

Projektnummer	Datum	Arbetsrapportnummer
121	1990-07-20	A90/3

ALTERNATIVA BRÄNSLEN FÖR GRUVFORDON

Förstudie

Åke Brandberg
Ecotraffic AB

Uppdragsgivare

Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo)



G2000 90:20

Projekt P156

Alternativa bränslen

Teodor Lundmark, Boliden Mineral AB

Distribution inom Gruvteknik 2000



I N N E H Å L L S F Ö R T E C K N I N G

	Sida
0. SAMMANFATTNING	1
1. INLEDNING	2
2. PROJEKTETS MÅL OCH SYFTE	2
3. DIESELAVGASER - ETT AV GRUVANS ARBETSMILJÖPROBLEM	3
4. ALTERNATIVA BRÄNSLEN OCH MOTORSYSTEM	12
4.1 Alternativa drivmedel	12
4.2 Alternativa motorer	21
5. DISKUSSION OCH URVAL AV BRÄNSLEN	22
6. MOTORER I GRUVFORDON OCH ARBETSCYKLER	25
7. PROVRESULTAT MED OLIKA BRÄNSLEN I TUNGA MOTORER	35
8. DISKUSSION, SLUTSATSER OCH FÖRSLAG	58
REFERENSER	63

ALTERNATIVA BRÄNSLEN FÖR GRUVFORDON - FÖRSTUDIE

0. SAMMANFATTNING

Arbetsmiljöproblem/hälsoproblem orsakade av diesellavgaser i underjordsgruvor är likartade med de som finns i tätorter genom förorenad luft. Avsevärt arbete läggs nu ned på att lösa dessa problem.

Av undersökta alternativa bränslen bedöms med hänsyn till säkerhet, tillgänglighet, kostnad och hälso/miljöeffekter metanol som bränsle i dieselmotorer i kombination med katalytisk avgasrening ha störst potential. Avsevärda förbättringar kan också åstadkommas med förbättrade kvaliteter av dieseloljor (mycket låg svavelhalt, PAH- och aromathalt) i kombination med katalytisk avgasrening. Inga färdiga lösningar finns ännu kommersiellt tillgängliga. Båda koncepten har provats men behöver ytterligare utvecklas mot lägre utsläpp av kväveoxider och speciellt kvävedioxid.

Det föreslås att

** kontakter tas, samordnade med andra användare, med dieselmotortillverkare (Deutz, Volvo, Scania) för att få fram motorer med låga NOx-utsläpp och katalytisk avgasrening för provning med

- * metanol som bränsle, respektive

- * förbättrade dieseloljekvaliteter som bränsle,

** gemensamt med andra användare på marknaden efterfråga förbättrade dieseloljor,

** prova nya dieseloljor i kombination med katalytisk avgasrening på ett urval av befintliga fordon,

** tillsätta arbetsgrupp för att noggrant penetrera säkerhetsaspekterna för metanolhantering och användning i underjordsgruvor.

1. INLEDNING

Inom projektet GRUVTEKNIK 2000 för utveckling svensk gruvindustri har rubricerade delprojekt formulerats för att preliminärt studera alternativ till diesellojdedrivna gruvfordon. Delprojektet sorterar under forskningsområde 5 - Elgruvan - vari också olika media inklusive diesellojdebränslen studeras. Delprojektet har sin grund i de arbetsmiljöproblem och de ventilationskrav, som diesellojdedriften av motorer under jord orsakar. Övergång till elektrisk drift av maskiner och fordon i gruvan minskar dessa problem radikalt men är inte ekonomiskt rimlig eller alltför inflexibel för att vara praktisk för alla fall. Detta gäller särskilt små fyndigheter med kort livslängd för gruvdriften. Alternativ till eldriften skall därför genomgå i föreliggande delprojekt.

Stiftelsen Bergteknisk forskning, Befo, gav Svenska Drivmedelskonsulter AB, SDAB (numera Ecotraffic AB), i uppdrag (P516 Alternativa Bränslen) genomföra en förstudie. Denna har utförts mot bakgrund av de motsvarande utvecklingsarbetena inom den allmänna transportsektorn.

2. PROJEKTETS MÅL OCH SYFTE

Målet för delprojektet är att undersöka möjligheter att med alternativa motorbränslen kunna:

- * avsevärt förbättra arbetsmiljön under jord
- * avsevärt reducera ventilationsbehovet och därigenom uppnå kostnadsbesparingar och minskat total energianvändning

* bibehålla en acceptabel flexibilitet och mobilitet hos gruvfordonen.

Resultatet av studien avses utgöra underlag för beslut om eventuella tester med alternativt bränsle inom Boliden Mineral.

Studien syftar till att söka göra en neutral värdering av olika möjliga alternativ med beaktande av de specifika förutsättningarna vid gruvdrift under jord.

3. DIESELAVGASER - ETT AV GRUVANS ARBETSMILJÖPROBLEM

Förutom en ökande användning av elektricitet för motordrift är dieselolja det allena rådande bränslet för gruvmaskiner och gruvfordon under jord på grund av den är ett säkert bränsle (hög flampunkt) och alla förbränningsmotorer är dieselmotorer. Dieseloljan har dock en del nackdelar i form av olukt och spill av dieselolja ligger kvar länge. Den innehåller föreningar, polycykliska aromatiska kolväten (PAH), som är hälsovådliga och tas upp via hudkontakt. Biologiskt verksamma PAH är sådana med tre eller fler kolringar. Dessa förekommer i normala dieseloljor i en halt av en eller ett par procent (högre ju högre slutkokpunkten är) men förekommer bara i låg halt i s.k. lättdiesel (fotogen, jetbränsle) med slutkokpunkter under cirka 270°C.

I avgaserna finns ett mycket stort antal ämnen (>5.000), varav cirka 450 finns omnämnda i den vetenskapliga litteraturen (1). För ett antal av dessa ämnen har biologiska effekter dokumenterats, d.v.s. de kan utgöra hälsorisker. Detta gäller kolmonoxid, svavel- och kväveoxider, gasformiga alkener (eten, propen, butadien), aromatiska kolväten som bensen, aldehyder (formaldehyd, acetaldehyd, akrolein) och s.k. polycykliska aromatiska föreningar (PAC). De senare är kolväten (PAH) eller derivat av dem, t.ex. nitrerade PAH, som ofta ger kraftigare

biologiska effekter. Dessa ämnen finns i avgaserna även vid drift med lättdiesel om än i lägre halter.

Alla de nämnda ämnena är på olika sätt giftiga för människan (2) och är ansvariga för besvär i form av irritationer i luftvägarna, allergier, förstärkning av andra luftvägssjukdomar och har genotoxiska egenskaper, d.v.s. har förmåga att reagera med cellernas arvsmassa och därigenom kunna initiera ärftliga skador och uppkomst av cancer (tabell 1; ref.3). Härutöver finns i avgaserna föreningar med obehaglig lukt, som upplevs som besvärande.

Kolmonoxid, CO, är giftig genom att den lättare än syret i luften binds till blodets hemoglobin och därigenom stör syreupptagningen om CO-hemoglobinet överstiger en viss halt. WHO (World Health Organization) har satt upp gränsvärde för CO-halten i omgivningsluft på 9 ppm (8-tim. värde) för att undgå besvärseffekter hos känsliga personer. I ett förslag (tabell 2) till svenska riktvärden (åtgärdsnivåer) anges 6 mg/m³ (5ppm). Detta skall jämföras med de gränsvärden på 35 ppm (planerad sänkning till 25 ppm), som nu gäller för underjordsgruvor (AFS 1989:4).

Svaveldioxid, SO₂, har en retande inverkan på slemhinnorna i de övre luftvägarna, där den främst tas upp på grund av dess höga löslighet i vatten. Resultatet kan bli svullnader och ökat andningsmotstånd. Svaveldioxid anses inte ensam kunna orsaka allvarliga eller bestående skador vid de halter som kan förväntas. Gällande riktvärden för luftkvalitet ligger på 300 µg/m³ (100 ppb) som 24 tim.värde högst 2 % av tiden under vinterhalvår. Enligt nytt förslag sänks detta värde till 65 ppb (tabell 2).

Den irriterande verkan av svaveldioxid kan förstärkas vid samtidig närvaro av sot- och dammpartiklar. En synergistisk (samverkande) effekt kan också föreligga för inverkan av PAH. Direkt emitterade partiklar från dieselmotorer består till en

Tabell 1. Kollektiv cancerrisk på grund av exponering till allmänna luftföroreningar i tätort. Uppskattat antal sjukdomsfall per år i Sverige.

Komponent	Årligt antal cancerfall i Sverige	Kommentar
<u>Gasformiga ämnen</u>		
Eten	-200	
Andra alkener (propen, butadien, etc.)	-50	
Formaldehyd	-25	
Andra alifatiska karbonylföreningar	-10	
Bensen	-30	
NO _x	?	Evt. stort bidrag
<u>Partikelbundna ämnen</u>		
BaP	1,3	
Totalt inhalerad (50xBaP)	-65	
Upptag via födan	-300	Inkluderar halvflyktiga ämnen
<u>Halvflyktiga ämnen</u>		
Fluoranten	{ -1? -100?	
Metylfenantrener	?	
Nitro-PAH	(1-100)*	
Totalt inhalerat	-100?	Mycket osäker; möjligen starkt underskattad
Totalt	>700 (-780)	

* Möller (1988 och pers. meddel.)

Tabell 2. Naturvårdsverkets riktvärden m m för luftkvalitet i tätorter

Ämne	Riktvärde	Medelvärdestid	Anmärkning
Koloxid	6 mg/m ³	8 timmar	98-percentil för halvår
Kvävedioxid	110 µg/m ³	1 timme	"
	75 "	1 dygn	"
	50 "	halvår	Aritmetiskt medelvärde
Svaveldioxid	200 µg/m ³	1 timme	98-percentil för halvår
	100 "	1 dygn	"
	50 "	halvår	Aritmetiskt medelvärde
Sot	90 µg/m ³	1 dygn	98-percentil för halvår
	40 "	halvår	Aritmetiskt medelvärde
För partiklar anges följande bedömningsgrunder: ¹⁾			
TSP och PM ₁₀	115 µg/m ³	1 dygn	98-percentil för halvår
	50 µg/m ³	halvår	Aritmetiskt medelvärde

¹⁾ De angivna värdena rekommenderas som vägledning vid bedömning av mätvärden för partiklar.

TSP = totala mängden svävande partiklar

PM₁₀ = inandningsbara partiklar

TSP-värdena gäller "ovan tak" medan PM₁₀-värdena avser mer belastade platser tex gatumiljö.

Källa: Riktvärden för luftkvalitet i tätorter - allmänna råd.
Ges ut våren 1990.

del, beroende på bränslets svavelhalt, av till svavelsyra oxiderad svaveldioxid med kraftigare verkan än den senare.

Partiklars verkan beror på deras sammansättning och var i andningsvägarna de tas upp. Partiklar mindre än $1\text{ }\mu\text{m}$, som är typiska för bilavgaser, förmår följa med andningsluften långt ned i lungorna och deponeras i lungblåsorna, där borttransporten via flimmerhårssystemet inte längre sker som högre upp i andningsvägarna. I blåsorna kan upptagning ske till kroppsvätskor av lösliga delar av partiklar och på partiklar adsorberade och i jämförelse med ångfasen anrikade föreningar. Detta har särskild betydelse för inverkan av PAC och liknande föreningar.

Kväveoxiders påverkan på människa sker främst genom kvävedioxiden, NO_2 , som är betydligt mer toxisk än kvävemoxid, NO , eller dikväveoxid (N_2O , lustgas). Den senare är utan praktisk betydelse ur hälsosynpunkt men är en effektiv växthusgas. Kvävedioxidens toxiska verkan beror på dess oxiderande och nitrerande egenskaper, som kan medföra skador på slemhinnor och lungvävnader och även på andra organ efter spridning till dessa med blodet. Eftersom kvävedioxiden är mindre lös i vatten än svaveldioxid kan den följa med andningsluften längre ned i luftvägarna. Skadorna kan leda till försämrad lungfunktion och ökad mottaglighet för inflammationer. Särskilt utsatta är personer med luftvägssjukdomar, astma och möjligen också kronisk bronkit. Cancerrisker på grund av kvävedioxid kan f.n. inte uppskattas men är möjliga genom flera olika mekanismer, som ger upphov till genotoxiska produkter, t.ex. nitrosaminer och nitriter.

Föreslagna riktvärden för luftkvalitet $110\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 ppb) som 1-tim.värde och $75\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ som 24-tim.värde, båda högst 2 % av tiden under vinterhalvår. Som jämförelse kan gällande gränsvärde på 2 ppm (2000 ppb) för underjordsgruvor (planerad sänkning till 1 ppm).

Utsläppen från motorer sker huvudsakligen som kvävemoxid men

oxidation till kvävedioxid kan ske i katalysatorer och måste uppmärksammas.

Kolvätena som nämnts i tabell 1 har i de koncentrationer de kan förekomma inga direkta akuta toxiska effekter, men alla har genotoxiska egenskaper, d.v.s. åstadkomma mutationer (förändringar av arvsmassan, DNA-molekylerna). Effekten kan ske genom det direkta upptaget eller via genom metabolismen (ämnesomsättningen i kroppen) bildade produkter. PAC är relativt svårflyktiga och förekommer typiskt för normala dieselavgaser huvudsakligen utkondenserade på de fasta sotpartiklarna efter utträdet från avgasröret och uppblandningen med kallare luft men finns också som fina droppar eller i ångform. Fördelningen mellan faserna beror av bränslets sammansättning och är t.ex. för bensinavgaser ungefär lika fördelat mellan partikel- och gasfas.

Vissa kolvätens och PAC's egenskaper att reagera med DNA-molekylerna i cellerna kan, om de angriper könsceller, leda till ärftliga förändringar eller, om de angriper kroppsceller, leda till uppkomst av cancer (okontrollerad celldelning/celltillväxt). Den kemiska strukturen för olika PAC har stor betydelse för effekten och stora skillnader finns mellan olika PAC.

Det anses inte finnas någon nedre gräns (tröskelnivå), under vilken en genotoxisk effekt kan undgås (i likhet med vad som antas för strålningseffekter). En enda molekyl kan teoretiskt starta ett skadeförlopp med effekter först på lång sikt. Utmärkande för mutationerna, till skillnad från andra biologiska effekter, är att endast skadans vanlighet och inte dess svårighetsgrad påverkar risken för skada. Skaderisken ökar genom ackumulering under fortsatt exponering för det genotoxiska ämnet. Utvecklingen av cancer antas gå i flera steg med mutationen som initiering. För den vidare utvecklingen behövs s.k. promotorer, som kan utgöras av det genotoxiska ämnet självt eller vara andra ämnen. Det har visats att upptagning av PAC kan öka vid samtidig närvaro av svaveldioxid. Andra luftföroreningar som kvävedioxid, ozon och vissa aldehyder antas öka promotorverkan och därigenom

påskynda DNA-skadans utveckling till cancertumör. Det bör noteras att både initiatorer och promotorer finns i avgaserna från fordon.

För värdering av riskerna för cancer på grund av exponering för låga doser av genotoxiska ämnen under lång tid har nu metoder utvecklats (3), som bygger på att upptagen mängd (måldos) kan mätas kvantitativt som en reaktionsprodukt i en kroppsvätska, t.ex. blodet. Genom andra undersökningar har sambandet fastställts mellan cancerrisker av låga doser gammastrålning, som är väl kända, och av det kemiska ämnet. Därefter kan risken härrörande från exponeringen av de kemiska ämnena värderas.

Resultatet av sådana uppskattningar, med den osäkerhet som ligger i beräkningar för människa, har gjorts inom det s.k. Tätortsprojektet med ledning av mätningar av föroreningsnivåer för olika ämnen i luften. Tabell 1 visar att >700 (500-2000) cancerfall årligen i Sverige skulle kunna ha sin orsak i förorenad tätortsluft. Detta är cirka en tiondel av överrisken genom den s.k. tätortsfaktorn och motsvarar en risk för dödsfall i cancer på cirka 1 på 10.000 för innevånare i tätorter. Detta måste anses vara en oacceptabelt hög risk, eftersom acceptabla risknivåer när det gäller strålning för individer bland allmänheten anses vara 1 på 1.000.000 eller högst 1 på 100.000.

Någon motsvarande uppskattning av cancerrisken genom dieselavgaser i gruvluft har veterligen inte gjorts. Det finns flera epidemiologiska undersökningar som indikerar samband mellan exponering för dieselavgaser och risken för lungcancer, bl.a. en (4) som gäller arbetare i bussgarage (figur 1). Uppskattningar av det amerikanska naturvårdsverket (EPA) har visat på en risk för årliga lungcancerfall i tätorter genom partikelutsläpp från dieselmotorer på 0,26-1,4 på 1.000.000 personer per mikrogram partiklar per m³ luft. Förväntade halter i tätorter ligger på 3-5 mikrogram per m³.

