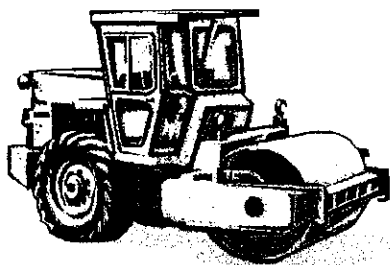
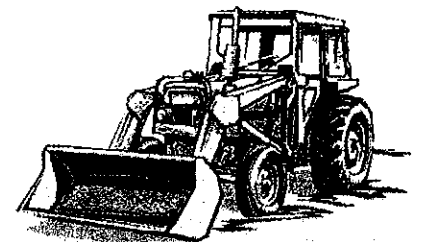


ABG



ARBETSMASKINER

Tekniska möjligheter att minska avgasemissionerna



Rapport för
Trafikkontoret Göteborgs Stad

Ecotraffic R&D AB

Peter Ahlvik
Åke Brandberg

Juni 1998

Ecotraffic

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sida

SAMMANFATTNING – SLUTSATSER

1	INLEDNING OCH BAKGRUND.....	1
1.1	Föreslagna avgaskrav vid prov enligt ISO 8178 C1 – g/kWh.	1
1.2	Jämförelser med tunga vägfordon.....	2
3	METODIK.....	2
4	UTVECKLINGSTRENDER FÖR DIESELMOTORER	2
4.1	Förhistorisk tid.....	3
4.2	Tidigare utveckling – förbättring av förbränningsystemet.....	3
4.3	Dagens utvecklingsarbete – införande av avgasåterföring	8
4.4	Framtida utveckling – helt nytt förbränningsystem.....	10
4.5	Efterbehandling	10
4.5.1	Katalysator	10
4.5.2	Partikelfilter	11
5	VAD KAN BEGÄRAS/FÖRVÄNTAS FÖR ARBETSMASKINER?	11
6	UTVECKLING PÅ LÄNGRE SIKT.....	13

TABELLFÖRTECKNING

Sida

<i>Tabell 1:</i>	<i>Avgaskrav enligt ISO 8178 C1</i>	<i>1</i>
<i>Tabell 2:</i>	<i>Emissioner för 2 Volvo motorer i ISO 8178 C1.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabell 3:</i>	<i>Emissioner för 2 Volvo motorer i ISO 8178 C1.....</i>	<i>13</i>

FIGURFÖRTECKNING

Sida

<i>Figur 1:</i>	<i>Emissioner i ECE R49 körcykeln för två generationer av en motor till en arbetsmaskin</i>	<i>4</i>
<i>Figur 2:</i>	<i>Emissioner i USA Transientcykeln för två generationer av en motor till en arbetsmaskin</i>	<i>5</i>
<i>Figur 3:</i>	<i>Jämförelse mellan rökemissioner för en personbils- och en lastbilsmotor</i>	<i>6</i>
<i>Figur 4:</i>	<i>Inverkan av insprutningstryck på partikelemissioner</i>	<i>7</i>
<i>Figur 5:</i>	<i>Inverkan av EGR på motorer med olika förbränningsystem</i>	<i>8</i>
<i>Figur 6:</i>	<i>Inverkan av EGR på en etanolmotor.....</i>	<i>9</i>
<i>Figur 7:</i>	<i>Förbättring av NO_x emissionerna genom införande av ny motor- och reningsteknik</i>	<i>14</i>
<i>Figur 8:</i>	<i>Förbättring av partikelemissionerna genom införande av ny motor- och reningsteknik</i>	<i>15</i>
<i>Figur 9:</i>	<i>Effekten av säckvolym på HC emissioner.....</i>	<i>2</i>

Bilaga: Emissioner från dieselmotorer

SAMMANFATTNING – SLUTSATSER

Mot bakgrund av bifogade underlag gör vi följande bedömning:

- Emissionerna för motorer till tunga fordon har sedan början av 1980-talet minskat väsentligt. Reduktionen för dagens motorer i jämförelse med dessa motorer har för NO_x varit en faktor 2-3 och för partiklar närmare en tiopotens. Inom de närmaste 2-3 åren kan man förvänta sig att den fortsatta utvecklingen för att möta framtida avgaskrav kommer att ge en ytterligare reduktion av dessa komponenter med ca 30 %.
- Emissioner från diesellojdedrivna arbetsmaskiner och lastfordon släpar efter i utvecklingen jämfört med motsvarande vägfordon, och även föreslagna avgaskrav (EU) är mildare än för tunga vägfordon.
- Något tekniskt hinder för parallell utveckling finns knappast utan skillnaden i dag beror, förutom på frånvaron av avgaskrav på arbetsmaskiner och krav från kunder, på tröghet i uppgradering av tekniken inom sektorn av kostnadsskäl.
- Även om miljöklassning av arbetsmaskiner inte kommer till stånd kan krav på steg II (EU) vid upphandling inte åberopas som handelshinder. Motor som certifierats för vägfordon kan direkt användas i arbetsmaskiner.
- Nästa steg i avgaskrav skulle kunna vara samma som de för vägfordon vid samma tid men för att detta skall ske fordras lobbyverksamhet. Sådan kan dock stödjas på många resultat i utvecklingsarbeten, som kort beskrivits i underlaget. De moderna, men dyrare, insprutnings- och styrsystemen och EGR-tekniken är exempel som nu kan utnyttjas.
- På längre sikt kommer dessutom helt nya förbränningsystem för motorer enligt dieselprincipen med utsläpp av NO_x och partiklar med en 10-potens lägre nivå. På kortare sikt kan stort steg i denna riktning tas genom användande av alternativa drivmedel i form av motoralkohol, vilket bör anges som tungt vägande vid anbudsvärdering.

- Efterbehandling av avgaserna med katalysatorer bör alltid användas oberoende av motorbränsle (MK 1 krav för dieselolja) för att ta hand om hälso- och miljövådliga ämnen. Vid dieseloljedrift bör partikelfilter (exempel CRT) vara del i reningssystemet (gör nytta även vid alkoholdrivna motorer genom att ta hand om smörjoljerester). Systemen bör av leverantören vara anpassade till tillämpningen och reduktionstal i storleksordningen 90 % eller bättre kan då förväntas. Det finns begränsningar för CRT vid stor obalans mellan NO_x och sot, och direkta NO₂-utsläpp måste bedömas.
- Någon åldersgräns, bortom vilken katalysatorer/filter inte kan användas, kan inte sättas bestämt utan måste prövas från fall till fall. Ett villkor bör vara att eftermontage, utformad i samarbete med leverantören, skall med provningsintyg visas ge angivna reduktioner (miljözonsbestämmelserna). Troligen finner då maskinägaren en naturlig åldersgräns av lönsamhetsskäl.
- En åldersgräns kan motiveras enbart med hänsyn till NO_x-utsläpp, för vilken i dag ingen reduktionsteknik finns tillgänglig. Kortare tid än 15 år som normal längsta avskrivningstid är dock svår att motivera. Ombyggnad för att införa EGR-teknik vid renovering av befintliga motorer är inte helt orimlig men erbjuds ännu inte på marknaden.

1 INLEDNING OCH BAKGRUND

Trafikkontoret i Göteborg ställer krav utsläpp från diesellojdrivna arbetsmaskiner vid upphandling och speciellt vid arbete inom miljözonen. I bestämmelserna för denna får (1998) tunga fordon av årsklass 1990 och senare trafikera zonen. Äldre fordon får med eftermonterad oxidationskatalysator (kravnivå A) användas om de tillhör årsklass 1988 eller 1989 och med eftermonterad CRT (kravnivå B) om de är av årsklass 1983 och senare. Åldersgränserna förskjuts f.n. ett år för varje nytt kalenderår.

För arbetsmaskiner har motsvarande avgaskrav rekommenderats för upphandling av arbetsmaskiner och diesellojdrivna lastbilar (och tjänster med dessa) för att träda i kraft 1999-01-01, då föreslagna avgasbestämmelser för arbetsmaskiner trätt i kraft att gälla inom EU (och Sverige). Steg I är enligt tabellen nedan efter 1998-12-31 och steg II efter 2000.12.31. Dessa krav har i Sverige påtänkts som miljöklass 2 för snabbare införande av motorer med lägre emissioner. Ett tredje steg med skärpta krav skall beslutas i slutet av år 2000.

1.1 Föreslagna avgaskrav vid prov enligt ISO 8178 C1 – g/kWh.

Tabell 1: Avgaskrav enligt ISO 8178 C1

Motoreffekt	Datum	CO	HC	NO _x	PM
Steg I					
130 - 560 kW	98.12.31	5,0	1,3	9,2	0,54
75 - 130 kW	98.12.31	5,0	1,3	9,2	0,70
37 - 75 kW	99.03.31	6,5	1,3	9,2	0,85
Steg II					
130 - 560 kW	00.12.31	3,5	1,0	6,0	0,2
75 - 130 kW	01.12.31	5,0	1,0	6,0	0,3
37 - 75 kW	02.12.31	5,0	1,3	7,0	0,4
18 - 37 kW	03.12.31	5,5	1,5	8,0	0,8

Enligt rekommendationen skall alla maskiner som inte uppfyller avgaskraven utrustas med (oxidations)katalysator och vissa typer dessutom med partikelfilter. Äldre fordonsålder än 14 år accepteras dock inte ens för katalysatorförsedda maskiner och fordon och 16 år för partikelfilterförsedda. Fordon som uppfyller kraven i steg I och är 8 år eller äldre skall utrustas med partikelfilter. År 2001 blir åldersgränserna för gamla fordon till högst 12 resp. 14 år vad gäller katalysator/filter.

Vilka incitament som kan komma att användas för att få en miljöklassning ge resultat är ännu inte klart. Ev. proposition kommer först senare i år efter pågående remissbehandling, men det är inte säkert att någon proposition läggs då uppfattningen finns att upphandlarnas krav kan vara tillräckliga för att maskinleverantörer skall uppfylla kraven frivilligt. Naturvårdsverket lade inget förslag men presenterade ett par idéer

om ekonomiska incitament. För deras förverkligande fordras överläggningar mellan miljö- och finansdepartementen.

