dominera inom vissa nischer (t ex stadsbussar i större tätorter).

Förutsättningarna är således sådana att de kommande emissionskraven måste uppfyllas med drivsystem som i alla fall i princip påminner om dagens drivsystem men naturligtvis i en mer avancerad och förfinad form. Det som är av störst intresse i detta sammanhang är huruvida dessa koncept medför några större fördelar och/eller nackdelar för alternativa drivmedel i förhållande till de konventionella fossila drivmedlen.

7.2.1 Utveckling av ottomotorer

Utvecklingen av ottomotorer under den studerade tidsperioden kommer att domineras av strävan att minska emissioner och bränsleförbrukning, möjligen med en något större fokusering på den sistnämnda faktorn till skillnad från förhållandena under hittillsvarande tioårsperiod. De emissionsnivåer (baserat på förväntade emissionsgränser) som kan förutspås fram till 2010 har redan demonstrerats under laboratorieförhållanden för bensindrivna ottomotorer. Det faktum att de förväntade emissionsnivåerna för bensinmotorer redan demonstrerats betyder emellertid inte att utvecklingsarbete under tidsperioden är onödigt för dessa motorer eftersom det framför allt gäller att åstadkomma dessa emissionsnivåer på ett kostnadseffektivt sätt. En annan viktig faktor är att kraven på en reduktion av bränsleförbrukningen leder till att en ny avgasreningsteknik måste utvecklas för en del av koncepten. Ett exempel på en sådan teknik är behovet av att kunna reducera NO_X under förhållanden med högt luftöverskott (för magermotorer).

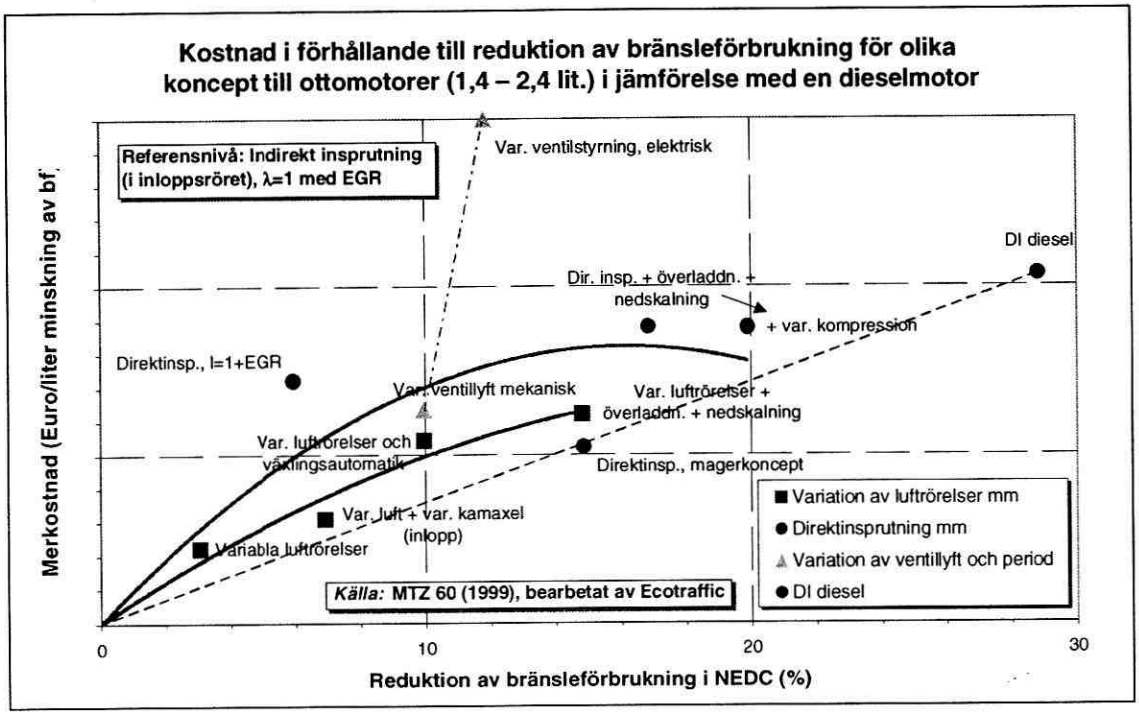
Bensindrivna ottomotorer

Det finns inte utrymme för att göra någon utförlig genomgång av de olika tekniska möjligheterna att minska bränsleförbrukning och emissioner i denna rapport. I stället visas några tänkbara lösningar utan att någon ställning tas till vilken eller vilka kombinationer av dessa lösningar som kan bli mest optimal. Ett exempel på olika tekniska lösningar och deras potential att minska bränsleförbrukningen visas i **Figur 56**, som är en bearbetning av ett diagram som nyligen publicerats i en rapport från konsultföretaget AVL [66].

I **Figur 56** visas inverkan av olika tekniska lösningar på kostnader och bränsleförbrukning i den nya europeiska körcykeln (NEDC). Diagrammet har kompletterats av Ecotraffic med trendlinjer. Mellan den konventionella ottomotorn och DI dieselmotorn har en linje dragits som symboliserar att vilken punkt som helst på denna linje kan erhållas genom en mix av dessa två motortyper (och bränslen). För att ett nytt koncept skall bli bättre ur bränsleförbrukningssynpunkt än den nämnda mixen bör det således ligga *under* denna linje.

Man kan för resultaten i **Figur 56** konstatera att inget koncept ligger under linjen men också att flera av alternativen ligger nära den. Det är sannolikt dessa som kommer att röna den största kommersiella framgången medan "uteliggare" som t ex den helelektriska variabla ventilstyrningen (med elektriska solenoider som aktuatorer (ställdon) i stället för konventionell ventilmekanism) för närvarande lider av alltför höga kostnader. I diagrammet har också trendlinjer satts in för de olika grupper av teknikområden som visas. Detta har gjorts för att visa en gradvis utveckling (eller "evolution"), vilket ofta brukar karakterisera den tekniska utvecklingen av motorer. Det är knappast troligt att förhållandena i **Figur 56** kommer att förbli statiska under den närmaste tioårsperioden och redan har ett par av koncepten introducerats i mindre skala (t ex direktinsprutning som kommersialiserats av bl a

Mitsubishi). Det är också troligt att DI dieselmotorn kommer att utvecklas vidare vilket innebär att jämförelsen kanske också borde ta hänsyn till denna förbättring.



Figur 56: Olika optioner för framtida ottomotorer [56] (bearbetat av Ecotraffic)

Alternativa drivmedel för ottomotorer

När det gäller vidareutvecklingen av ottomotorer är också de alternativa drivmedlen av intresse. För enkelhetens skull görs här en indelning i gasformiga bränslen (fossil naturgas och biogas) och alkoholer (etanol och metanol).

I den tidigare beskrivningen av den framtida utvecklingen konstaterades att den direktinsprutade varianten av ottomotorn är av mycket stort intresse för framtiden. Det största problemet med denna motor är reduktionen av NO_X emissioner som (vid mager förbränning) ej kan ske som på normalt sätt för motorer med TWC. En direktinsprutad alkoholmotor ("ADI", i analogi med "GDI") ger på grund av bränslets fysikaliska och kemiska egenskaper en lägre NO_X-bildning än bensin. Vidare tolereras en högre andel EGR, vilket ytterligare sänker NO_X emissionerna. Den för närvarande mest intressanta katalysatortekniken för magermotorer använder lagring av NO_X i katalysatorn (med efterföljande regenerering vid luftunderskott). Denna typ av katalysatorer är känsliga för svavel och således kan detta problem elimineras med alkoholbränslen. Det finns också lösningar där alkoholer används som reduktionsmedel i en deNO_X katalysator[41], vilket verkar fungera mycket väl med alkoholer[42]. Det största problemet med dagens alkoholdrivna ottomotorer är kallstartemissionerna. Det finns anledning att tro att detta problem kan minskas avsevärt med en ADI motor. En speciell fördel med alkoholerna är att de inte genererar sot vid diffusionsförbränning och under luftunderskott vilket sker vid vissa betingelser för en direktinsprutad

[41] Denna katalysatortyp använder kolväten (eller organiska föreningar) som reduktionsmedel.
[42] Mest erfarenheter finns från metanol men de få resultat som genererats visar att det finns skäl att tro att även etanol skulle fungera.

bensinmotor. Därför kan problemet med de förhöjda partikelemissionerna med en direktinsprutad bensinmotor minskas med alkoholer. Som följd av resonemanget ovan finns skäl att tro att en ADI motor är ett mycket intressant alternativ. En viktig faktor att undersöka i framtiden är dock ifall en ADI motor kan göras bränsleflexibel (bensin/alkohol). Det kan mycket väl vara så att den kompromiss som i så fall måste göras för att åstadkomma detta är för stor för att en FFV variant skall vara av intresse. Om så vore fallet leder detta till större problem med infrastrukturen (tankning) för en bil med ADI motor. *I vilket fall som helst är det angeläget att FoU-insatser initieras för att klargöra detta.*

Gasformiga bränslen har liksom alkoholer en viss fördel framför bensin när det gäller EGR-tåligheten – dock inte riktigt lika stor som för alkoholerna. Eftersom fördelen av lägre förbränningstemperatur inte finns på samma sätt som för alkoholerna kommer NO_X emissionerna för tekniskt likvärdiga koncept således att bli högre för gas än för alkoholer. En viss fördel i jämförelse med bensin torde dock föreligga. Direktinsprutning (egentligen "inblåsning" för att vara helt korrekt) av gasformiga bränslen är inte lika enkelt som för vätskeformiga bränslen, men dock inte helt omöjligt. Eftersom utvecklingen för de bensindrivna ottomotorerna sannolikt kommer att leda till ett storskaligt genombrott för direktinsprutade motorer skulle det medföra en stor verkningsgradsnackdel för de gasdrivna motorerna ifall denna utveckling inte kunde realiseras. Ytterligare ett problem är att det torde vara svårt att göra en bi-fuel variant av denna motor om bränslet skall sprutas in direkt i förbränningsrummet för båda bränslena, då det är svårt att få plats med två insprutningsventiler i ett modernt 4-ventils cylinderhuvud. Gasformiga bränslen har som tidigare konstaterats stora fördelar vid kallstart eftersom bränslet redan är i gasfas. Eftersom motorerna för vätskeformiga bränslen kommer att vidareutvecklas för att minska kallstartemissionerna leder detta dock till att denna fördel för gas minskar i framtiden. Ett viktigt utvecklingsområde för metandrivna motorer är oxidationen av metan. Metan bidrar till växthuseffekten och är en mycket svår molekyl att oxidera. Tidigare erfarenheter har också visat att åldringen av katalysatorn (för metan) är snabbare än för vanliga katalysatorer för bensin (HC).

7.2.2 Utveckling av dieselmotorer

Den direktinsprutade dieselmotorn är den förbränningsmotor som har den högsta verkningsgraden av alla kända typer av förbränningsmotorer. Denna fördel kommer med stor sannolikhet att bestå under den närmaste tioårsperioden, även om skillnaden i jämförelse med ottomotorn i detta avseende sannolikt kommer att minska något. Det främsta målet för motorutvecklingen vid dieseloljedrift (och RME) under tidsperioden kommer således att koncentreras på att minska emissionerna. Som nämnts i tidigare kapitel är de gasformiga emissionerna (CO, HC och NO_X) från motorn (före katalysatorn) betydligt lägre från denna motortyp än från en ottomotor, men speciellt NO_X emissionerna är problematiska eftersom ingen väl fungerande teknik för att reducera dessa emissioner i en katalysator ännu kunnat kommersialiseras. Förutom problemet med NO_X emissionerna tillkommer också partikelemissionerna som egentligen inte är en egenskap som härrör från bränslet utan snarare från förbränningssystemet (direktinsprutning och diffusionsförbränning). Utvecklingen av dieselmotorer är främst inriktad på att minska de två nämnda emissionskomponenterna.

Dieseloljedrivna dieselmotorer

Resultat från litteraturen ,och från fordon som redan introducerats på marknaden (t ex VW Lupo 3L), indikerar att partikelgränsvärdet för Euro IV (0,025 g/km) kan klaras utan efter-

behandling för mindre bilar[43]. Med ledning av resultaten från litteraturen är det sannolikt att detta krav med fortsatt utveckling även kommer att klaras för motorer med en (total) cylindervolym på upp till 2 liter (i större bilar) och möjligen för ännu något större motorer. För de allra största motorerna (i de största personbilarna) torde det, med nuvarande kunskaper, krävas någon form av efterbehandling för att klara partikelkraven. Det är troligt att partikelkraven kommer att skärpas ytterligare i framtiden efter Euro IV – i synnerhet om partiklarnas hälsofarlighet kan bevisas. Ett partikelgränsvärde under 0,01 g/km har därför förutsatts för 2010. Med dagens kunskaper finns små möjligheter att klara dessa krav utan efterbehandling. Därför är det troligt att någon form av efterbehandling kommer att användas i framtiden eller att ett förbränningssystem som inte genereras sot utvecklas (se nedan).