Typiska utsläpp från dieselmotorer i gruvdrift av ur

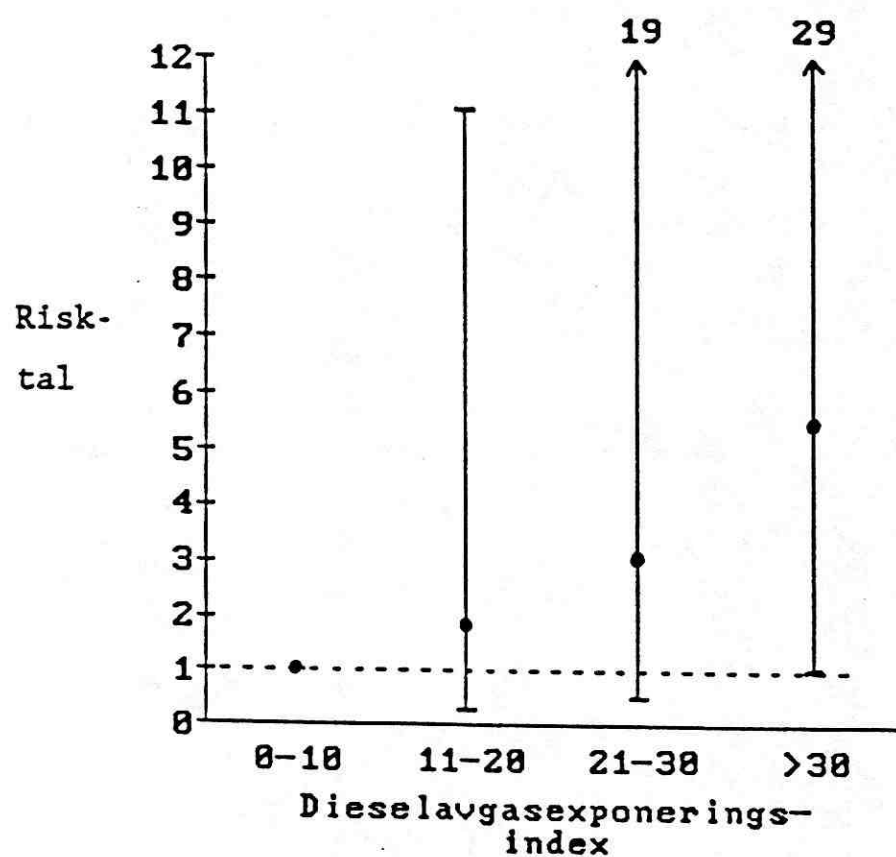


Fig 1. Lungcancerrisken uppdelad efter stigande dieselavgasexponering.

hälsosynpunkt kritiska ämnen kan f.n. knappast anges. Skillnader föreligger mellan olika tillverkares motorer, bränslets sammansättning har stor inverkan (mera härom senare) och få data föreligger särskilt från körcykler som är typiska för lastmaskiner och bergtruckar. Som exempel (6) ges nedan data (ofullständiga) för en modern dieselmotor vid provning enligt den amerikanska transienta körcykeln för tunga dieselmotorer med två olika bränslen (en standard handelsdieselolja och en olja med mycket låg svavelhalt och aromat- och PAH-halt.

		Bränsle 1	Bränsle 2
CO	g/bhkh	1,3	1,1
tot. HC	g/ "	0,55	0,50
eten	mg/ "	22	22
propen	mg/ "	8	8
bensen	mg/ "	4	4
formaldehyd	mg/ "	28	35
acetaldehyd	mg/ "	10	12
partiklar	g/ "	0,22	0,18
partikel-PAH	µg/ "	50	35
partikel nitro-pyren	µg/ "	0,35	0,55
semivolatile PAH	µg/ "	245	20
semivolatile nitro-pyren	µg/ "	0,35	0,04
tot. NOx	g/ "	5,5	5,0
NO ₂		-	-
N ₂ O	mg/ "	5	5
biologisk aktivitet (vid prov med bakterieceller TA98 -S9)	1000 rev/ " part	114	28
	semi	0	7

Kvävedioxid, NO₂, analyserades inte vid dessa provningar. Andelen kvävedioxid är normalt i området 5-10 % av totala kväveoxider men kan variera kraftigt med körsättet och med sättet för eventuell avgasrening (7). Detta diskuteras vidare i ett efterföljande avsnitt.

4. ALTERNATIVA BRÄNSLEN OCH MOTORSYSTEM

I genomgången av alternativen undantas direkt eldrift, som är ett annat projekt inom Gruvteknik 2000. Likaså undantas batteridrift eftersom sådan inte finns utvecklad för de effekter som är aktuella för gruvmaskiner och gruvfordon. Batteridriftens begränsningar på nuvarande utvecklingsstadium belyses t.ex. av erfarenheter från bussdrift i Stockholm (8), där en buss med 4 ton batterier ombord i innerstadstrafik blott kunde medge ett energiuttag på cirka 100 kWh, motsvarande 35 km körning, innan återuppladdning blev nödvändig. Den kompromiss som tekniskt skulle vara möjlig är hybriddrift med mindre dieselmotor (115 kW), som drivs med konstant last, och en buffert av batterier för kortvariga högre effektuttag. Batterierna återladdas då under låglastperioder och intervallen mellan återuppladdningar från elnätet förlängs flerfaldigt. Inte heller detta alternativ är emellertid utvecklat så att det kan tänkas för en användning i gruvor.

De alternativa drivmedel som utvecklas och provas inom den allmänna transportsektorn är gaser (naturgas, propan, vätgas) och alkoholer (metanol etanol).

Nya energiomvandlare (motorkoncept), som på samma sätt utvecklas och provas är gasturbinen, Stirlingmotorn och bränslecellen. Dessa skall nedan kort diskuteras i jämförelse med utvecklade kolvmotorer. En viktig faktor inom den allmänna sektorn är utveckling och användning av katalytiska avgasreningssystem, som säkerligen måste komma i än större omfattning, även för drift med både dieselolja och de alternativa bränslena.

4.1 Alternativa drivmedel

De alternativ, som utvecklas, provas och i vissa fall redan användes för allmänt eller speciellt bruk inom transportsektorn är:

- ** naturgas
- ** propan (LPG, gasol, motorgas)
- ** vätgas
- ** alkoholer (metanol, etanol)

Dessa motorbränslen skall jämföras med de nya bensin- och dieseloljekvaliteter, som formulerats också med hänsyn till hälso-och miljöeffekter. Vätgasen diskuteras dock inte vidare här dels då den av kostnadsskäl (aktuellt framställningssätt är elektrolys av vatten) är mindre gynnsam, dels tekniken för "tankning" och för motordrift är otillräckligt utvecklad. Därtill kommer att vätgas ur säkerhetssynpunkt under jord väcker starkaste betänkligheter genom att den inom vida gränser i blandning med luft (2-80 vol%) är explosiv (knallgas). Dess attraktivitet ligger i det förhållandet att vätgasmotorers avgaser saknar andra hälsovådliga utsläpp än kväveoxider (9).

I det följande gås de nämnda alternativa bränslena igenom och diskuteras ur främst säkerhets- och hälsosynpunkt. I ett senare avsnitt refereras kända provresultat med de alternativa bränslena. I tabell 2 sammanställs en del data över bränslenas egenskaper.

Naturgas betecknas som motorbränsle oftast CNG (compressed natural gas) eftersom det förvaras ombord i tankar under tryck (170-200 bar). En alternativ förvaringsform är dock som vätska efter nedkylning och kondensering vid -162°C i väl isolerad tank (termosflaska) vid måttligt tryck, ca 4 bar. Energidensiteten är för CNG betydligt lägre än för flytande bränslen och fordonens aktionsradie blir därför begränsad med de förråd man av praktiska orsaker kan ha ombord på fordonen. "Tankning" kan dock ske relativt snabbt (≤ 5 min.) om den sker från en större bufferttank under högt tryck (ca 250 bar).

Tabell 2. Kemiska och fysikaliska egenskaper

	Bensin Eurograde	Dieselolja	LPG (motorgas)	CNG (naturgas)	Metanol	Etanol	Väte
Sammansättning	C ₄ -C ₁₂ -kolväten max 2,5 (-3,7) 0,02-0,03	C ₁₂ -C ₂₄ -kolväten -- < 0,3	Propan (95%) -- > 0,0003	Metan(etan) -- > 0,0003	CH ₃ OH 49,9 --	C ₂ H ₅ OH 34,7 --	H ₂ 2,608 -
Syrehalt, vikt %	~ 0,75	~ 0,84	0,51	0,128 (165 bar 25°C)	0,795	0,789	0,07 (vätska)
Svavelhalt, vikt %	30-200	150-350	-42	-162	65	78	-253
Kvävehalt, vikt %	< -40	-9 -- -45	-190	--	-94	-115	
Densitet, g/ml	25		460		4		
Kokpunkt, °C	45		810		12		
Frys punkt (grumlings-, stelnings-) °C	80	0,07	1350	--	31		
Angtryck vid 0°C, kPa	130		2080		77		
	220		3100		165		
Angdensitet relativt luft	3-4	--	1,57	0,55	1,11	1,59	
Flampunkt °C	-15 -- -40	> 40	-100	-185	11	13	
Brännbarhetsgränser i luft, vol %	1,4-7,6	0,7-5,0	2,4-9,6	5,3-14,0	6,7-3,6	3,3-19	2-80
Flamhastighet, m/s	0,50		0,47	0,43	0,55	0,52	3,5
Självantändningstemp i luft, °C	240-480	~ 230 < 700 > 700	460 -- --	735 -- --	470 > 700 620	425 -- --	
D:o på het yta: gjutjärn °C rostfritt °C	> 700						
Angbildningsvärme vid 20°C (vid kp) MJ/kg	0,35 (0,30) 32,5	0,25 ~ 35,5	(0,47) 23,6	(0,43) ~ 6,35	1,18 15,8(M100)	0,79 21,1(E100)	8,4
Förbränningsvärme, MJ/lit (lägre)							
Stökfometriskt luftbehov, kg/kg	~ 14,6	~ 14,8 ~ 75	15,7 64,6 (propan)	17,2 54,8(metan)	6,45 68,9	9,0 71,6	7,2 0
CO ₂ /MJ bränsle, g	~ 75						
Oktantal RON MON	≥ 95 ≥ 85	-- --	112 97	130 120	109 89	109 90	
Cetantal	< 25	> 45			3	8	

Naturgasen består av över 90 % metan, några procent etan och propan, spår av butan och 0.5--1 vol% av vardera koldioxid och kväve. Gasen är ur hälsosynpunkt att betrakta som icke giftig. Metan och etan är luktlösa gaser och viss, mycket låg halt luktande svavelföreningar måste ev. tillsättas för att ge möjlighet att lätt detektera läckage av gas.

Naturgas är betydligt lättare än luft och ansamlas därför vid utströmning inte i låga punkter som andra petroleumgaser kan göra. Detta är ur säkerhetssynpunkt viktigt. I blandning med luft är gasens explosiv inom visst intervall (tabell 2) men den termiska antändningstemperaturen ligger högt (735°C). Den energimängd, som behövs för att tända en gasblandning är dock inte särskilt mycket högre än för bensinångor.

Naturgasen har som motorbränsle högt oktantal och är därmed ett utmärkt bränsle för effektiva, högkomprimerade ottomotorer och som gasformigt bränsle ger det låga oönskade utsläpp vid kallstart. Genom den höga termiska antändningstemperaturen är naturgas däremot ett olämpligt dieselmotorbränsle. Även om man på olika sätt kan använda naturgas i en dieselmotor, t.ex. genom att ha en liten mängd dieseolja som tändbränsle i ett tvåbränslesystem, så går utvecklingen mot användande av otto-principen med tändning med tändstift. Detta behandlas vidare i nästa avsnitt.

Gassammansättningen ger antydningar om att få ur hälsosynpunkt vådliga föreningar finns i avgaserna så när som på att problemet med kväveoxider kvarstår. Eten och aldehyder är de komponenter som måste uppmärksammas, medan partiklar och PAC härstammande från bränslet inte bör medföra bekymmer. Även detta behandlas i följande avsnitt.

Propan marknadsförs som ottomotorbränsle i blygsam omfattning under namnet motorgas, som består till 95 % av propan och resten av etan, butaner och propen. Andelen butaner måste hållas låg och

konstant för att inte startsvårigheter skall uppstå vid låga omgivningstemperaturer eller ge alltför olika sammansättning på bränslet. Detta kan inte tolereras av de flesta hittills använda bränsle/luftberedningssystem på fordonen.

Propan med kokpunkt -42°C förvaras under tryck i förvätskad form men erforderliga tryck är måttliga och tryckkärlen dimensioneras för 30 bar.

Propangas är betydligt tyngre än luft och kan därför samlas i lågt belägna punkter, särskilt om snabb utströmning sker från en tank med åtföljande temperatursänkning. I detta avseende är propan en större risk ur säkerhetssynpunkt än naturgas.

I blandning med luft ger propan explosiva blandningar inom visst område (tabell 2) och har lägre termisk antändningstemperatur än metan. Genom att propangas kan samlas i fickor är risken för att komma inom explosivt område större än för metan.

Propan är en i det närmaste luktlös gas och försättes därför med en mycket liten mängd svavelföreningar för att ge den igenkännbar lukt. Propan är att betrakta som en ogiftig gas (i motsats till propen, vars innehåll måste vara lågt) även om den i höga koncentrationer kan ge viss narkotisk effekt.

Propan har högt oktantal och är därmed ett utmärkt bränsle för ottomotorer och som gasformigt bränsle ger det låga oönskade utsläpp vid kallstart. Liksom naturgas är propan mindre lämpligt bränsle för dieselmotorer, och användning har skett uteslutande i tändstiftsmotorer enligt ottoprincipen. Utveckling mot direktinsprutade motorer är dock möjlig.

Propanbränslets sammansättning antyder att avgaserna från en propandrivna motor innehåller få oönskade föreningar med undantag för att problemet med kväveoxider kvarstår. Halterna av eten, propen och aldehyder måste dock förväntas vara högre än med naturgas medan aromater och partiklar och PAC härstammande från

bränslet bara kan förekomma i mycket låga halter. Möjligtvis måste ev. förekomst av alkylnitriter uppmärksammas och undersökas. Uppmätta avgaser från propandrivna motorer behandlas i följande avsnitt.

Alkoholerna metanol och etanol används till en del redan kommersiellt som motorbränsle och studeras i provningar och demonstrationer i stor omfattning särskilt i Nordamerika. Även en applikation för gruvmaskiner har utvecklats i Canada. Spaltning av metanol till vätgas ombord på fordonet för drift som vätgasmotor har studerats och provats.

Båda alkoholerna är enhetliga och rena bränslen med relativt låga kokpunkter, 65° resp. 79°C. De har i jämförelse med bensin höga flampunkter, 11 - 13°C, och spill antänds därför svårligen av öppen låga eller gnistor vid de temperaturer som råder i de flesta underjordsgruvor. Metanols ångdensitet är endast något högre än lufts (1,11 relativt luft; tabell 2), och metanolångor ansamlas inte så lätt i låga punkter. Etanols ångdensitet är ungefär som propans. Termiska antändningstemperaturerna ligger också relativt högt och avsevärt över dieseloljas, men alkoholerna har benägenhet att lättare tända på heta ytor än propan.

Alkoholerna har avsevärt lägre ångtryck än bensin men är ändå klass 1-bränslen vid hantering och transport. I jämförelse med dieselolja har alkoholerna hög flyktighet och medför därför en större risk.

Metanols ångtryck i temperaturintervallet 10-40°C är sådant att ång/luftblandningen i en sluten tank ligger i det brännbara området, d.v.s. explosionsrisk föreligger om tändorsak (låga, gnista) finns (för etanol gäller detsamma inom ett högre temperaturintervall). I jämförelse med bensin är således riskerna med alkoholerna större vad avser slutna tankar men det omvända gäller vid spill och läckage till öppna utrymmen.

Alkoholernas enkla kemiska sammansättning anger att få problem med skadliga utsläpp såsom aromater, PAC och partiklar härrörande från bränslet förväntas. Den typ av föreningar som måste kontrolleras är aldehyder (formaldehyd, acetaldehyd) och alkynitriter. Bildningen av kväveoxider har en tendens att bli lägre med alkoholer som motorbränsle på grund av deras högre ångbildningsvärme och lägre flamtemperatur.

Dieselolja är en blandning av ett stort antal kolväten med 12 - 24 kolatomer per molekyl och kokpunkter mellan cirka 170°C och upp till cirka 370°C. Slutkokpunkten bestäms av främst av att oljan inte får stelna eller bli grumlig (av utfällda paraffinkristaller) vid låga temperaturer så att filter i bränslesystemet sätts igen. Vinterkvaliteter har normalt en filtrerbarhet i kyla (CFPP, cold filter plugging point, standardiserad provningsmetod) under -32°C och i extremfall under -45°C, s.k. lätt diesel som är likvärdig med flygfotogen för jetmotorer.