1.2 Jämförelser med tunga vägfordon

Avgaskraven på tunga diesellojdrivna fordon är strängare. För EURO 2 från 1996/98 (= svenska miljöklasser 2 och 1) gäller vid prov enligt ECE R49:

EURO 2 CO: 4,0 HC: 1,0 NO_x: 7,0 PM: 0,15 g/kWh

Från år 2000 förväntas något strängare krav (EURO III) snart bli fastställda (och nivåerna för EURO IV därefter diskuteras; NO_x troligen max 3,5 g/kWh):

EURO 3: CO: 2,0 HC: 0,6 NO_x: 5,0 PM: 0,10 g/kWh.

R49-testen gav vid proverna med arbetsmaskinmotorer jämfört med ISO 8178 något högre värden för CO- och NO_x-utsläpp men lägre HC-värde och ingen påverkan av PM. Skillnaden mellan testcyklerna är inte så stora att hinder för att referera till krav satta i ECE R49 finns men kravnivåerna måste tills vidare anges i den officiella ISO 8178 cykeln.

3 METODIK

Material har inhämtas genom utvärdering av tidigare utförda litteraturstudier samt genomgång av annan tillgänglig litteratur hos Ecotrafic. Den dokumentation som genererats för Miljözonerna har också beaktats. Eftersom syftet med uppdraget inte var att utföra någon komplett litteraturgenomgång har en fullständig referenslista utelämnats. Utöver den litteratur de resultat som bearbetats har även några egna överväganden och slutsatser tillfogats.

Trots att det material som refererats till är minimalt vill dock författarna hävda att de slutsatser och överväganden som finns i rapporten vilar på en något mer solid teknisk/vetenskaplig grund än vad man kan förmoda utifrån de få referenser som listats.

4 UTVECKLINGSTRENDER FÖR DIESELMOTORER

I detta kapitel görs en slags historisk uppdelning av hur utvecklingen förlöpt och förväntas förlöpa ett antal år i framtiden. Det finns självfallet också en slags "förhistorisk" tid i sammanhanget, dvs tiden innan det fanns några avgaskrav för gasformiga emissioner. Fokuseringen i detta kapitel är helt på fordonsmotorer emedan dessa var de första som omfattades av avgaskrav och sedan dess kommit att leda utvecklingen inom detta område.

I bilagan till rapporten har en mer fullständig genomgång av emissionsproblematiken för dieselmotorer gjorts.

4.1 Förhistorisk tid

I Europa skedde övergången mellan den förhistoriska och den historiska epoken någon gång i mitten av 80-talet för motorer till tunga fordon. Det var då kunder började ställa vissa krav på emissionsegenskaperna och några tillverkare reagerade med att erbjuda ett miljömässigt bättre alternativ än standardalternativet. I USA och speciellt i Kalifornien skedde denna övergång ca 10 år tidigare.

Det är svårt att i dag veta speciellt mycket om emissionsegenskaperna för motorerna under den förhistoriska tiden. Det finns väldigt få testresultat som publicerats. Resultat från Naturvårdsverkets avgaslaboratorium i Studsvik tyder på att t ex NO_x nivån varit tämligen konstant under perioden från slutet av 70-talet till slutet av 80-talet. Enda undantaget är bussmotorer där NO_x emissionerna började sjunka redan i mitten av 80-talet. Ännu tidigare under den förhistoriska tiden – under 50- och 60-talet och i vissa fall också senare var många av motorerna till tunga fordon utrustade med indirekt insprutning (IDI), dvs någon typ av förkammare. Det ironiska i sammanhanget är att NO_x emissionerna för dessa motorer var mycket låga sett utifrån vår horisont. En nivå under 5 g/kWh, dvs under de föreslagna år 2000 kraven för tunga motorer, var ett typiskt värde. Även HC emissionerna var låga medan partikelemissionerna torde ha varit väsentligt högre än för dagens motorer.

4.2 Tidigare utveckling – förbättring av förbränningsystemet

Direktinsprutade motorer till tunga fordon började införas på allvar efter andra världskriget¹. Framsteg i insprutningstekniken gjorde dessa motorer möjliga och allt sedan dess har insprutningstekniken spelat en nyckelroll i utvecklingen av dessa motorer. Successivt har insprutningstrycket höjts från några hundra bar till närmare 2000 bar som är dagens toppnotering. Syftet med att öka insprutningstrycket var till en början att minska rökemissioner och bränsleförbrukning. Mindre rökemissioner kunde också utnyttjas till att öka effekt och vridmoment och var därför ett uttalat kommersiellt intresse.

När så emissionskraven började diskuteras i USA och Kalifornien och sedan infördes på 70-talet fanns till att börja med en del idéer om att återigen införa motorer med förkammare. Så småningom lärde man sig emellertid att man kunde göra vissa förändringar i förbränningsystemet även på direktinsprutade motorer och därmed minska NO_x emissionerna. Några sådana förändringar var:

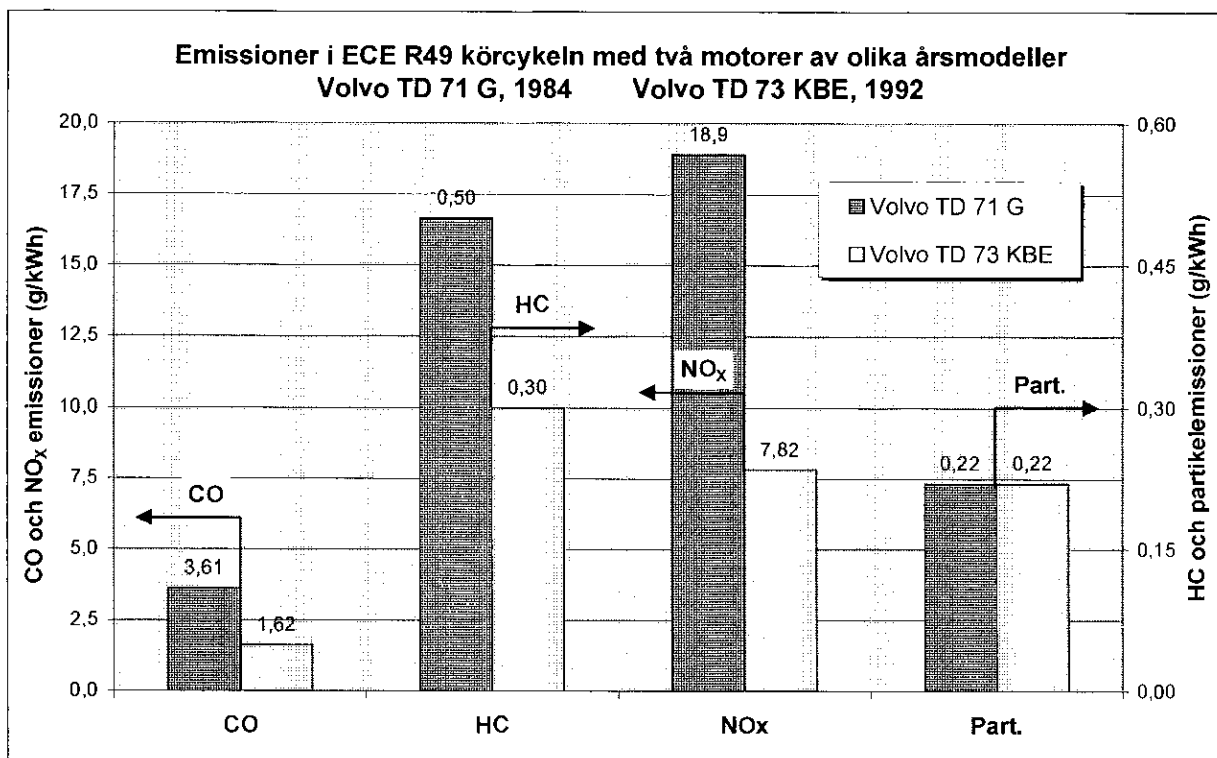
- Turboöverladdning
- Laddluftkyllning
- Höjning av kompressionsförhållandet
- Senareläggning av insprutningstidpunkten
- Anpassning av luftrörelser och spridargeometri

¹ Direktinsprutning fanns tidigare i stora stationära motorer och i fartygsmotorer. Vissa tillverkare i Tyskland och England hade också en viss framgång med direktinsprutning i motorer till tunga fordon redan på 30-talet.

Till att börja med var förändringarna förknippade med en ökning av bränsleförbrukningen och partikelemissionerna men med tiden kunde dessa effekter om inte elimineras så i alla fall minimeras. Andra förbättringar av motorerna har i stället ständigt sänkt bränsleförbrukningen med tiden.