NO_X kraven kommer, liksom partikelkraven, också att skärpas i framtiden. Eftersom NO_X kraven i Euro III och IV kraven är hårdare för bensindrivna bilar än förr dieseloljedrivna bilar kan man också förvänta sig hårdare krav för de sistnämnda bilarna i framtiden. Dieselbilar som klarar Euro III kraven finns redan på marknaden och praktiskt taget alla nya motorgenerationer som introduceras nu klarar dessa krav. Euro IV kraven innebär en halvering av NO_X nivån (från 0,5 till 0,25 g/km) och är inte lika enkelt att klara som Euro III kraven. Den enda dieseloljedrivna bil som för närvarande (enligt tillverkarens uppgifter) klarar denna NO_X nivå är VW Lupo 3L. Några exempel på teknik som för närvarande utvecklas för att klara NO_X-kraven (och partikelkraven) i Euro IV är följande:

- Högtrycksinsprutning (>2000 bar)
- Mindre spridarhål (<0,12 mm) och fler spridarhål (>6) i kombination med högre insprutningstryck
- Åtgärderna ovan medför att motorn kommer att tolerera mer EGR, vilket i sin tur sänker NO_X emissionerna (som faktiskt höjs något om EGR mängden förblir oförändrad)
- Mer sofistikerad styrning av EGR:en (ökad snabbhet och bättre styrning under transienter) leder till att EGR mängden ökas
- EGR-kylning
- Ändrade luftrörelser i förbränningsrummet i kombination med ovannämnda förbättringar av insprutningsutrustningen (direkt sänkning av NO_X samt indirekt genom att mer EGR tolereras)
- NO_X-reducerande katalysator. Dagens oxidationskatalysatorer kan ha en NO_X omsättning av upp till 10 – 20 % men en gradvis förbättring kan förväntas i framtiden av dessa s k "passiva" system. Motsvarande "aktiva" system (med tillförsel av reducerande kolväten, dvs bränsle) kan också komma att introduceras, vilket ytterligare kan öka omsättningen (till kanske 50 %).

På längre sikt finns teoretiska möjligheter att utveckla ett förbränningssystem kallat HCCI (Homogenous Charge Compression Ignition), som bygger på förblandning av bränsle och luft i kombination med kompressionständning. Denna metod minskar de lokala temperaturerna utan att öka medeltemperaturen i förbränningsrummet. Potentialen till minskning av NO_X emissionerna är 1 till 3 tiopotenser (!) utan att verkningsgraden behöver påverkas negativt. Samtidigt minskar också sotbildningen (eller upphör helt). En variant av detta för-

[43] Dessa resultat (0,016 g/km) har nåtts med ett certifieringsbränsle motsvarande dagens kommersiella europeiska dieselbränsle (MK3). En viss förbättring kan förväntas med ett bättre bränsle (MK1).

bränningssystem, som dock bara utnyttjar en liten del av potentialen, har redan introducerats på marknaden av Nissan i en motor avsedd för lätta lastbilar [67, 68]. Med Nissans förbränningssystem kan NO_X emissionerna inom det mest gynnsamma belastningsområdet minskas med 95 % men övriga emissioner (inkl. partiklar) påverkas endast i ringa omfattning. Problemet för närvarande är att last- och varvtalsområdet där konceptet fungerar är ganska litet. Laboratorieförsök visar dock att det finns förutsättningar för att få konceptet att fungera inom ett mycket större område (sannolikt hela arbetsområdet) genom att införa kyld EGR och högtrycksinsprutning [68]. Nissan har aviserat att konceptet kommer att introduceras i personbilar inom något år. Även andra tillverkare arbetar med liknande lösningar.

Alternativa drivmedel för dieselmotorer

När det gäller utveckling av dieselmotorer för alternativa drivmedel kan man konstatera att av de mest intressanta alternativen för dessa motorer kan endast RME direkt substituera dieselolja. Övriga bränslen som t ex alkoholer och DME kräver speciella anpassningar av motorn och möjligheterna att utveckla en kommersiellt gångbar teknik för FFV-koncept (dieselolja och alkoholer alt. DME) torde vara mycket ringa.

Fördelen med RME jämfört med dieselolja är att sotbildningen minskar. Nackdelen med RME är de ökade NO_X emissionerna. Denna nackdel går att häva ifall EGR mängden ökas – något som dock kräver att reglersystemet kan ta hänsyn till vilket drivmedel som används.

Alkoholerna ger lägre NO_X emissioner på grund av sina kemiska och fysikaliska egenskaper. Samtidigt finns också möjlighet att öka EGR mängderna och därigenom ytterligare minska NO_X bildningen genom att ingen sotbildning sker vid förbränning i en dieselmotor. Likaså finns goda möjligheter till NO_X reducerande katalysatorer (deNO_X och NO_X-lagrande). *Alkoholer i dieselmotorer har alltså möjlighet till en unik kombination av låga emissioner och hög verkningsgrad.*

DME har minst lika stora fördelar som alkoholerna när det gäller emissionerna men ger dock betydligt större problem i distribution, hantering och användning av bränslet eftersom det är gasformigt vid normalt tryck. Det största problemet för användning av de ovannämnda bränslena i personbilar är som nämnts tidigare att det inte är praktiskt möjligt att utveckla en bränsleflexibel motor (FFV) för dessa bränslen. Därför kommer de att förbli nischlösningar under mycket lång tid framöver.

På längre sikt kan det också vara av intresse att undersöka ifall alternativa bränslen för dieselmotorer också kan använda det ovan beskrivna förbränningssystemet med förblandad bränsle-luft blandning och kompressionständning. I detta sammanhang kan det vara viktigt att belysa vilka bränsleegenskaper som är önskvärda för att åstadkomma denna typ av förbränning. Ena ytterligheten är ett bränsle med högt cetantal (som dieselolja) och den andra ytterligheten är ett bränsle med lågt cetantal (som bensin). I det första fallet måste man försöka öka tändfördröjningen för att atomisering och förblandning (helst ned till molekylär nivå) skall ske och i det senare fallet finns i stället problem med att få blandningen att tända. Trots att ett konceptet för bensin redan används kommersiellt i en tvåtakts motorcykel leder bensinens egenskaper till att last- och varvtalsområdet där förbränningen fungerar blir litet [69]. Försök med bl a etanol och metan som bränsle har gjorts av bl a LTH [70]. Trots kraftig överladdning, högt kompressionsförhållande och ökad inloppstemperatur torde det dock inte vara praktiskt möjligt att utveckla ett förbränningskoncept som fungerar för ett bränsle med ett *så lågt* cetantal som bränslen för ottomotorer (bensin, alkoholer,

metan m fl). Likaså är egentligen cetantalet i normal dieselolja *för högt* för att detta skall vara en tilltalande lösning. Ifall den fulla potentialen för förbränningssystemet skall utnyttjas med råoljebaserade drivmedel måste därför bränslets egenskaper förändras drastiskt. Detta skulle t ex innebära totalt förändrade krav på nya fossila drivmedel. Det återstår att utröna ifall det är praktiskt möjligt att genom tillsatser förändra de alternativa bränslenas egenskaper så att de blir väl lämpade för denna typ av förbränningssystem. Metoden att höja cetantalet för alkoholer är i och för sig välbekant (tändförbättrare) och ifall ett mycket lägre cetantal än normalt är önskvärt torde detta vara lättare att åstadkomma detta än det som krävs i dagens specifikation för bränslen till tunga alkoholdrivna dieselmotorer. Kanske kan en inblandning av t ex RME (i låga halter) i alkoholer åstadkomma de önskade egenskaperna. *Helt klart är att detta är ett intressant område att undersöka på längre sikt.*

7.3 Effekter på hälsa och miljö i framtiden

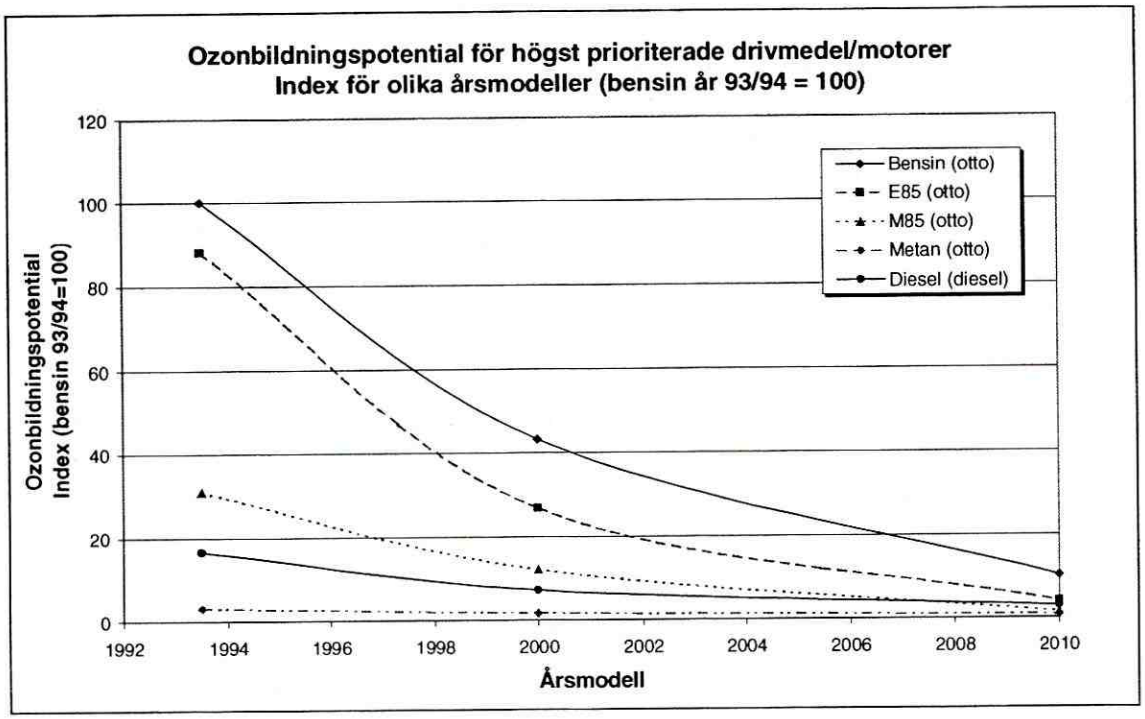
I detta avsnitt görs en genomgång av effekterna på hälsa och miljö för de framtida motorkoncepten. Genomgången är dock inte lika gedigen som i kapitel 5. För att underlätta läsningen av de diagram som visas har i stället för stapeldiagram linjediagram använts i detta kapitel. Därför görs ej heller, av praktiska skäl, någon särredovisning av enskilda emissionskomponenters bidrag. Samma förhållande gäller även för uppdelningen mellan drivmedelsframställning och slutanvändning i fordonet.

7.3.1 Försurning

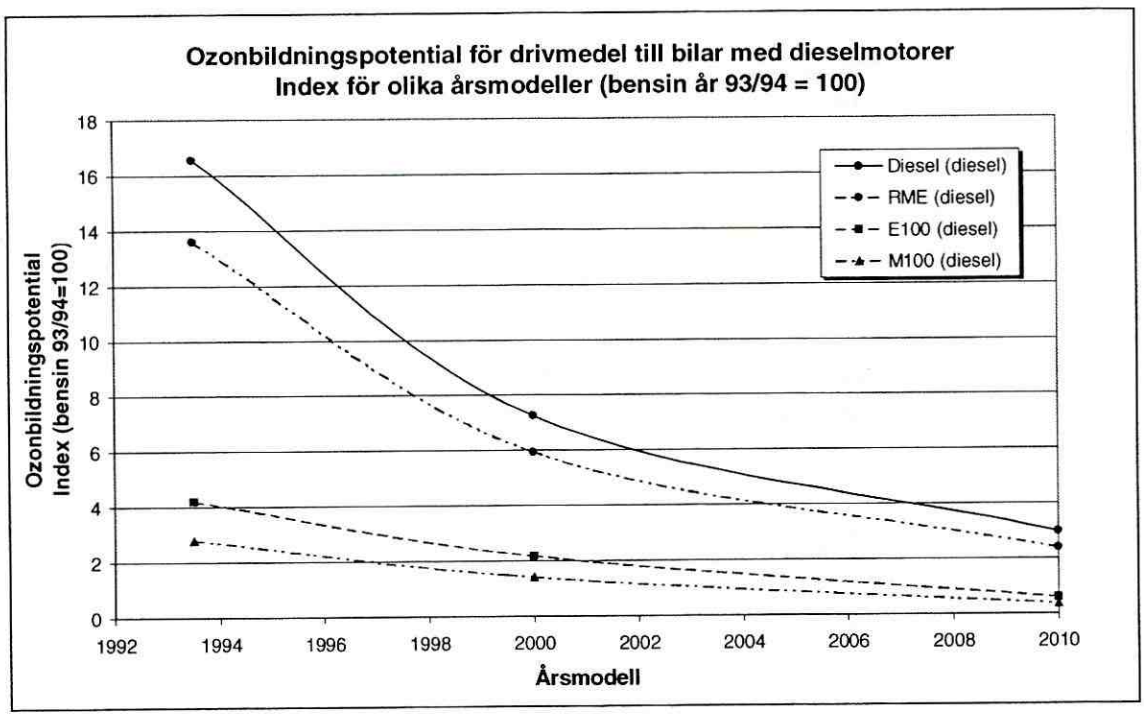
I kapitel 5 konstaterades att bidraget till försurning för flera drivmedel var stort från bränsleframställningen – i några fall var detta bidrag t o m helt dominerande. Eftersom det underlag som användes för framställningen av drivmedel härrör från Life of Fuels är dessa data något föråldrade (1992), främst för de alternativa drivmedlen. Ifall samma data används i det framtida scenariot är risken stor för väsentliga överskattningar för flera drivmedel. De skillnader som då erhålls mellan drivmedlen kan då bli kraftigt missvisande. I de beräkningar som gjorts för år 2000 och i synnerhet för år 2010 visar det sig också – inte helt förvånande – att bidraget till försurningen från fordonet blir ytterst litet. Med hänsyn till de osäkerheter som för närvarande finns om de framtida produktionsmetoderna för alternativa drivmedel har vi därför valt att inte redovisa dessa resultat då de kan leda till att felaktiga slutsatser dras.

