

Dieselmotorer och Dieselbränslen

Rapport nr ECO/2124



NUVARANDE OCH FRAMTIDA TEKNIK FÖR REDUKTION AV MILJÖEFFEKTER FRÅN TUNGA FORDON.

(Sammanfattning av SAE workshop 1-2 okt. 1996 i Göteborg)

November 1996

Ecotraffic

Åke Brandberg
Bengt Sävbark

NUVARANDE OCH FRAMTIDA TEKNIK FÖR REDUKTION AV MILJÖEFFEKTER FRÅN TUNGA FORDON.

Denna rapport innehåller dels en sammanfattning av slutsatser om utvecklingen med Ecotraffics kommentarer och bedömningar, dels ett mer omfattande referat av vad som framfördes vid mötet.

SLUTSATSER - KOMMENTARER

AVGASKRAV

- Framtida avgaskrav för tunga diesellojdrivna motorer förmodas för de kritiska ämnena bli:

	Modellår	NOx	partiklar
Euro III	2000	<5,0 g/kWh	0,15 g/kWh
Euro IV	2005	<3,5 "	0,1 "

Från en del håll, t.ex. tyska Umweltbundesamt, argumenteras för strängare utsläppsgränser redan nu med motivet att lovande teknik finns i sikte och teknikdrivande krav önskas.

Kravskärpningen kommer att fortsätta efter 2005 för att nå långsiktigt hållbara mål.

Dessutom kommer testkörnykeln att ändras till att omfatta transienta inslag då nuvarande ECE R49 underskattar framför allt de verkliga partikelutsläppen.

DIESELMOTORUTVECKLING

- Dieselmotorn kommer att fortsatt utvecklas mot högre verkningsgrad genom högre arbetstryck, flerventilteknik, höjda insprutningstryck, sofistikerad elektronisk styrning av bränsletillförseln, etc.

Detta kommer tyvärr delvis att ätas upp av de strängare utsläppskraven, då optimering för låg bränsleförbrukning sker på bekostnad av höjda NOx-utsläpp.

Viss ny teknik (höga insprutningstryck) kan emellertid orsaka ökad bildning av ultrafina partiklar, som är de mest bekymmersamma ur hälsosynvinkel, trots att vikten av partiklarna minskar därigenom.

Sammantaget bedöms Euro III-krav kunna klaras genom utveckling av motor och bränslesystem, men de finns ännu inte.

För Euro IV krävs ytterligare utveckling med bl.a. avgasåterföring (kyld EGR). Ökad bränsleförbrukning blir svår att undgå och sannolikt behövs även katalytisk efterrening av avgaserna, som delvis är tillgänglig redan nu. Härvid kan krav på att kontrollera och styra avgastemperaturen uppkomma.

AVGASRENING

- Den dieseloljedrivna dieselmotorn har svårigheter att samtidigt klara krav på låga NOx-utsläpp och låg bränsleförbrukning/låga partikelutsläpp, då optimering innebär en avvägning mellan dem. Detta mönster kan brytas genom katalytisk NOx-reduktion. De låga partikelutsläpp, som alternativa drivmedel ger, kan inte nås med dieselolja utan partikelfilter och till priset av något förhöjd bränsleförbrukning.

Slutsatsen är att framtida krav, från Euro IV och följande, behöver katalysatorer och filter för att kunna uppfyllas.

SPECIFIKATION FÖR DIESELOLJOR

- De svenska miljöklassade dieseloljorna betraktas inom EU som alltför extrema (annat än för mycket lokal användning i några tätorter) och ett hinder för bred användning. Samtidigt är

förståelsen bristfällig om varför de tillkommit (PAH-kravet speciellt och den mycket låga svavelhalten man fått på köpet).

Avståndet till bästa dieselloja för stor användning inom EU (med max. 500 ppm svavel som huvudnummer, möjligen sänkt till 350 ppm) är stort. Det i den svenska specifikationen (MK 1) snäva kokpunktintervallet, 180 - 285°C (T95), är ett stort hinder och gör att produkten konkurrerar med jetbränsle och ger onödiga problem genom bristande smörjförmåga.

För att närma de svenska och europeiska oljorna till varandra och vinna bred europeisk användning behövs en modifikation av specifikationen till att tillåta:

- T95 på ca 325°C men med bibehållet PAH-krav
- Svavelhalt på max.25 ppm.
- Acceptans av total aromathalt på 10 - 15 vol-%.

Kostnaden för att producera en sådan dieselloja är väsentligt lägre än för de nuvarande MK-oljorna. En begränsad nackdel med denna modifikation kan vara något förhöjda partikelutsläpp (kanske även NOx), som tas om hand av katalysator och filter. Sådana måste ändå användas för att göra diesellojan långsiktigt accepterad.

Ecotraffic ger förslag till ny specifikation som dels är i bättre överensstämmelse med utvecklingen inom EU, dels bibehåller fördelarna ur hälsosynvinkel, dels sparar ca SEK 250 miljoner per år för det svenska samhället.

ALTERNATIVA DRIVMEDEL

- Alternativa drivmedel för bred användning är motoralkoholer (metanol, etanol i dieselmotor) och metangas (naturgas, biogas i ottomotor) för nischanvändning, där gasledningar finns framdragna eller lokal produktion sker.

Som kemiskt enkla ämnen brinner de utan sotbildning och tillåter motoroptimering (inkl. EGR) för låg NOx-bildning. För låga HC- och CO-utsläpp rekommenderas dock oxidationskatalysator. Priset för detta är något höjd bränsleförbrukning jämfört med diesellojedrift, vilket särskilt gäller gasdrift.

De alternativa drivmedlen kan även baseras på bioråvara och således motverka förstärkningen av växthuseffekten (främst genom koldioxid).

SÄRSKILDA KRAV

- Krav på nollutsläpp kan ställas för drift i tätorters centra och medför då krav på batteri-el drift av autonoma bussar.

För att få tillräckligt lång körsträcka måste dock kompromiss med hybriddrift användas (förbränningsmotor/elmotor) tillgripas och nollutsläpp föreligger inte längre men väl mycket låga utsläpp.

På sikt kan drivkällan vara bränslecell och då kan nollutsläpp åter nås (med biobaserat drivmedel även gällande koldioxid). Avgaskrav liksom bestämmelser om viss typ av tillåten motor-drift inom särskilda områden, miljözoner, är teknikdrivande.

SAMMANFATTANDE REFERAT AV SAE WORKSHOP 1-2 OKT. 1996 I GÖTEBORG

SAE hade för ovanlighetens skull förlagt sitt fortbildnings-workshop (TOPTEC) utanför USA. Det samlade 135 deltagare från 14 länder (USA och Europa), knappt hälften från Sverige. Svenska Emissions-teknik AB hade varit behjälplig i arrangemangen och Nils Myers därifrån ledde workshopet. Dokumentation lämnades endast i form av OH-kopior, men tyvärr ej av alla.

Fokus var riktat mot dieselmotorns utveckling och avgasrenings-system, särskilt för partiklar och kväveoxider, med några utblickar mot dieseloljekvaliteter och alternativa drivmedel.

Föredragsprogrammet återges i bilaga 1. Endast 1 bidrag kom från svensk tillverkare (Volvo LV) men inget från Scania, som inte heller deltog i debatter.

ALLMÄNT

Som inledning tecknade **Michael Walsh**, konsult från USA, bilden av dieseloljedriften, problem och utveckling. Dess svåra punkter ligger i utsläppen av NOx och partiklar och nya undersökningar har visat tydliga samband mellan hälsoproblem och exponering för partiklar, särskilt mycket små partiklar, $<0,1 \mu\text{m}$, som förekommer i stort antal per gram partikelmassa och som kan öka med modern insprutningsteknik. Dessa är karakteristiska för dieseloljedriften och kan föga påverkas genom bättre motorer.

Partikelfällor kommer således att vara nödvändiga, särskilt för att reducera antalet partiklar i avgaserna.

I Europa ses en trend till ökad dieseloljedrift av lätta fordon (och fortsatt dominans för tunga fordon). Detta kommer, tillsammans med mindre stränga krav för NOx-utsläpp för dieselfordon jämfört med bensinbilar enligt EU-kommisionens förslag, att leda till att den lätta bilflottans NOx-utsläpp ökar med ökande grad av "dieselisering" i stället för den behövliga minskningen.

Slutsatsen blir att katalytisk NOx-reduktion behövs också på dieseloljedrivna bilar.

Tre svenska inlägg av representanter för transportköpare/utövare (**M. Wihlborg** trafikkontoret i Göteborg, **Å. Lindell Byström** Bilspedition, **L. Magnusson** Swebus) gav det klara beskedet att miljöpolices nu har införts med krav på transportörerna och deras fordon vid upphandling.

Swebus har kommit långt på vägen att uppfylla krav genom att på den tekniska sidan köra alla bussar på MK1-dieselolja, installera oxidationskatalysator (i rostfritt stålhölje) på ljuddämparens plats (betalas av lägre underhållskostnad) och installera CRT-system (oxidationskatalysator och partikelfälla) på över 700 fordon (av nära 3500) och utvärdera etanoldrift i 30 bussar och metandrift i 6 CNG-bussar.

Miljömedvetenheten hos både transportköpare och transportörer är således hög och viktig för företagens profil.