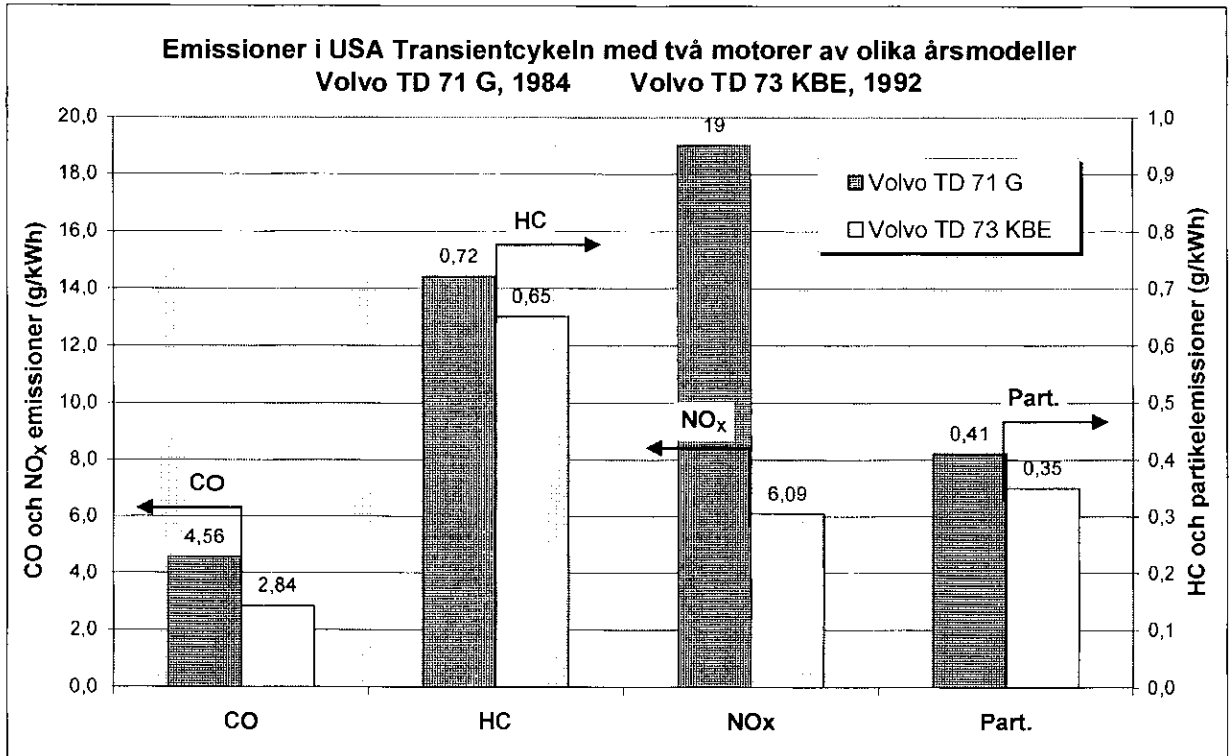
På senare tid har man emellertid börjat inse att potentialen med den ovannämnda utvecklingen av förbränningssystemet mer eller mindre har utnyttjats fullt ut. Det är i alla fall klart att de ytterligare förbättringar man kan förvänta sig är tämligen små. Man har under tidsperioden (från 80-talet till i dag) kunnat visa att det varit möjligt att sänka NO_x nivån från ca 15 g/kWh för en helt orenad motor till ca 7 g/kWh utan att bränsleförbrukningen har ökat. Partikelemissionsnivån har under samma tidsperiod kunnat minskas med närmare en tiopotens (från ca 1 till 0,1 g/kWh). Man har också i lab på ett övertygande sätt demonstrerat att de föreslagna gränsvärdena för motorer till tunga fordon för år 2000 på 5 g/kWh för NO_x och 0,1 g/kWh för partiklar kan uppnås. Däremot verkar det i dag som om dessa nivåer inte kan nås utan en viss försämring av bränsleförbrukningen jämfört med en motor för en NO_x nivå på 7 g/kWh. Därför pågår nu ett intensivt utvecklingsarbete för att minska bränsleförbrukningen.

Ett exempel på en förbättring av ovan beskrivet slag är två Volvo motorer² för arbetsmaskiner som testats vid MTC. Resultat från dessa tester visas i figur 1 och 2 nedan. Figur 1 visar resultaten enligt ECE R49 körcykeln och figur 2 enligt US Transientcykel.



Figur 1: Emissioner i ECE R49 körcykeln för två generationer av en motor till en arbetsmaskin

² Tidigare VME/Volvo BM, numera VCE, Volvo Construction Equipment

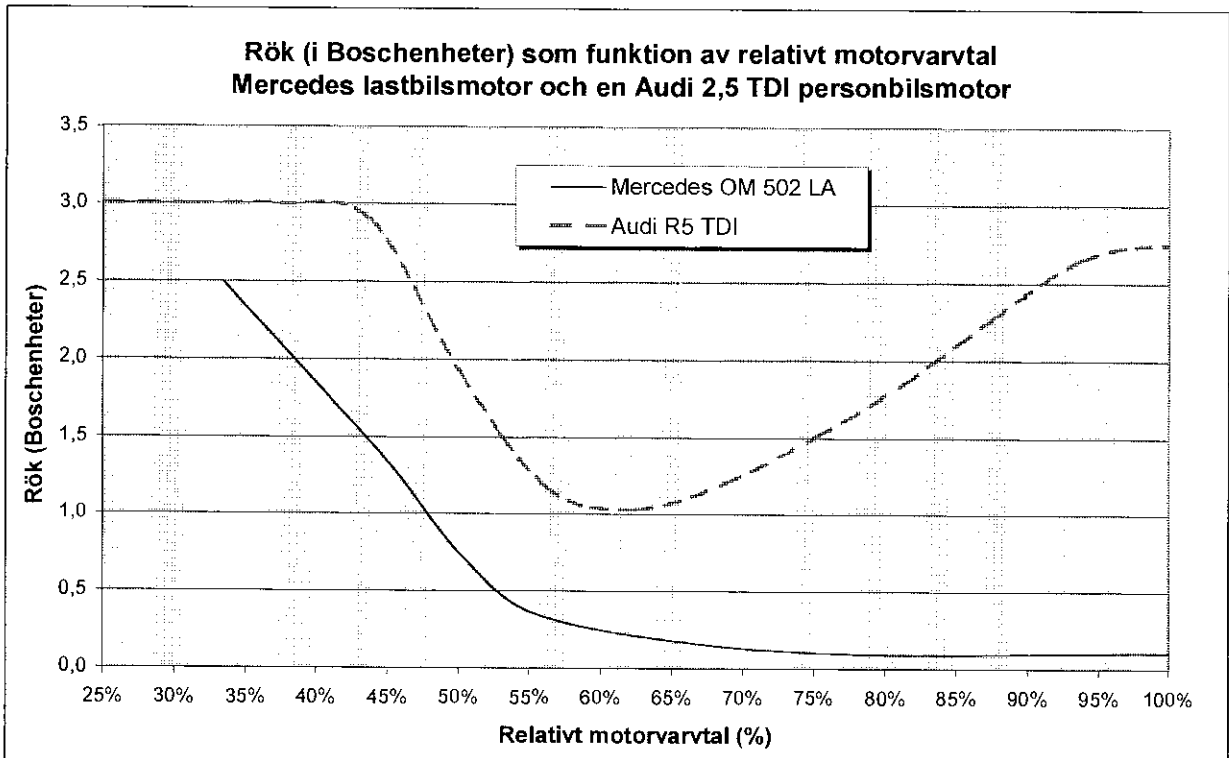


Figur 2: Emissioner i USA Transientcykeln för två generationer av en motor till en arbetsmaskin

Även om den relativa skillnaden mellan de båda motorerna är något olika i de båda körcyklerna är inverkan på NO_x emissionerna betydande. Trots vissa förbättringar av de övriga emissionerna är det denna emissionskomponent som påverkats mest av förändringarna i förbränningssystemet. Ett flertal av de tidigare nämnda förändringarna i förbränningssystemet har införts på den nyare motorn.

Eftersom inga genomgripande förändringar gjorts av insprutningssystemet har inte heller partikelemissionerna påverkats nämnvärt för Volvomotorn. Den tidigare nämnda potentialen till minskade partikelemissioner har alltså (ännu) inte realiserats på denna motor.

Större dieselmotorer, typ motorer för tunga fordon och fartygsmotorer, har sedan länge karakteriserats av väsentligt högre insprutningstryck än motorer till mindre arbetsmaskiner och personbilar. Detta påverkar självfallet partikel- och röknivån. I figur 4 har en jämförelse gjorts mellan en modern personbilmotor och en modern lastbilmotor med avseende på rökemissionerna. Erfarenhetsmässigt vet man att högre rökemissioner också ger högre partikelemissioner även om sambandet inte är linjärt. Motorn till personbilen är en 5-cylindrig motor som används bl a av Audi, VW och Volvo och i 4-cylindrig version även av övriga biltillverkare inom Audi/VW koncernen. Den tunga motorn, en V8 på 16 liter, är motorn till Mercedes flaggskepp bland tunga lastbilar. Eftersom motorernas varvtal skiljer sig mycket har kurvorna ritats med utgångspunkt från att värdena på x-axeln uttryckts som procent av maxeffektvarvtalet.

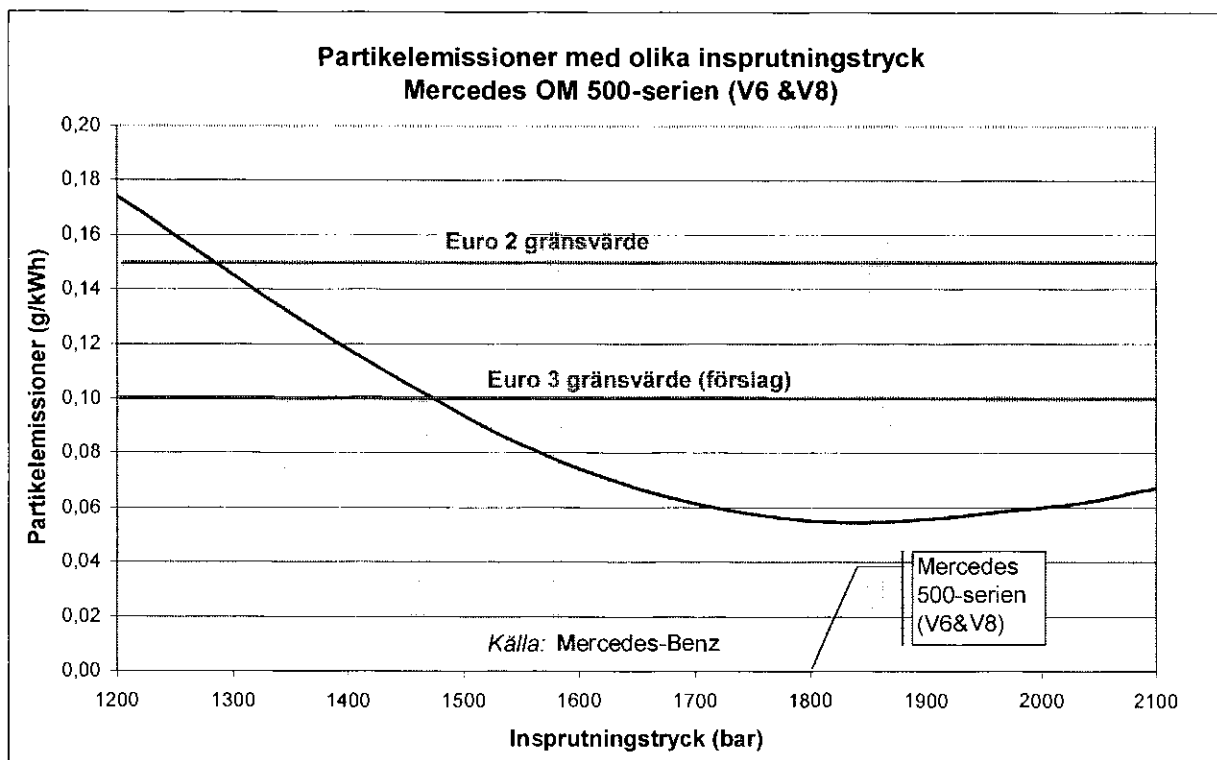


Figur 3: Jämförelse mellan rökemissioner för en personbils- och en lastbilsmotor

Man ser tydligt i figur 3 att den större motorn har väsentligt lägre rök. Vid högvarv är det fråga om mer än en tiopotens. Det är också värt att poängtera att lastbilsmotorn knappt används vid ett varvtal lägre än 50 % av maxeffektvarvtalet och att den förhöjning av rökemissionerna som föreligger vid de lägre varvtalen har en mycket liten betydelse i praktisk drift.