7.3.2 Ozonbildning

Figur 57 och **Figur 58** visar ozonbildningspotentialen för de prioriterade alternativen respektive alternativen med dieselmotorer. Notera att skalorna är olika för de båda figurerna.



Figur 57: Ozonbildningspotential i framtiden för alternativ med högst prioritet



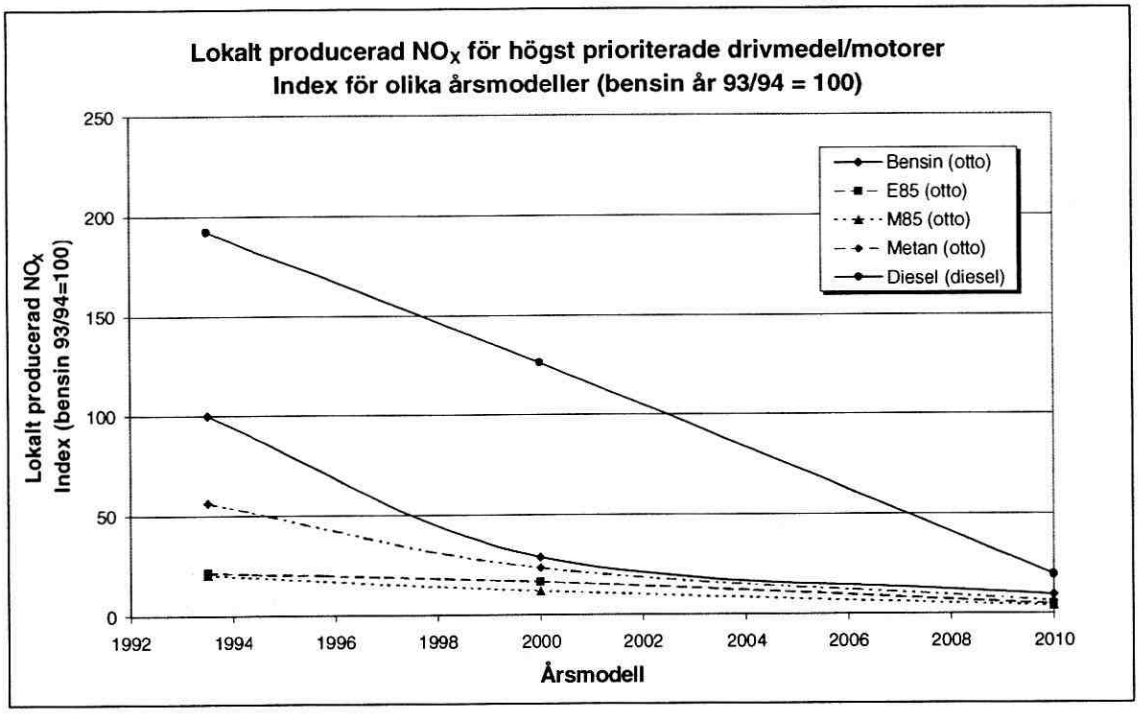
Figur 58: Ozonbildningspotential i framtiden för dieselmotorer

Det är uppenbart från de båda figurerna ovan att ozonbildningspotentialen för alla drivmedel kommer att minska i framtiden. Denna minskning är i princip proportionell mot den

relativa minskningen av HC (och NMHC för metan) för respektive drivmedel[44]. Även år 2010 kommer således bensin att ha den högsta ozonbildningspotentialen (trots att skillnaden minskar). Exempel på signifikanta förändringar av bilden är t ex att skillnaderna mellan de alkoholdrivna ottomotorerna och motsvarande dieselmotorer kommer att minska. Dieselolja och metan kommer alltjämt att ge en låg ozonbildningspotential även om den relativa fördelen i jämförelse med de övriga drivmedlen kommer att minska i framtiden. Frågan är ändå om inte den nivå som kan åstadkommas till år 2010 ger en tillräckligt stor förbättring för alla drivmedel för att detta problem på den tidshorisonten skall kunna klassas som ett problem av underordnad betydelse.

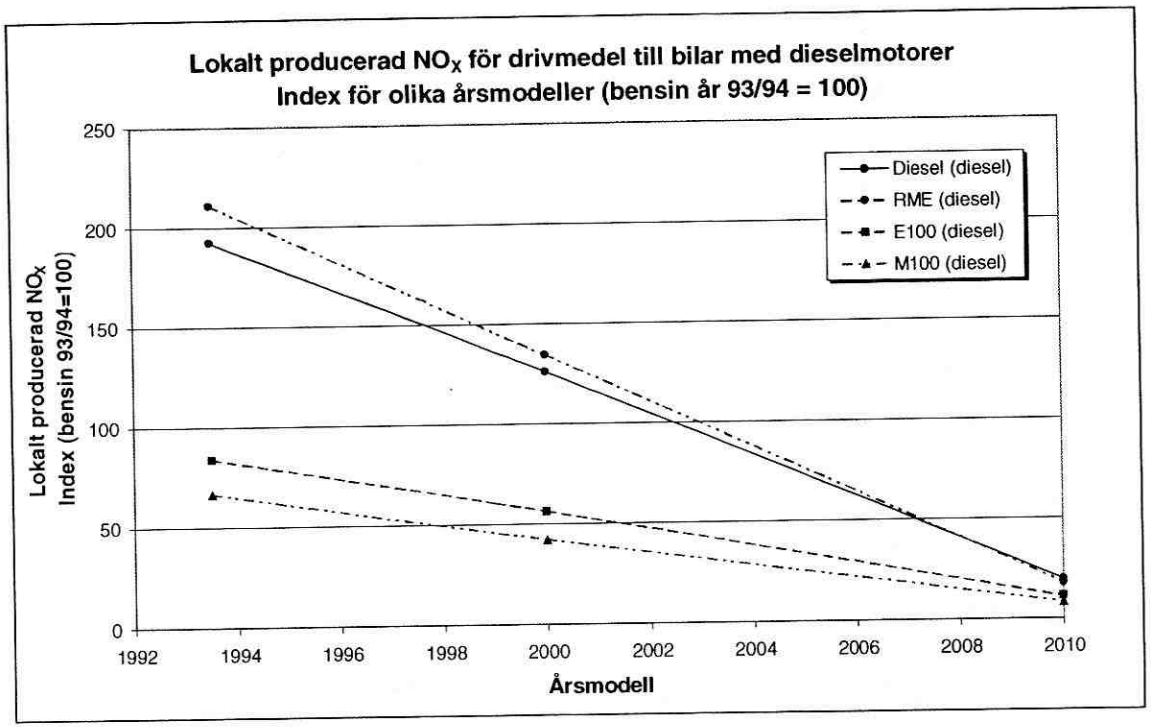
7.3.3 Luftvägssjukdomar

Av de ämnen som orsakar luftvägssjukdomar redovisas (liksom i kapitel) 5 NO_X och partikelemissionerna. NO_X emissionerna (index) för de båda grupperna av drivmedel visas i **Figur 59** och **Figur 60**.



Figur 59: Lokalt producerad NO_X i framtiden för alternativ med högst prioritet

[44] Under förutsättning att man bortser från reformuleringar och att ny teknik i fordonet ändrar sammansättningen av de organiska föreningarna.

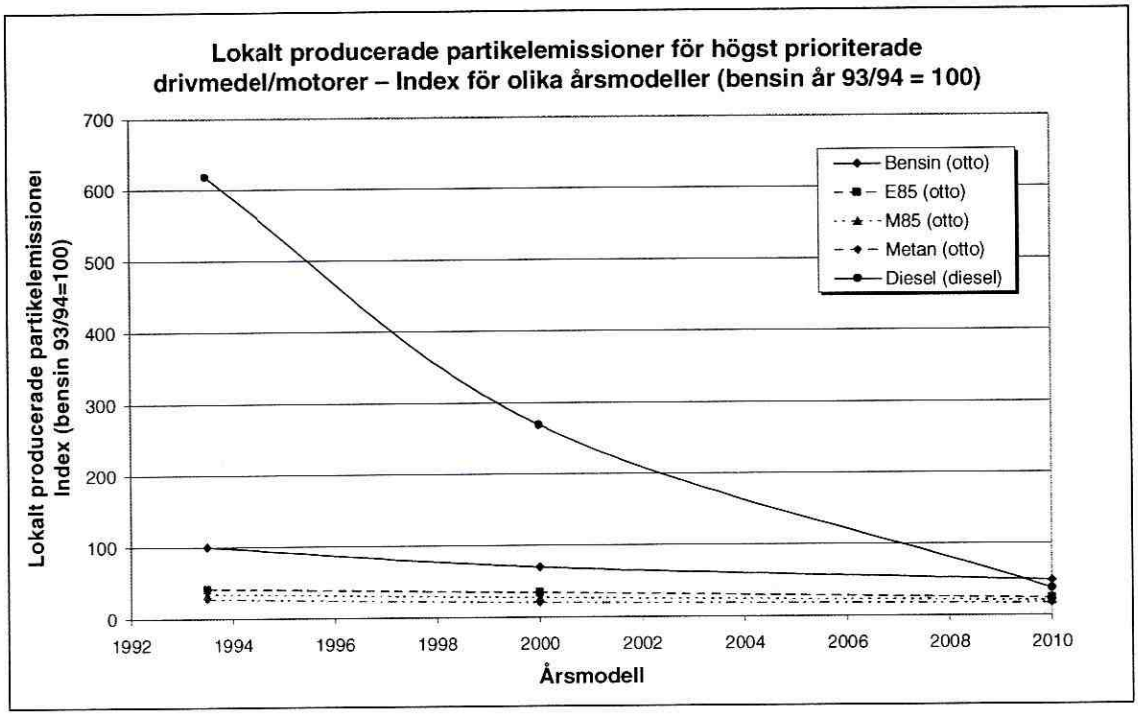


Figur 60: *Lokalt producerad NO_X i framtiden för dieselmotorer*

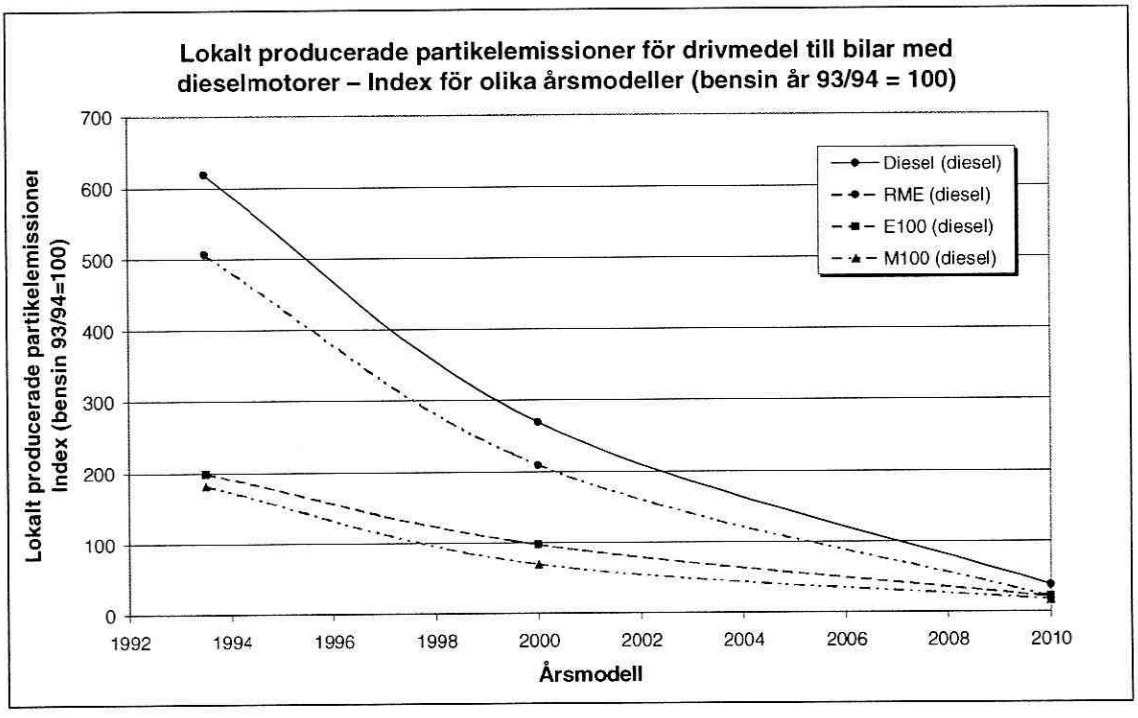
Liksom i de tidigare visade diagrammen kommer dieselolja och RME även att ha de högsta NO_X emissionerna i framtiden. Skillnaden mellan dessa drivmedel kommer dock att försvinna under förutsättning att RME:s egenskaper till ökad EGR utnyttjas. Såväl den relativa som den *absoluta* skillnaden mellan dieselolja/RME och drivmedlen för ottomotorer kommer att vara som störst under de närmaste åren för att sedan minska. År 2010 kommer antingen en NO_X efterbehandling eller ett nytt förbränningskoncept för dieselolja och RME att behövas för att klara de förväntade NO_X kraven.