MOTORUTVECKLING

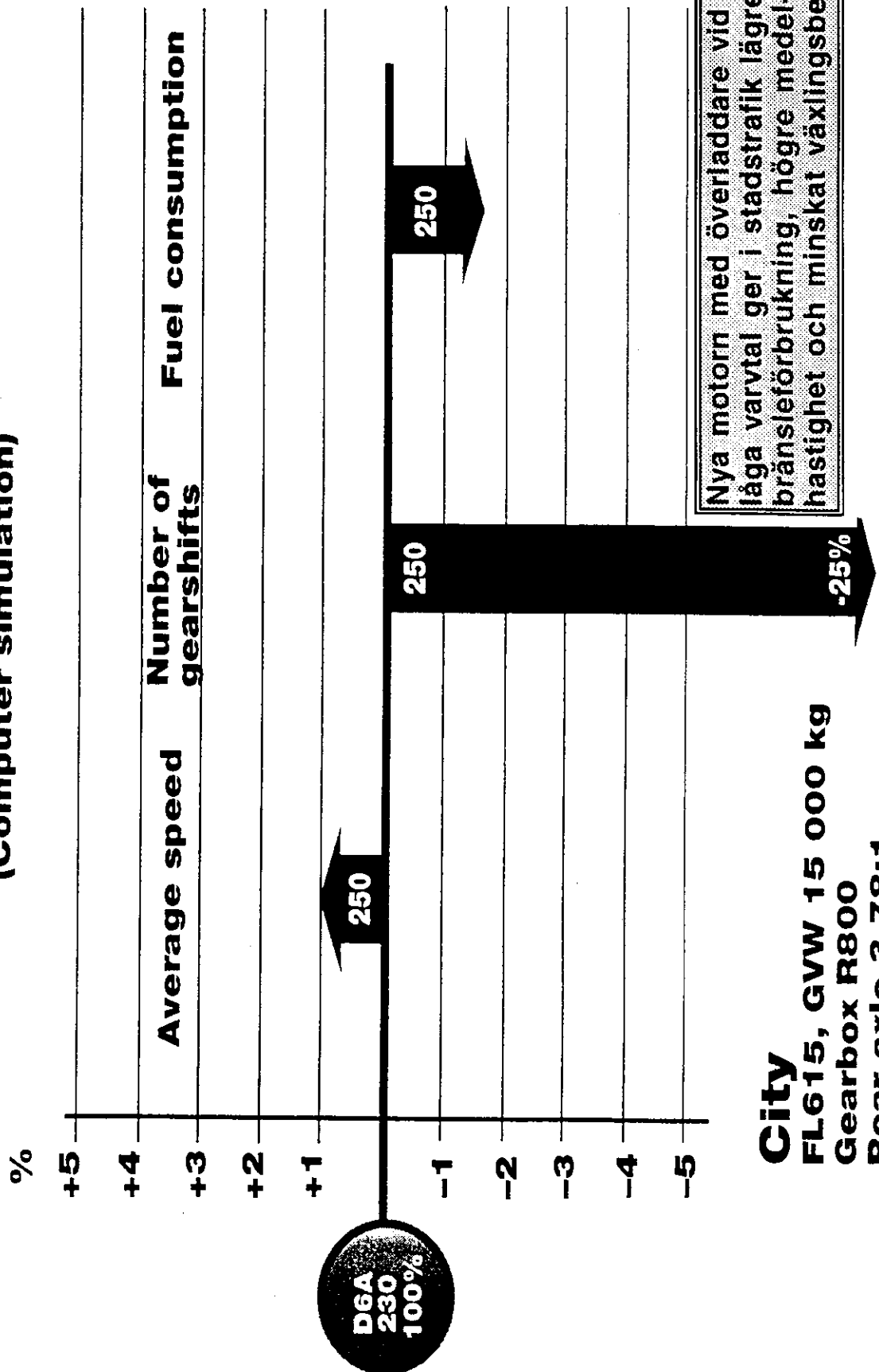
Nyutvecklade motorer presenterades av Volvo och Mercedes-Benz. Andra motorutvecklingar berörde krav/åtgärder för Euro III (Zelenka, AVL), insprutningssystemet (Frankl, Lucas) och EGR (Verbeek, TNO). Ricardo (Chr. Such) stod för sammanfattande bedömning av utvecklingsmöjligheter.

VOLVO

Volvos nya medium duty, 5,5 lit. motor (D6A för 250 hk) har både turbo- och supercharger (Roots-kompressor) och den senare används och ger styrka i låg- och mellanvarvsområdet, som är av särskild nytta i tätortstrafik, då responsen är snabb och växlingsbehovet minskas (*Figur 1*). Vitrök vid kallstart och accelerationsrök försvinner nästan och HC-utsläpp reduceras utan att NOx-utsläpp påverkas (Euro II).

D6A230 and D6A250 Supercharger comparison

(Computer simulation)



Nya motorn med överladdare vid låga varvtal ger i stadstrafik lägre bränsleförbrukning, högre medelhastighet och minskat växlingsbehov

City
 FL615, GVW 15 000 kg
 Gearbox R800
 Rear axle 3.78:1

Källa: VOLVO LV

Figur 1

MERCEDES-BENZ

Mercedes-Benz nya 4-cyl., 4,25 lit. motor (OM 904 LA för 170 hk) skall ersätta tidigare 6-cyl., 6 lit. OM 366 men har både bättre vridmoment och lägre bränsleförbrukning än denna.

Den är utrustad med pump injektor enheter för högt insprutningstryck (1600 bar) i centralt placerade spridare. Förbränningsrummet är nyutformat och har tre ventiler och en särskild dekompressionsventil för högre motorbromseffekt. Treventil-utförandet anges som största orsak till lägre bränsleförbrukning (195 g/kWh).

Motorn uppfyller Euro II-krav men har minst 3 dB lägre ljudnivå och kan underskrida 80 dB vid förbifartsacceleration.

Motortillverkarnas presentationer visar fortsatt fokusering på förbättrade prestanda avseende effekt och bränsleförbrukning.

AVL

AVLs syn på hur framtida krav (Euro III och IV; uppskattade, ännu ej beslutade) kan uppfyllas presenterades av Zelenka mot bakgrund av den historiska utvecklingen och deras egna utvecklingsarbeten. Problemet är lägre skadliga utsläpp (NOx och partiklar) utan ökning av bränsleförbrukningen. Resultaten åskådliggörs i *figur 2*.

Euro III-krav (antagna NOx/PM = 5,0/0,1 g/kWh) kan uppfyllas genom 4-ventilsteknik, elektroniskt styrd långsammare insprutning under längre tid vid mycket höga insprutningstryck och kyld EGR. Utan den senare kunde förhöjd bränsleförbrukning inte undgås.

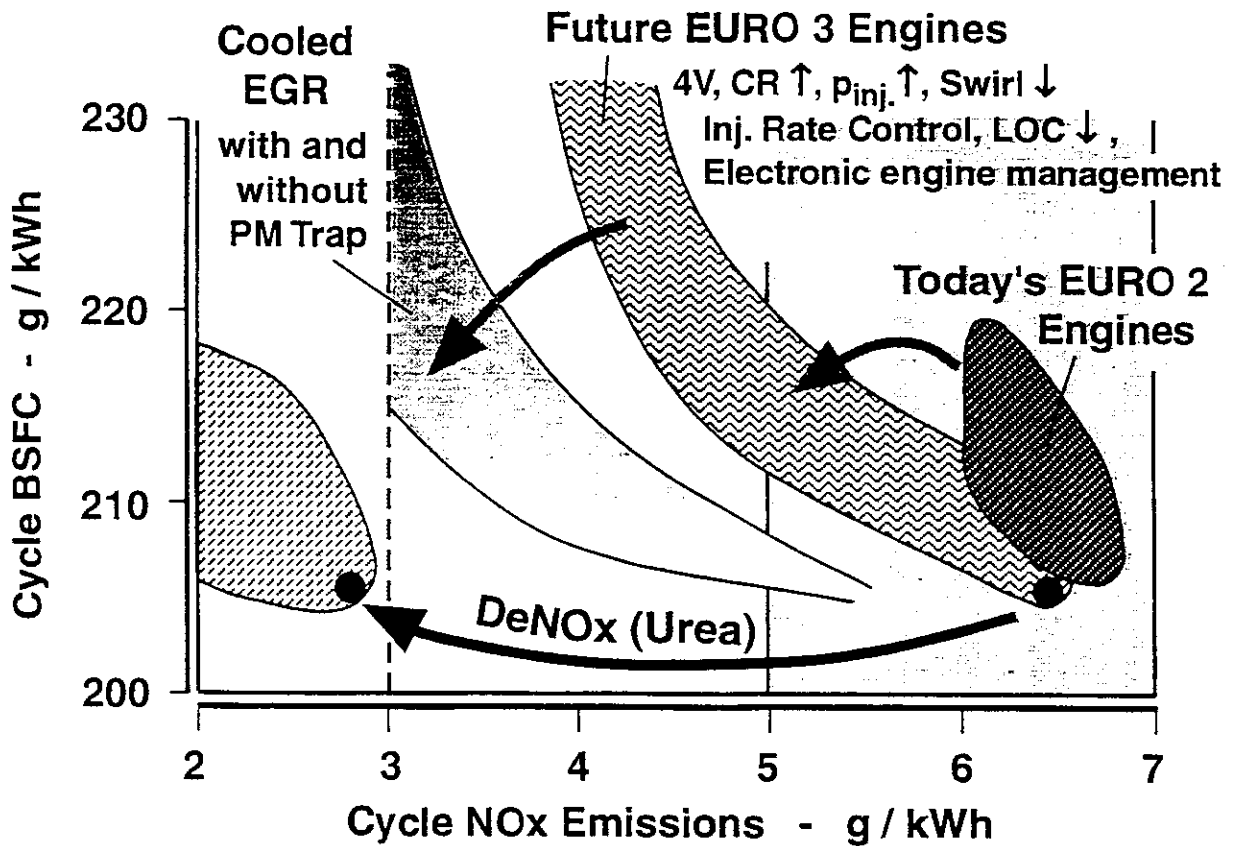
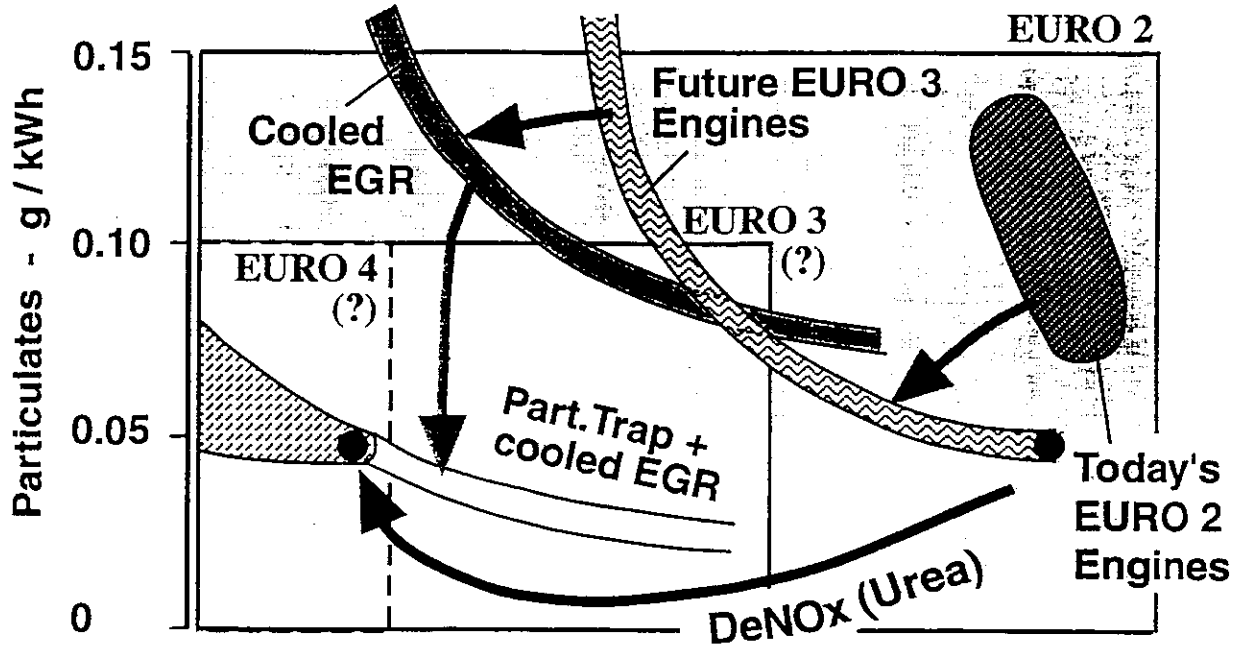
Partikelfilter kan vara nödvändigt och då kan något ökad bränsleförbrukning knappast undgås. Oxidationskatalysator för att undgå ökade CO- och HC-utsläpp torde också vara nödvändig. En detalj är att tillsats av oxygenater (2,5 - 5 % syre) visats minska sotutsläppen.