Ytterligare ett exempel på inverkan av högt insprutningstryck visas i figur 3 nedan där samma motorfamilj som ovan testats. Partikelemissionerna har redovisats enligt ECE R49 körcykeln och insprutningstrycket är det maximala trycket vid maxeffekt. Man kan tillägga att insprutningstrycket är lägre än det maximala vid lägre belastning och vid lägre varvtal.

Det framgår tydligt i figur 4 att ett ökat insprutningstryck har en mycket stor effekt på partikelemissionerna. Den aktuella motortypen har ett maximalt insprutningstryck på 1800 bar och har därför mycket goda förutsättningar att uppfylla de föreslagna Euro 3 kraven. Tidigare erfarenheter har ibland visat att insprutningstryck över 1500 bar inte har haft någon större effekt på partikelemissionerna men då skall man komma ihåg att förbränningssystemet i övrigt inte varit anpassat till de höga trycken. I det aktuella fallet finns ingen förbättring över 1800 bar men även här kan man förmoda att framtida utveckling även kommer att kunna utnyttja högre tryck än denna nivå. Enligt uppgifter från USA har den amerikanska motortillverkaren Cummins nyligen börjat producera en motor med ett insprutningstryck på 2000 bar. Man kan utgå ifrån att det funnits en viss orsak till att Cummins ökat insprutningstrycket jämfört med tidigare motorgenerationer. Vid laboratorieförsök i bl a Japan har man kunnat påvisa sänkningar av partikelemissionerna med ännu högre tryck än 2000 bar. Slutsatsen är alltså att man kan förvänta sig en fortsatt ökning av insprutningstrycken inom den närmaste framtiden.



Figur 4: Inverkan av insprutningstryck på partikelemissioner

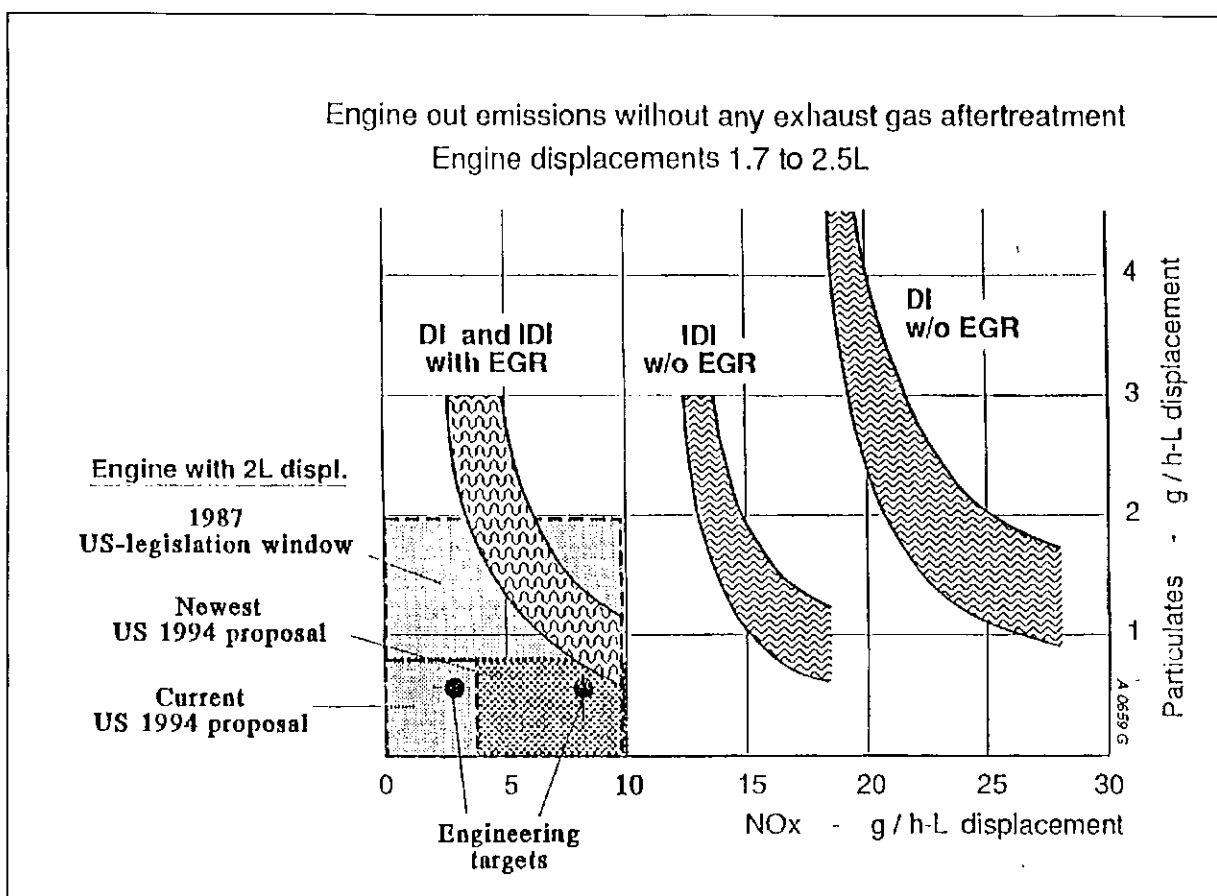
I jämförelse med de insprutningstrycknivåer som diskuterats ovan ter sig den nivå på ca 1000 bar och ofta ännu lägre (typ 600 bar) som hittills använts för personbilmotorer och andra motorer av samma storlek (typ arbetsmaskiner) som mycket blygsam. Eftersom de kommande avgaskraven för personbilar kommer att skärpas drastiskt i framtiden har emellertid en febril utveckling igångsatts för att utveckla högtrycksinsprutning även för denna kategori av motorer. Det föreligger egentligen inga tekniska eller fysikaliska hinder eller begränsningar för att nå en lika hög insprutningstrycknivå för små motorer som för stora motorer. Däremot är det alltid så att en teknisk utveckling tar en del tid i anspråk när applikationen i fråga är ny. En indikation på att utvecklingen är på väg åt rätt håll är dock att en del personbilstillverkare alldeles nyligen har introducerat ett antal motorer på marknaden men trycknivåer på 1350 – 1500 bar. De få data som hittills har publicerats tyder på en betydligt sänkt röknivå jämfört med diagrammet ovan. Partikelemissionerna är likaså väsentligt lägre än för tidigare motorgenerationer.

När nu den tekniskt möjliga nivån (med bästa möjliga teknik) har identifierats ovan kan man reflektera över hur detta kommer att påverka utvecklingen för motorer till arbetsmaskiner. Man inser lätt att eftersom det finns eller kommer att finnas kommersiella insprutningsutrustningar med mycket höga prestanda för både små och stora motorer kommersiellt tillgängliga kan dessa utrustningar också appliceras på arbetsmaskiner. Det är närmast avsaknaden av tillräckligt stränga avgaskrav och ekonomiska intressen som kommer att fördröja utvecklingen för arbetsmaskiner.

4.3 Dagens utvecklingsarbete – införande av avgasåterföring

Eftersom det konstaterats ovan att potentialen för vidareutveckling av förbrännings-systemet med avseende på NO_x emissioner i det närmaste uttömts måste andra lösningar till för att ytterligare sänka dessa emissioner. En sådan teknik är avgasåterföring, EGR (Exhaust Gas Recirculation).

I figur 5 visas i ett diagram från konsultföretaget AVL inverkan av EGR på två olika typer av motorer till lätta fordon. Figuren gäller för en belastningspunkt på 2000 r/min och 2 bar i effektivt medeltryck (ca 20% belastning). Denna belastningspunkt är representativ för den amerikanska FTP-75 körcykeln för lätta fordon.