Den relativa fördelen för alkoholerna kommer att bestå även i framtiden men de absoluta skillnaderna mot övriga drivmedel kommer självfallet att minska kraftigt.

I **Figur 61** och **Figur 62** visas de lokala partikelemissionerna för de båda grupperna av drivmedel/motorer. Liksom i tidigare fall är även denna emissionskomponent högst för dieselolja och RME fram till dess att en efterbehandling, alternativt ett nytt förbränningskoncept införs. I de antaganden som gjorts för partikelfilter har dock en relativt låg filtreringsgrad förutsatts, vilket medför att dessa båda drivmedel inte förutsätts få någon större fördel för partikelemissionerna i jämförelse med övriga drivmedel. Detta kan tolkas dels som att utvecklingen av partikelfilter kan förenklas (dvs högre nivåer erhålls) om inte partikelkraven på är hårdare än den nivå som kan åstadkommas med andra drivmedel (dvs bensin i första hand). Alternativt kan man tänka sig en mix av teknik där en del motorer inte utrustas med någon efterbehandling medan andra måste ha det för att klara kraven. Hela denna problematik kan komma att omprövas väsentligt om det visar sig att de allra minska partiklarna medför stora hälsoproblem. Då kan det t o m finnas skäl att införa partikelfilter även med andra drivmedel än dieselolja och RME. Detta scenario har emellertid inte förutsatts ännu för år 2010.



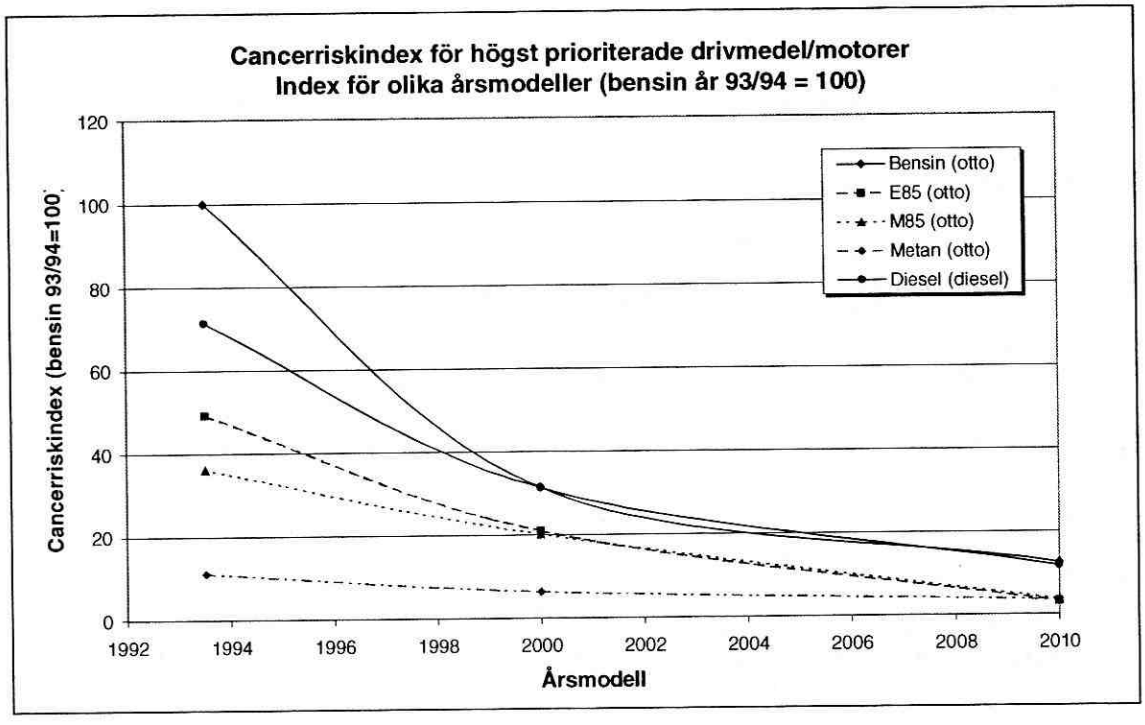
Figur 61: Lokalt producerade partikelemissioner i framtiden för alternativ med högst prioritet



Figur 62: Lokalt producerade partikelemissioner i framtiden för dieselmotorer

7.3.4 Cancerrisker

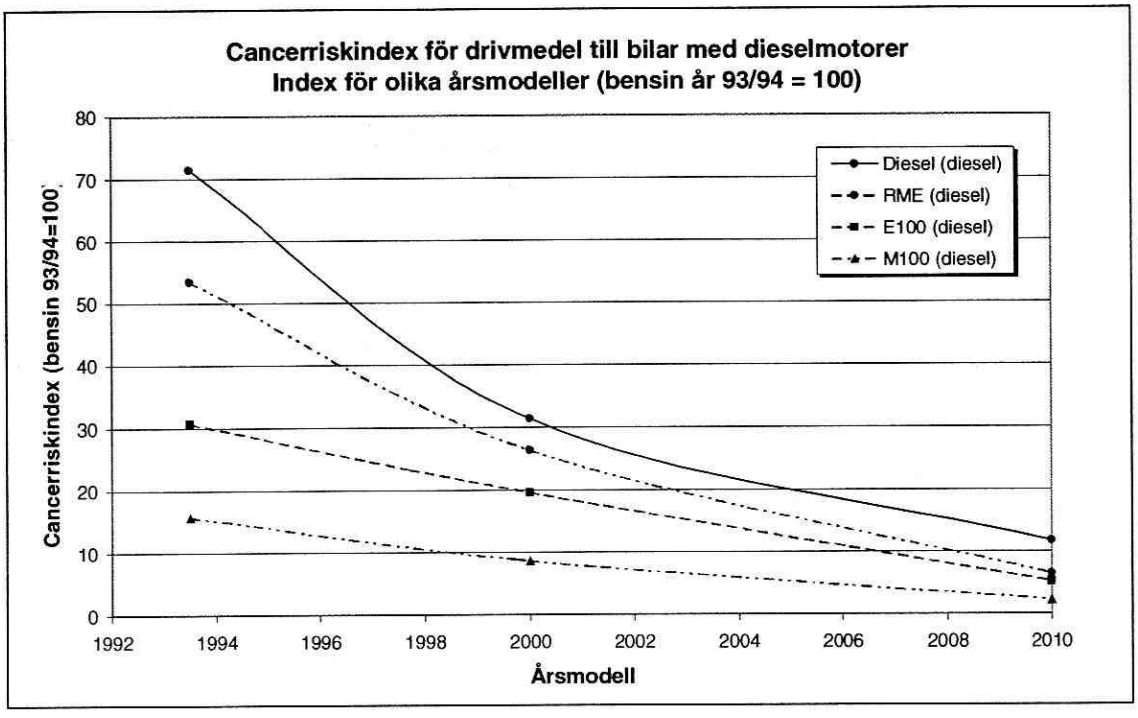
Den kanske mest intressanta och viktigaste effekten från fordonsavgaser är cancerriskerna. Dessa resultat visas i **Figur 63** och **Figur 64** för de båda grupperna av drivmedel. Eftersom nivåerna är något olika i de båda fallen är skalorna också olika.



Figur 63: Cancerrisk i framtiden för alternativ med högst prioritet

Figur 63 visar att skillnaden mellan bensin och dieselolja – som dock ej ansågs signifikant på grund av de stora osäkerheter som finns i beräkning och underlag för denna effekt – minskar i framtiden. I dessa båda fall har dessutom en 50 %-ig minskning för båda drivmedlen förutsatts i framtiden (f o m 2000) som följd av den reformulering som har skett för dieselolja (MK1) och som kommer att ske för bensin (MK1). Det förtjänar dock att tilläggas att underlaget för denna uppskattning är litet.

De alternativa drivmedlen kommer även framgent att uppvisa fördelar i förhållande till de konventionella drivmedlen när det gäller cancerriskerna. Vidare kommer skillnaderna mellan metan och alkoholerna att suddas ut. Orsaken till detta är den direktinsprutning som förutsätts till år 2010 samt att detta också kommer att medföra att rena alkoholer (E100 och M100) kan användas. I det första fallet sker en kraftig minskning av kallstartemissionerna och i det senare fallet kan bensinen undvaras vilket ger en väsentlig fördel för E100 och M100 i jämförelse med E85 och M 85 när det gäller PAC emissionerna.



Figur 64: Cancerrisk i framtiden för dieselmotorer

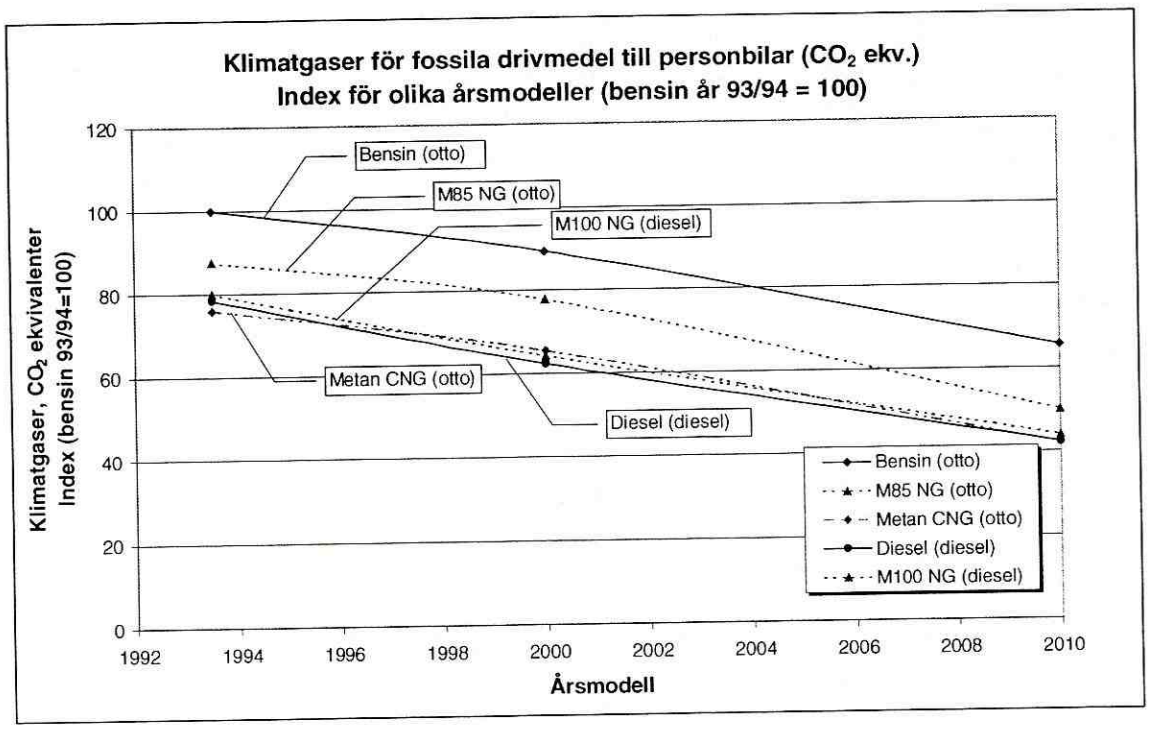
För alternativen för dieselmotorer (**Figur 64**) förväntas i princip de relativa skillnaderna mellan dessa drivmedel – bortsett från inverkan av bättre dieselbränsle – att bestå i framtiden.