För Euro IV-kravs (antagna NOx/PM = 3,0/0,1 g/kWh) uppfyllande kommer någon form av katalytisk NOx-reduktion att behövas kompletterad med oxidationskatalysator.

Tyska UBA (Umweltbundesamt) talar för lägre NOx-gränser för både Euro III och IV (3,5 resp. 1,75 g/kWh) med hänvisning till att lovande teknik är under utveckling och att krav bör vara teknikdrivande.

Varken Euro III- eller IV-motorer finns ännu färdigutvecklade. Stora

Figur 2



Development Directions of Efficient Low Emission HD Diesel Engines

Källa: AVL

utvecklingsinsatser är nödvändiga, då enbart fortsatt optimering inte är tillräcklig. Förutsättning för utvecklingen anges vara att europeisk lågsvavelolja (max. 500 ppmw) används. (Den kommentaren får göras att även den diesellojan kan innebära problem för både EGR och katalytisk teknik).

(Det bör även påpekas att andra undersökningar visar att de mer hälsofarliga ultrafina partiklarnas andel ökar vid mycket höga insprutningstryck även om partikelmassan minskas.)

LUCAS DIESEL SYSTEMS

Lucas Diesel Systems (Frankl) redovisade effekter av insprutningstryck, tidpunkt för insprutning, pilotinsprutning (uppdelad insprutning) och EGR på sot, PM och NOx-bildning. Högre tryck (upp till 1900 bar) minskar sotbildning (mätt som svärtning av pappersfilter) och tillsammans med EGR och tidigarelagd insprutning minskas NOx och PM utan ökad bränsleförbrukning (vilket senarelagd insprutning gör).

Uppdelad insprutning (elektroniskt styrd variation efter belastning) minskar NOx men på bekostnad av ökad bränsleåtgång (dock mindre än vid sen insprutning).

TNO

TNOs arbeten för att reducera NOx-utsläpp (till framtida förväntade 3 g/kWh) med EGR-teknik i en 12 lit., 4-ventils TCA motor med variabel turbocharger och venturiblandare redovisades av R. Verbeek.

Med EGR och "injection timing" hade ursprungliga NOx på 5,7 g/kWh kunnat minskas till 2,4 g/kWh med ett par procent högre bränsleförbrukning. Utan sådan stannade NOx på 2,9 g/kWh. Ytterligare arbeten behövs för att styra EGR under transienta förhållanden.

RICARDO

RICARDO (Chr. Such) förutspår för HDE (~2 lit/cyl.) fortsatt trend till början av 2000-talet mot högre BMEP (25 bar) och max. tryck (≥ 200 bar), högre effekt/volym (28-31 kW/lit.), lägre varvtal vid max. effekt (1800 rpm; "lågvarvsfilosofin"), lägre total cylindervolym (10-12 lit. för tyngsta fordon), smörjolfjeförbrukning $< 0,1$ % av bränsleförbrukningen, kyld EGR och förbättrade bränslesystem, m.m.

Motorutveckling enbart bedöms inte tillräcklig för att kunna nå < 3 g/kWh NOx. Även Euro III-krav synes svåra att nå utan ökad bränsleförbrukning. Se figur 3 och 4.

Figur 3

STRATEGIES FOR EURO 4 (1)

TECHNOLOGY	ESTIMATED POTENTIAL FOR NO _x REDUCTION FROM EURO 2	NO _x LEVEL POTENTIAL (g/kW.h)	COMMENT
INJECTION RETARD	25%	5.0	INSUFFICIENT
RETARD + PILOT	33%	4.5	INSUFFICIENT
EGR	50%	3.3	CANDIDATE

STRATEGIES FOR EURO 4 (2)

TECHNOLOGY	ESTIMATED POTENTIAL FOR NO _x REDUCTION FROM EURO 2	NO _x LEVEL POTENTIAL (g/kW.h)	COMMENT
De-NO _x CATALYST (3:1 HC/NO _x)	35%	4.3	FURTHER DEVELOPMENT NEEDED
SCR CATALYST	75%	1.7	CANDIDATE
WATER ADMISSION	50%	3.3	CANDIDATE

Källa:  R
RICARDO

Figur 4

NOx vs FUEL CONSUMPTION

TECHNOLOGY	ESTIMATED % INCREASE IN FUEL CONSUMPTION (OVER R49)		
	7 g/kW.h NOx	5 g/kW.h NOx	3.5 g/kW.h NOx
INJECTION RETARD	BASELINE	8-14	NOT POSSIBLE
RETARD + PILOT	-	6-12	NOT POSSIBLE
EGR	-	2-4	4-8
NSC De NOx (3:1 HC/NOx)	-	5-7	10-15

Källa:  R

Nya tekniker behövs och härmed avses främst katalytisk renings-
teknik inkl. NOx-reduktion för Euro IV-krav. Utvecklingen av dessa
system (EGR, katalytisk rening) bedöms inte vara kommersiellt
tillgängliga förrän efter 2002.

*Slutorden var att framtiden för dieselmotorn (dieselolje-
driven) var säkrad om omfattande utvecklingsarbeten
genomförs. De kommer dock inte att resultera förrän
några år efter år 2000.*

*FoU-företagens presentationer visar fokusering på hur
teknikutvecklingen kan användas för att möta framtida
utsläppskrav.*

AVGASRENING

Allas åsikt synes vara att uppfyllande av förmodade Euro IV- krav kommer att fordra avgasrening avseende NOx och partiklar.

Oxidationskatalysator är allmänt använd på lättare fordon (Walsh) även om den kommentaren måste göras att långtidseffekten med standarddieselolja inte är väl dokumenterad. På tunga fordon är den mindre vanlig även om program (USEPA) för omfattande användning i äldre bussar i USA pågår enl. presentation av Voss från Engelhard.

Den svenska satsningen på oxidationskatalysator och partikelfilter (CRT) ligger uppenbarligen långt framme med goda förutsättningar genom de mycket lågsvavliga dieseloljorna (MK 1 och 2).

En specialtillämpning för metanoxidation på CNG-fordon presenterades.

Två typer av katalytisk NOx-reduktion berördes i presentationer från Degussa och Johnson Matthey samt från AVL och TNO, nämligen injektion av kolväten (dieselolja) och selektiv reduktion med urea (SCR).

Partikelfällor och regenerering berördes i två föredrag.