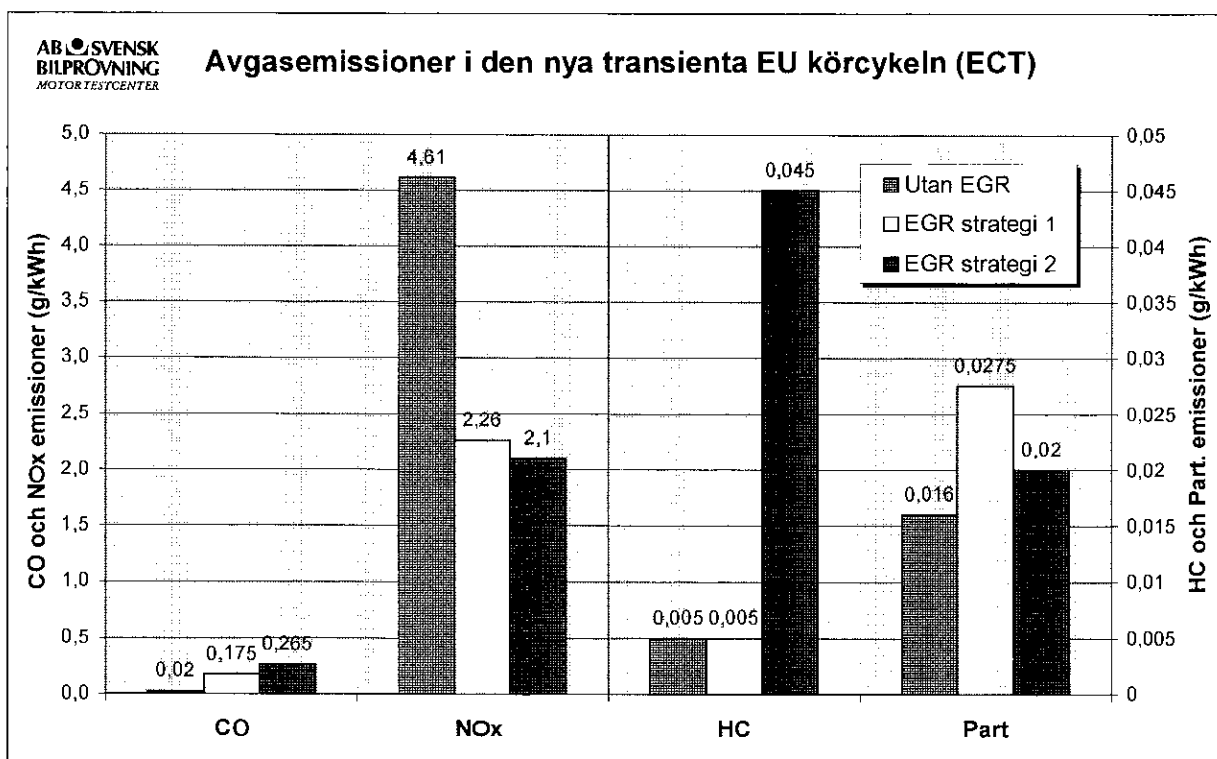
Figur 5: Inverkan av EGR på motorer med olika förbränningsystem

Man ser tydligt i figuren att IDI motorer utan EGR har en betydligt lägre NO_x nivå än DI motorer. Eftersom EGR tåligheten är större för DI motorer blir därför NO_x nivån med EGR i båda fallen ungefär likvärdig. Eftersom dessa resultat har genererats med DI motorer med tämligen lågt insprutningstryck torde DI motorer ha större fördelar i detta avseende med högtrycksinsprutning. Det är således inte särskilt förvånande att utvecklingen av DI motorer till personbilar har en hög prioritet hos personbilstillverkarna. En annan välkänd fördel med DI motorer är att bränsleförbrukningen minskar med 15 – 20 % jämfört med IDI motorer.

Tyvärr har inte utvecklingen av EGR system nått lika långt för motorer till tunga fordon eller arbetsmaskiner. Det finns ännu ingen motor representerande dessa katego-

rier som kommersialiserats med ett EGR system. Den främsta orsaken är (återigen) de tämligen milda avgaskraven samt att det fortfarande funnits vissa tekniska problem. Ett sådant problem är partiklarna i avgaserna som orsakar en nedsmutsning av vissa komponenter i motorn. Tämligen nya tester som publicerats av det amerikanska forskningsinstitutet SwRI har visat att dessa farhågor är tämligen obefogade för moderna motorer med låga partikelemissioner i kombination med lågsvavligt bränsle.

Alkoholdrivna motorer har genom att partikelemissionerna är mycket låga på grund av den ringa sotbildningen stora fördelar jämfört med dieselmotorer när det gäller införandet av EGR. I figur 6 visas inverkan av EGR på en etanol driven bussmotor i en transient körcykel. Resultaten i figuren kommer från ett projekt som MTC utfört för Naturvårdsverket men som ännu ej publicerats.



Figur 6: Inverkan av EGR på en etanolmotor

Av resultaten i figur 6 framgår tydligt att NO_x emissionerna med en optimerad styrstrategi (1) kan minskas med ca en faktor 2 medan övriga emissionsnivåer är tämligen opåverkade eller oförändrade. Det bör också påpekas att CO, HC och partikelemissionerna i figur 6 är mycket låga och därför plottats på en y-axel med en annan skala än NO_x emissionerna.

EGR till tunga dieselmotorer kommer sannolikt att introduceras till år 2000. Den möjliga NO_x nivån på kort sikt med EGR torde ligga omkring 3,5 g/kWh, eller i nivå med förslaget till Euro 4 krav för tunga motorer.

4.4 Framtida utveckling – helt nytt förbränningssystem

På senare år har ett visst intresse väckts för ett helt radikalt nytt förbränningssystem för dieselmotorer. Detta förbränningssystem använder extremt mager förbränning och är därmed inte beroende av någon efterbehandling för att minska NO_x emissionerna. NO_x nivåer ner till 0,01 g/kWh har demonstrerats i laboratorieförsök. En annan mycket intressant egenskap är att sotbildningen minskas radikalt eller helt upphör. Det som teoretiskt möjliggör ett förbränningssystem med dessa egenskaper är att bränsle-luft prepareringen sker innan förbränningen startar. Därigenom kan blandningen ske ned till molekyllär nivå. Detta medför i sin tur att flamtemperaturen minskar drastiskt och därmed även NO_x bildningen. Medeltemperaturen kommer dock att ligga på samma nivå som i en normal dieselmotor, vilket medför att verkningsgradspotentialen också är mycket hög. En utvecklingen fokuserad på att få fram en kommersiell produkt som använder ett förbränningssystem av detta slag har egentligen inte startat på allvar ännu utan de insatser som görs befinner sig fortfarande på forskningsstadiet. De FoU-insatser som måste utföras för att utveckla detta förbränningssystem är dessutom så pass kvalificerade att det är troligt att högskolor, universitet och institut kommer att få en betydligt större roll i detta sammanhang än tidigare.

En annan fråga som är kraftigt sammanlänkad med utvecklingen av detta förbränningssystem är bränslets egenskaper. Sannolikt måste en del bränsleparametrar (typ cetantal och oktantal) anpassas om fossila bränslen som dieselolja och bensin skall användas. Det kan däremot ännu inte uteslutas att det är möjligt att använda fossila bränslet i detta förbränningssystem. Det är ändå möjligt att de alternativa bränslena har vissa önskvärda egenskaper i detta sammanhang som förenklar utvecklingen av förbränningssystemet. Det finns därför skäl att vidare undersöka de alternativa bränslenas och biobränslenas egenskaper i detta avseende.

I det senaste numret av tidskriften Automotive Engineering refereras till att det amerikanska forskningsinstitutet SwRI nu startat ett forsknings- och utvecklingsarbete i syfte att konvertera en motor till detta förbränningssystem. Målsättningen för NO_x emissionerna har satts till en reduktion av 98 % jämfört med dagens motorer. Eftersom NO_x kraven i USA låg på 5 g/bhp-hr (6,7 g/kWh) 1994 och ligger på 4 g/bhp-hr (5,4 g/kWh) från och med 1998 kan man förmoda att målsättningen motsvarar en NO_x nivå av under 0,1 g/kWh. Slutsatsen av SwRI:s aktiviteter är att konceptet nu börjar närma sig en fas där ett FoU-arbete initieras i syfte att utveckla en kommersiell produkt.

I dagens läge finns ännu inga skäl att ens överväga några krav på motorer eller fordon som tar hänsyn till ovannämnda möjliga utveckling. Utvecklingen är ännu i ett alltför tidigt skede för att de emissionsnivåer som kan vara aktuella för en kommersiell tillämpning skall kunna kvantifieras. Kapitlet har endast tagits med här för att ge en fullständig bild av historiken.

4.5 Efterbehandling

4.5.1 Katalysator

Den mest använda efterbehandlingsutrustningen för dieselmotorer i dag (internationellt) är en oxiderande katalysator. Den bästa effektiviteten nås om katalysatorn har

utvecklats för svavelfritt bränsle (Mk1). Katalysatorer för dieselmotorer utsätts för mycket lägre temperaturer än katalysatorer för bensinmotorer. Dessutom finns ej risk för misständningar i dieselmotorer och moderna motorer har dessutom låg oljeförbrukning vilket ger små mängder "katalysatorgifter" från oljan. Dessa förutsättningar borgar för ett mycket långt liv för katalysatorn. Sotpartiklarna i avgaserna ger ej heller något problem med igensättning av en oxiderande katalysator. Tryckfallet är i de flesta fall likvärdigt med en ljuddämpare och även de akustiska egenskaperna är likvärdiga. En katalysator minskar CO och HC emissionerna med över 90 % i bästa fall. Inverkan på de hälsofarliga emissionerna är av samma storleksordning. NO_x emissionerna minskar med några procentenheter och partikelemissionerna med 10-20%. Vissa katalysatorer från en äldre generation bildade stora mängder NO₂, vilket är en mycket giftigare komponent än NO. I atmosfären oxideras så småningom NO till NO₂ i vilket fall som helst men *lokalt* är det i alla fall inte önskvärt med höga halter av NO₂. Flera nya katalysatorer ger mycket låga NO₂ emissioner och man bör därför ställa krav på katalysatorernas egenskaper i detta avseende.

4.5.2 Partikelfilter

Det finns flera olika typer av partikelfilter på marknaden. Det vanligaste i Sverige är CRT-filtret som utvecklades på Svenska Emissionsteknik. CRT-filtret omvandlar först NO till NO₂ i en katalysator. Efter katalysatorn följer ett partikelfilter där NO₂ används som katalysator för att sänka renbränningstemperaturen. Filtret blir härigenom kontinuerligt regenererande och därmed undviker man problemen med spontan regenerering och höga lokala temperaturer som kan skada filtret. Trots att huvuddelen av den NO₂ som bildats i katalysatorn reduceras tillbaka till NO blir dock emissionerna av NO₂ vid vissa driftsfall högre än utan efterbehandlingsutrustning. Detta är sannolikt den största nackdelen med CRT-filtret. Reduktionen av partiklar är mycket stor – betydligt över 90% – och dessa emissioner hamnar därför på samma nivå som för etanol och gasmotorer. Avskiljningen av de minsta partiklarna, vilka av många forskare anses som de mest hälsofarliga, är enligt en nyligen publicerad rapport nästan lika stor som för de större partiklarna. Reduktionen av kolväten och hälsofarliga ämnen är minst lika stor som för en katalysator.