Dieseloljans sammansättning av olika kolväten är beroende av råoljans ursprung och de behandlingsmetoder raffinaderiet använder. Kolvätena är av olika typer beroende på deras kemiska struktur och har olika egenskaper beträffande funktion i dieselmotorn. Följande typindelning görs:

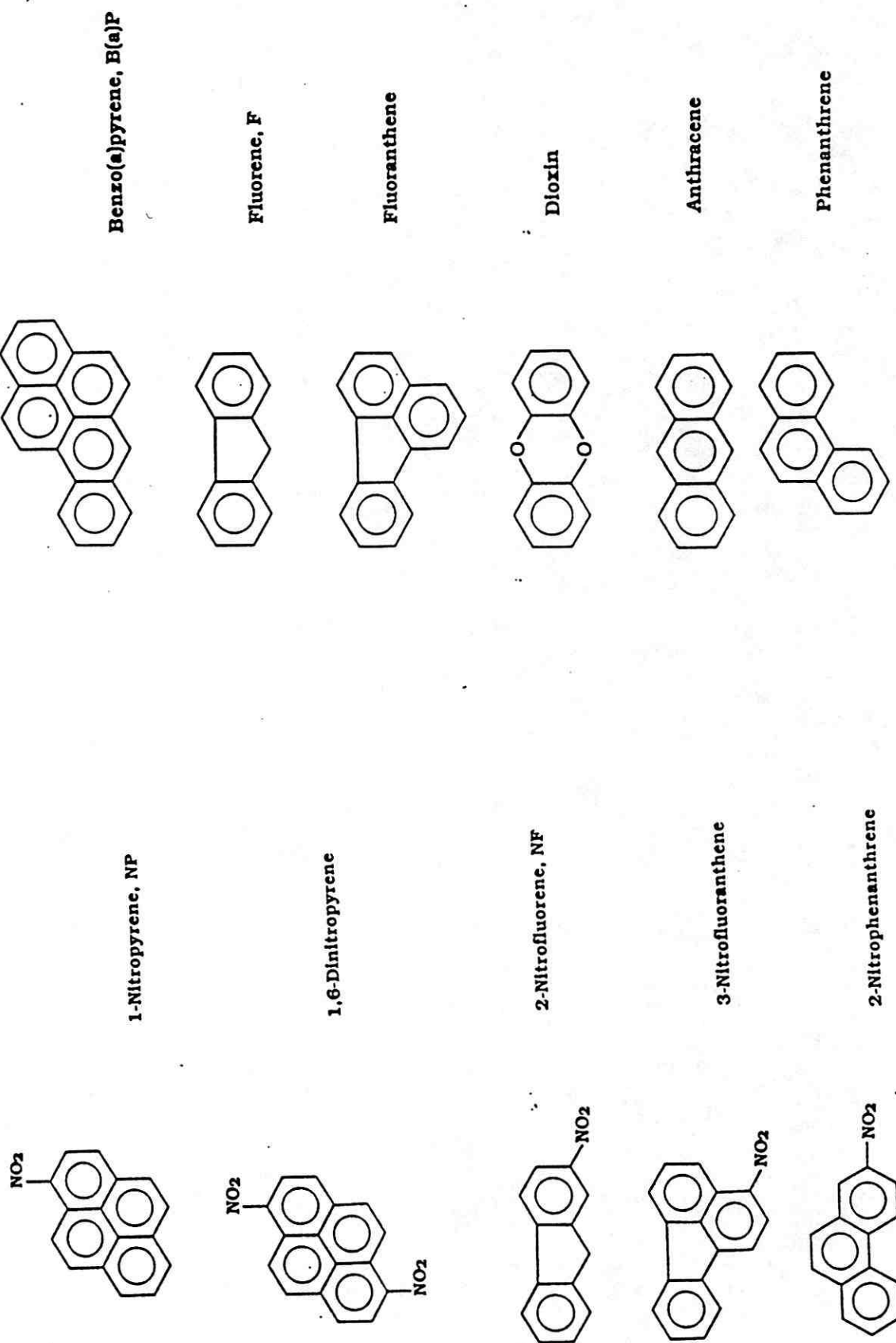
- * alkaner (paraffiner) kolatomerna i raka eller grenade kedjor,
- * alkener (olefiner) vätefattigare variant av alkanerna (innehåller s.k. dubbelbindningar mellan kolatomerna),
- * cykloalkaner/-alkener med en del av kolatomerna anordnade i ringar med upp till 6 kolatomer; ringar med 6 kolatomer kallas också naftener,
- * aromater bestående av 6-ringar av kolatomer med dubbelbindningar mellan varannan kolatom; bensen är den enklaste aromaten. Är 2, 3 eller flera ringar sammankopplade med gemensamma kolatomer talar man om di-, tri- eller

polycykliska aromater. Denna grupp av kolväten betecknas polycykliska aromatiska kolväten, PAH. Finns svavel-, kväve- eller syreatomer insprängda bland aromatringarna talar man PASH, PANH resp. PAOH. Finns andra kemiska grupper anknutna, t.ex. nitrogrupper används beteckningen nitro-PAH. En gemensam beteckning för hela denna grupp av föreningar är PAC. Figur 2 visar exempel på PAC med deras kemiska namn. Många av PAC är biologiskt aktiva ämnen. De förekommer i halter på cirka 1-3 % i vanliga dieseloljor men högre än diaromater endast i ringa grad i lättddiesel. PAC kan också bildas vid förbränningen i motorn eller ha ursprung i motorns smörjolja.

Alkanerna, särskilt de med raka kolkedjor, har god tändvillighet (bättre ju längre kolkedjan är), den för dieselmotorn kanske viktigaste egenskapen. Aromaterna å andra sidan har dålig tändvillighet och är därför inte önskvärda i dieseloljor. Tändvilligheten mäts som s.k. cetantal, som bestäms i en encylindrig laboriemotor. Ett annat mått, det s.k. cetanindexet, kan beräknas ur analysdata för oljan. Den vanliga handelsdieseloljan (med typiskt 25-30 % aromater) har cetantal på cirka 50 eller något därunder medan lättddieseln (aromathalt typiskt omkring 20 %) ofta ligger ned mot 40, vilket föranlett tillsatser av tändförbättrande ämnen (alkylnitrater). Goda dieseloljor bör ha cetantal väl över 50).

Det ökande behovet av att omvandla tjocka eldningsoljor (för vilka marknaden krymper) till lättare produkter, t.ex. drivmedel (växande marknad), genom krackning i raffinaderierna tenderar att leda till ökad aromat- och alkenhalt och därigenom försämrade dieseloljekvaliteter om inte motåtgärder vidtas. Dessa består främst i hydreringsprocesser, varigenom såväl svavelhalt som alken- och aromathalt kan sänkas. Denna teknik finns och kan användas om efterfrågan på dieseloljor av hög kvalitet finns (väterika, nästan svavelfria oljor med mycket låg aromathalt). En utveckling i denna riktning pågår för användning i tätorter.

Figure 2.



Structures of different PAH's.

Chemical structures of different nitro-PAH's.

4.2 Alternativa motorer

Kolvmotorn har varit den helt dominerande motortypen i fordon och förväntas förbli det under överskådlig framtid. Alternativa motorer såsom gasturbin, ångmotor och Stirling-motor har inte fått något genomslag för användning i fordon trots avsevärda utvecklingsinsatser. Förklaringen därtill är sannolikt att förbättringar i verkningsgrad eller kostnader är för små eller inte alls finns i förhållande till kolvmotorn, särskilt dieselmotorn, för att motivera en omställning. En systemstudie över Stirlingmotorer i gruvfordon har utförts (10).

En annan energiomvandlare med större potential till förbättring av verkningsgraden är bränslecellen, som direkt omvandlar kemisk energi till elektricitet vid måttliga temperaturer. Ett första insatsområde för bränslecellen är elgenerering, medan användning för motordrift i fordon är avlägsnare. Endast utvecklingsprototyper av den senare finns f.n.

Ur avgassynpunkt har de alternativa motorkoncepten intressanta egenskaper, då förbränningen sker kontinuerligt i brännkammare i stället för intermittent i cylindrar. Vid den kontinuerliga förbränningen är bildningen av hälso- och miljövådliga ämnen väsentligt lägre än vad som sker i kolvmotorn, som måste förlita sig på katalytisk efterrening av avgaserna. De alternativa motorerna måste dock också ha rena bränslen (i det närmaste fria från svavel och kväve) för att nå bästa resultat. Några krav på oktantal eller cetantal ställs inte.

Bränslecellen har sannolikt den bästa potentialen även ur avgassynpunkt, då förbränningen kan ske vid så låga temperaturer att kväveoxidbildning inte alls sker. Lämpligaste bränsle för bränsleceller i fordon är metanol genom att den är ett lätthanterligt flytande bränsle och lätt kan spaltas till den vätgas, som är det ideala bränslet för bränslecellen.

5. DISKUSSION OCH URVAL AV BRÄNSLEN

Genomgången av de olika alternativa bränslena och motorena ger underlag för följande diskussion och slutsatser.

Naturgas kommer inte att finnas tillgänglig vid de allra flesta gruvorter inom överskådlig tid, sannolikt aldrig, och måste avvisas som alternativ trots god potential ur hälsosynpunkt både vid bränslehantering och beträffande avgaser från motorn. Riskerna med naturgas som bränsle under jord ligger i explosionsrisken vid en större utströmning från ett gasförråd, som måste hållas under jord för snabb tankning, och från ledning för fyllning av detta förråd. Läckage i trånga utrymmen, t.ex. motorrum på fordon måste också uppmärksammas. Säkerhetsproblemen med gas synes dock inte vara oöverkomliga, då endast små gasförråd behöver finnas under jord.

Avsevärt utvecklingsarbete för att anpassa motorer till gasbränslet måste också göras (ottomotor-principen med tändstift måste användas med åtföljande sänkning av verkningsgraden). Sådant arbete pågår dock för drift av stadsbussar både i Sverige och på andra håll i världen.

Det kan förefalla verklighetsfrämmande att diskutera naturgas som bränsle för gruvfordon, då gasen inte kommer att finnas tillgänglig vid gruvorterna. Gasen är dock ett extremt bränsle med enkel kemisk sammansättning och studeras för andra tillämpningar, vilket genererar intressant kunskap som kan komma andra bränslen till godo.

Motorgas (propan) kan finnas tillgänglig på gruvorterna då hanterings- och transportteknik är väl etablerad. Distribution av propan sker i flytande form i tankvagn på järnväg eller landsväg. Potentialen ur hälsosynpunkt är god i förhållande till dieseloljedrift om än något lägre än med naturgas. Samma

motoranpassning som för naturgas måste dock göras. System med trevägskatalys måste användas för avgasreningen för att kunna reducera NOx-utsläppen till önskad nivå, $< 2 \text{ g/kWh}$.

Riskerna med propan som underjordsbränsle måste dock bedömas vara avsevärt större (liksom för bensen) än för naturgas. Till detta bidrar att propan transporteras och förvaras i tankar med relativt stort energiinnehåll och därmed följande större konsekvenser av olyckor. Propan (gasol), liksom gas i allmänhet, och bensen behandlas mycket restriktivt vad avser användning under jord och får enligt nuvarande bestämmelser (AFS 1986:17) inte användas för drift av förbränningsmotorer där (undantag uttryckningsfordon). Om propan av annat skäl är önskvärt för motordrift måste således bestämmelserna ändras.

Den samlade bedömningen blir dock att propan som alternativt motorbränsle i gruvor avvisas.

Alkoholerna metanol och etanol finns tillgängliga på marknaden och erbjuder inga okända hanterings- eller transportproblem. Hantering av teknisk etanol har dock en särställning i Sverige genom missbruksriskerna och alkoholpolitiken och får bara göras med tillstånd från socialstyrelsen. Metanol är liksom bensen klassad som gift men detta är inget hinder för hanteringen som den sker i dag för bensen. Riskerna med metanol är att den misstages för etanol (dricksprit) och missbrukas, vilket kan få dödliga följder. Olämpligt användande av den gamla och vilseledande beteckningen träsprit för metanol kan ytterligare bidra.

Ur hälsosynpunkt har alkoholerna en god potential jämfört med dieseloljedrift. De har som bränslen inga mutagena effekter till skillnad från komponenter i bensen och dieselolja, och avgaserna innehåller väsentligt mindre av hälsovådliga och miljöskadliga ämnen. En viss potential till lägre kväveoxidutsläpp finns.

Med alkoholerna kan dieselmotorprincipen och dieselmotorns höga

verkningsgrad bibehållas. Anpassningen av dieselmotorer till alkoholbränsle har gått väsentligt längre än för gasmotorer och de bör kunna vara tillgängliga inom överskådlig tid. Bl.a. demonstreras alkoholdrift av bussar på många håll i världen inklusive Sverige. Ett exempel på användning i gruva (LHD-maskin) på prov finns också.

Ur säkerhetssynpunkt är visserligen alkoholerna klassade som klass 1-bränslen men skiljer sig från bensin på ett par väsentliga punkter, nämligen relativt höga flampunkter och låg ångdensitet (metanol), som minskar riskerna vid spill. Alkoholernas fullständiga löslighet i vatten gör det också lättare att bekämpa ^ekonsekvenserna av ett spill. Den högre risken för explosion i slutna tankar kan minimeras genom konstruktionen av tankar och deras kringutrustning och tändorsakerna elimineras (flamskydd i öppningar, ingen gnistbildande utrustning som pumpar och nivåmätare i tanken) eller lättflyktiga kolväten tillsätts, som gör ång-luftblandningen för fet såsom med bensin för att kunna antändas. I det senare fallet förloras dock en del av emissionsfördelarna. Metanols egenskap att brinna med (i dagsljus) nästan osynlig låga kan elimineras genom bränsleformuleringen.

Ur kostnadssynpunkt skiljer sig metanol och etanol åt betydligt. Etanol framställd genom jäsning kostar flera gånger mer per liter än importerad metanol framställd ur naturgas. Även metanol tillverkad ur inhemska råvaror torde kosta mindre än etanol (med hänsyn taget till olika energiinnehåll). Metanol i sin tur har i genomsnitt kostat 50-60 % av vad bensin kostar vid raffinaderi eller importhamn och är således något dyrare per energienhet än bensin. Skillnaden till framtida bensin- och diesellojtkvaliteter (med större krav ur hälso/miljösynpunkt) blir mindre. Etanol finns inte tillgänglig på världsmarknaden till låga priser i stora volymer. Etanol avvisas av kostnadsskäl som alternativt drivmedel.

Metanol kvarstår som enda möjliga alternativdrivmedel m.h.t.

tillgänglighet, kostnad, användningsteknik och potential för mindre hälso- och miljöpåverkan. Säkerhetsaspekterna på metanols användning som underjordsbränsle bör därför grundligare undersökas av kompetenta instanser.

Dieselolja är inte ett bränsle med given sammansättning utan teknik finns att förändra sammansättningen för att möta nya krav. En utveckling mot bättre kvaliteter m.h.t. hälso- och miljöpåverkan för användning i tätorter pågår liksom utveckling av avgasreningssystem för dieseoljedrivna motorer. Denna utveckling bör kunna komma till nytta även för drift av gruvfordon.

Tabell 3 visar exempel på några provbränslen som använts för jämförande prestanda och emissionsmätningar med tunga dieselmotorer (6). Avsikten med provbränslena har varit att ta fram väterikare, svavelfattiga och lågaromatiska dieseloljor bestående av i olika grad av hydrerade naturliga eller hydrokrackade gasoljefraktioner i raffinaderiet. Hydreringen ger lagringsstabila, tändvilliga bränslen med mindre tendens till sot- och koksbildning vid förbränning. Genom hydreringen minskas också halten av PAH. En oundviklig följd av hydreringen är att densiteten sjunker något liksom energitätheten per liter trots det högre energiinnehållet per kg. Med oförändrad inställning av insprutningspumpen leder detta till något lägre effekt från motorn medan verkningsgraden inte påverkas. Ett tändvilligare bränsle kan medge optimering av motorn för lägre NO_x-utsläpp och möjliggöra katalytisk efterrening. Emissionsdata från provningar behandlas i ett senare avsnitt.

6. MOTORER I GRUVFORDON OCH ARBETSCYKLER

De ur bränsleförbruknings- och avgassynpunkt dominerande gruvfordonen är lastmaskiner (LHD) och truckar för uppfordringen.

TABELL 3.
DIESELOLJA - PROVBRÄNSLEN

	S	L	T	F	X
DENSITET, KG/L	844	815	810	821	812
VISK. 20 ⁰ C, CST	3,9	3,3	2,8	3,6	3,3
CFPP, ⁰ C	-21	-36	-28	-21	-34
SVAVEL, PPM	1300	15	<1	52	3
H/C	1,82	1,95		1,91	2,02
W _{EFF} , MJ/KG	42,9	43,6	43,5	43,1	43,6
" , MJ/L	35,9	35,5	35,3	35,4	35,4
CETANTAL	45+	57	51	54	57
ALKENER, %V	4,5	1	<0,5	7,7	1,4
AROMATER, %V	23,5	4,6	--	13,8	0,6
TRI+ %V	1,1	0,01	--	0,03	--
PAH (29) MG/L	229	37	2,8	172	0,4
RINGANALYS					
AROMAT. %	12	1	0	6	0
NAFTEN, %	33	32	46	30	33
DESTILLATION					
IBP ⁰ C	177	214	174	165	192
15 %V	197	224	193	213	217
10 %V	206	226	196	216	221
50 %V	259	241	217	248	245
90 %V	323	269	301	306	271
95 %V	338	285	319	319	279
FBP	350	313	330	334	289

Dessa uppskattas konsumera mer än 80 % av bränslet medan borr- och laddaggregat, service- och persontransportfordon och diesellok delar på resten. Truckar och lastmaskiner utgör dock bara en tredjedel av alla fordon. Totala bränsleförbrukningen inom gruvindustrin är cirka 100 m³ per dygn av lättdiesel (11). Bränslet specificeras enligt tabell 4, som är rätt tolerant beträffande svavelhalten och inte sätter någon gräns för aromathalten, då cetantalet lätt kan höjas med tändförbättrare, vilket är vanlig tillsats i lättdiesel.

Deutz och Volvo dieselmotorer av förkammar- resp. direktinsprutningstyp med 50-240 kW effekt finns i LHD-maskinerna och med 160-290 kW effekt i bergtruckarna (11).

LHD-arbetscykeln i schematiserad form (LuH-8; ref.12) visas i figur 2. Cykeltiden anges till 2,3 resp. cirka 1 minut beroende på om uppfordringen sker via schakt eller med truck. Typiska schematiserade belastningscykler för bergtruckar återges i figur 3 vid horisontell uttransport resp. uppfordring i ramp (11).

Förövning för certifiering av tunga motorer kommer sannolikt att i Europa ske enligt ECE Regulation 49 med en körcykel (figur 4), som också använder sig av ett antal konstanta belastningspunkter. I USA har man däremot övergått till att använda en transient körcykel (figur 5) med motiveringen att en sådan bättre efterliknar verkligheten och på mer rättvisande sätt mäter vissa typer av utsläpp såsom partiklar, PAC och specifika kolväten. För dessa är accelerationsförlopp kritiska och detta återspeglas inte alls i cykler med enbart konstanta belastningar. En närmare analys av en LHD-cykel (figur 6) visar att denna i verkligheten innehåller många transienta förlopp.

De flesta andra undersökningsserier med olika bränslen för tunga motorer, t.ex. bussdrift, är utförda med transienta körcykler och ofta användes för stadsbussar uppmätta typiska körcykler som figur 7 illustrerar. I dessa är dock den genomsnittliga belastningen betydligt lägre än i LHD- och truckcyklerna ovan.

Tabell 4.

Använt bränsle specificeras enligt följande:

+ Allmänt: Motorbränsle (lättdiesel) för snabbgående dieselmotorer under jord.