Oxidationskatalysator

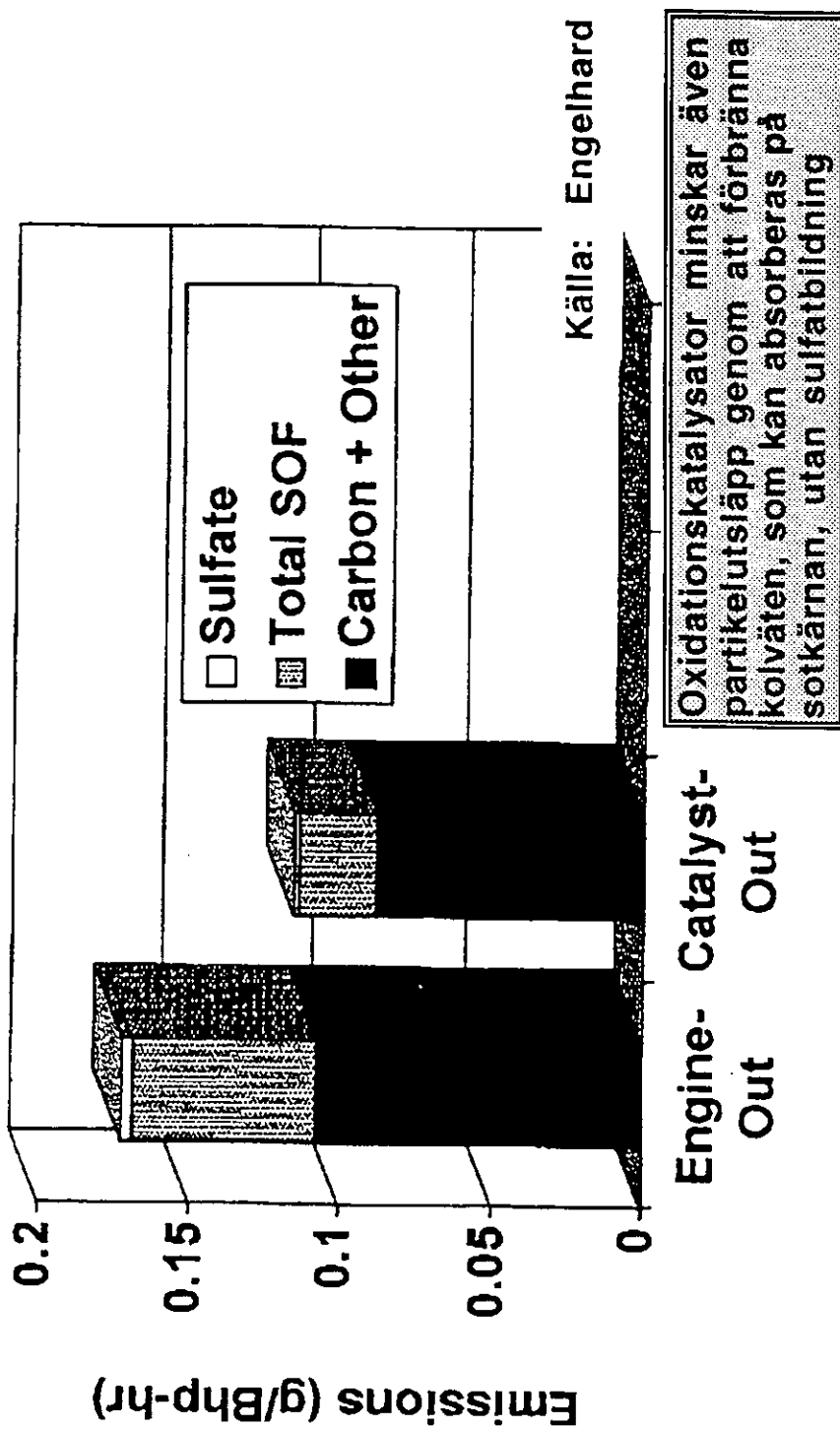
Nya bussar skall i USA från 1996 möta krav på max. 0,07 g/kWh PM i transient körcykel, vilket kan ske med hjälp av oxidationskatalysator, som integreras med ljuddämparen. Bränsle är 1-D dieselolja med max. 500 ppm svavel.

På äldre bussar kan utbyte av ljuddämparen ske och kan då enl. **Engelhard** ge ca 30% lägre PM-utsläpp främst genom ca 50-60 % lägre SOF (den lösliga organiska delen av en partikel), medan den fasta sotkärnan inte påverkas nämnvärt (*Figur 5*). Därutöver reduceras gasformiga kolväten och CO 40-70 %, medan NOx-utsläpp inte påverkas.

Vidare har Engelhard utvecklat en keramisk beläggning för cylinder och kolvtopp, som ger bättre förbränning och drygt 30 % lägre sotbildning. Genom den bättre förbränningen minskas bränsleförbrukningen något och avgastemperaturen höjs, vilket är bra för katalysator-funktionen. Flottprover för långtidserfarenheter pågår.

Diesel Oxidation Catalyst Technology Provides Good TPM Reduction via High SOF Conversion

(MY 1991 5.9 liter DI/TCI 4-Stroke Engine HD Transient Cycle, 0.05% S Fuel)



Figur 5

Degussa (Harris; inget skriftligt underlag) synes instämma i att oxidationskatalysatorn är nu tillgänglig, långtidsprovad teknik för tunga fordon, om bränslet håller högst 500 ppm svavel och katalysatorn är anpassad för låg sulfatbildning. Arbetsområde 170-350°C. Aktiviteten ökar med sjunkande svavelhalt och sulfatbildningen minskar. Oxidationen av NO till NO₂ synes öka vid lägre svavelhalt.

Oxidationskatalysatorer kan relativt generellt användas på dieselojedrivna motorer utan ökning av sulfat- och kvävedioxidbildning men löser inte problem med partikel- och totala NOx-utsläpp. Lågsvavliga oljor behövs.

Katalytisk NOx-reduktion

Utvecklingen för katalytisk NOx-reduktion genom **kolväteinjektion** hos **Johnson Matthey** presenterades (Smedler). Då den motortekniska utvecklingen alltid är en avvägning mellan låg NOx och låg PM/bränsleförbrukning behövs specifik NOx-reduktion för att nå både och.

Framtida krav innebär minst 50-60 % reduktion från kravgränserna vid slutet av 90 talet. Katalytisk NOx-reduktion med kolväten sker på aktiva ställen på katalysatorn, vars funktion kan förhöjas (och tändtemperatur sänkas) om det under det aktiva skiktet (ädelmetall) finns ett aluminium-kiseloxidskikt med god absorptionsförmåga för kolväten. Kolvätenärvaro höjer tändtemperaturen och lägsta tempertur på ca 200°C behövs och kolvätetillförseln måste därför anpassas (styras; ”map control”) efter reduktionsbehovet. I praktiken har reduktionstal på upp till ca 40 % nåtts.

Katalysatorer utan ädelmetall och med t.ex. koppar i stället med funktion vid högre temperatur, >350°C har studerats liksom kombination med efterföljande lågtemperaturkatalysator. Omkring 40 % NOx-reduktion kan då fås över ett större temperaturområde enligt prov med en 12 lit. dieselmotor. Se *figur 6*.

Kolväteinjektionen (i praktiken dieseloilja) medför några procent högre bränsleförbrukning. Viss ökad bildning av dikväveoxid, N₂O, lustgas har noterats.

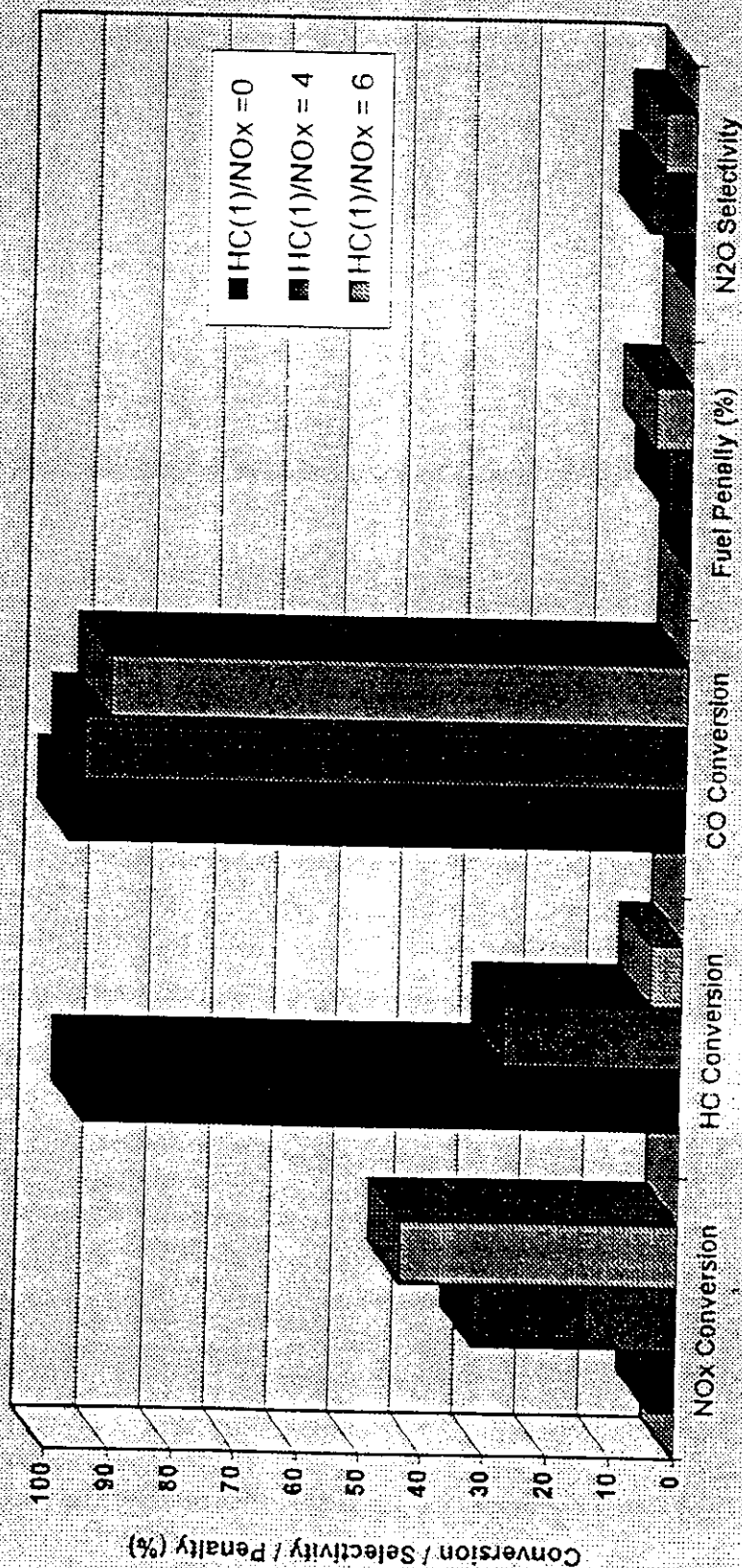
Katalysatorsystemet kräver större utrymme än enbart oxidationskatalysator, motorns dubbla cylindervolym eller mer. Se *figur 7*.