Ett problem med CRT-filtret är att tryckfallet är högre än för en ljuddämpare. Detta är en av anledningarna till att vissa motortillverkare inte rekommenderar CRT-filtret. Problemen torde dock vara betydligt överdrivna. Ett mer reellt problem är dock att det finns vissa regenereringsproblem för äldre motorer med höga partikelemissioner. Eftersom detta ofta är fallet för motorer till arbetsmaskiner finns skäl att tillsammans med motortillverkaren och CRT leverantören noga undersöka förutsättningarna i varje aktuellt fall. Detta innebär sannolikt att de äldsta motorerna inte kan utrustas med CRT. Det bör också påpekas att CRT-filtret kräver svavelfritt bränsle (Mk1).

Förutom CRT finns nu även andra tillverkare av filtersystem som nu börjat eller inom kort kommer att börja marknadsföras i Sverige. Erfarenheterna från dessa system är hittills tämligen ringa.

5 VAD KAN BEGÄRAS/FÖRVÄNTAS FÖR ARBETSMASKINER?

Man kan fråga sig varför inte arbetsmaskiner kan fås med samma utsläppsegenskaper som vägfordon då grundmotorn är densamma. Har enklare och billigare insprut-

nings-/styrutrustning valts i avsaknad av avgaskrav tidigare? De kommande kraven är knappast drivkraft för att använda vägfordonens bättre teknik. Certifieras en motor i dag för vägfordon kan den dock få typgodkännande för användning i arbetsmaskiner utan ytterligare provningar. När de föreslagna emissionsreglementen för arbetsmaskiner träder i kraft i EU kommer detta förfarande sannolikt att ändras.

Utan yttre krav på bättre prestanda är det knappast lönsamt för en leverantör att genom utvecklingsinsatser och investeringar byta motortyp eller uppgradera en befintlig så länge grundmotorn tillverkas och genererar inkomster. Utan samma krav som för nya tunga vägfordon finns inte heller någon tvingande anledning att kosta på de mer avancerade men dyrare insprutningssystem och elektroniska kontrollsystem, som har stor andel i kraftigt sänkta utsläpp från dagens vägfordon.

Dagens dieselmotorer i arbetsmaskiner är 4 eller 6-cylindriga 4 – 12 liters motorer med effekter från 70 till ca 200 kW topp effekt. Alla torde klara steg I-kraven för alla utsläpp med god marginal men skulle ha problem med steg II-gränserna för NO_x och partiklar. Då skärpningar utöver steg II-kraven redan nu aviserats till några år in på 2000-talet och ev. incitament för snabbare införande av ny teknik hos användarna kan komma att finnas, förefaller det troligt att maskinleverantörerna nu funderar över en förnyelse och därvid förbereder sig för att möta kraven på längre sikt.

Krav och påtryckningar från upphandlare av maskiner och tjänster kommer säkert att vara verksamma härvidlag. Detta gäller inte bara de offentliga organen, varpå Trafikkontorets m.fl. rekommenderade kravnivåer är exempel, utan också många privata företag som skaffat sig miljöpolicy och miljöledningssystem att leva efter.

Vad är då realistiskt att förvänta sig få genomfört under den närmaste tiden och därmed kunna diskutera som rimliga krav?

Det är troligt att åtminstone de flesta tillverkares nya maskiner har motorer som ur utsläppssynpunkt motsvarar de förbättrade som illustreras av skillnaden mellan 84 års och 92 års versioner i de mätningar som gjorts vid MTC (rapport 9307A). Värdena vid prov enligt ISO 8178 C1 med referensdieselolja återges nedan.

Tabell 2: Emissioner för 2 Volvo motorer i ISO 8178 C1

Motor	CO	HC	NO _x	PM
	-----	g/kWh	-----	-----
84: TD 71 G	2,38	0,57	17,4	0,21
92: TD 73 KBE	1,16	0,36	6,19	0,18

Med MK 2-dieselolja blev CO, NO_x och PM något lägre men HC något högre.

Jämförelse för en något mindre Volvo-motor, TD 61G (referensmotor hos MTC) och TD 61 KBE (uppgifter från Volvo, MTC 9307A) ger liknande skillnader, som dock är något påverkade av att referensdieselolja var bränsle i den nyare versionen (KBE) men MK 1 i den äldre (G).

Tabell 3: Emissioner för 2 Volvo motorer i ISO 8178 C1

Motor	CO	HC	NO _x	PM
	-----	g/kWh	-----	
TD 61G	3	0,3	13	0,2
TD 61KBE	1,8	0,61	7,9	0,37

EU-kraven i steg I tycks vara för milda för dagens motorer, och det är rimligt att antaga att anpassningen till dem redan skett med hjälp av teknik som tillämpats för vägfordon. För äldre maskiner kan bara begäras att de skall använda miljöklassad dieselloja och förses med oxidationskatalysator och partikelfilter. Det finns då knappast någon ålder bortom vilken dessa åtgärder inte kan användas. Skulle man finna att ingen av åtgärderna kan användas och ge önskad effekt är det ett tecken på att motorn har tjänat ut och bör skrotas.

För NO_x-utsläppen finns f.n. ingen teknik att ta till för minska dem från äldre maskiner utan nya årsmodeller är enda möjligheten. Det kan då vara rimligt att starkt trycka på att nyare motorer kommer att värderas högt vid anbudsvärdering (betala mer för sådan tjänst) för att få tillverkarna att i steg II (från 2001) införa motorer som motsvarar vägfordonskraven (Euro 3; max. 5 g/kWh) i form av miljöklassad maskin.

Den enda klart näraliggande tekniken för lägre (halverade) NO_x-utsläpp är alkoholdrivna dieselmotorer (försedda med oxidationskatalysator) i arbetsmaskinerna. Då sådana finns för vägfordon bör det inte vara för mycket begärt att använda alkoholoromotorer i maskinerna, och vidare utveckling för än lägre NO_x genom användande av EGR är lättare med alkoholdrivmedel. Utvecklade metangasmotorer bör ge minst lika goda emissionsprestanda men för arbetsmaskiner som är mindre rörliga enheter är möjligheterna till gastankning alltför begränsade jämfört med flytande bränslen.

Den säkerhetsmässiga aspekten att ersätta dieselloja med ett ur brandrisksynvinkel klass 1-bränsle borde vara lättare att klara då maskinerna används yrkesmässigt och inte av eller i direkt kontakt med allmänheten. Det bör påpekas att alternativa drivmedel, här i form av alkoholer, också minskar partikelbildningen och ger effekter genom ändrad sammansättning av avgaskomponenterna, vilken leder till minskade risker för cancer, genom ozonbildning och genom möjligheten att fasa över till biogas för lägre växthuspåverkan.

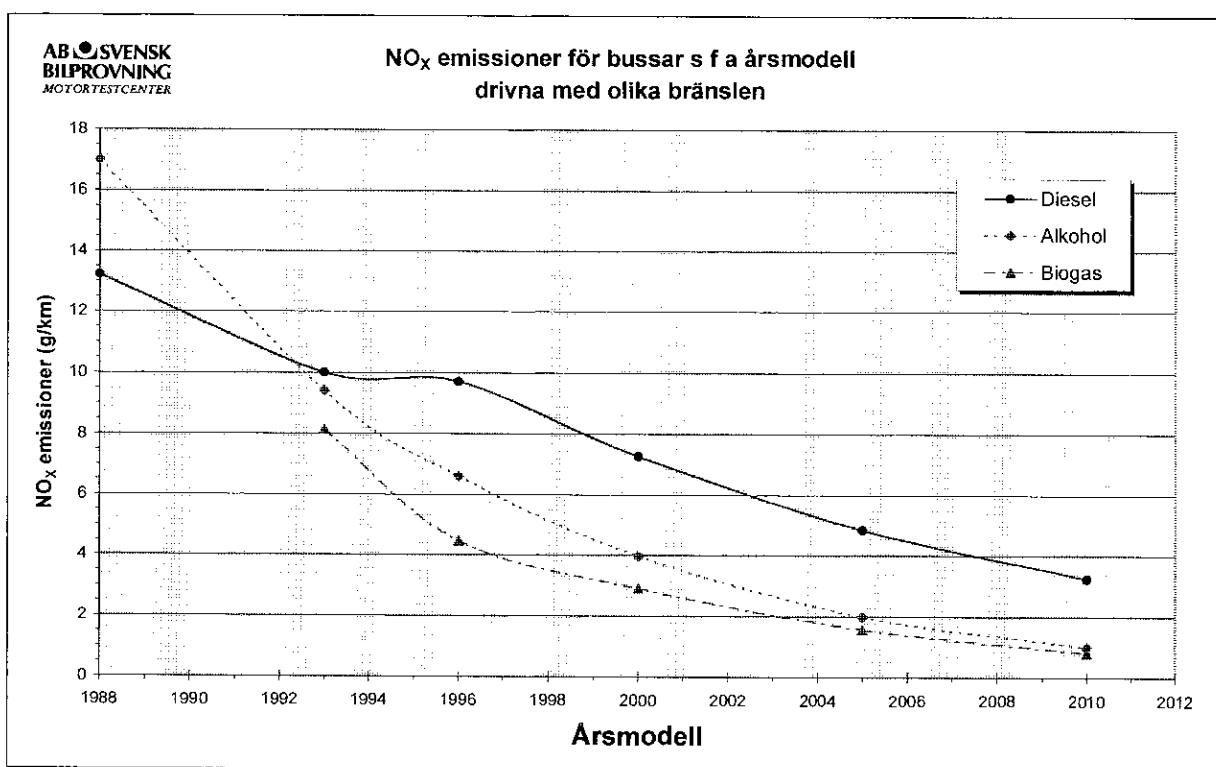
6 UTVECKLING PÅ LÄNGRE SIKT

Den fortsatta tekniska utvecklingen av bränslesystem, förbränningsrum, katalysatorer och elektroniska styrsystem förväntas leda till generellt sett lägre utsläppsnivåer men med bibehållen relativ fördel för de alternativa drivmedlen. Kravnivån från 2005 för diesellojedrivna tunga dieselmotorer förväntas för NO_x ligga på max. 3,5 g/kWh (EGR nödvändig) och för PM på max. 0,1 g/kWh vid R49-test.