+ Obligatoriska fordringar:

Cetantal		min 45	SS 155164 ISO 5165 ASTM D976
Viskositet vid 20°C	(mm ² /s, cSt)	min 1.6	SS 023510 ISO 3104
Filtrerbarhet i kyla	(°C)	max -40	SS 155122 IP 309
Flampunkt	(°C)	min 40	SS 021810 ISO 2592
Destillation (flyktighet)			SS 155146
- temp vid 10% destillat	(°C)	max 200	ISO 3405
- " " 50% "	(°C)	170-220	
- " " 90% "	(°C)	min 210	
- slutkokpunkt	(°C)	max 300	
Densitet vid 15°C	(kg/l)	0.78-0.81	SIS 021411 ASTM D1298
Vatten och sediment	(vol %)	max 0.01	ASTM D1744
Svavelhalt	(vikt %)	max 0.06	STS 155135 ISO 2192
Rökpunkt	(mm)	min 30	IP 57

+ Övriga fordringar: Lättdiesel ska bestå av kolväten samt innehålla smörjförbättrande tillsatsmedel för att förhindra slitage.

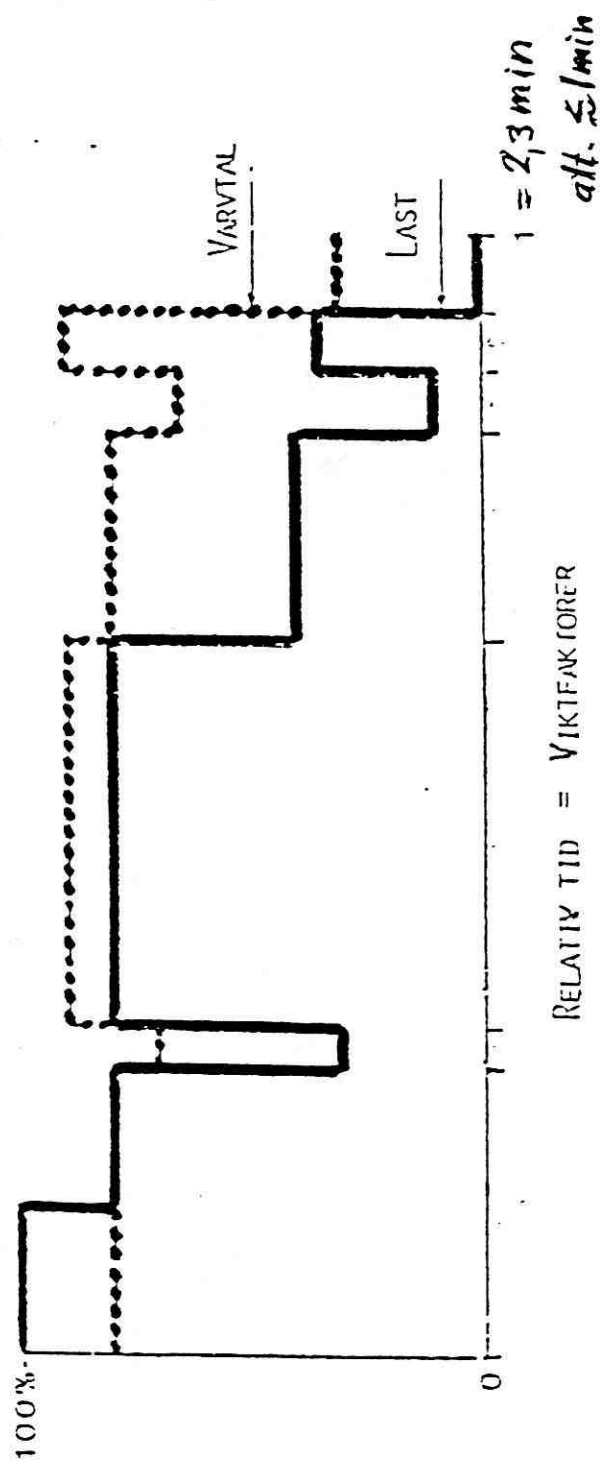
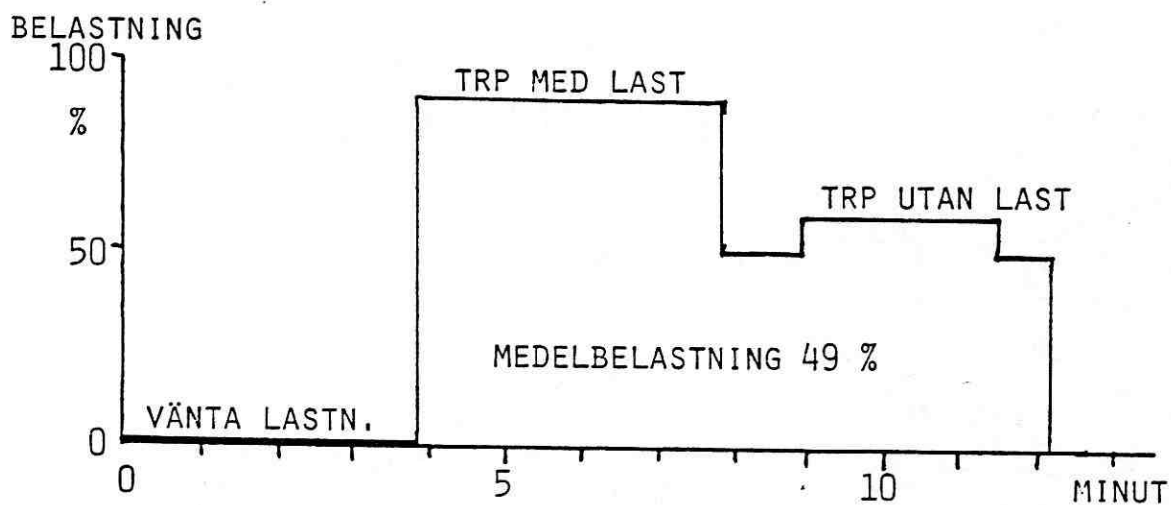


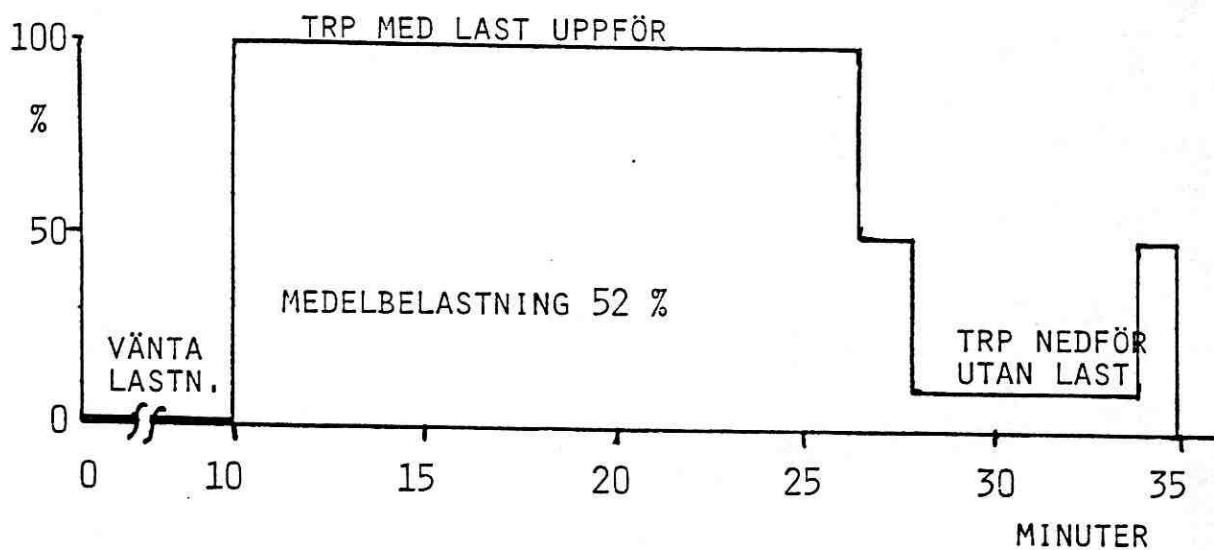
Fig 2. 8-Mode förenklad LHD-cykel ("LuH-8")

FIGUR 3. BERGTRUCKCYKLER

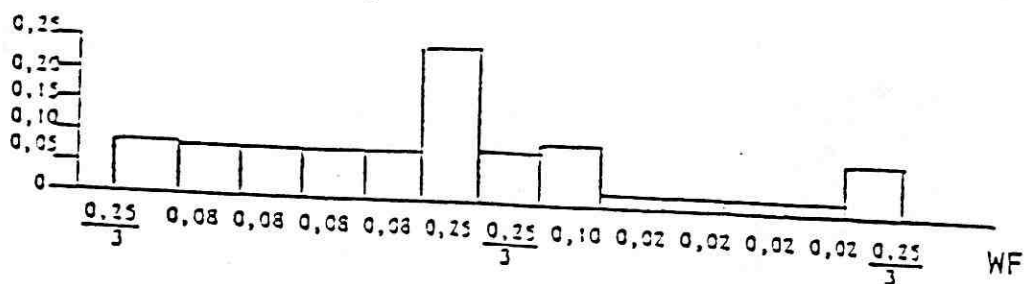
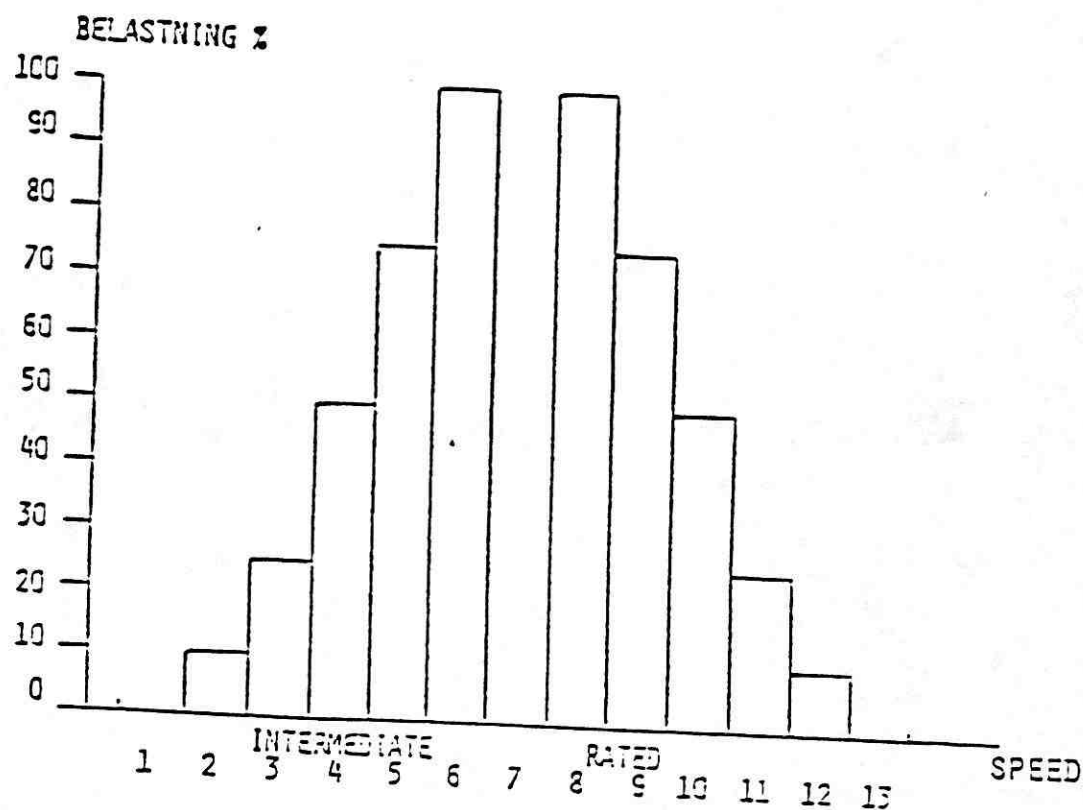
HORISONTELL TRANSPORT



UPPFORDRING I RAMP



ECE 49 REGULATION



$$\overline{CO} = \frac{\sum (CO_{MASS} \times WF)}{\sum (P \times WF)}$$

P=EFFEKT

Figur 4. Belastningssteg och vägningsfaktorer för ECE 13-modeprov vid körning i motorprovbänk.

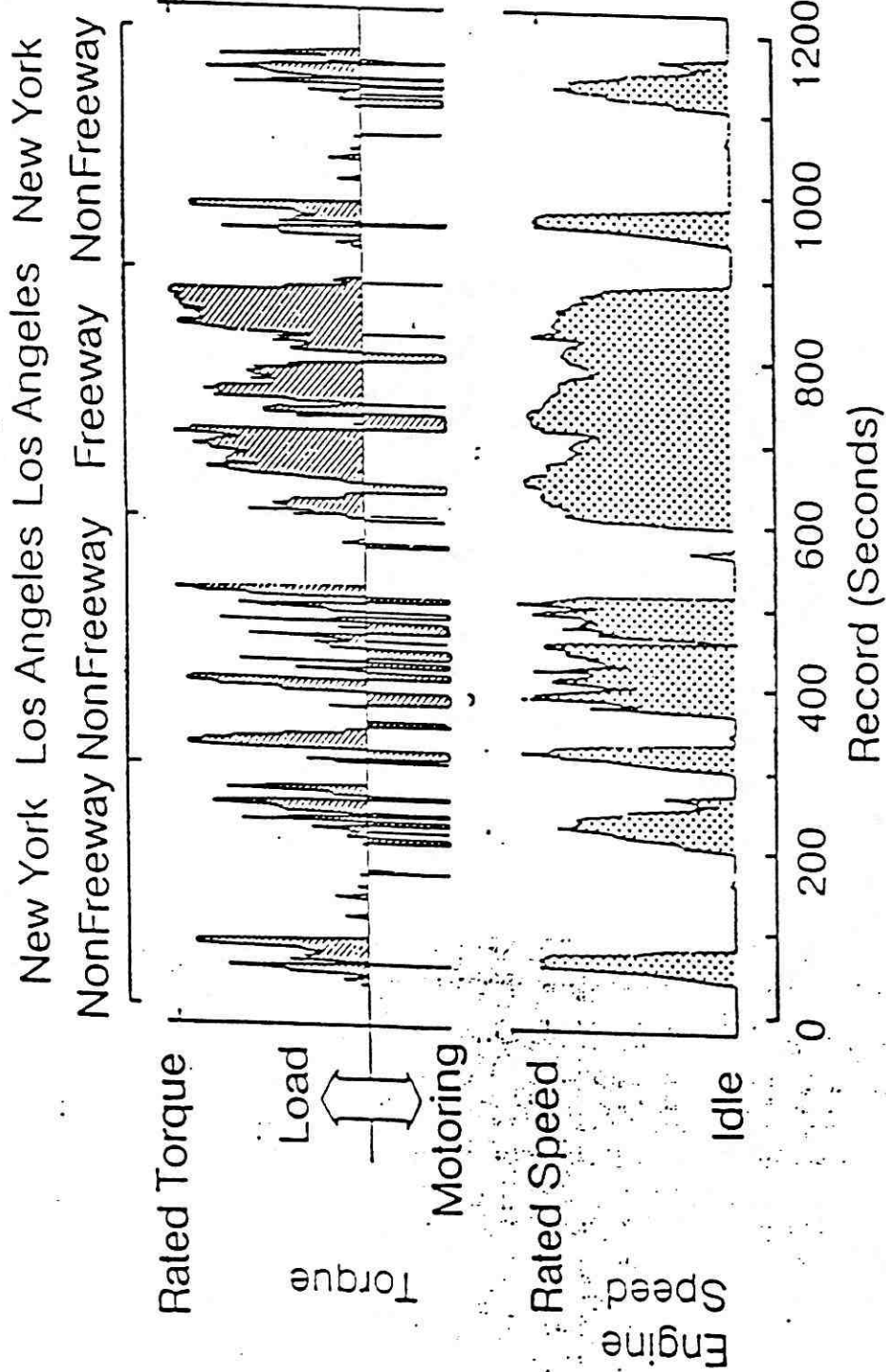
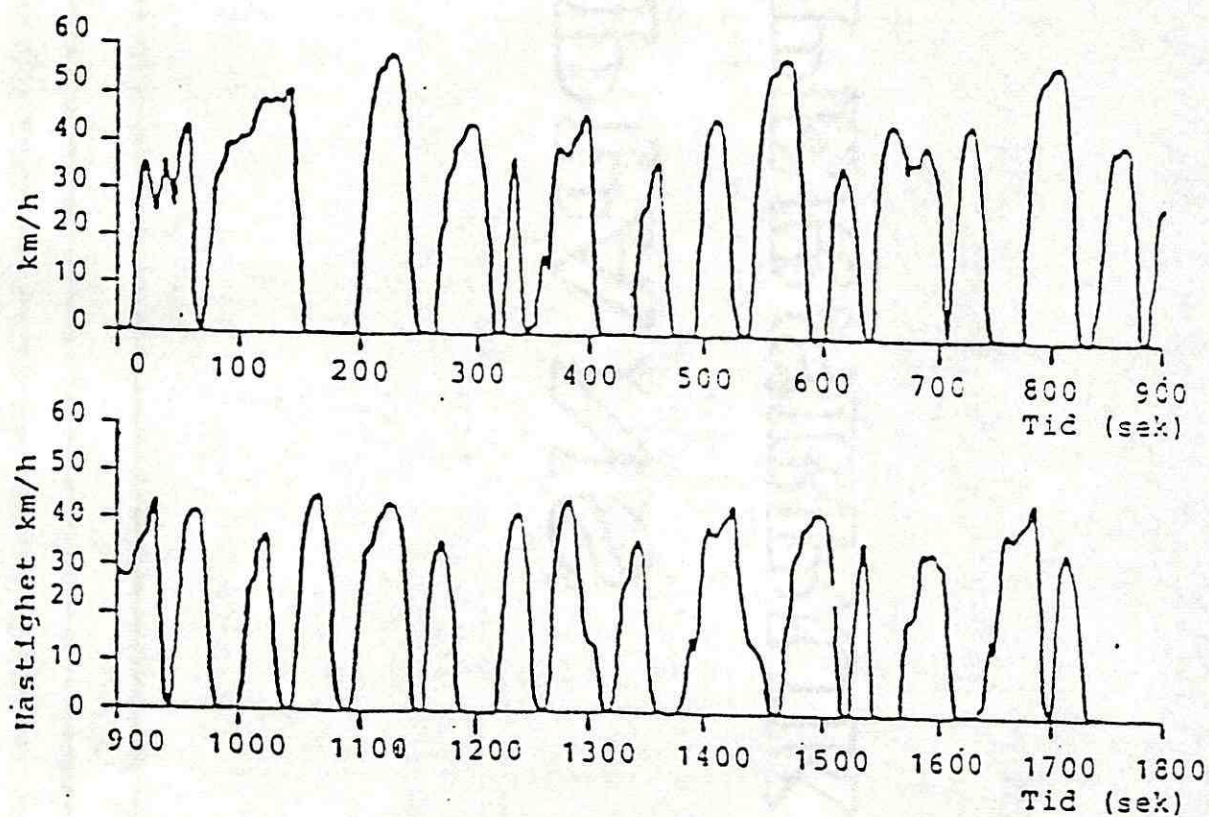


Fig. 5. US transient cycle for Heavy-Duty Diesel engines

Data för busscykel enligt tysk norm

Körsträcka (ca)	11 000	m
Tid	1 740	s
Maximal hastighet	58,2	km/h
Medelhastighet	22,5	km/h
Tomgång antal	28	
tid	383	s
andel	22	%
Maximal acceleration	1,17	m/s ²



Figur 7. Körprofil för busscykeln.