7.3.5 Växthuseffekt

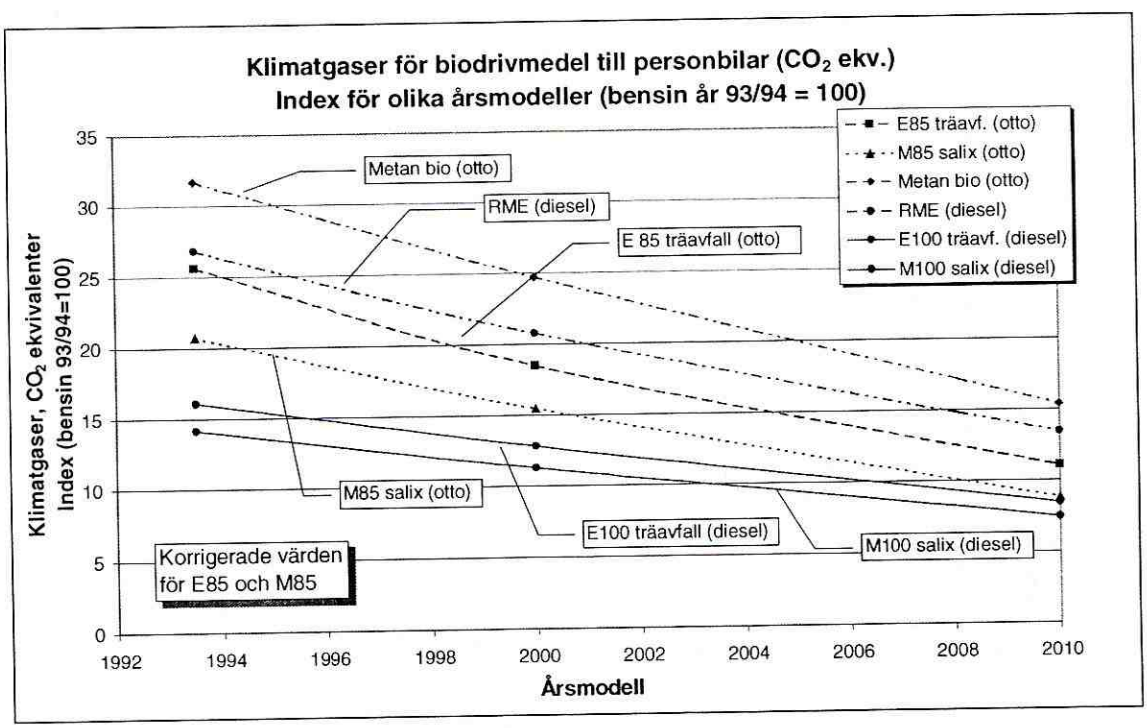
Klimatgaserna är sannolikt ett av de största miljöproblemen från trafiken i framtiden. Samtidigt är detta den största fördelen för biodrivmedel under förutsättning att utsläppen av klimatgaser kan hållas låga i produktionsledet. Eftersom produktionsmetoderna för biodrivmedel ännu inte är fullt utvecklade finns i flera fall möjligheter till vissa förbättringar. I **Figur 65** och **Figur 66** visas utsläppen av växthusgaser för fossila respektive biodrivmedel.

Den största inverkan på klimatgaserna härrör från CO_2. Samtidigt ändras CO_2 utsläppen (nästan) i proportion till förändringar av bränsleförbrukningen (under förutsättning att bränslets sammansättning inte påverkas). Det är därför inte förvånande att de förändringar av de inbördes förhållandena mellan drivmedlen med tiden som kan noteras i de båda figurerna ovan till stor del beror på skillnader i bränsleförbrukningen (och energianvändningen). Det blir således relativt små förändringar mellan de olika alternativen i framtiden.

På samma sätt som för de fossila drivmedlen ovan blir det inga dramatiska förändringar för de biobaserade drivmedlen heller. Eftersom skillnaden i energianvändning mellan diesel- och ottomotorer förväntas minska något i framtiden (se nedan) kan denna skillnad också skönjas i **Figur 46** (sid. 85). Eftersom skalan för denna figur anpassats i förhållande till den tidigare figuren syns denna skillnad också tydligare. De bästa drivmedlen när det gäller utsläppen av växthusgaser i framtiden är M85 (egentligen M100 eftersom bensinen förutsätts kunna undvikas år 2010), E100 och M100.



Figur 65: Utsläpp av klimatgaser i framtiden för fossila drivmedel

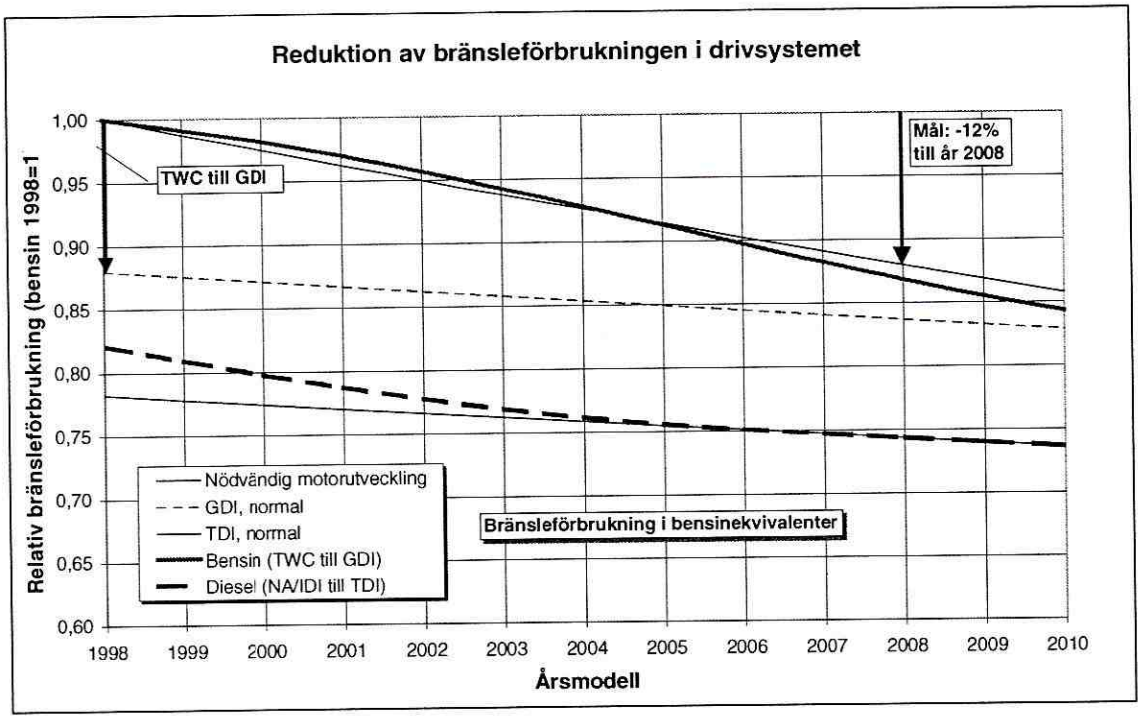


Figur 66: Utsläpp av klimatgaser i framtiden för biodrivmedel

7.3.6 Energianvändning i fordonet

När det gäller energiomsättningen kan en hel del förändringar förväntas i framtiden när det gäller framställningen av de alternativa drivmedlen. Nytt underlag och nya beräkningar (uppdatering av Life of Fuels) måste dock tas fram för att verifiera detta antagande. För de konventionella fossila drivmedlen förväntas dock inga större förändringar ske. En ökad effektivitet i raffinaderiet motverkas av behovet av en ökad konvertering till lätta produkter och större krav (reformulering) på dessa. Samtidigt tenderar också råoljorna att bli tyngre.

I stället för att jämföra energiomsättningen har därför i stället energianvändningen i fordonen jämförts med olika motortyper. I **Figur 67** visas ett exempel på den skillnad som kan förväntas mellan otto- och dieselmotorer i framtiden. Underlaget för denna figur bygger på de beräkningar som beskrivits i kapitel 5.



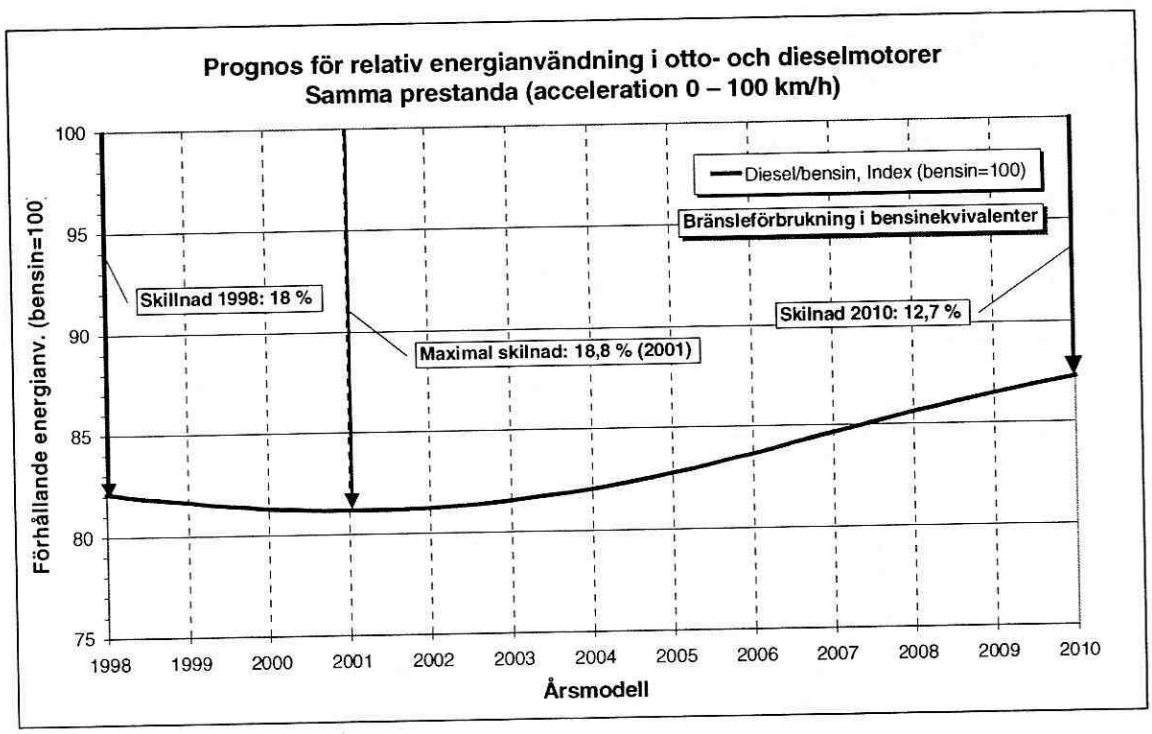
Figur 67: Reduktion av energianvändningen i otto- och dieselmotorer i framtiden

Största delen av den förbättring som sker för ottomotorn härrör från övergången till direktinsprutning. Det är i och för sig möjligt att åstadkomma samma förbättring med en kombination av andra metoder men det är tveksamt om detta kan åstadkommas till samma kostnad. Resten av förbättringen sker genom normal utveckling, dvs förfining av andra motoregenskaper (friktion, pumpförluster, förbränningsförlopp, oktanbehov, mm). En linje för denna förbättring (på knappt 0,5 % per år) har också indikerats i figuren.

För dieselmotorerna håller redan i dag den direktinsprutade motorn på att ta över marknaden för denna motortyp. Den *relativa* potentialen till förbättring är således inte riktigt lika stor som för ottomotorerna.

Ett annat sätt att visa skillnaderna mellan dessa två motortyper är att visa den relativa skillnaden som funktion av tiden. Detta har gjorts i **Figur 68** (med ottomotorn som referens). I denna figur syns den relativa skillnaden mellan motortyperna tydligare. Med den prognos

över introduktionen av de nya motorkoncepten som gjorts kommer den relativa skillnaden mellan motortyperna att vara som störst om ca ett år. Det återstår att se ifall den förväntade introduktionen av direktinsprutade ottomotorer kan ske så snabbt som förutsatts här. Den helt avgörande frågan är tillgången på en bensinkvalitet med avsevärt lägre svavelhalt än dagens bensin.



Figur 68: Relativt förhållande för energianvändningen i otto- och dieselmotorer

De reduktioner av energianvändningen för de alternativa drivmedlen som kan förväntas i framtiden kommer att ske på principiellt samma sätt som för bensin och dieselolja i de ovan beskrivna motortyperna. Det är dock inte på något sätt givet att biltillverkarna kommer att marknadsföra dessa motortyper även för alternativa drivmedel även om det i flera fall – som visats tidigare – skulle kunna ge ännu större fördelar än för de konventionella drivmedlen. Det är helt enkelt fråga om kommersiella avväganden som styr ifall sådana satsningar kommer att ske. Eftersom de överväganden som skett i denna sammanställning helt domineras av de tekniska aspekterna har inga sådana restriktioner förutsatts. Därför kan en del av motor- och drivmedelkombinationerna anses som rent hypotetiska men avsikten har ju varit att visa vad som är tekniskt möjligt och inte vad som är kommersiellt intressant. Några förändringar som dock förutsatts i framtiden är en något ökad verkningsgrad med de alternativa drivmedlen (1 – 2 % av energianvändningen). Skillnaden är dock obetydlig. Orsaken till detta antagande är att de skillnader som förutsatts för 1993/1994 (3 – 4 % minskning av energianvändningen) medfört att den fulla potentialen för dessa drivmedel inte utnyttjats. Liknande överväganden har också medfört ungefär samma relativa förbättring för alternativen till dieselmotorer. Det är möjligt att de antaganden som gjorts gett en viss underskattning av potentialen och skattningarna kan därför ses som konservativa.

8 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Tidigare har ett antal studier sammanställt emissioner från olika alternativa drivmedel. Några studier finns också som belyser effekterna på hälsa och miljö från vissa emissionskomponenter från några alternativa drivmedel. I den föreliggande studien har en teknikneutral sammanställning av emissionsdata för ett antal drivmedel gjorts i olika tidsperspektiv. Dessa data har sedan använts som indata för att beräkna några olika effekter på hälsa och miljö från utsläppen. För effekter av regional och global karaktär har dessutom framställningen av drivmedlen beaktats. Indata för dessa beräkningar har hämtats från en tidigare Ecotraffic studie: Life of Fuels.