Omdömen från **Ricardo** (Such) säger att tekniken f.n. har för låga prestanda och att utveckling behövs för att möta framtida behov.

Figur 6

ECER49

Conversion Performance in ECER49. Displacement / Catalyst Volume Ratio Equals 1 /
 2. System : Two HT Zeolite Type Catalysts In Front of a LT PGM Type Catalyst.



Diesellojnejektion och både hög- och lågtemperatorkatalysator kan ge 30-40 % NOx-reduktion men några procent högre bränsleförbrukning

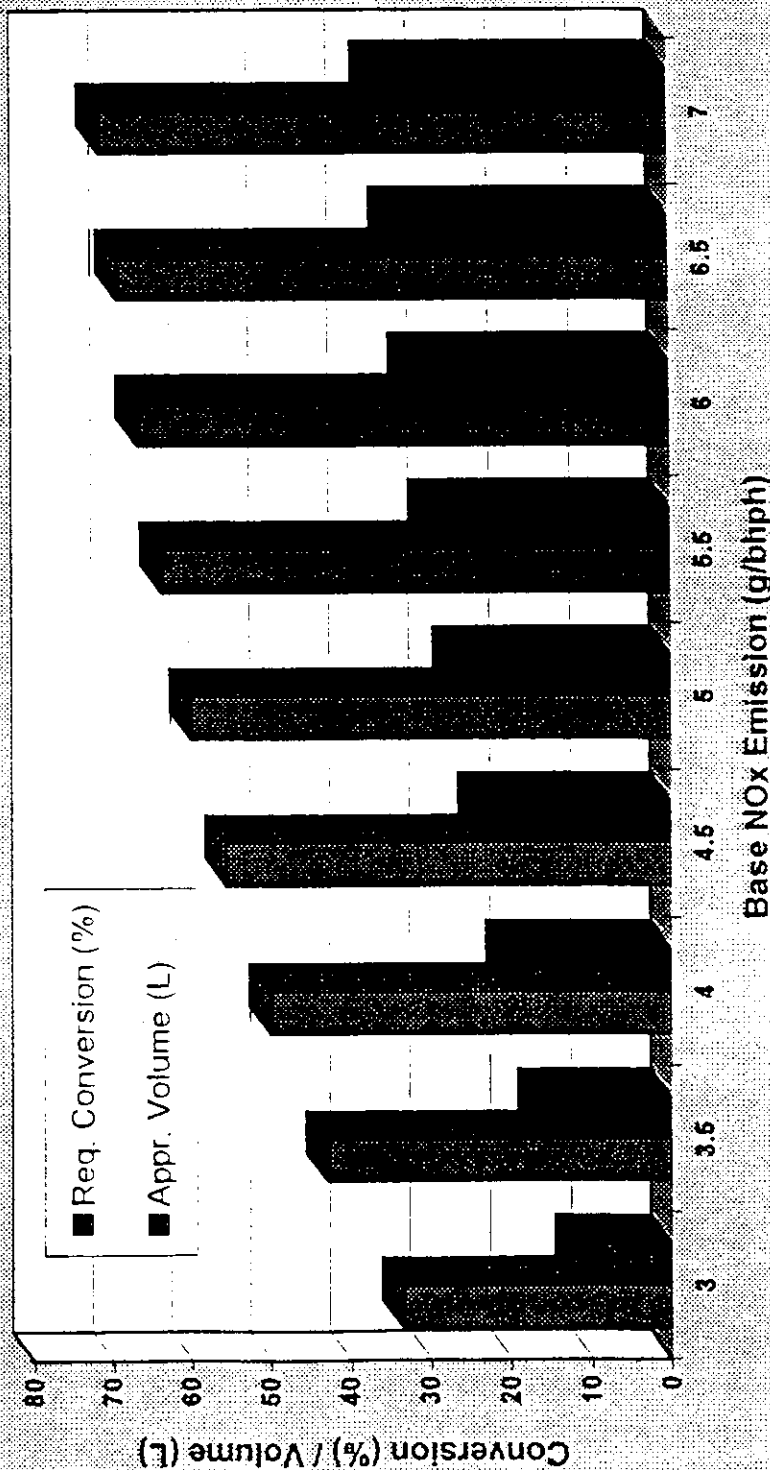
Källa:



Figur 7

NOx-CONV-VOL

Requirements of NOx Conversion and (Approximate) Catalyst Volume for a 2.0 g / bhph NOx Standard. Estimation Based on a 12 L Engine with Indicated Base NOx Emission, Using an HC(1)/NOx Ratio of 6 .



NOx-reduktion genom dieseloljeinjektion kräver större katalysatorvolym (upp till 3 x cylindervolymen) ju högre reduktion som önskas



Bl.a. bedöms ökningen av bränsleförbrukningen vara större. Liknande kommentarer finns i inlägget från **AVL** (Zelenka), bl.a. befaras N_2O -bildningen vara större.

SCR, selektiv katalytisk NO_x-reduktion med urea som reduktionsmedel bedöms ha betydligt större potential (upp till 90 % reduktion utan ökning av bränsleförbrukningen) men är ett mer komplext och dyrbart system (Harris, **Degussa**: 8-10.000 DM) och kräver en infrastruktur för tankning av urea-lösning).

Tekniken bygger på att ammoniak frigörs (hydrolys) från en insprutad urea-lösning (ev. i separat förkatalysator) för reaktion med NO_x till kvävgas på en katalysator (arbetsområde 250-500°C). I praktiken behövs även en efterföljande oxidationskatalysator för att ta hand om CO och ej omsatt (och nybildad) ammoniak, av vilken utsläpp ej kan tillåtas.

Prov hos Degussa (vars system kallas DeGuNO_x) visade 90 % reduktion vid konstant drift och 70 % vid transient drift vid 200 - 600°C.

Prov hos **TNO** (Verbeek) med en 12 lit. dieselmotor med ett SCR-system utan särskild hydrolyskatalysator (urea sönderdelas termiskt vid 160-200°C) uppnåddes 60 % reduktion till 2,6 g/kWh NO_x vid körning enligt transient körcykel (FIGE) och med ammoniak-utsläpp på 11 mg/kWh (luktröskeln motsvarar ca 25 mg/kWh). N_2O -bildningen var dock så hög som 0,28 g/kWh (10 % av NO_x).

SCR-systemen är ännu voluminösa (i TNOs prov 50-60 liter) och komplexa och ytterligare utveckling behövs för att minska volymen (högst dubbla cylindervolymen) och minska N_2O -bildningen. SCR-tekniken är m.a.o. ännu inte mogen för användning i fordon eller som system.

I diskussionen framkom att urea-förbrukningen kan vara 5-10 % av diseloljeförbrukningen. Urea-tillverkningen kräver dessutom fossil energi, vilket motverkar vinster med bättre dieselmotorer.

Katalytisk NO_x-reduktion genom kolväteinjektion har begränsad och alltför låg potential, medan SCR-tekniken kan ge hög reduktion men är komplex och ännu inte färdig-utvecklad för användning på fordon. Lågsvavliga oljor behövs.

Partikelfilter

Partikelfilter av olika slag har provats sedan länge utan att få något genomslag p.g.a. svårigheten att i praktiken åstadkomma passiv regenerering av dem.

Problemet ligger i att förbränning av partiklarnas sotkärna kräver hög temperatur för förbränning *med luft*, $>500^{\circ}\text{C}$. Aktiv periodisk regenerering med dieselolja-brännare eller elektriskt (segmenterad katalysator i succesiv ordning; FEV) är både dyrbar och har nackdel av obrukbarhet av fordonet om den glöms bort.

Automatisk eller kontinuerlig förbränning (passiv regenerering) blir möjlig genom sänkning av behövlig arbetstemperatur genom närvaro av katalysator. Tillämpningar genom applicering på filterytan eller dosering av katalytiskt verkande metallföreningar (av koppar, järn eller cerium; 20-50 ppm) till bränslet studeras. Laboratorieundersökningar och praktiska prover i speciella tillämpningar (truckar inomhus) görs enligt presentationer av **Makkee** (Delft univ.) och **Hüthwohl** (HJS Fahrzeugtechnik, ett Johnson Matthey-företag).