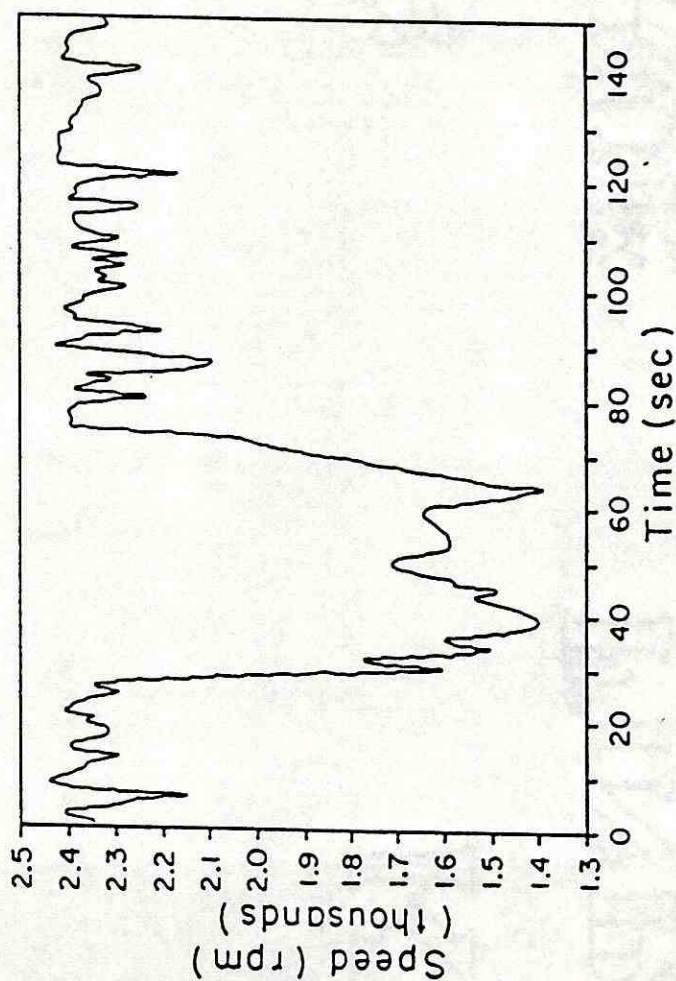


FIGURE 6A. SPEED CHARACTERISTIC FOR THE DEUTZ
F8L 413 FW ENGINE OPERATING ON THE
MTU MOD 5 LHD CYCLE

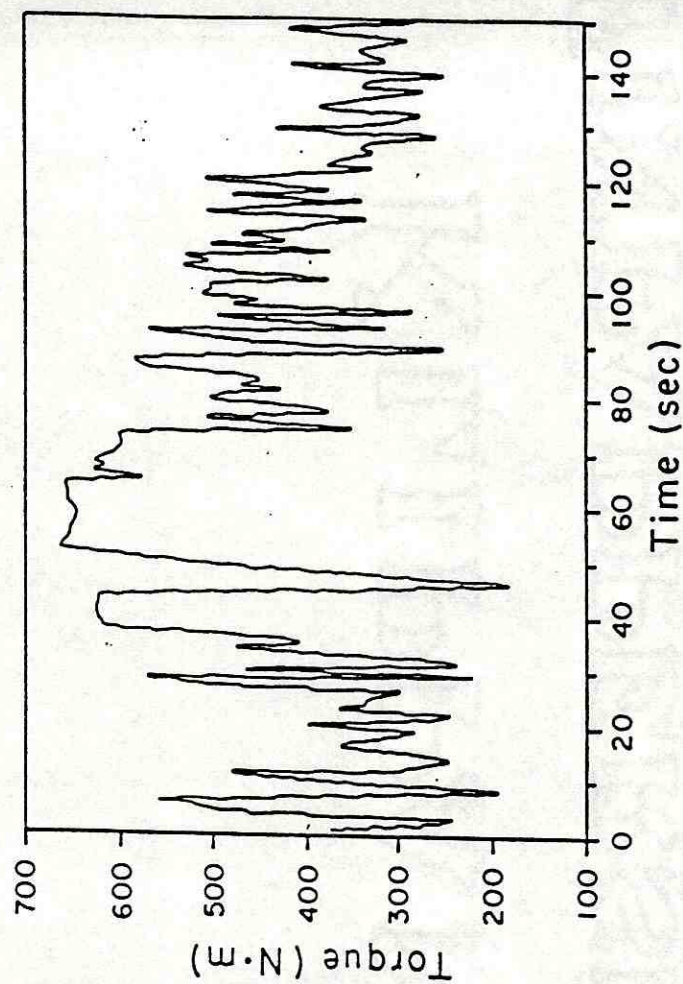


FIGURE 6B TORQUE CHARACTERISTIC FOR THE DEUTZ
F8L 413 FW ENGINE OPERATING ON THE
MTU MOD 5 LHD CYCLE

För bedömning av verkliga utsläpp användes därför kombinationer av resultat från mätningar med olika körcykler, som viktas till att motsvara en bedömd verklighet (13).

Nackdelen med transienta körcykler är att de ställer större krav på provutrustningen, vilket leder till betydligt högre kostnader.

Avgasrening (i praktiken vattenskrubber) föreskrives för lastmaskiner under jord (AFS 1986;17). Dess främsta funktion är gnistsläckning och viss avskiljning av partiklar (sot) och vattenlösliga ämnen så länge vattnet relativt färskt. Försök att använda partikelfilter och katalysatorer har gjorts med inte fått någon allmän användning. Utvecklingen av filter och katalysatorer för dieselfordon ovan jord (bussar, tunga lastbilar) är emellertid livlig på grund av att krav på minskade utsläpp av partiklar kommer att införas. Dessa krav har också lett till att dieselmotorn utvecklas för att med motortekniska åtgärder ge lägre skadliga utsläpp (kväveoxider, kolväten, partiklar), vilket i sin tur lett till att krav på bättre dieseloljekvaliteter ställts.

Avgasfiltret/katalysatorn kan vara två olika typer, dels med öppen genomströmning i smala katalysatorbelagda kanaler (som i bensinbilar, figur 8), dels med genomströmning genom porös skikt av "wire-mesh" eller keramisk fiber/keramiskt skum eller kanalvägg som figur 9 illustrerar (14, 15).

7. PROVRESULTAT MED OLIKA BRÄNSLEN I TUNGA MOTORER

Det finns få moderna och detaljerade undersökningar, som kan användas för att bedöma framtida utsläppspotential med alternativa eller förbättrade bränslen, och än färre som är körda enligt cykler som avser typiska körmönster i gruvor.

Med gasbränslen (naturgas, propan) måste som nämnts motorerna vara ottomotorer. Från tidigare mätningar av utsläpp vid provning

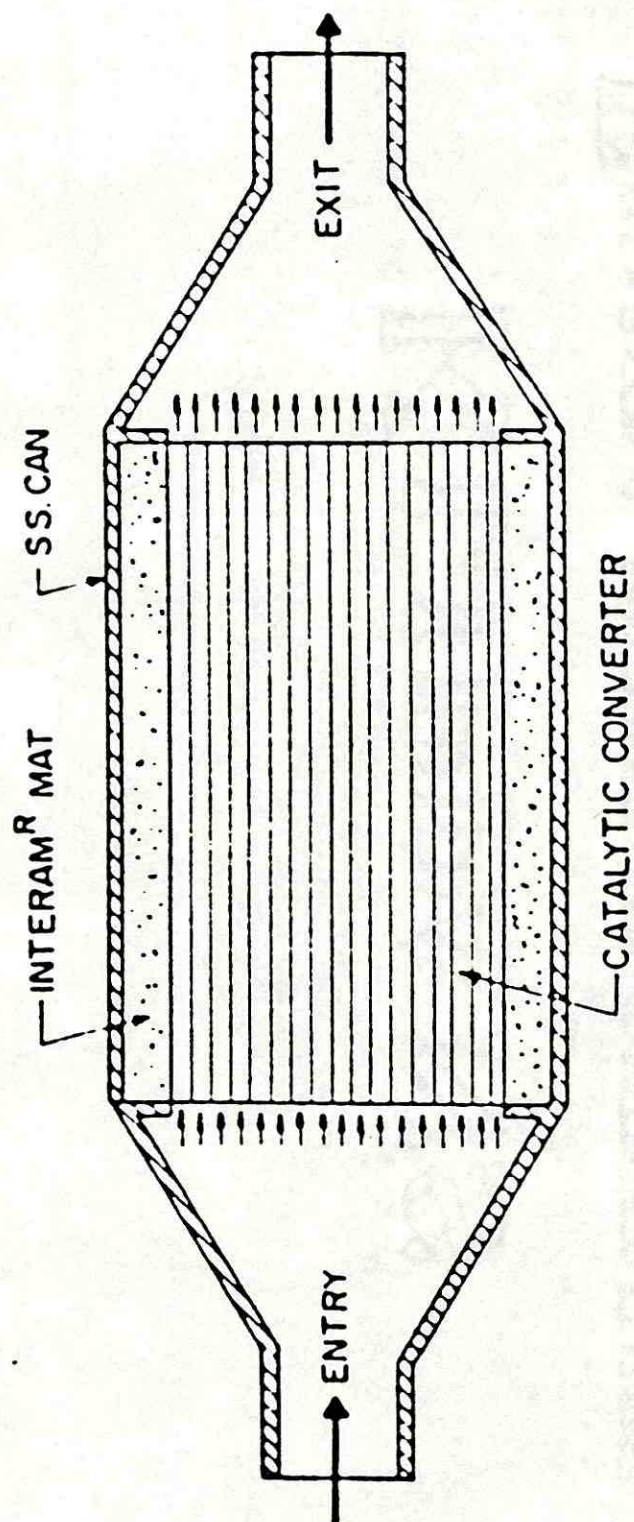
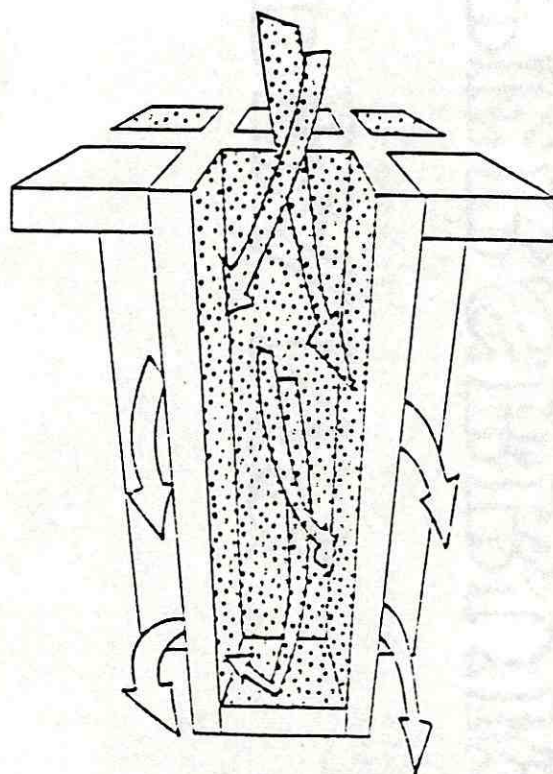


FIGURE 8. Schematic of Catalytic Converter Assembly



Schematic of a wall-flow monolith filter.

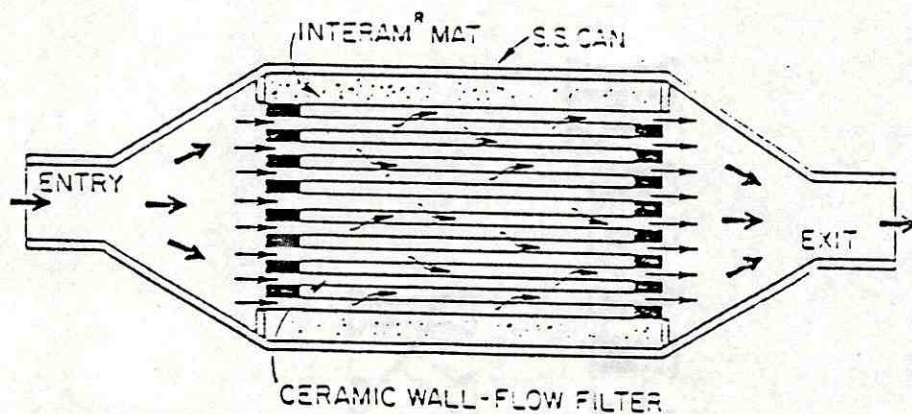


Figure 9. Schematic of Diesel Filter Assembly

av tunga motorer i bussar står klart att acceptabla utsläpp, framför allt av kväveoxider, endast kan erhållas med hjälp av katalytisk avgasrening av s.k. trevägstyp, d.v.s. den som nu är obligatorisk i nya lätta fordon. Försök med gasmotor för mycket mager förbränning och användande av enbart oxidationskatalysator pågår dock också.

I den utveckling av gasdrift av tunga motorer som nu pågår har nedanstående målsättning (16) för de reglerade utsläppen ställts upp (jämförd med de amerikanska utsläppskraven vid körning enligt transient körcykel).

	CO	HC	NO _x	Partiklar	
Nordiskt mål	1	1	2	0,1	g/kWh
Krav i USA 1991	20,8	1,7	6,8	0,13	g/kWh

Initiala försök med gasmotorer har indikerat att målen kan nås och underskridas förutsatt att gas/luftblandningen kan kontrolleras och styras väl. Detta senare är en mycket svårare uppgift med gasbränsle än med flytande bränsle. Hittills använda regulatorer för blandningen har inte varit tillfredsställande men nya system synes lovande. Ytterligare utvecklings- och provningsarbete behövs dock innan gasdrift kan tas i kommersiell användning med de angivna målen uppfyllda. Inga data för utsläpp av kvävedioxid, eten, propen, aldehyder, PAC, etc föreligger. Från de tidigare mätningarna kan dock sägas att även utan katalytisk avgasrening ger gasbränslena lägre utsläpp av aromater, PAC och mutagena ämnen än vad drift med dieselolja ger, medan aldehydutsläpp kan vara högre.

Med alkoholer bibehålles dieselmotorprincipen, d.v.s. förbränningen styrs av den direkta bränsleinsprutningen till cylindern (eller dess förkammare). För att komma runt problemet med alkoholernas låga tändvillighet har antingen bränslet modifierats genom tillsats av tändförbättrande ämne

(alkylnitrater) eller tändhjälp anordnats med glödstift eller tändstift eller med insprutning av tändvilligt pilotbränsle i dubblerat insprutningssystem. Alla dessa koncept befinner sig i utvecklings- och demonstrationsstadier (17).

Även alkoholmotorer måste förseas med avgaskkatalysator för att acceptabla utsläpp av ofullständigt förbränt bränsle skall erhållas. Förutsättningarna för att använda enbart oxidationskatalysator ligger i att kväveoxidbildningen är lägre med alkoholbränsle på grund av deras lägre flamtemperatur och högre ångbildningsvärme. Särskilt gäller detta metanol. Scania (18) visade i prov med modifierad etanol (nära 14 % tändförbättrare hexylnitrat) i en DS 11-motor vid olika belastningspunkter att ökningen av NO_x -utsläppet vid stigande belastning är lägre än vid drift med dieselolja. Möjligen kamoufleras en än större skillnad av etanolbränslets höga nitrathalt. Däremot blev NO_2 -utsläppet högre (2-4 gånger) med etanolbränslet, vilket kan bero på den höga nitrathalten. Vidare kunde konstateras lägre emissioner av partiklar och partikelbundna PAH, förekomst av alkylnitriter och högre emission av acetaldehyd.

En senare version av etanoldieselmotorn med katalysator, som nu finns i 30 bussar hos SL i Stockholm för demonstration (19), har provats med olika körcykler. Genom att kompressionen i motorn höjts kan etanolbränsle med lägre halt tändförbättrare (2 % av annan typ med handelsnamnet Avocet) användas. För ECE R49-cykeln uppges följande data

CO: 0,1 HC: 0,2 NO_x : 4,5 Partiklar: 0,05 g/kWh.