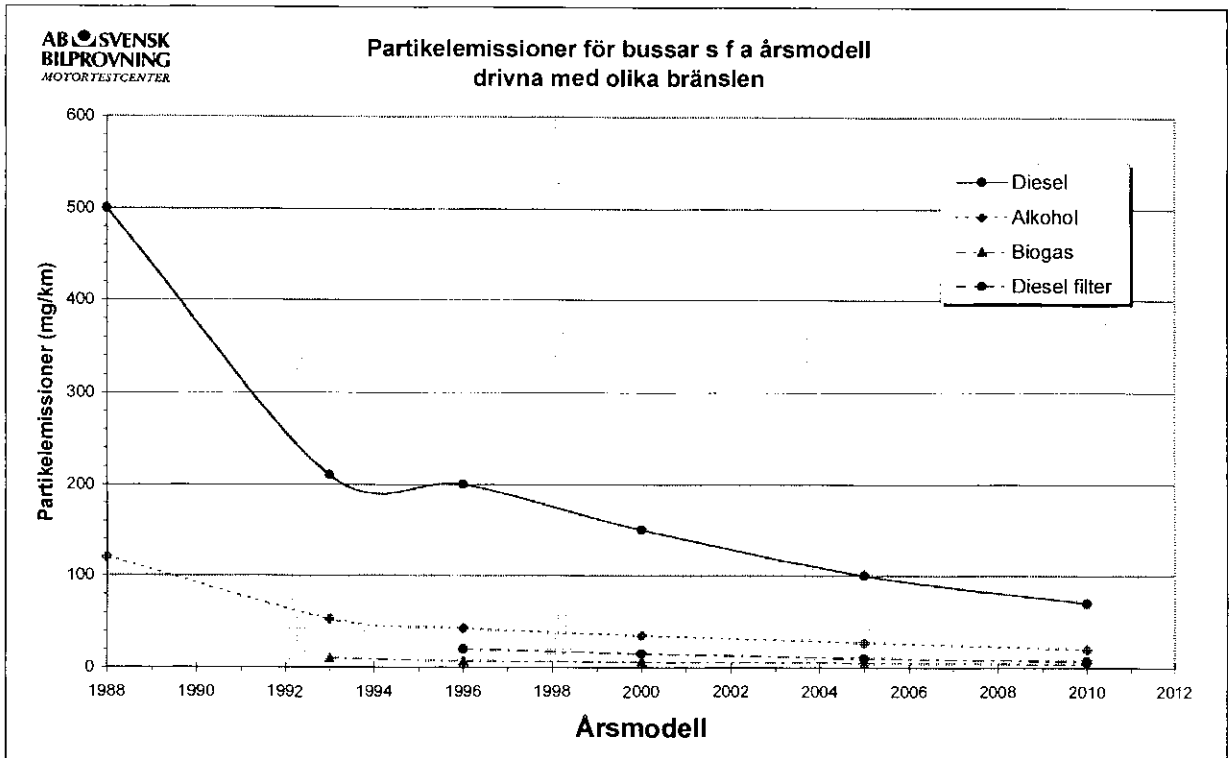
Det är svårt att se något skäl till att inte kraven på arbetsmaskiner skulle följa denna utveckling eller kunna var desamma som för vägfordon.

För att få en uppfattning om de relativa reduktioner av emissionerna som kan komma ifråga i framtiden har två diagram från en rapport som publicerats av KFB inkluderats i denna sammanställning. Dessa diagram visas i figur 7 och 8. Även om nivåerna här avser emissioner uttryckta i g/km kan man förvänta sig en liknande (relativ) utveckling även för motorer till arbetsmaskiner (där utsläppen anges i g/kWh) om än med en viss eftersläpning i förhållande till de tunga fordonen. Hur snabbt utvecklingen kommer att ske beror till stor del på kravnivåerna för emissionerna och till viss del på kundkraven.

I diagrammen nedan kan man även notera inverkan av de alternativa (biobaserade) drivmedlen, samt i ett fall även partikelfilter. Även om emissionerna för samtliga typer av motorer förväntas minska kraftigt i framtiden kommer de alternativa drivmedlen ändå att ha samma *relativa* fördelar som i dag vad avser dessa emissionskomponenter.



Figur 7: Förbättring av NO_x emissionerna genom införande av ny motor- och reningsteknik



Figur 8: Förbättring av partikelemissionerna genom införande av ny motor- och reningsteknik

EMISSIONER FRÅN DIESELMOTORER

De oönskade föreningar som lämnar motorn via avgasröret kan delas in i oförbrända föreningar såsom (CO, HC, sot mm) samt olika typer av kväveoxider (NO_x). De oförbrända föreningarna härrör från oförbränt bränsle och NO_x bildas genom att luften syre reagerar med luftens kväve.

CO emissionerna härrör sannolikt från zoner med lokal syrebrist. När CO väl bildats är oxidationshastigheten i cylindern låg. Moderna motorer med högt insprutningstryck och god finfördelning av bränsle har som regel låga CO emissioner från motorn. CO kan dessutom lätt oxideras i en katalysator, varför CO egentligen inte utgör något stort problem för dieselmotorer.

Bildningen av sot (eller rök) som är huvudbeståndsdelen i partikelemissionerna sker genom pyrolys av bränslet och orsaken är som beskrivits ovan att bränslet och luften inte blandats ned till molekylnivå. Det förtjänar att påpekas att även andra bränslen som t ex bensen och metan ger sotbildning vid diffusionsförbränning. Det mesta av det sot som bildats vid förbränningen oxideras i förbränningsrummet men trots det innehåller avgaserna en hel del sot. Den åtgärd som främst använts för att minska sotbildningen är att förbättra bränsle-luft prepareringen. I detta syfte har insprutningstrycket för DI motorer höjts markant de senaste 20 åren. Resultatet är att partikelemissionerna minskat med en faktor 10 för tunga fordon (från 1 till 0,1 g/kWh) sedan 70-talet. En liknade utveckling har skett även för lätta fordon.

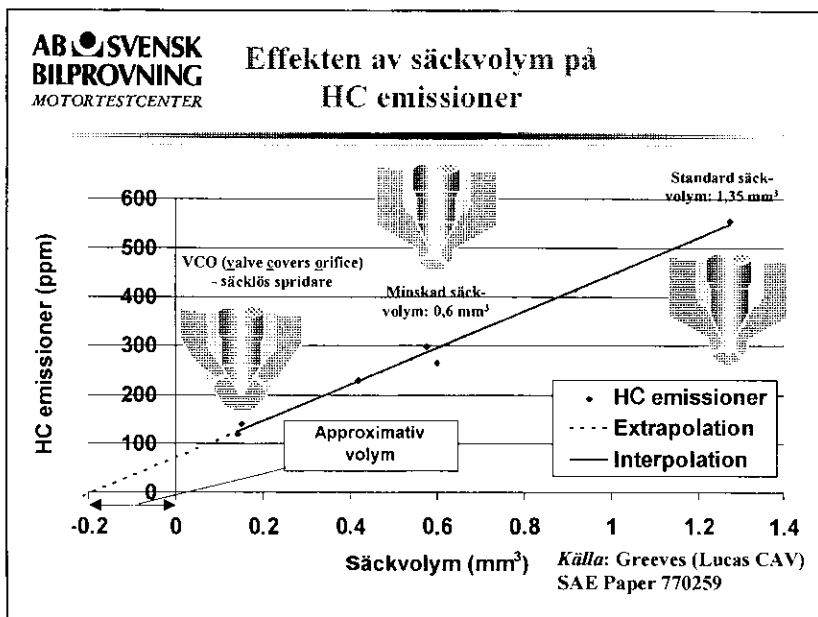
NO_x -bildningen påverkas av faktorer som bl a tryck, tid och temperatur. Det är dock de lokala förhållandena som är av avgörande betydelse vilket beskrivits i stycket ovan. Motorer med indirekt insprutning (IDI) ger generellt väsentligt lägre NO_x emissioner än motorer med direkt insprutning (DI) om ingen åtgärd gjorts för att minska NO_x emissionerna för någon av dem. Åtgärder som minskar NO_x emissionerna är t ex senareläggning av insprutningstidpunkten, laddluftkylning, högre kompressionsförhållande, minskade luftrörelser samt EGR. Ökat insprutningstryck ger generellt högre NO_x emissioner och kombineras därför oftast med någon av de andra åtgärderna. Erfarenheterna från personbilar med EGR har de senaste åren visat att DI motorer tål mer EGR³ än IDI motorer och därför kan NO_x emissionerna sänkas till samma nivå för DI som för IDI motorer när EGR används. Eftersom utvecklingspotentialen medelst högtrycksinsprutning är större för DI motorer är det inte förvånande att dessa motorer vinner insteg även för personbilar.

Den helt dominerande HC källan för direktinsprutade dieselmotorer med en välutvecklad bränsle-luft preparering som ger liten väggvätning är den s k spridarsäck som finns under spridarnålen. Spridarsäcken har tillkommit för att förenkla tillverkningen och den har en volym av ca 1 mm³. Den bränslevolym som finns i spridarsäcken kommer in i förbränningsrummet p g a värmeutvecklingen. Bränslet kommer dock in för sent för att oxideras helt. Moderna spridarkonstruktioner har minskat eller helt eliminerat denna volym och därmed har HC emissionerna kunnat sänkas radikalt. Denna spridartyp används i dag för personbilmotorer men är dock ovanlig på Europeiska tunga motorer, vilka således har en stor förbättringspotential i detta avseende. Det bör också poängteras att de spridare som används för IDI motorer ge-

³ Med avseende på rökbildning (partikelemissioner) och förbränningsstabilitet

nom sin konstruktion inte har någon direkt motsvarighet till spridarsäck och har därför generellt låga HC emissioner om förbränningssystemet i övrigt är välutvecklat. Oförbränt bränsle och de nya organiska föreningar som bildas från bränslet är av avgörande betydelse för hälsoeffekterna från dieselmotorer oberoende av om de drivs på alkoholer eller dieselbränsle.