Närvaro av katalysator medför att SOF-delen av partikeln kan förbrännas vid $150\text{-}300^{\circ}\text{C}$ och sotkärnan vid ca 400°C .

Tillsatser till bränsle eller avgaser medför naturligtvis risk för att metaller sprids med de senare i omgivningen och 100 %-igt uppfångande i filter förutsättes. Sådana tillsatser kommer att så småningom fylla filtret och nödvändiggöra rengöring eller utbyte.

Större intresse finns för den nya teknik (Hüthwohl), som bygger på att sotet kan förbrännas med kvävedioxid, NO_2 , i stället för med luft, då detta kan ske vid lägre temperatur ($200\text{-}400^{\circ}\text{C}$). Förutsättning skapas därigenom för sotfilter, som regenereras kontinuerligt under körning vid de flesta betingelser, därav namnet **CRT, continuously regenerating trap**. NO_2 skapas i en oxidationskatalysator med arbetstemperatur på $200\text{-}450^{\circ}\text{C}$ framför filtret. Reduktion av partikelutsläpp på 90 % eller bättre kan påräknas.

"Svavelfritt" (<100 ppm) bränsle är en stor fördel liksom smörjoljor med låg askhalt, då filtrets livslängd före urtvättning eller utbyte förlängs. Körsträcka före sådan åtgärd på 40. - 50.000 mil antydes.

De svenska miljöklassade dieseloljorna går utmärkt ihop med CRT. En nackdel har dock CRT-tekniken i det att de direkta utsläppen av NO_2 ökar till ca 20 % av total- NO_x (som dock minskar ca 10 %) mot ca 5 % utan katalysator. Huruvida detta i fortsatt utveckling kan

motverkas och betydelsen av sådana utsläpp i gatuplanet är ännu oklart.

CRT tillverkas av Eminox i England (ett JM-företag) och provas/demonstreras i stor skala i Sverige och Danmark (Swebus m.fl.) och i Tyskland finns 50 system i drift och nytt prov med 50 Mercedes-bussar skall startas.

Partikelfilter med hög avskiljningsgrad och automatisk, passiv regenerering synes möjlig för praktisk användning men behöver lågsvavliga diesellojor. Svaghet med ökade kvävedioxidutsläpp kräver fortsatt utvecklingsarbete.

Metan-reduktion

Katalytisk metan-reduktion har studerats av **Engelhard** (Lampert), då denna i hittills använda oxidationskatalysatorer är låg efter kort tids drift med ny katalysator. Metanutsläppen från metangasdrivna "lean burn"-motorer är relativt höga och bör minskas, då metan är en potent växthusgas och höjer bakgrundshalten av ozon i atmosfären.

Palladiums (Pd) förmåga att oxidera metan, som är många gånger större än platinas (Pt), har visat sig kraftigt avta när den används tillsammans med naturgasdrivna motorer (men ej vid lab-provning med syntetisk naturgas). Detta gäller inte för icke-metankolväten, för vilka förmågan bibehålls. Tändtemperaturen för metan är hög, ca 400°C, och för hög reduktion krävs närmare 500°C.

Engelhards undersökningar visar att deaktiveringen beror på svavlet i naturgas och tillsatta svavelhaltiga luktämnen (och svavel i smörjolja). Däremot inverkar inte t.ex. fosfor i smörjoljan såsom är fallet med 3-vägskatalysatorn i bensinbilar. Visst återställande av aktiviteten kunde göras genom att med korta tidsmellanrum (15-30 min.) köra motorn utan luftöverskott under 0,5-1 minut.

En svaveloxidbindande wash-coat kan något fördröja deaktiveringen. Kan temperaturen hållas över 500°C förblir katalysatorn aktiv för metanreduktion, men hur detta skall kunna ske i praktiken är oklart.

DIESELMOTORBRÄNSLEN

Bränslefrågor berördes endast i två presentationer, dels en allmän utblick över alternativa drivmedel (Verbeek, TNO), dels ett om framtida europeiska dieseloljor (baserat på EPEFE-arbetet) och LPG (Gadd, Shell Int., London; tyvärr ingen efterlämnad dokumentation).

Dieseloljor

Av **Gadd's** (och flera andras) inlägg framgick klart att de svenska MK-dieseloljorna sågs som extrema undantag (i vissa avseenden med rätta) och något som närmade sig MK 2 kunde endast bli lokalt tätortsbränsle.

Samtidigt stod det klart att man allmänt inte förstått att drivkraften bakom MK-oljorna (och arbetet som lett till dessa inom Tätortsprojektet) var önskan att få oljor med mycket låg halt PAH, definierade som aromater med tre eller fler ringar, tri+ (som är de biologiskt aktiva och förknippade med cancerrisker), och att man vid deras framställning får en mycket låg svavelhalt på köpet. Denna ger i sin tur möjlighet till katalytisk avgasrening för gas- och partikelutsläppen.

I Europa ses svavelhalten som det primära och det ansågs inte kostnadseffektivt att gå under 500 ppm med hänsyn till den effekt det har på reglerade utsläpp av partikelmassa och därmed sammanhängande luftkvalitetskrav. Då ingen fokusering sker på PAH-cancerrisker är slutsatsen inte så konstig.

PAH har visserligen kommit med som parameter i bränslespecifikationerna men definieras som aromater med två ringar (diaromater, ej biologiskt aktiva) och fler, vilket inte ger någon vägledning för hälsoriskerna (cancer).

Diaromaterna dominerar så kraftigt att PAH-talen inte ger någon information om risken.

På en punkt har Gadd rätt och det gäller MK-oljornas onödigt låga T95-specifikation och därmed sammanhängande låga densitet och viskositet och försämrade smörjförmåga.

Gadd påpekade i diskussion att det finns studier som tyder på att viss PAH-bildning kan ske vid förbränningen i motorn även med PAH-fria oljor (detta utesluts inte heller vid tolkning av de svenska provresultaten, som dock visar på mycket kraftigare inverkan av dieseloljans PAH-halt på densamma i avgaserna; även PAH av

smörjoljeursprung måste beaktas. Modifikation av specifikationer för MK-oljor diskuteras i *bilaga 2*).

Som alternativ till förbättrade diesellojor såg Gadd endast LPG som möjlighet för lägre utsläpp av bensen, partiklar och NOx.

Växthusgasproblematiken och transportsektorns roll för denna lämnades således därhän.

Europeisk oljeindustri är f.n. ovillig att på bred bas producera diesellojor som påminner om de nordiska, miljöklassade oljorna.

Alternativa drivmedel

Verbeek's genomgång av alternativa drivmedel (*Figur 8*) gjordes med underlag av studier inom TNO och IPCC. Mot bakgrund av uppskattningar av världens råoljeresurser och stigande oljeanvändning av en ökande befolkning bedömdes oljeanvändningen kulminera under 2000-talets första decennier och alternativa drivmedel kunde bli drivmedel för upp mot hälften av alla *nya* bilar redan år 2010 (*Figur 9*).

Metanol och **elektricitet** var dominerande alternativ.

TNO har gjort omfattande mätningar med lätta bilar med motorer för bensin, dieselloja, **LPG och CNG** och vid olika körmonster kartlagt reglerade och oreglerade utsläpp. Utsläppen har sammanvägts för olika hälso- och miljöeffekter (långtidstoxicitet, försurning, vinter-smog, sommarsmog).

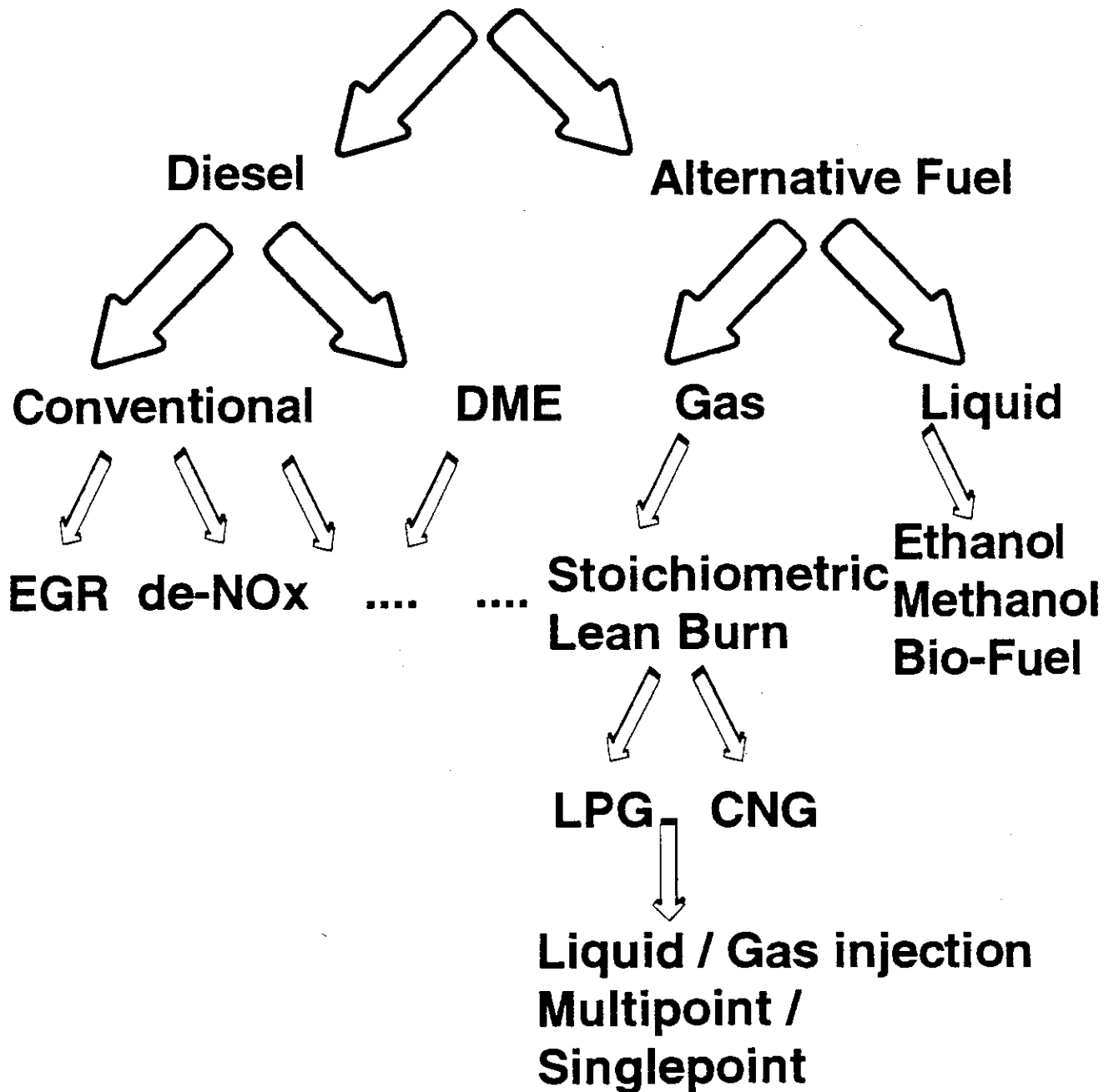
Resultaten har tidigare redovisats i särskild rapport (okt. 1993) och visar föga överraskande att diesellojedriften utan kraftiga förbättringar är sämst ur alla synvinklar och CNG-driften bäst med bensin och LPG i mellanställning (alkoholer ingick inte i jämförelsen).