Inga uppgifter föreligger ännu om NO_2 -andelen eller gasformiga kolväten och aldehyder. Tidigare mätningar vid användande av stadsbusscykeln har visat dels att betydligt lägre utsläpp av PAH och mutagena ämnen sker jämfört med dieseloljedrift, dels att katalysatorn ytterligare reducerar dessa utsläpp till värden som ligger nära vad katalysatorförsedda lätta bensindrivna bilar

släpper ut. Inga resultat föreligger för användning av metanolbränsle med Scania-motorn. Ytterligare något lägre NO_x -utsläpp kan förväntas. För att nå nivåer på 2 g/kWh, det mål som uppställts för utvecklingen av gasmotorer, måste fler åtgärder vidtas, t.ex. avgasrecirkulation, användning av vattenhaltigt bränsle, e.a. Sådana åtgärder kan lätt genomföras då de brinner utan sotbildning och är helt blandbara med vatten.

Volvos TD100-motor i utförande med dubblerat insprutningssystem har provats både med metanol (bl.a. två bussar under två års tid) och etanol som huvudbränsle. Med dieselolja som tändbränsle var det inte möjligt att få tillräckligt låga partikelutsläpp. Vid fortsatt arbete med utveckling i motordynamometer provades Avocet-försatt etanol som tändbränsle då önskad partikelreduktion kunde fås och dessutom ytterligare NO_x -reduktion (20).

Demonstration av metanol som bränsle i dieselmotorer har gjorts och pågår framför allt i USA och Canada (21). Koncept med tändhjälp med glödstift (Detroit Diesel, Caterpillar, Deutz) eller tändstift (MAN, Daimler-Benz) är de vanligaste, och de flesta är försedda med oxidationskatalysator. Såväl Cummins, Detroit Diesel som MAN provar också metanol med tändförbättrare, och KHD och MWM i Tyskland har provat versioner med dubblerat insprutningssystem. Fältprovningar för att få erfarenheter under längre tid har pågått sedan början av 80-talet men intensifierats under senare år, framför allt i USA genom de framskridna planerna på introduktion av alternativa drivmedel där.

Mest uppseendeväckande resultat är att NO_x -utsläpp på bara 2 g/kWh nåtts vid körning enligt HD-transientcykeln med en Detroit Diesel 2-taktsmotor (21). Denna typ kan sägas ha en slags intern avgasåterföring genom att spolluften inte förtränger avgaserna helt (kan styras). Ingen av 4-taktsdieselmotorerna har ännu nått denna låga nivå utan har bästa värden på cirka 4,5 g/kWh. Servicebehoven för koncept med tänd- och glödstift är, i varje fall ännu, klart högre än för nuvarande motorer för dieselolja. Efterföljande katalysatorer kan ta skada av icke fungerande

tändsystem. Senaste information (22) anger dock att betydande förbättringar nåtts (80.000 km livslängd för glödstiften). Inget onormalt slitage av motorn, vilket har erfarits i metanoldrivna ottomotorer, har kunnat konstateras för dieselmotorn.

För de övriga utsläppen föreligger ofullständiga och delvis motstridiga uppgifter, sannolikt beroende på att utvecklingen inte är färdig och anpassningen av katalysatorn till bränslet ännu är ofullgången. Mycket goda resultat har rapporterats vid test av MAN's tändstiftsdiesel med oxidationskatalysator som tabell 5 visar (23). Oförbränt bränsle består huvudsakligen av metanol, som är fotokemiskt föga reaktivt och inte mutagent till skillnad från många av kolvätena i dieseloljeavgaser. Partikelutsläppen är mycket låga (och mest beroende av motorns kondition och smörjoljeförbrukning). Den vanligaste metanol-dieselmotorn under utprovning, Detroit Diesel försedd med glödstift, uppvisade tidigare inte lika goda resultat (tabell 6) med undantag av de mycket låga kväveoxidutsläppen. Senaste uppgifter (21, 22) tyder dock på att förbättringar nåtts, vilket figur 10 illustrerar. Inga uppgifter föreligger om kvävedioxid, alkylnitriter eller eten (sannolikt mycket låg). De kolväten, som kunnat mätas i mycket låga halter, består troligen mest av metan, då bränslet är metanol M100.

Deutz har provat en version av sin 12,8 lit. V-8 dieselmotor (F8L 413) för metanolbränsle i en gruvtillämpning, nämligen som drivkälla i en LHD-maskin (24). Behovet av tändhjälp med glödstift är beroende av belastning och styrs därför med ledning av varvtal och avgastemperatur som figur 11 och 12 illustrerar. Figur 13 och 14 visar schematiskt glödstift och cylinder- och kolvtopp. Motorn är försedd med två oxidationskatalysatorer, en för vardera 4-cylindergrupp och har provats både vid körning med olika belastningspunkter och enligt LHD-cykeln. Bränsle vid dessa prov var metanol försatt med 7 % isopentan (för att göra ång/luftblandningen ovan bränsleytan "fet" och icke antändbar), vilket enligt andra erfarenheter påverkar emissionsbilden något negativt. Motorkarakteristika under LHD-cykeln ges i tabell 7,

TABELL 5 .

HEAVY-DUTY DIESEL/METHANOL CHARACTERIZATION
 (Transient Engine Test, g/BHP-hr)X

		<u>HC</u>	<u>CO</u>	<u>NOx</u>	<u>PM</u>
MAN Methanol	UH	0.04*	0.31	6.61	0.04
(with catalyst)	LUH	0.13	0.14	3.9	0.05
MAN TYPICAL NEW DIESEL ENGINE		1.61	3.22	6.25	0.57

*HC values are the measured HFID values, uncorrected for HFID response, and expressed as diesel fuel.

DIESEL/METHANOL ORGANICS CHARACTERIZATION
 (Transient Engine Test, g/BHP-hr)X

Engine	<u>HC</u>	<u>METHANOL</u> <u>CH OH</u> <u>3</u>	<u>Aldehydes</u>	<u>Phenols</u>	<u>Total</u>
MAN Methanol	0.001	0.68	0.001	0.0	0.68
(with catalyst)					
MAN TYPICAL NEW DIESEL ENGINE	1.51	0.0	0.10	-	1.61

X G/KWH FÅS GENOM MULTIPLIKATION MED 1,36

KÄLLA: EPA

Table 6.

Low-Mileage Exhaust Emissions
(grams per horsepower-hour over the EPA transient test)
(g/kWh fås genom multiplikation med 1,36)

Diesel Transit Bus Engine vs. Methanol Bus Engine Emissions

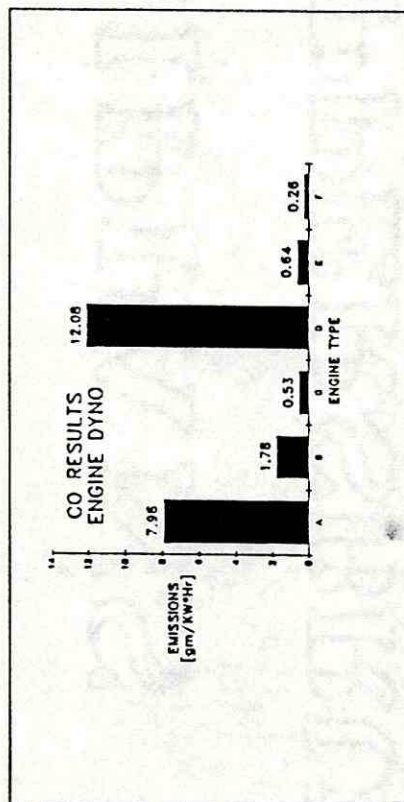
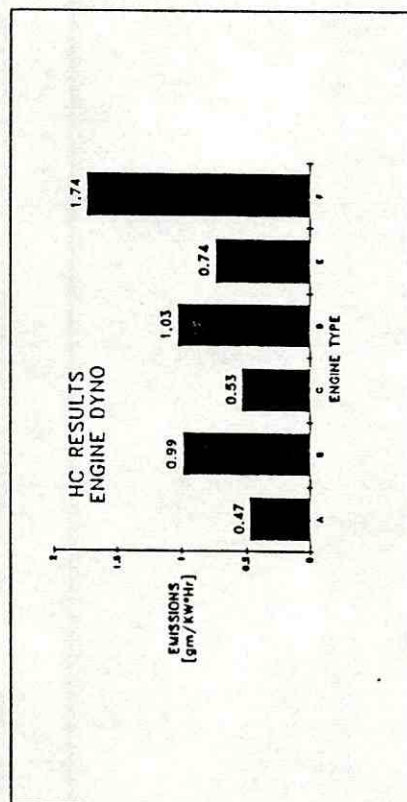
Pollutant	Diesel oil		M e t h a n o l				13-mode First DDA Methanol engine w/o cat
	Low Mileage Bus Engines	Current ¹⁾ DDC Engine	DDC "NYC" Engine w/o Catalyst	DDC "NYC" Engine w/Catalyst	DDC "LA" Engine w/o Catalyst	DDC "LA" Engine w/o Catalyst	
PM	0.57	0.33	0.07	NA	0.08	0.08	0.17
NOx	6.3	5.1	1.5	1.6	1.3	1.3	2.20
CO	3.2	1.3	6.3 ²⁾	5.0	9.0	9.0	—
HC	1.5	0.74	3.3 ²⁾	2.7 ²⁾	0.80 ²⁾	0.80 ²⁾	1.13 ²⁾
Aldehydes	0.10	NA	0.24	0.10	0.08	0.08	0.15

¹⁾ Engines Calibrated to Meet 5 g/hp-hr NOx

²⁾ Methanol

Källa: EPA

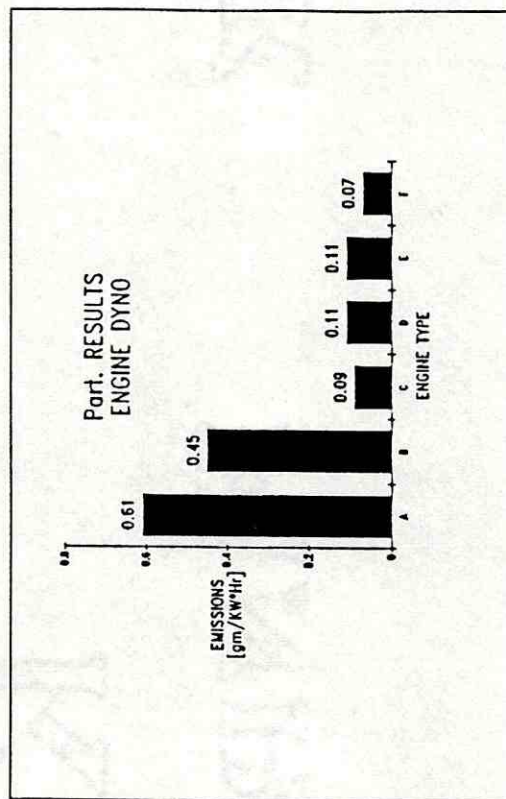
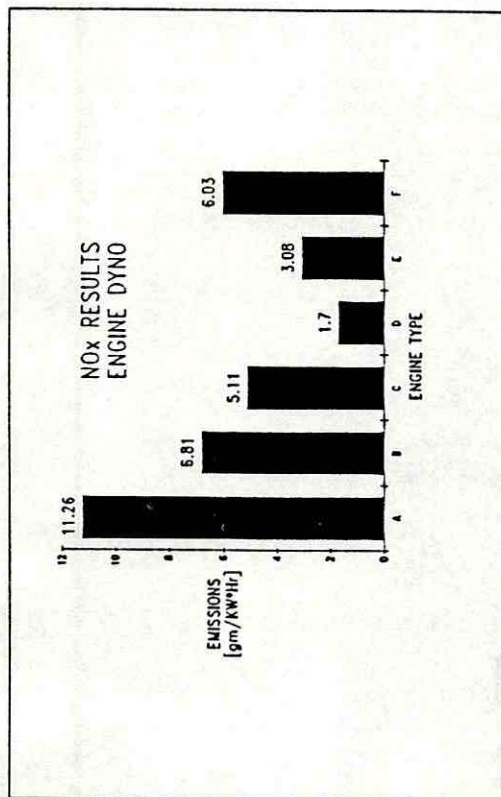
FIGURE 10.



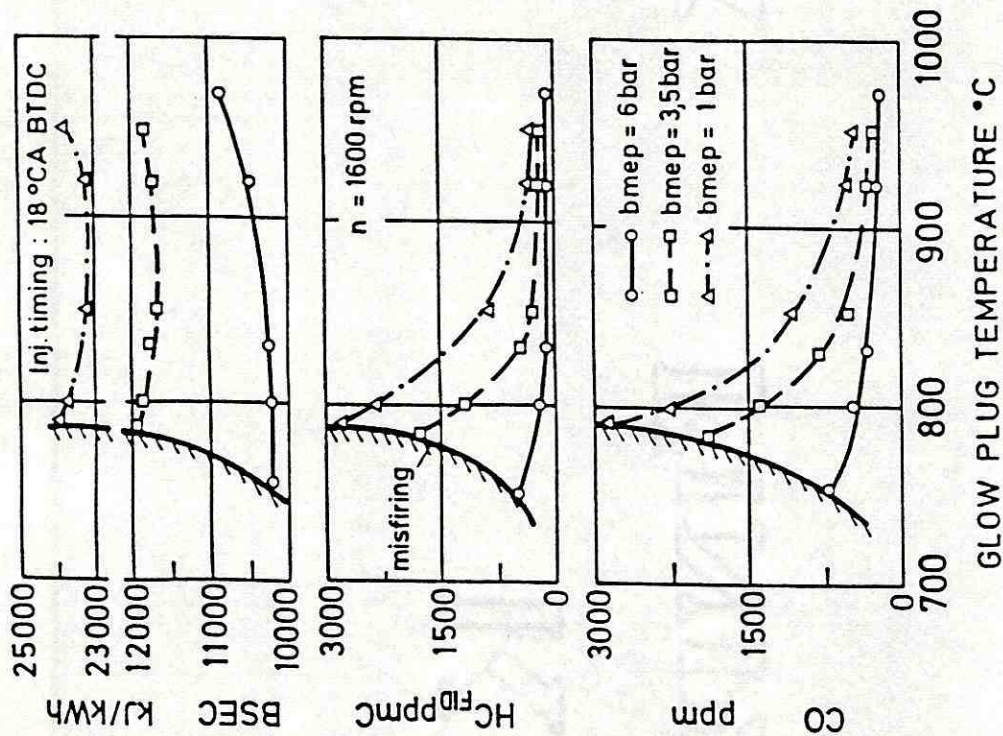
Engine Emissions

Key to Figures VIII-1, 2 & 3

Symbol	Engine	Symbol	Engine
A	Diesel-6V71	D	Methanol-6V92TA
B	Diesel-6V92TA	E	Methanol "preproduction"
C	Diesel-6V92TA with Particulate trap	F	Natural Gas-L10

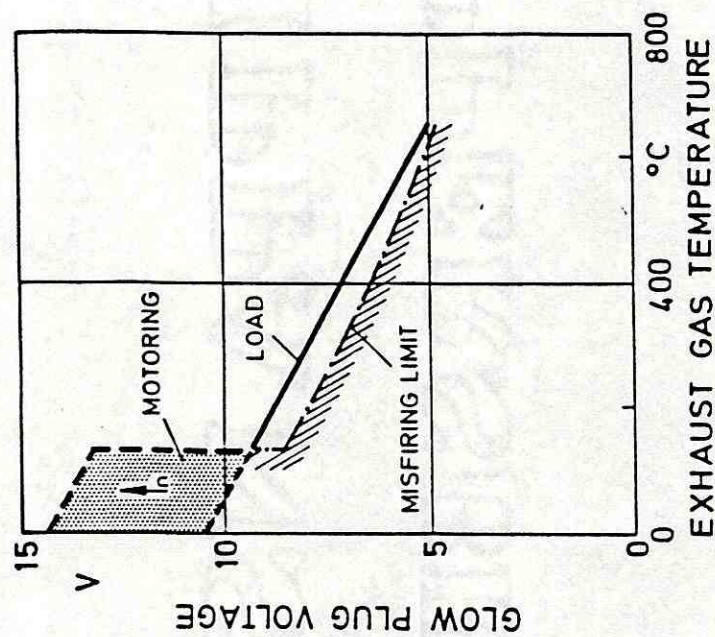


Engine Emissions



Influence of the glow plug temperature

FIGURE 11.