8.1 Metodik

8.1.1 Prioriteringar

De undersökta drivmedels- och motorkombinationerna har indelats i två olika grupper, högst prioriterade och lägre prioriterade. I den förstnämnda gruppen har bränslen för ottomotorer placerats och den andra gruppen omfattar bränslen för dieselmotorer. Huvudkriteriet för detta val har varit att den förstnämnda gruppen kan göras bränsleflexibla (FFV) eller kan använda två olika bränslen (bi-fuel). Därmed kan fordonen nå en bredare användning under en introduktionsperiod innan en infrastruktur har byggts upp för ett nytt drivmedel än motsvarande dedikerade[45] fordon. På längre sikt är det dock troligt att bättre lösningar kan hittas genom fordon som är speciellt optimerade för ett visst bränsle .

8.1.2 Korrektioner och beräkningsmodell

För att kunna göra en korrekt jämförelse mellan olika drivmedel är det nödvändigt att beräkna emissionerna och deras effekter under hela fordonets livslängd, dvs korrigera för fordonets åldring. I denna studie har det visat sig att det underlag som hittills finns för dessa korrektioner fortfarande är begränsat. Insamling av kompletterande underlag samt nya tester är de möjligheter som finns för att kunna förfina detta material. Användningen av en mer sofistikerad modell för beräkning av emissionerna under fordonets livslängd kan också öka precisionen i beräkningarna. En jämförelse mellan resultat från andra studier visar dock att även en enkel modell som den som använts här kan ge resultat av samma storleksordning som dessa studier.

Underlaget för korrektioner av temperatur och körmönster visar att dessa korrektioner blir stora i flera fall, t ex för bensin- och alkoholdrivna ottomotorer. Det är därför viktigt att både generera mer underlag för dessa beräkningar och att förfina beräkningsmodellerna.

8.1.3 Beräkning av effekter

Vid de beräkningar av effekterna som gjorts kan konstateras att underlaget för dessa beräkningar varierar kraftigt beroende på vilken effekt som undersöks. Exempelvis är det tämligen enkelt att beräkna försurning och ozonbildning eftersom dessa effekter har undersökts i många tidigare studier och metodiken för beräkningarna är enkel. Svårigheterna att beräkna cancerrisker är däremot mycket större. Dels måste många emissionskomponenter beaktas, av vilka få analyseras vid normala emissionsundersökningar, och dels har inte

[45] Dedikerade: fordon optimerade för ett bränsle.

riskfaktorer tagits fram ännu för alla dessa emissionskomponenter. Omfattande utvärderingar pågår dock bl a i USA, som på sikt kan leda till att ett betydligt bättre underlag kommer att finnas tillgängligt för denna typ av beräkningar.

8.2 Analys av resultat

8.2.1 Försurning

Resultaten för försurning visar stora skillnader mellan olika drivmedel. Eftersom NO_X emissionerna från fordonen kommer att minska kraftigt i framtiden, samtidigt som svavelhalten i drivmedlen också kommer att reduceras avsevärt för de konventionella fossila drivmedlen, blir framställningen av drivmedlet och produktionen av råvaran för dess framställning ännu viktigare i framtiden. Framställningsmetoderna för vissa av de alternativa drivmedlen är ännu inte tillräckligt utvecklade för att definitiva slutsatser skall kunna dras med avseende på deras inverkan på försurningen. *Det är således angeläget att studera dessa frågor vidare.*

8.2.2 Ozonbildning

Ozonbildningspotentialen är lägre för alla andra drivmedel än bensin. Bäst är metan och alkoholdrivna dieselmotorer medan alkoholdrivna ottomotorer ligger högre. Av alkoholerna är metanol den alkohol som ger den lägsta ozonbildningspotentialen. Dieselolja och RME ger också en låg ozonbildningspotential – trots att den specifika reaktiviteten är högre eller av samma storleksordning som bensin – på grund av de låga HC emissionerna. För att erhålla en låg ozonbildningspotential måste dels sammansättningen av de oförbrända organiska föreningarna i avgaserna bestå av ämnen med en låg specifik reaktivitet och dels skall dessa emissioner totalt sett vara låga. *Även om skillnaderna mellan drivmedlen kommer att minska i framtiden är det dock uppenbart att detta kommer att vara en väsentlig fördel för alternativa drivmedel som metan och alkoholer under överskådlig tid framöver.*

8.2.3 Luftvägssjukdomar

Två av de ämnen som orsakar luftvägssjukdomar, NO_X och partikelemissioner, ligger generellt högre för dieselolje- och RME-drivna dieselmotorer än för ottomotorer.

När det gäller NO_X emissionerna från dieselmotorer finns goda förutsättningar att väsentligt minska dessa med alkoholbränslen (och DME) medan RME inte har samma potential. Dock bör man med RME på längre sikt kunna nå samma – eller en lägre – nivå än med dieselolja. Det är troligt att kraven på att minska NO_X emissionerna på lång sikt kommer att leda till att en teknik för efterbehandling av avgaserna introduceras för dieselmotorer. Man kan också notera att NO_X-problematiken är liknande för vissa tekniska lösningar för ottomotorer, t ex direktinsprutning, som har potential till väsentligt lägre bränsleförbrukning än konventionella system. Detta kommer sannolikt att leda till en intensifiering av FoU-insatserna inom området.

Partikelemissionerna är också generellt högre för dieselolja och RME än för övriga drivmedel. Sannolikt leder detta till att partikelfilter kommer att introduceras i stor skala på medellång sikt och/eller att ett helt nytt förbränningssystem kommer att introduceras på längre sikt för dessa motorer. Frågan om partiklarnas hälsofarlighet och huruvida de allra minsta partiklarna är farligare än de större partiklarna är också en problematik som måste utredas och som väsentligt kan påverka motorutvecklingen på lång sikt. Skulle det visa sig

att de minsta partiklarna också är de mest hälsofarliga är det möjligt att partikelfilter på längre sikt även måste introduceras i bilar med ottomotorer.

Det är ingen tvekan om att flera alternativa drivmedel har en fördel när det gäller NO_X och partikelemissioner i jämförelse med de konventionella fossila drivmedlen. Den framtida utvecklingen (t ex NO_X rening och partikelfilter) leder dock till att skillnaderna minskar på längre sikt.

8.2.4 Cancerrisker

Svårigheterna när det gäller att uppskatta cancerriskerna är stora. Dels är underlaget litet och dels är de riskfaktorer som utarbetats tämligen osäkra. Det är därför sannolikt att den bild som ges här måste revideras på sikt. De resultat som erhållits visar i alla fall att cancerriskerna generellt lägre är för alla alternativa drivmedel än för bensin och dieselolja. Lägst cancerrisk ger metan men även de alkoholdrivna dieselmotorerna har en potential till en mycket låg cancerrisk. Den reformulering av de fossila drivmedlen som har gjorts (Mk 1 dieselolja), eller som kommer att göras (Mk 1 bensin), leder sannolikt till en väsentlig förbättring i detta avseende men underlagen för sådana uppskattningar är ännu i minsta laget. *Även om den fortsatta tekniska utvecklingen kommer att leda till betydande framsteg inom detta område kommer dock de alternativa drivmedlen fortsättningsvis att ha vissa fördelar i detta avseende.*

8.2.5 Klimatgaser

När det gäller energianvändningen i fordonet kommer den, för såväl otto- som dieselmotorer, att kunna minskas i framtiden. Skillnaden mellan dessa två motortyper kommer att öka något de närmaste åren för att sedan åter minska. Orsaken till detta förhållande är att direktinsprutning nu introduceras i stor skala för dieselmotorer medan motsvarande utveckling (och andra förbrukningsminskande koncept) ännu inte nått lika långt för ottomotorer. I framtiden finns möjligheter att utnyttja de alternativa drivmedlens egenskaper för att minska bränsleförbrukningen. Den möjliga förbättringen i jämförelse med motsvarande bensin- eller dieseloljedrivna motorer torde dock endast röra sig om några procentenheter.

8.2.6 Energianvändning och energiomsättning

När det gäller energianvändningen i fordonet kommer såväl otto- som dieselmotorer att kunna förbättras i framtiden. Skillnaden mellan dessa två motortyper kommer att öka något de närmaste åren för att sedan åter minska. Orsaken till detta förhållande är att direktinsprutning nu introduceras i stor skala för dieselmotorer medan motsvarande utveckling (och andra förbrukningsminskande koncept) ännu inte nått lika långt för ottomotorer. I framtiden finns möjligheter att utnyttja de alternativa drivmedlens egenskaper för att minska bränsleförbrukningen. Den möjliga förbättringen i jämförelse med motsvarande bensin- eller dieseloljedrivna motorer torde dock endast röra sig om några procentenheter.

Energiomsättningen är i dag högre för de biobaserade drivmedlen sett i hela kedjan p g a att de utgår från ett mer ursprungligt råmaterial än de fossila drivmedlen. Förbrukningen av de fossila resurserna i produktionsledet för biobaserade drivmedel kan dock vara liten för de bästa framställningsmetoderna.

8.2.7 Utveckling av motorer och drivsystem

Det kan först konstateras att utveckling av teknik och drivmedel kan för normbilen ge goda möjligheter att komma till rätta med hälso- och miljörisker men att en långtgående reduk-

tion av växthusgaser torde kräva övergång till drivmedel på förnybar bas och att kostnaderna kan visa sig vara för höga för bästa lösningar. En önskvärd utveckling kommer inte av sig själv utan måste drivas av skärpta emissionskrav och efterfrågan av ny teknik. De krav, som diskuteras för tiden efter 2005 och är på nivån EZEV (tiondel av ULEV), bedöms som uppnåbara.

Vägen dit går över utveckling av konventionella otto- och dieselmotorer med transmissioner och av lättare fordon fordon med lägre luft- och rullningsmotstånd. Teknik för ottomotorbilar som uppfyller förväntade emissionskrav 2010 har redan demonstrerats på laboratoriestadiet. Alternativa bränslen (alkoholer, metan) förändrar gynnsamt utsläppens karaktär och kan medge viss ökning av motorverkningsgraden genom högre kompression (högre oktantal). Metangaser intar en mellanställning i nämnda avseenden.

För dieseloljedrivna dieselmotorer kvarstår problem med NO_X- och partikelutsläpp. Ny teknik behövs för NO_X-reduktion vid mager drift och med dieselolja som drivmedel krävs sannolikt efterbehandling av avgaserna och mycket svavelfattiga (-fria) bränslen. Alkoholer ger i sig lägre NO_X-bildning och låg eller ingen partikelbildning, vilket ger möjlighet till hög EGR samtidigt som de tolererar hög EGR bättre än andra bränslen.

En sannolik utveckling av energieffektiva motorer leder mot direktinsprutade (DI) motorer. Dessa har också möjligheter att använda förnybara drivmedel i form av alkoholer vilket ger en unik kombination av låga skadliga utsläpp och en möjlighet till användning av biobaserade drivmedel. En utvecklad motor enligt dieselprincipen har så hög verkningsgrad att jämförelse med bränslecell/elmotordrift och visst batterilager inte med säkerhet alltid utfaller till det senare systemets fördel på grund av de förluster som finns i de elektriska överföringsleden och elmotorn jämfört med mekanisk transmission. Man kan dock notera att metangaser inte passar väl i direktinsprutade motorer.

Dieselmotorer är i dag betydligt mer energieffektiva än ottomotorer även om dessa drivs med bättre bränslen än bensin. Utvecklingen av direktinsprutade ottomotorer kan minska skillnaden till dieselmotorn men inte nå lika hög verkningsgrad.

Bränsleflexibilitet är en önskvärd egenskap (FFV) för att möjliggöra bred användning av ett nytt bränsle under lång omställningstid, men det tycks inte vara praktiskt möjligt att utveckla flexibilitet för alla alternativa drivmedel med framtida effektiva DI-motorer i lätta fordon. FoU-insatser för att undersöka om detta är möjligt för alkoholer och dieselolja är angelägna.

FFV-konceptet i ottomotor-bilar är rätt väl utvecklat men leder till en kompromiss beträffande prestanda med i dag oftast det sämre bränslet som styrande. Framtida FFV bör optimeras mer mot det bättre bränslet (alkohol) för att detta skall utnyttjas och framstå som attraktivt och visst avkall på topprestanda med det sämre bränslet får göras.

En intressant framtida teknik med en potential till mycket låga emissioner och bränsleförbrukning är ett förbränningssystem som innebär en kompressionständning av en förblandad bränsle- luft blandning (i princip en dieselmotor). Systemet kallas ibland HCCI (Homogenous Charge Compression Ingnition). Förutom den teknikutveckling som måste komma till stånd för att realisera konceptet är det också troligt att det kommer att ställa helt andra krav på bränslet än de som är önskvärda för dagens otto- och dieselmotorer. Exempelvis torde ett lägre cetantal än dagens dieselolja vara nödvändigt. Huruvida alternativa drivmedel, modifierade eller ej, kan vara lämpliga är en fråga som också bör belysas genom FoU-insatser.