På grundval av underlag från IPCC granskas drivmedlen inkl. motoralkoholer och flytande väte, ur växthusgassynvinkel (hela kedjan) och betr. kostnader.

Teknik för gasdrift behandlas särskilt då denna har varit av stor omfattning i arbeten hos TNO.

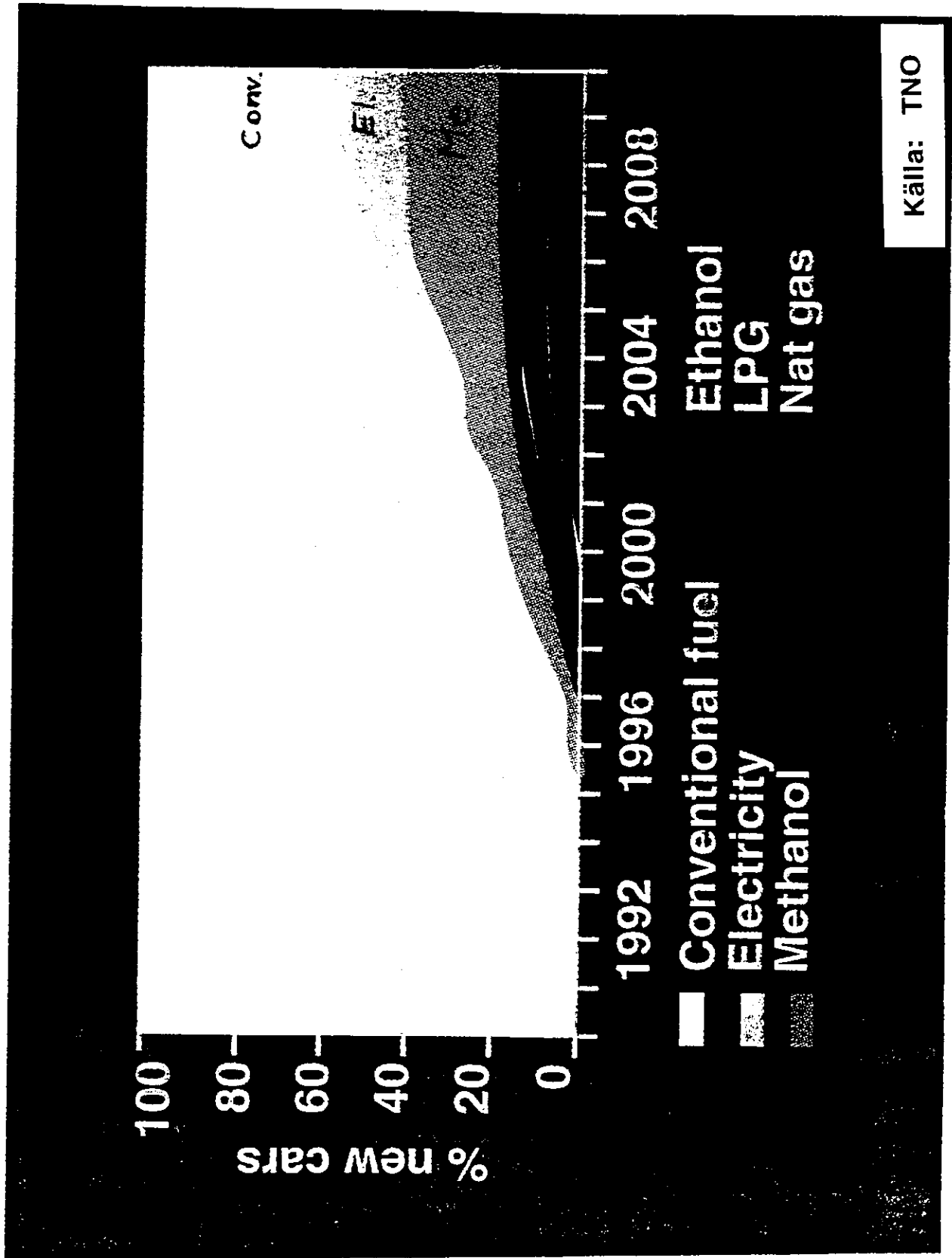
Figur 8

Choices for future concepts



Källa: TNO

Figur 9



Källa: TNO

Slutsatserna betr. alternativa drivmedel med tonvikt på CNG/LPG är att de

- kan möta framtida lagkrav (Euro IV) *redan nu*,
- förbättrar tätortsluften,
- har låg växthuspotential särskilt om de är biobaserade,
- ökar försörjningssäkerheten.
- kan ha bränslekostnad jämförbar med dieseloljas,
- har acceptabla risker,
- i lätta bilar bör ha motorkoncept för två-bränsledrift men vara *optimerade för alternativbränslet*,
- i tunga fordon kan ge motorer hög BMEP och god dellastverkningsgrad.

Alternativa drivmedel har redan nu potential att möta framtida utsläppskrav. Tekniska hinder för deras användning finns i flera fall inte.

AGENDA

Monday, 30 September 1996

18:00 - 20:00 Pre-registration at the Hotel Gothia

Tuesday, 1 October 1996

07:00 - 17:00 Registration

08:00 Welcome and Introduction - Nils Myers,
Applications Engineering Manager, Johnson
Matthey, Svenska Emissionsteknik AB

08:15 Diesel Emissions: Challenges and
Opportunities 1996 - Michael P. Walsh,
Consultant

09:00 Development Directions of Heavy-Duty
Diesel Engines for Low Fuel Consumption
and Exhaust Emissions - Paul Zelenka,
Manager, AVL List GmbH, Engine
Engineering

09:45 Refreshment Break

10:15 Developments in Fuel Injection Equipment
to Improve Emissions Performance of
Heavy-Duty Diesel Engines - George
Frankl, Chief Engineer, Lucas Industries,
Lucas Diesel Systems

11:00 Use of Diesel Oxidation Catalysts Along With
Ceramic In-Cylinder Coatings to Reduce the
Particulate and Soot Emissions from Pre-1994
Two-Cycle Engines - Kenneth E. Voss, Group
Leader R&D, Engelhard Corporation, Heavy-Duty
Power Systems

11:45 Questions and Answers

- 12:00 Luncheon with Keynote Speaker:
Environmental Zones in Sweden - Malou
Wihlborg, Environmental Manager, Traffic
and Public Transport Authority, City of
Gothenburg
- 13:30 Overview of Catalytic After Treatment Strategies
for Heavy-Duty Vehicles - Michael Harris,
Development Scientist, Degussa AG, Inorganic
Chemical Products Division
- 14:15 Lean NO_x Through Hydrocarbon Injection
- Gudmund Smedler, Diesel Specialist,
Johnson Matthey, Catalytic Systems
Division
- 15:00 Refreshment Break
- 15:30 NO_x Reduction Technologies for Ultra
Low Emissions HD Diesel Engines - Ruud
P. Verbeek, Senior Research Scientist,
TNO, Road Vehicles Research Institute
- 16:15 Particulate Emissions and Their Control by
After Treatment - Michiel Makkee,
Associate Professor, Delft University of
Technology, Industrial Catalysis
- 17:00 Adjourn for the day
- 19:00 Reception at Gothenburg City Hall