Relationship between plug voltage requirement and exhaust gas temperature

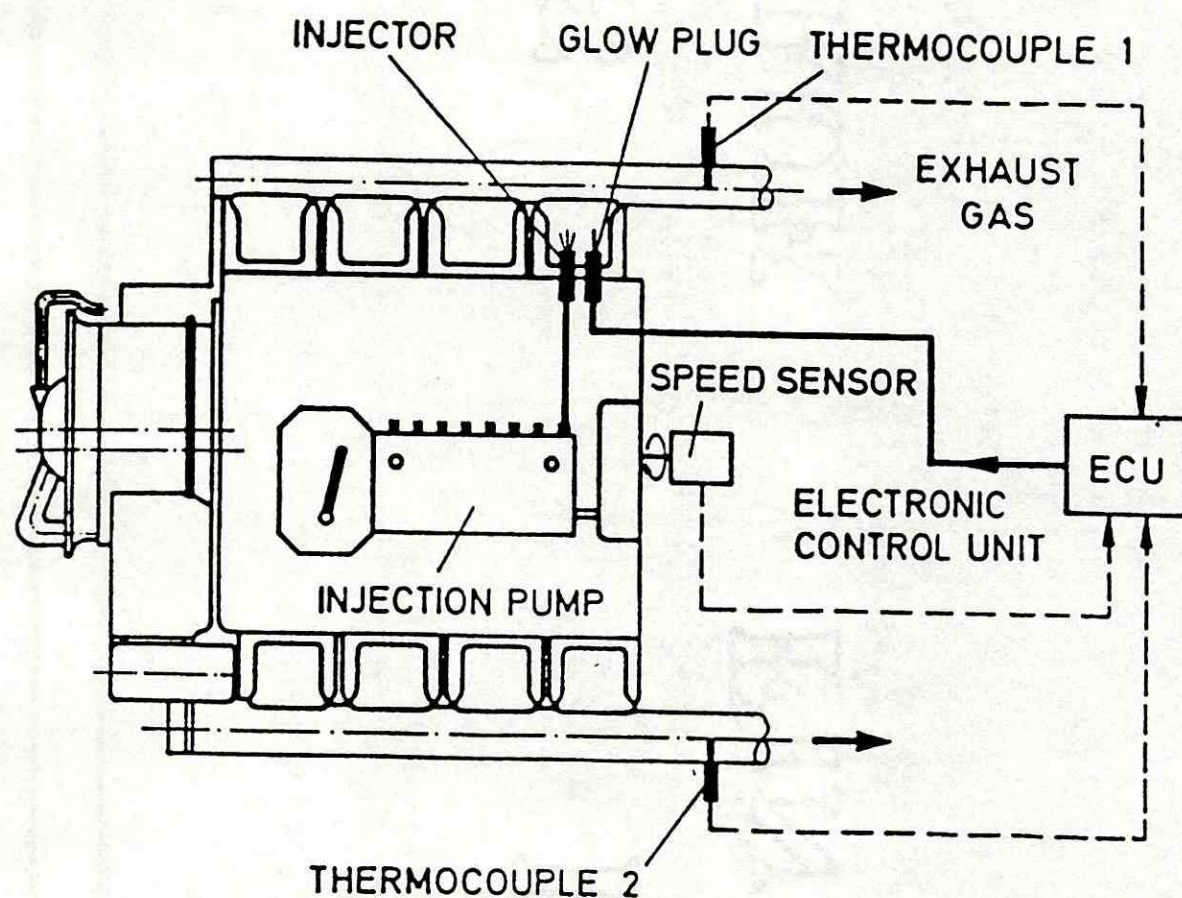


Fig.12. Glow plug control system

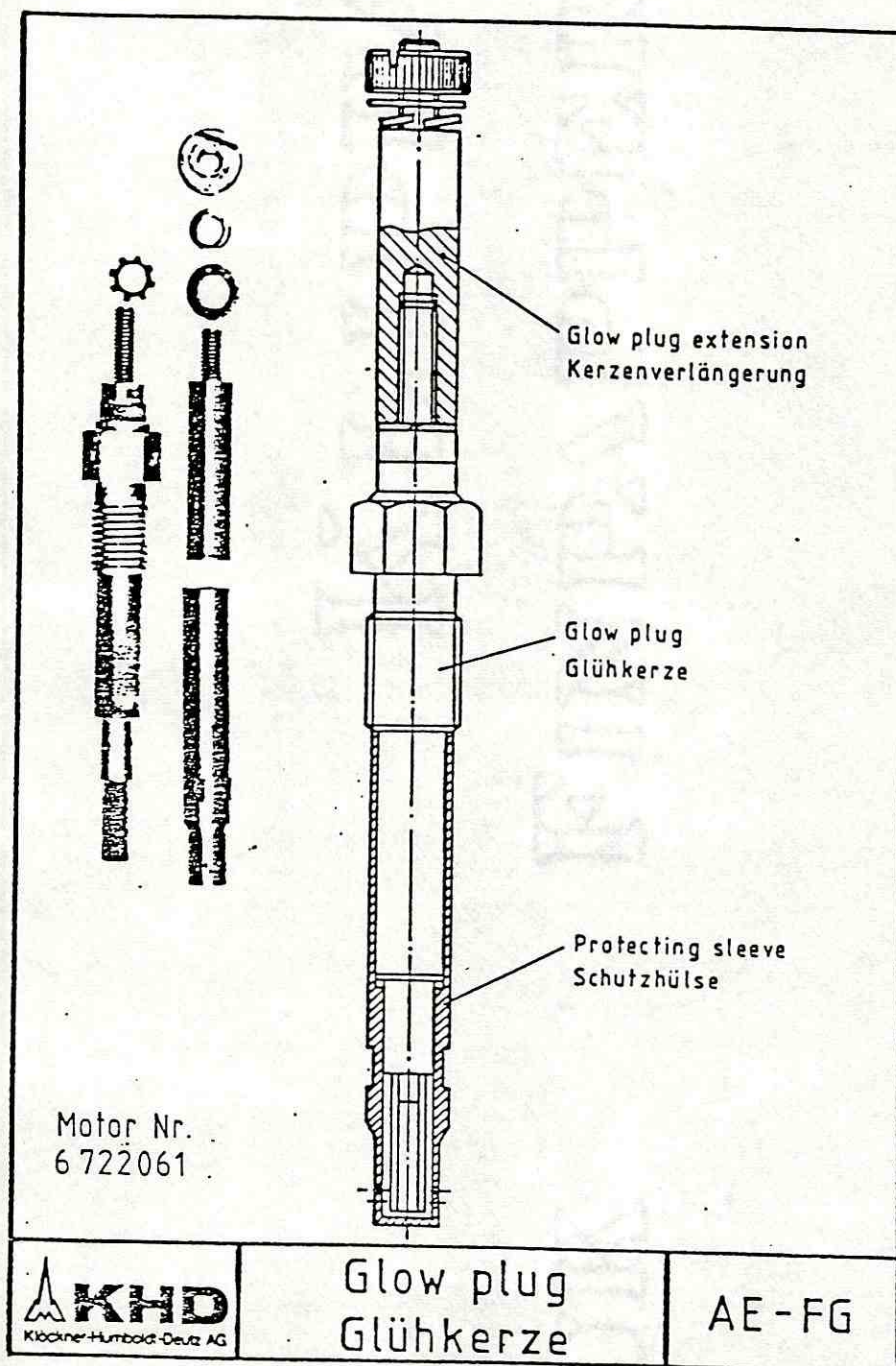


FIG. 13

870812

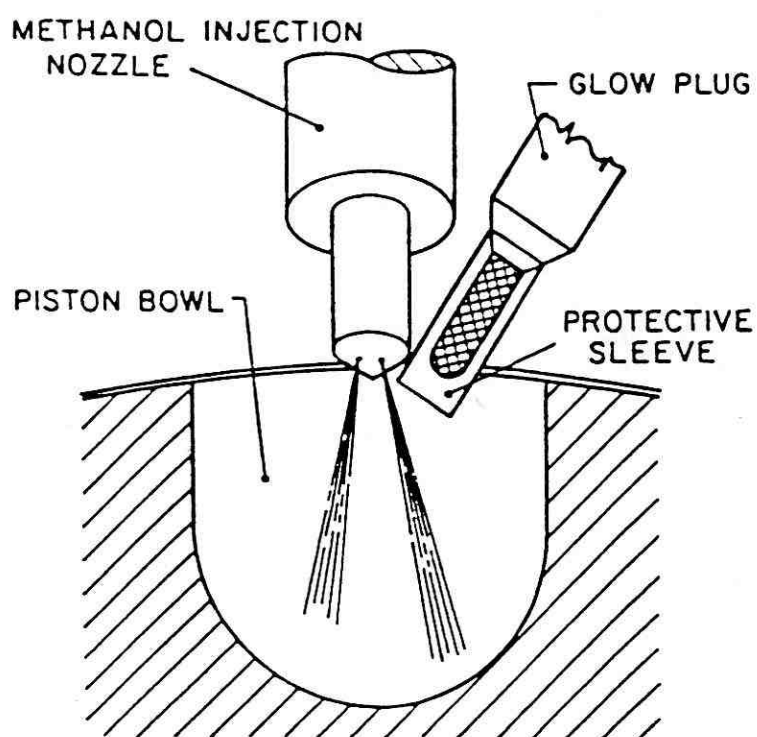


FIG. 14. METHANOL INJECTION NOZZLE AND
GLOW PLUG .

TABLE 7.

AVERAGE ENGINE CHARACTERISTICS
FOR LHD CYCLE

Engine Parameter	MTU Cycle	MTU MOD 5 Cycle
Engine Speed (rpm)	2164	2095
Engine Torque (kW)	306	402
Fuel Consumption (g/s)	11.8	13.6
Brake Specific Fuel Consumption (g/kW.h)	611	554
Left pre-catalyst exhaust temperature ($^{\circ}\text{C}$)	319	384
Left post-catalyst exhaust temperature ($^{\circ}\text{C}$)	323	390
Right pre-catalyst exhaust temperature ($^{\circ}\text{C}$)	325	390
Right post-catalyst exhaust temperature ($^{\circ}\text{C}$)	330	392
Intake air temperature ($^{\circ}\text{C}$)	38	38
Cooling Air temperature ($^{\circ}\text{C}$)	24	28
Oil temperature ($^{\circ}\text{C}$)	83	92
Cylinder head temperature ($^{\circ}\text{C}$)	79	93
Fuel (methanol) temperature ($^{\circ}\text{C}$)	40	45
Exhaust backpressure (kPa)	1.02	1.10
Oil pressure (kPa)	461	429
Fuel pressure (kPa)	672	662

TABLE 8.
GASEOUS EMISSIONS CONCENTRATIONS
STEADY STATE TESTING

Engine Speed RPM	Engine Load %	Location Relative To Catalysts	CO ₂ %	CO ppm	THC ppm	NO ppm	NO ₂ ppm	NO _x ppm
2300	100	Before	7.60	333	206	523	153	676
		After	7.76	18	68	529	132	661
	75	Before	5.69	287	266	438	140	578
		After	5.80	23	76	433	135	568
	50	Before	4.51	403	219	305	130	435
		After	4.52	43	72	330	68	398
	25	Before	3.25	695	371	147	119	266
		After	3.29	86	152	210	39	249
2000	100	Before	8.27	693	192	492	149	641
		After	8.28	7	62	517	93	610
	75	Before	5.12	412	315	304	127	431
		After	5.21	35	92	342	94	436
	50	Before	4.43	506	353	244	124	368
		After	4.50	58	120	297	66	363
	25	Before	3.07	748	642	102	120	222
		After	3.13	119	313	167	41	208
1500	100	Before	8.76	4247	166	388	141	529
		After	9.44	148	88	524	64	588
	75	Before	6.43	415	203	402	108	510
		After	6.97	10	74	416	121	537
	50	Before	4.56	538	240	228	121	349
		After	4.78	26	72	292	69	361
	25	Before	3.08	642	444	102	123	225
		After	3.17	72	214	188	35	223
Idle	50	Before	2.89	325	251	186	115	301
		After	2.89	27	166	258	31	289

TABLE 9.

COMPARISON OF UNTREATED DIESEL EXHAUST
EMISSIONS TO EMISSIONS FROM THE
METHANOL ENGINE

Variable	Diesel	Methanol
Engine Speed (rpm)	2123	2113
Engine Torque (Nm)	435	431
Fuel CBSFC (g/kW.h)	280	277
Carbon Dioxide (%)	7.5	6.1
Carbon Monoxide (ppm)	209	68
Total Hydrocarbons (ppm as C ₁)	125	18
Oxides of Nitrogen (ppm)	670	517
Nitric Oxide (ppm)	630	458
Nitrogen Dioxide (ppm)	40	59
Total Particulate (mg/m ³)	75	1.74
Insoluble Particulate (mg/m ³)	18	0.60
Soluble Particulate (mg/m ³)	57	1.14
Aldehydes (ppm)	13	15
Ames Mutagenicity (rev/m ³)	39,000	20,840
Sulphur Oxides (ppm)	47	0

emissionsdata vid konstantlast-körningar i tabell 8 och emissionsdata från LHD-cykeln i jämförelse med diesellojdrift (utan katalysator) i tabell 9. Metanolversionen ger på de flesta punkter en väsentligt bättre emissionsbild utom betr. NO_2 , som har något förhöjt utsläpp trots över 20 % lägre utsläpp av totala kväveoxider. Inga uppgifter finns betr. eten eller alkylnitriter.

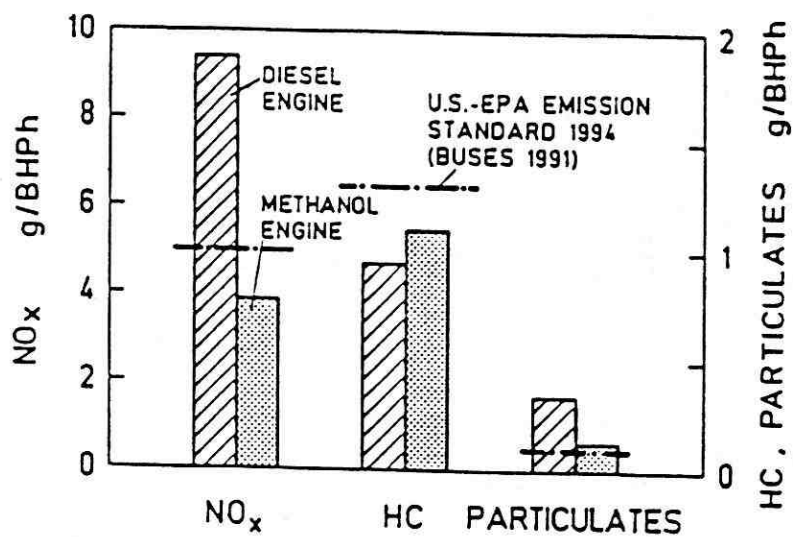
Deutz metanoldieselmotor provas för närvarande också som bussmotor i Köln (25). Figur 15 visar mätningar av emissioner i jämförelse med motsvarande diesellojeverision vid körning enligt den amerikanska transienta cykeln. Motorsmörjoljan misstänks vara upphovet till PAC i metanoltornens avgaser, Aldehydnivån är högre med metanol än med dieselloja (20 ppm resp. 12,2 ppm). Acetaldehydandelen är med dieselloja cirka 20 % men endast 4 % med metanolbränsle.

De praktiska driftsproblemen med Deutz (och övrigas) metanoldieselmotor har varit glödstiftens (resp. tändstiftens) livslängd och avsättningar på spridarspetsarna. Enligt senare gjorda utvecklingar av glödstiften och styrningen av deras temperatur synes dock nu acceptabel livslängd ha nåtts. Som nämnts rapporterar Detroit Diesel (22) att bytesintervall vid bussdrift numera är 80.000 km, och modifikation av smörjoljan har kraftigt minskat besvären med beläggningar på spridarna.

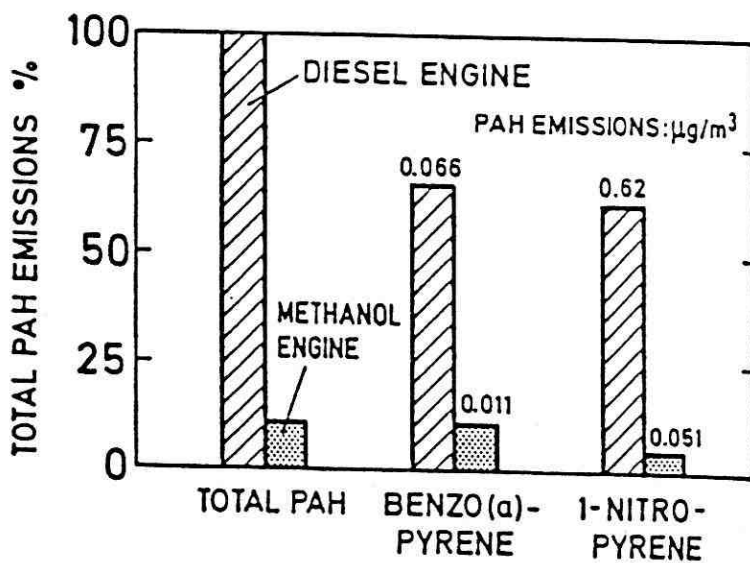
Diesellojorna utvecklas emellertid också med sikte på att minska utsläpp av hälsovådliga och obehagliga ämnen vid deras användning i dieselmotorer. Vidare utvecklas och provas ny teknik för rening av avgaserna från dessa ämnen. Arbetena sker främst för användningen av dieselloja i tätortsfordon (26), i första hand kollektivtrafikens bussar. Exempel på provning av avgasfilter för LHD-maskiner i gruvor finns emellertid också.

Provningar (6) görs med förbättrade oljor, som med känd teknik kan framställas vid raffinaderierna i stor skala (27), till en del redan i dag i begränsad skala. Förbättringen ligger i att oljorna har långtgående hydraterats, så att de blir i det närmaste

FIGURE 15.



Exhaust emission values of the methanol engine (EPA Transient Test)



PAH emissions of the methanol engine

fria från svavel, alkener (olefiner) och aromatiska kolväten och särskilt polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Tabell 3 visar utdrag ur specifikationer för provbränslen (L, T, F, X) i jämförelse med en handelsdieselolja (S). Provbränslena är motortekniskt bättre än den nu ofta använda s.k. "lättdieseln" men ger minst lika stora minskningar av skadliga komponenter i avgaserna som denna. I vissa avseenden, t.ex. vad gäller utsläpp av biologiskt aktiva PAH, har bättre resultat erhållits som tabell 10 och 11 och figur 16 indikerar. Dessa väterika bränslen har mindre påträngande lukt än lättdieseln och även avgaserna bedöms vara mindre besvärande betr. lukt.

Avgasresultaten är dock inte så goda att de uppfyller de önskemål på minskning av alla hälsovådliga ämnen, som ställts upp. Efterrening med någon form av katalytisk rening bedöms som kompletterande nödvändighet. En förutsättning för att sådan rening skall fungera på dieselmotorer synes dock vara att bränslet är av den kvalitet som de nämnda provbränslena har, d.v.s. mycket låg svavelhalt och aromathalt. Både Scania (28) och Volvo (29) har lanserat reningssystem för stadsbussar och distributionsfordon i tätorter. Dessa kommer under de kommande åren att provas i praktisk användning för att få erfarenheter under lång tid, som ännu saknas. Scania har givit nedanstående utsläppsdata för en 11 liters bussmotor med katalytisk renare av samma typ som på bensinbilar vid användning av en dieselolja med högst 10 ppm svavel och 5 % aromater och körning enligt ECE R49.