8.2.8 El- och elhybrider

Hybridfordon har en potential till lägre bränsleförbrukning och reducerade emissioner i förhållande till konventionella drivsystem. En kompromiss mellan dessa två egenskaper (bränsleförbrukning och emissioner) måste dock göras vilket medför att den fulla potentialen kan vara svår att nå. Det underlag som finns för kommersiella hybridsystem är ännu så litet att några uppskattningar inte har gjort av de nivåer som är rimliga i detta avseende. För att hybridsystem skall kunna nå en större kommersiell framgång krävs dock en kraftig reduktion av kostnaderna i framtiden. Enkla parallellhybridsystem med endast en liten batterikapacitet har bedömts som det bästa alternativet i detta avseende.

Elfordon har, om ev emissioner från värmesystemet försummas, nollemissioner lokalt. Detta är den största fördelen med elfordon. Vidare kan den totala energianvändningen i fordonet minskas i jämförelse med fordon med förbränningsmotorer. Beroende på hur elektriciteten genereras finns olika stora möjligheter att minska både energiomsättning och klimatgaser. Det största problemet med elbilar är kostnaderna. Detta i kombination med den korta räckvidden medför att elbilar under överskådlig framtid endast kommer att bli en nischlösning och därmed kommer även effekterna på miljön att bli försumbara.

8.3 Slutsatser och rekommendationer

Från de resultat som genererats i denna rapport kan en del slutsatser dras som man kan ha nytta av i framtiden när nya satsningar planeras. Det viktigaste av dessa slutsatser är:

- Dagens konventionella standardbilar byggs för att uppfylla gällande utsläppskrav men har teknisk potential till mycket lägre utsläpp (ULEV eller bättre). Nya drivmedel, metangas, alkoholer och RME, kan därutöver ändra karaktären av utsläppen med gynnsamma resultat för effekter som cancerrisk, oxidantbildning och växthuseffekt. Utvecklingen kommer inte av sig själv utan måste drivas av skärpta avgaskrav och efterfrågan av ny teknik.
- På kort sikt kan viss hälso-/miljönytta av främst lokal karaktär erhållas genom el-, CNG- och RME-drift jämfört med bensin- respektive dieseloljedrift men det synes ovisst om den motsvarar kostnaden. Dessa fordon kan demonstreras nu, men möjligheten för genomslag i stor användning måste bedömas som liten och därmed blir totala effekten på miljö och hälsa också liten. Däremot kan demonstrationer och goda exempel öka samhällets intresse för och satsningar på miljöbilar och bränslen, som sedan kan ledas in på kostnadseffektiva lösningar.
- På längre sikt måste kraftiga förbättringar av miljöprestanda för bensin- och alkoholdrift förväntas till betydligt lägre kostnader och fördelen för ovannämnda drivsätt blir allt mindre. Genomslaget för sådan ny teknik är obegränsat stort genom möjlighet för allmän användning. Därmed blir också hälso-/miljöföbättringen största möjliga, men den kommer först när kraven skärpts eller efterfrågan skapats genom upphandlingar och ev. skatteincitament. Alkoholer, etanol och främst metanol, synes ge billigaste möjlighet för överfasning till biobaserade drivmedel och som metanolbränsle i bränslecelldrivna system.
- Hybridsystem för eldrift med ombordgenererad el har potential för mycket låga emissioner, men kan vara svåra att förena med låg bränsleförbrukning och långsiktigt acceptabel kostnad.

- För att nya koncept för motor- och drivsystem skall kunna introduceras krävs ett kraftfullt stöd till FoU inom området. En kombination mellan de nya koncepten och användningen av biodrivmedel är särskilt önskvärd. Ett exempel på en mycket intressant motor/bränsle kombination är en direktinsprutad alkoholdriven ottomotor (ADI[46]). Ett annat exempel på ett angeläget område är en vidareutveckling av bränsleflexibla bilar (FFV) och i synnerhet i kombination med ADI-konceptet. På längre sikt kan också en alkoholdriven dieselmotor vara av intresse som i dess mest utvecklade form också kommer att använda det tidigare nämnda HCCI förbränningssystemet. En motor av denna typ kan ge en unik kombination av hög verkningsgrad och mycket låga emissioner. För gasdrivna fordon är det främst av intresse att vidareutveckla reglertekniken och katalysatorernas effektivitet för oxidation av metan. Möjligheterna att använda direktinsprutning av gas bör också undersökas även om förutsättningarna för detta kanske inte är lika goda som för alkoholbränslen.
- Det finns också en mängd åtgärder som kan göras i dag men som rent strikt inte är av teknisk karaktär. Man kan t ex påskynda teknikutvecklingen för alternativa drivmedel genom teknikupphandling. Vid upphandling bör man alltid ställa villkor motsvarande nästa officiella kravnivå för emissionerna och dessutom föreskriva en anordning för att minimera emissionerna vid kallstart. Avgränsade satsningar på mer konceptbetonade miljöbilar (FFV, gas, el, RME) kan också göras för att skapa opinion för långsiktiga satsningar på riksplanet för morgondagens (kommersiella) miljöbilar.

[46] ADI: Alcohol Direct Injection, i analogi med GDI (Gasoline Direct Injection).

9 REFERENSER

1. Alternativbränsleutreutredningen (ABU): "Bättre klimat, miljö och hälsa med alternativa drivmedel." SOU 1996:184, ISBN 91-38-20465-7 ISSN 0375-250X, 1996.
2. Miljöhälsoutredningen: "Miljö för en hållbar hälsoutveckling.", SOU 1996:124, 1996.
3. Regeringens Proposition: "Transportpolitik för en hållbar utveckling.", Proposition 1997/98:56, 1998.
4. Ahlvik P., Almén J., Grägg K. och Laveskog A. (MTC): "Avgasemissioner med alternativa bränslen.", Underlagsrapport till Alternativbränsleutredningen, "Bättre klimat, miljö och hälsa med alternativa drivmedel – bilaga", SOU 1996:184, 1997.
5. Egebäck K-E (LTU), Ahlvik P. (MTC) och Westerholm R. (SU): "Emissionsfaktorer för fordon drivna med biodrivmedel – Huvudrapport.", KFB-Meddelande 1997:22, 1997.
6. Egebäck K-E (LTU), Ahlvik P. (MTC), Laveskog A. (MTC) och Westerholm R. (SU): "Emissionsfaktorer för fordon drivna med biodrivmedel – Underlagsrapport.", KFB-Meddelande 1997:23, 1997.
7. Ahlvik P. och Brandberg Å. (Ecotraffic): "Emissioner från alternativa drivmedel – I ett livscykelperspektiv.", Underlagsrapport för Naturvårdsverket (ej publicerad), 1998.
8. Enya T, Hitomi S., Watanabe T., Hirayama T, and Hisamatsu Y.: "3-Nitrobenzanthrone, a Powerful Bacterial Mutagen and Suspected Human Carcinogen Found in Diesel Exhaust and Airborne Particulates.", Environmental Science and Technology, Vol. 31, No 10, 1997.
9. Brandberg Å. och Sävbark B.: "Trafikens utsläpp – Hälso- och miljöeffekter – Motåtgärder.". Rapport för Trafikkontoret i Göteborgs Stad, ET 97/2131, Ecotraffic, mars 1997.
10. Johansson A., Brandberg Å., and Roth A. (Ecotraffic): "Life of Fuels – *Motor Fuels from Source to End Use.*", Ecotraffic R&D AB, 1992.
11. Ahlvik P. och Brandberg Å. (Ecotraffic): "Lätta miljöbilar – Jämförelser.", Resultatsammanställning utarbetad som beslutsunderlag för Trafikkontoret i Göteborg, arbetsmaterial (ej publicerad), 1998.
12. Ahlvik P. (MTC), Eggelston S. (AEA Technology), Gorissen N. (UBA), Hassel D. (TÜV Rheinland), Hickman A-.J. (TRL), Joumard R. (INRETS), Ntziachristos L. (LAT/AUTH), Rijekboer R. (TNO), Samaras Z. (LAT/AUTH), and Zierock K.-H.: "COPERT II, Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport – *Methodology and Emission Factors.*" European Environment Agency (EEA), European Topic Center on Air Emission, Technical Report no. 6, European Environment Agency, ETC/AEM, p.55, November 1997. (Program, manualer, beskrivning av metodik, mm kan laddas ner från COPERT II:s officiella Internet hemsida på adressen: http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm).
13. Lenner M., och Karlsson Bo O. (VTI): "Kvantitativ beräkningsmodell för trafikens upsläpp av cancerframkallande ämnen i svenska tätorter.", VTI meddelande 847, 1998.
14. Altenstedt J., and Pleijel K.: "POCP for individual VOC under European Conditions.", IVL B-1305, Sept. 1998.

15. Bach C., Heeb N., Mattrel P., and Mohr C. (EMPA): "Wirkungsorientierte Bewertung von Automobilabgasen.", MTZ 59, 1998.
16. Törnqvist M., and Ehrenberg L.: "On Cancer Risk Estimation of Urban Air Pollution.", Environmental Health Perspectives, vol. 102, Supplement 4, October 1994.
17. US EPA: "Cancer Risk from Outdoor Exposure to Air Toxics, *Volume 1, Final Report.*", EPA-450/1-90-004a, US EPA, 1990.
18. Smith R., L., French C. L., Murphy D. L., and Thomson R. (US EPA): "Ranking and Selection of Hazardous Air Pollutants for Listing under Secton 112(k) of the Clean Air Act Amendments of 1990 – *Technical Support Document.*", EPA, 1999.
19. CARB: "Proposed Regulations for Low-Emission Vehicles and Clean Fuels.", Staff Report and Technology Support Document, Aug. 13, 1990.
20. CAPCOA: "Air Toxics "Hot Spots" Program – *Risk Assessment Guidelines.*", AB 2588 Risk Assessment Committee of the California Air Pollution Control Officers Association (CAPCOA), Jan. 1992.
21. Westerholm R. Westerholm R, Törnqvist M, Rannug U, Ehrenberg L (1996). Chemical and Biological Characterization of Exhaust Emissions from Two Bioethanol Fuels Containing Different Diesel Ignition Improvers.", KFB Dnr: 92-72-742, 1996.
22. Brandberg Å., Hjortsberg H., and Sävbark B. (Ecotraffic), " BioMeeT, Planning of Biomass based Methanol energy combina – Trollhättan region, *an Interim Report.*", Ecotraffic R&D AB, available at the Internet site of Ecotraffic: http:\\www.ecotraffic.se.
23. Rijkeboer R. C., and Hendriksen (TNO): "Regulated and Unregulated Exhaust Gas Composition from LD Vehicles on Petrol, Diesel. LPG and CNG.", TNO-report 93.OR.VM.029/1/PHE/RR, 1993.
24. Laveskog A. (MTC): "Emissions at regulated and non regulated test cycles.", MTC report 9001, 1990.
25. Kutcher E. (MTC): "Emissions from older catalyst-equipped vehicles.", MTC report 9058A, 1991.
26. Kutcher E. (MTC): "Emissions from catalyst-equipped vehicles with high odometer readings." MTC report 9058, 1991.
27. Kutcher E. (MTC): "Survey of high mileage vehicles in use.", MTC report 9204, 1992.
28. Kutcher E. (MTC): "Technical evaluation of the exhaust emissions from seven engine families.", MTC report 9302A, 1993.
29. Bengtsson S. and Laveskog A. (MTC): "68 passenger vehicles tested according to ECE and US driving cycles." MTC report 9304, 1993.
30. Bengtsson S. (MTC): "Survey of six different engine families in Swedish traffic." MTC report 9402, 1995.
31. Almén J. (MTC), Ludykar D. (Stockholm Univ.), and Westerholm R. (Stockholm Univ.): "Unregulated Emission Factors for Light Duty Vehicles at Different Driving Patterns and Temperatures.", MTC report MTC 9501, 1997.
32. Laveskog A. (MTC): "Verification of long term stability of emission control systems, III.", MTC report 9502, 1995.

33. Bengtsson S. (MTC): "Evaluation of vehicles in Swedish traffic.", MTC report 9502B, 1995.

34. Nylund N.-O, Ikonen M., Kytö M., Lappi M., Westerholm M. and Laurikko J. (VTT): "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).

35. Laurikko J. (VTT): "On exhaust emissions from petrol-fuelled passenger cars at low ambient temperatures.", VTT Publications 348, 1998.

36. 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.

37. 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.

38. Lenner M. (VTI): "Pollutant emissions from passenger cars – *Influence of cold start, temperature and ambient humidity.*", VTI report No 400 A, 1994.

39. Ross M. (Univ. of Michigan), Goodwin R. (Univ. of Michigan), Watkins R. (Univ. of Michigan), Wenzel T. (Lawrence Berkley Nat. Lab.), and Wang M. (Argonne Nat. Lab.): "Real-World Emissions from Conventional Passenger Cars.", Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 48, June 1998.

40. Kapus P., Mikulic L und Zelenka P. (AVL): "Entwicklung eines Direkteinspritzender Methanolmotors für PKW.", 11 Internationales Wiener Motorensymposium 26 – 27 April 1990, VDI Fortschritt – Berichte, Reihe 12, Nr. 141, VDI Verlag, 1990.