AGENDA

Wednesday, 2 October 1996

- 08:00 Introduction - Kerstin Svensson, Second Deputy Mayor, City of Gothenburg *Emission Issues*
- 08:15 Regeneration Strategies When Using Particulate Traps - Georg Hühwohl, Leader, HJS Fahrzeugtechnik GmbH & Company, Development Division
- 09:00 Environmental Challenges in the Transport Business - Åsa Lindell Byström, Director of Public and Environmental Affairs, Bilspedition Transport and Logistics AB
- 09:45 Refreshment Break
- 10:15 Catalyst Technologies for Hydrocarbon Emissions Abatement From Lean Burn Natural Gas Engines - Jordan K. Lampert, Research Associate, Engelhard Corporation, Heavy-Duty Power Systems
- 11:00 A Turbo and Supercharged Medium-Duty Diesel Engine - Ulrich Gobert, Research Engineer/Project Manager, Volvo Truck Corporation
- 11:45 Questions and Answers
- 12:00 Lunch with Speaker: Competing Through Environmental Concern - Leif O. Magnusson, Manager/Environmental Affairs, Swebus AB
- 13:30 Design and Combustion Systems of the New Mercedes-Benz OM 904 LA Diesel Engine - Christoph Espey, Development Engineer, Mercedes-Benz AG, Truck Powertrain Division/Injection Systems

- 14:15 Low Sulphur Diesel Fuel and LPG - Paul Gadd, Diesel Fuel Consultant, Shell International Petroleum Company, Oil Products Division
- 15:00 Refreshment Break
- 15:30 Alternative Fuels, Perspective from the Netherlands - Ruud P. Verbeek, Senior Research Scientist, TNO, Road Vehicles Research Institute
- 16:15 Technologies for the Heavy-Duty Diesel Engine of the Next Century - Chris Such, Project Principal, Ricardo Consulting Engineers, Ltd., Heavy-Duty Engines
- 17:00 Questions and Answers

BILAGA 2

**MODIFIERAD SPECIFIKATION FÖR MILJÖKLASSAD
DIESELolja****Bakgrund**

När specifikationerna för miljöklassade diesellor i Sverige utformades 1990 var dessa en följd av arbetena inom "Tätortsprojektet", som drivits sedan början av 80-talet. Inom projektet gjordes omfattande prover med tunga fordon hos MTC (Svensk Bilprovnings motortestlaboratorium) med många provbränslen och omfattande provtagningar för detaljerade kemiska och biologiska analyser vid främst Stockholms universitet.

Redan samma år hade "citydiesellor" börjat marknadsföras som följd av att sådana kunde produceras vid vissa raffinaderier.

Huvudkravet för de nya oljorna var mycket **låga halter av PAH** (polycykliska aromatiska kolväten) med tre eller fler sammanbundna kolringar (tri+), vilka identifierats som de som var biologiskt aktiva och **förknippade med cancerrisker**.

När Naturvårdsverket lade förslaget till specifikation för miljöklassning av diesellor fanns endast tillgång till data från prover med oljor med snäva destillationsintervall (låga slutkokpunkter), ett arvegods från "lättdieseln" dagar. Slutkokpunkt på 300°C, senare ändrat till T95 (temperatur vid vilken 95 % av oljan förångats enligt en standardmetod) på 285° och 295°C ingick. Av provbränslena hade endast ett låg aromathalt (2 - 3 vol-%; alla övriga 16-25 %) samtidigt med mycket låg PAH-halt.

I remissbehandlingen av specifikationen föreslog dåvarande OK Petroleum att T95 skulle höjas till max. 325°C och slutkokpunkten inte överskrida ca 340°C.

Det stod nämligen klart att så låg T95 som föreslagits skulle dels lägga diesellor som nära konkurrent till produktion av jetbränsle, dels vara ett hinder för att kunna tillverka stora volymer och få acceptans i Europa.

Vidare fanns teknik vid raffinaderier att även med tyngre oljor (högre T95) kunna producera oljor med den mycket låga PAH-halten genom selektiv hydrering.

Utveckling av specifikation

Fortsatta provningar vid MTC med dieseloljor med bredare kokpunktsintervall har nu givit bättre, om ej helt komplett underlag för en revision av specifikationen för miljöklassade oljor.

Provningarna bekräftade den klara fördelen för MK 1 och 2 i jämförelse med tidigare konventionella oljor, inklusive CEC referensbränsle och EPEFE-programmets referensbränsle, vad gäller de kritiska utsläppen för dieselmotorer, NO_x, partiklar och cancerriskämnen av PAH-typ med den största skillnaden för de sistnämnda och deras biologiska aktivitet. Däremot kunde ibland noteras viss ökning av HC-utsläpp.

Frågan om höjning av MK-oljors T95 och slutkokpunkt undersöktes i körningar enligt busscykeln med två tunga fordon och tre provbränslen med T95 på 298°, 312° resp. 329°C (slutkokpunkter ca 308°, 326° resp. 338°C). Alla hade mycket låga svavelhalter, <5 ppm, och PAH-halter, 2 - 5 ppm, och två hade totalaromathalt på 5 vikts-% och en på 21 vikts-%.

Det visade sig att skillnaderna i många fall var små och ej helt entydiga (olika utfall i de båda fordonen). För alla reglerade utsläpp, CO, HC, NO_x, partiklar, gav bränslet med högst T95 lägre eller lika låga värden som det med lägst T95 (ett undantag var NO_x i ett av fordonen). Detsamma gäller för kolpartiklar (partikelns fasta kärna) medan den lösliga delen av partikeln (SOF) var lägst för bränslet med lägst T95.

För PAH-utsläpp (partikelbundna och halvflyktiga) erhöles lägst värde för bränslet med lägst T95 men oftast liten eller ingen skillnad mot det med högst T95. Högst PAH-utsläpp gav i de flesta fall bränslet med mellanliggande T95 men högst totalaromathalt.

Alternativa "optimala" specifikationer

Med tanke på konsekvenserna för produktion och genomslag på marknaden förefaller en specifikation med nuvarande låga T95 och totalaromathalt vara omotiverad och oklart underbyggd och med närmast motsatt verkan mot önskad. Det är dock troligt att bränslen med bredare kokpunktsintervall och måttlig aromathalt kan ha vissa nackdelar, men dessa kan inte rimligen elimineras genom bränslespecifikationen utan blott genom efterbehandling av avgaserna genom t.ex. oxidationskatalysator och partikelfilter.

Tabell

Nu gällande svenska specifikation för miljöklassade diesellojor och nu i Europa diskuterade utformningar återges i tabellen nedan.

	MK1	MK2	OKP 1990 MK1 MK2	ACEA ¹⁾ 1996	EU förslag för 2000	Ecotrafic Förslag
Cetantal, min.	52	47	52 50	53	51	52
Densitet, kg/m³	800-820	800-820	810-830	810-850	820-845	815-835
Svavel, vikts-ppm max.	10	50	10 50	300	350	25
Aromater, vol-% max.	5	20	10 20	20	disk.	15
PAH, tri+, vol-% max.	0,02	0,1	0,005-0,05	4 (di+)	6 (di+)	0,01
Destillation, °C						
IBP	180	180	180 180			180
T95	285	295	325 325	355	350	325
FBP	300	300	~340 ~340	370		~340
Smörjförmåga	additiv*	additiv*	additiv*	HFRR**	--	HFRR**

1) ACEA är The Association of European Automakers.

* tillsats av smörjande additiv om viskositeten är <1,5 cSt.

** skall godkännas i slitage-test i High Frequency Reciprocating Big (av CEC standardiserat test)

Nu gällande svenska specifikation för miljöklassade diesellojor och nu i Europa diskuterade utformningar återges i tabellen på föregående sida.

MK-oljornas dåliga smörjningsegenskaper i bränslesystemet visade sig genast efter introduktionen i mindre fordon med självsmörjande rotorpumpar, medan det inte bedömdes ge några problem i de externt smorda in-linepumpar, som användes på tyngre fordon. Botemedlet var smörjande additiv. Sedermera har det visat sig att visst ökat slitage kan uppstå på lång sikt och dieselmotorindustrin (genom ACEA) vill därför att bränslet skall godkännas i särskilt slitagetest (HFRR), vilket dock oljeindustrin inte accepterat.

Ecotrafic förslag till specifikation

Den kompromiss om specifikation för miljöklassad dieselloja som givits i högra kolumnen "Förslag" på nästa sida är enligt Ecotrafics uppfattning rimlig och skulle göra en bredare acceptans trolig.

Krav som ur hälsosynvinkel måste stå kvar är de på **låg PAH-halt** (tri+) och den därav resulterande **låga svavelhalten**, som gör användning av avgaskatalysatorer möjlig. **Dessa är nyckeln till långsiktigare acceptans av diesellojor.**

ACEA hade tidigare krav på PAH(tri+)-halt men har nu som eftergift till oljeindustrin släppt detta till PAH(di+)-halt och även bordlagt framtida krav på lägre PAH-halt (1 %), lägre totalaromathalt (10 %), lägre T95 (340°), högre cetantal (58) och max. 30 ppm svavelhalt.

Bilindustrin vill ha låg total aromathalt då denna har inflytande på NOx-utsläpp, som är svårast att klara av motortekniskt. Ökade utsläpp av oförbränt bränsle, inkl. PAH och partiklar, får klaras av med katalytisk rening och filter.

Fördelar med Ecotrafic's förslag

- "Förslaget" medför inte att redan gjorda investeringar för produktion av miljöklassade oljor skulle bli överflödiga utan de kan tvärtom utnyttjas för ökad produktion.
- Nyinvesteringar för andra raffinaderier kan bli mindre betungande och trycket på jetbränsle-produktionen avlastas.

- Kostnaden för produktion av modifierad, miljöklassad olja är avsevärt lägre än för de nuvarande, vilket bör leda till minskade skattedifferenser och lägre samhällskostnader, särskilt som de kan komma att användas bredare i Europa.

Reducering av produktionskostnader för övergång från MK1 och MK2 till "Förslaget" beräknas till \$ 15 per m³, vilket på årsbasis innebär en besparing på ca SEK 250 miljoner för den svenska marknaden.