Det kan med ledning av ovanstående resonemang vara värt att notera vilka minskningar som är möjliga genom att införa denna teknik. I figur 8 visas effekterna av säckvolymen från en undersökning som utfördes av Greeves m fl. redan 1977. Som synes är potentialen betydande även om moderna tunga motorer oftast har en volym på spridarsäcken som understiger 1 mm^3 .



Figur 9: Effekten av säckvolym på HC emissioner

EFTERBEHANDLING AV AVGASER FRÅN TUNGA FORDON

HC och partikelemissioner:

I dag finns kommersiellt tillgängliga system som klarar av att ta hand om de oförbrända kolväten som lämnar motorn. Detta är i och för sig ingen stor teknisk utmaning, dvs att utföra en oxidation i en starkt syrerik miljö. Problemet ligger i att ta hand om den stora sotmängd som förekommer i dieselavgaserna. Här har genom åren en rad försök med olika partikelfilter gjorts. Dessa tekniker har dock ofta varit behäftade med problem av typen igensättningar, vilka har lett till att tryckfallet och därmed bränsleförbrukningen ökats. Problemet är nämligen inte filtreringen i sig utan att regenerera filtret (dvs bränna upp partiklarna). Dessutom kan regenereringen ge upphov till en okontrollerad och snabb förbränning som ger stora temperaturpåkänningar vilket ofta leder till haveri. Ett av de bästa systemen som finns på marknaden är det så kallade CRT-filtret (Continuously Regenerating Trap) som säljs av Svensk Emissionsteknik AB. Inverkan på emissionerna av CRT-filtret har beskrivits av bl a Grägg och Hedbom. CRT systemet är uppbyggt av en platinabaserad katalysator följt av ett partikelfilter i form av en monolit där varannan kanal är tilltäppt och avgaserna tvingas därför att passera genom väggarnas porer. Fördelen med detta system är att det katalytiskt aktiva materialet är skilt från filtret. Detta har två fördelar; 1) temperaturen över filtret blir lägre; 2) i katalysatorn oxideras NO till NO_2 och NO_2 fungerar sedan som oxidationsmedel för det i filtret infångade sotet. NO_2 oxiderar sot vid en betydligt lägre temperatur än vad syre gör. Detta gör att filtret ständigt regenereras genom att det infångade sotet oxideras kontinuerligt. En nackdel med filtret är att NO_2 emissio-

nerna ökar jämfört med fallet utan CRT. Andelen NO_2 är dessutom kraftigt beroende av typ av körcykel. Det har visat sig att en transient typ av körcykel, vilken är mer representativ för stadskörning och där medelbelastningen ofta är lägre än i den stationära ECE R49 cykeln, kan ge väsentligt högre andel NO_2 emissioner än ECE R49 cykeln.

NO_x reduktion

Det finns inget kommersiellt system som helt eliminerar NO_x emissionerna från mobila dieselmotorer. Detta är det största problemet med dieselmotorer och runt om i världen bedrivs en intensiv forskning för att komma till rätta med detta dilemma. Svårigheten ligger i att kunna utföra en reduktion i en starkt oxiderande miljö. På stora "halvstationära" dieselmotorer (exempelvis fartyg) har problemet lösts genom att använda en katalysator bestående av vanadinpentaoxid dispergerat på titandioxid. Som reduktionsmedel använd amoniak vilket tillsätts i avgaserna före katalysatorn. Denna teknik skulle kunna införas även på mobila dieselmotorer och runt om i världen pågår sådana forskningsprojekt (även samma teknik men med andra reduktionsmedel undersöks). I ett samprojekt mellan svenska högskolor och berörda industrier har en potential för en minskning av NO_x emissionerna med upp till 75 % kunnat demonstrera i US transientcykeln för tunga fordon. I en rapport av Ford och FEV Motorteknik undersöks ett koncept där urea/vattenblandningar används som reduktionsmedel till ett dieselfordon. Testerna utfördes på en lätt lastbil av typ Ford Transit med en 2.5 liters DI motor (i sugmotorutförande). Försöket gav en NO_x reduktion på ca 60 % för 1996 EDC cykeln och upp till 83 % reduktion för US FTP cykeln. Vid försöken kunde inga ammoniakemissioner detekteras så länge doseringen av urea inte översteg den stökiometriska nivån. Fördelarna med urea/vattenblandningar som reduktionsmedel jämfört med att använda amoniak är enligt författarna till den citerade rapporten främst hälso- och miljöeffekterna. Nackdelen är att fryspunkten för reduktionsmedlet är för hög (-11°C för den blandning som användes). Ett generellt problem med detta koncept är att en extra vätsketank behövs ombord på fordonet. Dessutom vill vi också peka på att en infrastruktur måste byggas upp för distribution och hantering av reduktionsmedlet. Synpunkter enligt ovan har också framförts av bl a svensk fordonsindustri. Användningen av SCR system torde alltså initialt endast kunna ske i lokala flottor där de nämnda problemen lättare kan tas om hand. I Tyskland drivs en utveckling av ett SCR-system av Siemens som nu har nått en utvecklingsstatus som gjort systemet moget för fältprov.

För ca 20 år sedan upptäckte den japanske professorn Iwamoto att kopparjonbytt zeolit ZSM-5 fungerade som katalysator för reduktion av NO_x i syrerik miljö. Sedan dess har en febril forskning rörande detta tema bedrivits runt om i världen. Volkswagen i samarbete med kemikoncernen Bayer visade rapporterade redan 1990 om ett antal tester med olika typer av katalysatorer, bl a den ovannämnda typen. Vid försök i labmiljö med syntesgaser har reduktionsgrader på 50 % eller däröver uppnåtts. Tester på en lean-burn bensinmotor gav en reduktionsgrad på 15 % i den kalla fasen (Yct) och 30 % i den varma fasen (Yht) av FTP-75 körcykeln. Reduktionsgraden i dieselavgaser var dock lägre än 15 % vid stationära förhållanden i motorprov trots att eten tillsattes avgaserna som reduktionsmedel. En senare rapport av Konno m fl. visar något bättre resultat men även här nås en maximal NO_x reduktion på endast 25 % i dieselavgaser – vid den mest gynnsamma temperaturen. Reduktionsgraden kan i

ock för sig höjas till ca 45 % genom tillsats av mera kolväten. Tyvärr har det således visat sig att då tekniken försökts överföras till verkliga applikationer (lämna laboratorier) har resultatet varit nedslående. Visserligen fungerar tekniken någorlunda men katalysatorns stabilitet, främst mot vattenånga är alldeles för låg.

Under senare år har en stor del av forskningsinsatserna riktats mot att undersöka olika förutsättningarna för ädelmetaller dispergerade på olika typer av bärmaterial. Dessa system är mer stabila och ger en viss reduktion av NO_x. Ofta fås en reduktion av NO_x i ett snävt temperaturintervall och tyvärr övergår en stor del av de reducerade kväveoxiderna till lustgas (N₂O). En intressant variant av den ädelmetallbaserade DeNO_x katalysatorn kallad DLNC (diesel lean NO_x catalysts) har utvecklats av Degussa och ICT. Katalysatorn har t v endast utvecklats för personbilsdieslar. En speciell washcoat som innehåller zeoliter används för att adsorbera avgasernas kolväten vid låga avgastemperaturer. Vid högre temperaturer desorberar kolvätena och kan då användas för NO_x reduktion. Tekniken för adsorption och desorption är i princip liknande tekniken för de s k kolvätefällorna för bensinmotorer men intressanta fördelar och framförallt förenklingar uppnås genom dieselbränslets annorlunda egenskaper. Genom att kokpunkten är högre och tändtemperaturen är lägre i katalysatorn behöver inte den adsorberande katalysatorn skiljas från huvudkatalysatorn som för bensinmotorer. I det senare fallet måste man avskärma kolvätefällan (med spjäll eller luftfridåer) för under tiden huvudkatalysatorn värms upp för att inte uppvärmningen av kolvätefällan skall få de lagrade kolvätena att desorbera igen innan huvudkatalysatorn tändes. Med diesel som bränsle kan man således klara sig med att använda zeoliter i washcoaten. Följden är att HC omsättningen ökar väsentligt. Medan normala oxiderande katalysatorer endast når en HC omsättning på ca 50 % i den europeiska körcykeln⁴ kan med denna katalysator ca 80 % nås. En maximal NO_x reduktion – som ju har högre prioritet än HC för dieselmotorer – på ca 50 % i jämförelse med ca 30 % för en konventionell ädelmetallbaserad DeNO_x katalysator har nåtts i modellförsök. NO_x reduktionen i den europeiska körcykeln blev dock ej högre än 20 %. Med insprutning av bränsle i avgaserna kan sannolikt en högre NO_x reduktion nås men fördelen om insprutning ej används är att systemet blir passivt och inte fordrar någon ytterligare apparatisering. Bränsleförbrukningen påverkas ej heller i negativ riktning.

Det finns också andra katalysatorer för NO_x reduktion som är nära en kommersialisering. Dessa består av platina dispergerat på zeolit ZSM-5. Med en dylik katalysator kan en NO_x reduktion på i storleksområdet 20-30 % nås.

Andra tänkbara tekniska lösningar på NO_x problematiken är att låta avgaserna passera ett så kallat plasma (elektrisk urladdning mellan två plattor eller dylikt). Vid urladdningarna alstras elektroner vilka resulterar i att kvävgasmolekyler N₂ slås sönder och att kväveradikaler bildas. Dessa kväveradikaler kan sedan reagera med NO-molekyler varvid kvävgas och en syreradikal bildas. Denna teknik fungerar, men är behäftad med två nackdelar; 1) Det åtgår mycket energi för att åstadkomma plasmaurladdningen; 2) Det kan bildas ozon och andra oönskade produkter vid urladdningen.

⁴ Den europeiska körcykeln karakteriseras av en låg belastning av motorn i stadskörningsfasen och därmed blir HC omsättningen lägre för denna körcykel än för andra körcykler som t ex den amerikanska FTP-75 körcykeln. Den låga HC omsättningen är speciellt märkbar för dieseldrivna personbilar eftersom dessa ju har en väsentligt lägre avgastemperatur än motsvarande bensindrivna personbilar.