41. Quissek F., Zelenka P., Hulak K., and Kapus P. (AVL): "Cold Start Performance Comparison of Alcohol-Fueled Engines with In-Cylinder and Port Fuel Injection.", SAE Paper 920003, 1992.

42. Zelenka P, and Kapus P. (AVL): "Development and Vehicle Application of a Multi-Fuel DI-Alcohol Engine.", XXIV FISITA Congress 7-11 June 1992.

43. Pischinger F. (FEV), Hilger U. (FEV), Jain G. (FEV), Bernhardt W. (VW), Heinrich H. (VW) und Weidmann K. (VW): "Konzept eines 1,9 l DI-Methanolmotors für den Einsatz im PKW.", 11 Internationales Wiener Motorensymposium 26 – 27 April 1990, VDI Fortschritt – Berichte, Reihe 12, Nr. 141, VDI Verlag, 1990.

44. Hilger U. (FEV), Jain G. (FEV), Pischinger F. (FEV), Jain G. (FEV), Weidmann K. (VW), Heinrich H. (VW), Bernhardt W. (VW), and Rogers G. W. (FEV of America): "Development of a DI methanol engine for passenger car application.", IX International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF), Firenze, Italy, November 12 – 15, 1991. Ecofuel 15, Viale Brenta – 20139 Milano, Italy.

45. Bruetsch R., and Hellman K. H. (US EPA): "Evaluation of a Passenger Car Equipped with a Direct Injection Neat Methanol Engine.", SAE Paper 920196, 1992.

46. 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.

47. Laveskog A. (MTC): "Emissions from three diesel vehicles fuelled with three different fuels.", MTC Report MTC 9506, 1996.

48. Ahlvik P. (MTC): "Exhaust emissions from five light-duty trucks.", MTC Report MTC 9601, 1998.

49. Ahlvik P. (Ecotraffic): "Characterization of emissions from cars with lean-burn and direct injection gasoline engines.", MTC Report MTC 9704, 1998.

50. Ahlvik P. (Ecotraffic), and De Serves C. (MTC): "Characterization of particulate emissions from 11 gasoline and 5 diesel-fueled cars." MTC Report MTC 9708B, 1999.

51. K-H Neumann, Schürmann D., Kohoutek P., Beyersdorf J., Hartung A., Nagel C., and Schulze J.: "Unregulated Exhaust Gas Components of Modern Diesel Passenger Cars.", SAE Paper 1999-01-0514, 1999.

52. Grägg K.: "Emissions from use of RME compared to environmental class 1 diesel fuel and vehicle.",

53. Hall D. E., Doel R., Jørgensen R., King D. J., Mann N., Scorletti P., and Heinze P. (Concawe): "Polycyclic aromatic hydrocarbons in automotive exhaust emissions and fuels.", Concawe Report No. 98/55, 1998.

54. Ahlvik P., Almén J., Westerholm R., and Ludykar D.: "Impact of a Block Heater on Regulated and Some Unregulated Emissions from a Gasoline Fueled Car at Low Ambient Temperatures.", SAE Paper 972908, 1997.

55. Almén J. (MTC), Ludykar D. (Stockholm Univ.), and Westerholm R. (Stockholm Univ.): "Unregulated emission factors from light duty vehicles during high emitting conditions.", MTC report MTC 9603, 1999.

56. Olsson L (Volvo), Ekman L. (Volvo), Rosén Å (Volvo), Westerholm R. (Stockholm Univ.), Almén J. (Stockholm Univ.), and Rannug U. (Stockholm Univ.): "Chemical and Biological Characterization of Exhaust Emissions from Flexible Fuel Vehicles Equipped with Heated Pre-Catalyst System.", SAE Paper 920291, 1992.

57. Nylund N.-O., and Lappi M.: "Evaluating Alternative Fuels for Light-Duty Applications.", SAE Paper 972974, 1997.

58. Grägg K. (MTC): "Effects of Environmentally Classified Diesel Fuels, RME and Blends of Diesel Fuels and RME on the Exhaust Emissions." MTC Report MTC 9209B, 1994.

59. Ahlvik P.: "Skall vi köra på alternativa drivmedel i stället för bensin/diesel?", föredrag vid TrafikMiljö –98 seminariet i Borlänge, 1998.

60. Menne R. J., Heuser G., and Morris G., D. (Ford): "Potential of the new Ford Zetec-SE engine to meet future emission standards.", IMechE Paper C517/038/96, 1996.

61. Osses M., Clarke P., Andrews G. (Univ. of Leeds), Ounzain A., and Robertson G.: "Enhanced exhaust gas recirculation using exhaust throttling for NO_X reduction at WOT.", IMechE Paper C517/011/96, 1996.

62. Abthoff J. O., Antony P., Krämer M., and Seiler J.: "The Mercedes-Benz C-Class Series Hybrid.", SAE Paper 981123, 1998.

63. NRC: "Review of the Partnership for a New Generation of Vehicles (PNGV) – Fourth Report.", National Academy Press, Washington D.C., 1998.

64. Hellman K. H., Peralta M. R., and Piotrowski G. K. (US EPA): " Evaluation of a Toyota Prius Hybrid System (THS).", EPA Technical Report EPA 420-R-98-006, 1998.
65. Ahlvik P.: "Testing of 2 Renault Clio electric cars.", MTC Report 9534, 1996 (restricted until 1998).
66. Fradl G. K., Kapus P., Piock W., und Wirth M.: "Fahrzeugklassen-spezifische Ottomotorkonzepte.", MTZ 60, 1999.
67. Mase Y., Kawashima J.-I., and Sato T. (Nissan): Nissan's New Multivalve DI Diesel Engine Series.", SAE Paper 981039, 1998.
68. Kimura S., Matsui Y., and Koike M. (Nissan): "New combustion concept for simultananeous reduction of NO_X and particulate emissions from small DI diesel engines.". Fisita Paper No F98T132, 1998.
69. Ishibashi Y., and Asai M. (Honda): "A Low Pressure Pneumatic Direct Injection Two-Stroke Engine by Activated Radical Combustion Concept.", SAE Paper 980757.
70. Christensen M., Johansson B., Amnérus, and Mauss F. (LTH): "Supercharget Homogenous Charge Compression Ignition.", SAE Paper 980787, 1998.

Ytterligare referenser

71. CRC Atlanta GA, "Auto/Oil"; Air Quality Improvement Research Program (AQIRP): "Program Final Report", January 1997.
72. Hupperich P., Grigo., Wolters P., Woodcroft D., and Yapici K: "Direct Injection Gasoline Engines – Combustion and Design.", SAE Paper 1999-01-0170, 1999.
73. Graskow., B. D., Kittelson D., Ahmadi M., and Morris J. E.: "Particle Emissions from a DI Spark Ignition Engine.", SAE Paper 1999-01-1145, 1999.
74. Cole R., L.: "Gaseous and Particulate Emissions from a Vehicle with a Spark-Ignition Direct-Injection Engine.", SAE Paper 1999-01-1282, 1999.
75. Martin B. (IFP), Aakko P. (VTT), Beckman D. (TNO), del Giacomo N. (Instituto Motori), and Giavazzi F. (Euron): "Influence of Future Fuel Formulations on Diesel Engine Emissions – a Joint European Study." SAE Paper 972966, 1997.
76. Tsurushima T., Zhang L., Ishii Y.: "A Study of Unburnt Hydrocarbon Emission in Small DI Diesel Engines.", SAE Paper 1999-0512, 1999.
77. Lueders H., Stommel P.: "Diesel Exhaust Treatment – New Approaches to Ultra Low Emission Diesel Vehicles.", SAE Paper 1999-01-0108, 1999.
78. Miller S. P, and Burkel P. A. (Detroit Diesel Co.): "Methanol Fuel Injector Improvements in Two-Stroke Methanol Fueled Diesel Engines.", Proceedings of the Annual Automotive Technology Development Contractors´ Coordination Meeting, SAE P-243, 1990.
79. Rydén C. (Projektkonsult Tima) och Egebäck K.-E. (LTU): "Flottförsök med 53 FFV – Etapp 1." KFB-Meddelande 1997:11, 1997. (Finns även på engelska: KFB-Meddelande 1997:13).
80. 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.

81. 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. (Ford), "Powertrain Development of the 1996 Ford Flexible Fuel Taurus." SAE Trans., Vol. 104, Section 4, October 1995, SAE Paper 952751, 1995.

82. 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 Luminas." SAE Paper 961092, 1996.

83. 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.

84. 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.

85. Egebäck K.-E. (LTU): "Emissioner från lätta fordon drivna med biogas.", underlagsrapport till rapporten: "Biogasdrivna fordon i Uppsala",: KFB-Rapport 1997:39, 1997.

86. 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.

87. Maier, F., Müller,P., Heck, E. und Langen, P. (BMW). Erdgasmotorkonzept mit EZEV-Potential. MTZ 58(1997):9, 544-51.

88. Suga T., Knight B., and Arai S. (Honda): "Near-zero Emissions Natural Gas Vehicle, Honda Civic GX SAE." Paper 972643, 1997.

89. Min Byoung Hyouk, Bang Ki Hon, Kim Ho Young, Chung Jin Taek, and Park Simsoo: "Effects of Gas Composition on the Performance and Hydrocarbon Emissions for CNG Engines.", SAE Paper 981918, 1998.

90. Kato K., Igarashi K., Masuda M., Otsubo K., Yasuda A., Takeda K., and Sato T.: "Development of Engine for Natural Gas Vehicle.", SAE Paper 1999-01-0574, 1999.

91. Kishi N., Kikuchi S, Suzuki N., and Hayashi T.: "Technologies for Reducing Exhaust Gas Emissions in Zero Level Emission Vehicles.", SAE Paper 1999-01-0772, 1999.

92. 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.

93. 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.

94. Kapus P. and Ofner H. (AVL): "Development of Fuel Injection Equipment and Combustion System for DI Diesels Operated on Dimethyl Ether" SAE Paper 950062, 1995.

95. 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.

96. 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 Trans., Vol. 104, Section 4, October 1995, SAE Paper 952376, 1995.

97. 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.

98. Brekken M., and Durbin E. (Princeton Univ.): " An Analysis of the True Efficiency of Alternative Vehicle Powerplants and Alternative Fuels." SAE Paper 981399, 1998.

99. 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.

100. 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.

101. 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.

102. Decker, G. et al (VW): "Das Ozonpotential unterschiedlicher Fahrzeug- und Kraftstoffkonzepte." ATZ 98(1996):5,

103. US EPA: "Analysis of the Economic and Environmental Effects of Methanol as an Automotive Fuel.", Special Report, Office of Mobile Sources, 1989.

104. 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.

105. 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 publikationsdatum men tidigast 1997.

106. Blinge, M. (CTH – Inst. för Transportteknik): "Environmental assessment of fuel supply system for vehicle fleets." CTH Doctor 0346 718X, juni 1998.

107. Blinge, M. (CTH – Inst. för Transportteknik): "Jämförande analys av producerade rapporter kring livscykelanalyser av drivmedel." Maj 1996.

108. IEA/AFIS – Alternative Motor Fuels Agreement (Innas B.V and Atrax Energi AB): "Automotive Fuels Survey – Part 3 "Comparison and Selection.", January 1998.

109. 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.

110. 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.

111. Brekken M., Durbin E.: "An Analysis of the True Efficiency of Alternative Vehicle Powerplants and Alternative Fuels.", SAE Paper 981399, 1999.

112. Edited by Lies K. H.: "Unregulated Motor Vehicle Exhaust Gas Components.", Volkswagen AG, Research and Development, 1989.

113. Stodolsky F., Gains L., Marshall C. L., An F., and Eberhardt J. J.: "Total Fuel Cycle Impacts of Advanced Vehicles.", SAE Paper 1999-01-0322, 1999.

114. Levin M. B., Chottiner J. E., Jaura A. K., Ullman Z. J., Votteler J. J.: "Design and Analysis of Starter-Alternator Installation in a Hybrid Electric Vehicle.", SAE Paper 1999-01-0917, 1999.

115. Mintz M. M., Wang M. Q., and Vyas A. D.: "Fuel-Cycle Energy and Emissions impacts of Propulsion System/Fuel Alternatives for Tripled Fuel-Economy Vehicle.", SAE Paper 1999-01-1118, 1999.

Ecotraffic

RESEARCH & DEVELOPMENT AB

Förteckningar över KFBs olika publikationsserier, bl a

- Rapporter
- Meddelanden
- KFB-Information
- Publikationer inom KFBs bio- och elprogram

kan erhållas från KFB.

KFB, KommunikationsForskningsBeredningen är en statlig myndighet som planerar, initierar, samordnar och stödjer övergripande forskning, utveckling och demonstrationsverksamhet (FUD). KFBs verksamhet omfattar transporter, trafik, post- och telekommunikation samt kommunikationernas betydelse för miljön, trafiksäkerheten och den regionala utvecklingen.

KFB svarar också för information och dokumentation inom forskningsområdet.

Adress: Box 5706, 114 87 Stockholm (Linnégatan 2)
Telefon: 08-459 17 00, Fax: 08-662 66 09
Hemsida på Internet: www.kfb.se

KFB
KOMMUNIKATIONS
FORSKNINGS
BEREDNINGEN