CO: 0,06 HC: 0,05 NOx: 6,3 partiklar: 0,08 g/kWh

Ingen information föreligger beträffande andelen kvävedioxid eller biologisk aktivitet. I andra tidigare undersökningar vid SNV's bilavgaslaboratorium har dock betydande reduktioner av biologisk aktivitet konstaterats vid användning av katalytiskt verkande partikelfilter av olika utförande (30).

I en kanadensisk undersökning har likaledes katalytiskt verkande keramiska partikelfilter på Deutz F8L 413 motor vid körning

TABELL 10.

Bränslejämförelse

Sammanställning av resultat enligt amerikansk transient-cykel (medelvärden av varmprov), normerade värden

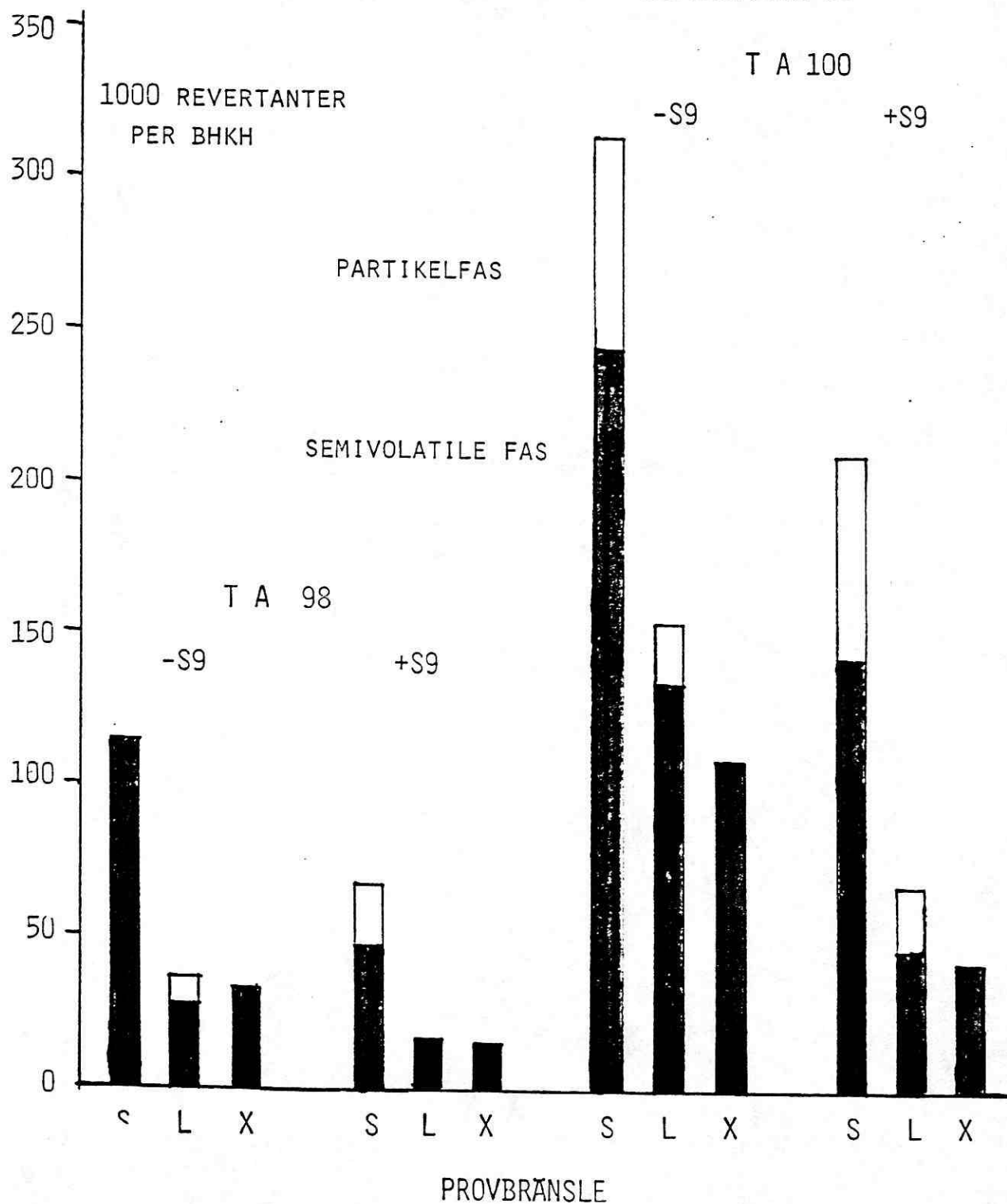
Bränsle	HC	CO	CO2	NOx	Part	<i>specifik</i> Bränsle förbr.	Energi <i>utträttat</i> <i>arbete</i>	Dens
<i>S</i>	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>T</i>	95	94	98	90	100	100	95	96
<i>L</i>	91	81	99	92	82	100	96	97
<i>X</i>	85	73	99	87	77	100	95	96

Tabell 11. PAC i avgaser vid körning enligt amerikansk transient körcykel för tunga motorer.

$\mu\text{g/bhkh}$	Provbränsle		
	S	L	X
Σ 29 PAH (PASH), korr.			
partikelbundna	52	35	15
"semivolatile" fas	245	19	10
1-nitropyren, korr.			
partikelbunden	0,36	0,55	0,18
"semivolatile" fas	0,35	0,04	0,008
Relativa tal	S	L	X
Σ 29 PAH (PASH), korr.			
partikelbundna	100	68	29
"semivolatile" fas	474	37	20
1-nitropyren, korr.			
partikelbunden	100	154	52
"semivolatile" fas	100	12	2

F I G U R 16.

BIOLOGISK AKTIVITET ENLIGT AMES TEST MED SALMONELLA-
BAKTERIER MED (+) OCH UTAN (-) ENZYMSYSTEM S9.



enligt LHD-cykeln. Tabell 12 visar resultat av avgasanalyser med två olika sammansättningar av de katalytiskt verkande metallerna. Båda reducerar partikelutsläppen och PAH avsevärt. Den ena synes kunna reducera NO_2 -halten och förhindra oxidation av svaveldioxid till svavelsyra, medan den andra med ädelmetallinnehåll reducerar kolväte- och framför allt CO-utsläppen utan ökning av NO_2 -utsläppet.

8. DISKUSSION, SLUTSATSER OCH FÖRSLAG

Hälsoproblem orsakade av avgaser från dieselmotorer i gruvor under jord är av samma karaktär som problem förorsakade av förorenad tätortsluft, som till stor del har sitt ursprung i fordonsavgaser. Gränsvärden för CO, SO_2 , NO_2 och partiklar i gruvluft har satts främst för att undgå direkta akuta effekter, medan gränsvärdena för tätortsluften i ökad omfattning börjar sättas för att minska kroniska effekter av lång tids exponering. Fler komponenter uppmärksammas också såsom gasformiga olefiner, bensen, aldehyder, polycykliska aromatiska föreningar (PAC), etc på grund av deras genotoxiska och potentiella cancerframkallande verkan. Haltnivåerna för riskuppskattningar, som bedöms ligga på oacceptabelt hög nivå, ligger i tätortsluften långt under de värden som satts eller finns i gruvluft. De lösningar, som nu utvecklas för att minska luftföroreningarna i tätorterna, bör därför kunna tillämpas också på underjordsgruvor och sådana lösningar kommer att finnas, även om de i dag ännu inte är helt färdiga.

De alternativ som nu bedöms som mest realistiska är förbättrade dieseloljekvaliteter, alternativa drivmedel och ökad användning av katalytisk avgasrening i kombination med utvecklade kolvmotorer. Någon ny motortyp, t.ex. med extern förbränning, som ger lägre oönskade utsläpp bedöms inte kunna få något genomslag. På längre sikt finns bränslecellen som drivkälla med potential att drastiskt minska de oönskade avgasutsläppen och av dessa

Table 12-- Gaseous and Particulate Emissions from a Deutz F8L 413 FW Engine Fitted with Catalyzed Ceramic Filters for the MTU Mod 5 LHD Cycle

Constituent	Units	Baseline	Base catalyzed filter	Base/noble filter
Carbon dioxide (CO ₂)	%	7.5	7.3	7.4
Total hydrocarbons (as CH ₄)	ppm	126	120	96
Carbon monoxide (CO)	ppm	209	225	7.2
Nitric oxide (NO)	ppm	629	662	565
Nitrogen dioxide (NO ₂)	ppm	40	24	39
Oxides of nitrogen (NO _x)	ppm	669	686	604
Soluble particulates	mg/m ³	17.8	0.97	1.12
Insoluble particulates	mg/m ³	57.3	1.00	0.79
Total particulates	mg/m ³	75.1	1.97	1.91
Sulphur dioxide measured	ppm	44.4	42.7	37.4
H ₂ SO ₄ acid measured	ppm	2.7	0.8	4.4
Conversion measured	%	6.1	1.8	10.5

Assessment of the Six PAH Concentrations in the MTU Mod 5 Cycle Emissions from the Base/Noble Catalyzed Ceramic Wall-Flow Filter

PAH	Baseline (µg/m ³)	Base/noble (µg/m ³)	PAH reduction
fluoranthene	0.404	0.328	21%
benzo[a]anthracene	0.138	0.009	93%
benzo[k]fluoranthene	0.037	0	100%
*benzo[a]pyrene	0.017	0	100%
dibenzo[ah]anthracene	0	0	0
*benzo[ghi]perylene	0	0	0

*Known carcinogens.

förorsakade hälsoproblem i gruvan. På kortare sikt måste lösningarna baseras på utvecklade kolvdieselmotorer.

De kemiskt sett enkla alternativa drivmedlen har fördel i det att de närmast eliminerar utsläpp av aromater, PAC och partiklar och troligen ger bäst förutsättningar att låga NOx-utsläpp och fungerande katalytisk avgasrening. Det enda alternativa drivmedel som funnit nåd för användning i gruvor med hänsyn till säkerhet, tillgänglighet och kostnad är metanol. Säkerhetsaspekterna måste dock noga penetreras. Med metanolbränsle är även utsläppen av gasformiga olefiner mycket låga. Kvarvarande problem rör formaldehyd och den oklara frågan om alkylnitriter, som måste klaras av med hjälp av katalytisk efterrening, för vilket goda förutsättningar finns. För reduktion av kväveoxidutsläppen ger metanol goda förutsättningar genom den relativt sett låga flamtemperaturen, och låga värden har som nämnts redan demonstrerats.

Drift med dieselolja måste ställas i relation med vad som kan åstadkommas med alternativa drivmedel. Stora förbättringar har erhållits med de nya svavelfria och lågaromatiska kvaliteter (särskilt lågt PAH-innehåll) som provats som tätortsbränslen för i första hand bussar. De är kraftigt hydrerade oljor, som också i hanteringen ger fördelar av mindre besvärande lukt och lägre risker genom att de också är i det närmaste PAH-fria. I avgaserna reduceras framför allt PAC-utsläppen och deras biologiska aktivitet, som ytterligare kan minskas genom katalytisk efterbehandling. Någon inverkan på utsläppen av bensen, olefiner och aldehyder gav dock dessa bränslen inte. Dessa utsläpp ligger för dieselmotorn på en låg nivå och kan ytterligare reduceras genom katalytisk efterbehandling.

Bränslena ger viss reduktion av kväveoxidutsläppen och förutsättningar för motoroptimering för ytterligare sänkta utsläpp. För att nå acceptabel nivå måste dock fortsatt utveckling ske, vilket kan innebära användning av vatteninsprutning, avgasåterföring, m.m. Användning av katalytisk

efterrening kan innebära risk för ökad bildning av NO_2 , vilket måste elimineras. Att detta är möjligt har tidigare undersökningar visat (31) och ytterligare möjligheter ligger i ändrad formulering av katalysatorns kemiska sammansättning (24).

Svårigheten i att på kort sikt demonstrera eller börja använda bränslen/motorer, som leder till avsevärt förbättrad arbetsmiljö under jord, ligger i att få tag i hårdvara, motorer med avgasreningssystem, som är tillräckligt utvecklad. I dag finns knappast någon annan möjlighet än att av motortillverkarna (Deutz, Volvo, Scania) begära utvecklade koncept med klart definierade prestanda för provning. Alla tillverkarna har arbetat med sådana och har näraliggande lösningar. Merarbete behövs främst för att minska både NO_x - och NO_2 -utsläppen, de förra till nivån 2 g/kWh.

Scania har f.n. etanolmotorer med oxidationskatalysator under demonstration i ett 30-tal bussar i Stockholm. Dessa ger enligt uppgift 4,5 g/kWh NO_x men synes ha förhöjda halter NO_2 i jämförelse med dieseloljedrift. Scania skall vidare fältprova bussar med motorer med oxidationskatalysator för drift med dieselolja med mycket låg svavel- och aromathalt. Dessa uppges ha NO_x -utsläpp på 6,3 g/kWh men icke angiven andel NO_2 . Vidareutveckling behövs således för att nå den nivån 2 g/kWh, som redan visats vara möjlig av en annan tillverkare (Detroit Diesel) för en metanolversion av dieselmotorn och det mål som ställts upp i arbetet med utveckling för gasdrivna motorer med katalysatorsystem.

Genom att ansluta till den utveckling som sker för dieselmotorer i tätortstrafik blir utsikterna större att en sådan utveckling kommer att förverkligas av motortillverkarna.

Förslag

** Kontakter tas med tillverkarna av motorer för gruvfordon och -maskiner för att diskutera framtagna av dieselmotorer med

mycket låga NOx-utsläpp och med katalytisk reduktion av organiskt material för drift med

- * metanol som bränsle respektive
 - * förbättrade dieselloljor som bränsle.
- ** Gemensamt med andra med andra användare (bussföretag, vissa åkerier) på marknaden efterfråga förbättrade dieselloljekvaliteter för att ge större tyngd åt kravet.
- ** Prova nya dieselloljor i kombination med katalytisk avgasrening på ett urval befintliga fordon och maskiner för att skaffa praktiska erfarenheter över längre tid.
- ** Studera säkerhetsaspekterna ingående för användning av metanol som bränsle under jord genom en arbetsgrupp.

R E F E R E N S E R

1. Westerholm, R. Inorganic and Organic Compounds in Emissions from Diesel Powered Vehicles. SNV Report 3389 (1987).
2. LUFT '90 - Aktionsprogram mot luftföroreningar och förurning. Naturvårdsverket informerar. ISBN 91-620-1079-4.
3. Törnqvist, M. Strålningsbiologiska institutionen, Stockholms universitet. Underlag för SNV aktionsplan LUFT '90. Dec.1989.
4. Gustavsson, P. Cancer and ischemic heart disease in occupational groups exposed to combustion products. Doktorsavhandling, inst. för yrkesmedicin, Karolinska sjukhuset 1989-11-03. Arbete och hälsa - vetenskaplig skriftserie 1989:21, Arbetsmiljöinstitutet.
6. Rapporter "Motorbränsle för tätortsfordon", Svenska Lokaltrafikföreningen, juli 1990, och "Impacts of fuels on diesel exhaust emissions", AB Svensk Bilprovning, maj 1990.
7. Laveskog, A. Utsläpp av kvävedioxid (NO_2) från personbilar, lastbilar och bussar. SNV rapport 3633 (1989).
8. Storstockholms lokaltrafik (SL). Batteribussprojektet. Slutrapport. Jan. 1985.
9. Vätgas för fordonsdrift i gruvmiljö. Arbetarskyddsfondens sammanfattning nr 608.

10. Stirlingmotorer i gruvfordon - systemstudie. Ibid nr 262.
11. Personligt meddelande från Teodor Lundmark, Boliden Mineral AB.
12. Gruvforskningen serie B nr 256, dec. 1981.
13. Bertilsson, B M et al. Avgasutsläpp från bussar och lastbilar. SNV rapport 3285 (1987).
14. Brandberg, Å. och Isaksson, K. Avgasrening för dieselmotorer i bussar. TFB-meddelande nr 60. Okt. 1988.
15. Norström, Å. et al. (Tekniska högskolan i Luleå). Emissioner från tunga dieselmotorer. Partikelfilter, litteraturstudie. Teknisk rapport 1988:26 T.
16. Naturgas som motorbränsle. STU information nr 751-1989.
17. Alcohols and Alcohol Blends as Motor Fuels. STU-information nr 580-1986.
18. Walde, N. et al. SAE paper 840367.
19. Larsson, E. (Stiftelsen Svensk Etanolutveckling). Etanoldrivna bussar. TFB-meddelande nr 86, mars 1989. Även Broschyr 1990 från Storstockholms lokaltrafik (SL) "Etanol - ett alternativ?".
20. Bertilsson, B-I. (Volvo Lastvagnar AB). SAE paper 871672. Även STU-rapport i projekt 87-1794. Provning av etanolmotor Volvo TM101G.
21. Sypher:Mueller Int., Ottawa. Diesel exhaust emissions and alcohol fuelled engines. Reports June 1990 to IEA working group on Alternative Fuels.

22. New Fuels Report, May 7, 1990, p.3.
23. Alson, J. et al (US EPA). The Motor Vehicle Emission Characteristics and Air Quality Impact of Methanol and Compressed Natural Gas. Symp. Transportation Fuels in the 1990's and beyond. Monterey, CA. July 17-19, 1988.
24. Sauerteig, J E et al (Deutz Corp., Atlanta). Assessment of a Heavy-Duty Methanol Engine for Underground Mining, SAE paper 870812.
25. Havenith, C. (KHD). Experiences with Deutz Glow Plug Assisted Methanol Engine for Transit Bus Operation. Proc. VIII Int. Symp. on Alcohol Fuels. Tokyo. Nov.13-16, 1988, p.539.
26. Kvalitetskrav på motorbränslen. Underlagrapport till LUFT'90. SNV rapport 3751. Maj 1990.
27. Brandberg, Å., Isaksson, K. Dieselbränsle för lågmissionsmotor för bussar. TFB-meddelande nr 39. Feb.1988.
28. Scania pressmeddelande N89-09-01/23. Etanolmotorer i stort upplagt fältprov med Scania stadsbussar.
29. Volvo Bussar AB pressmeddelande 1989-08-10. Cityfilter på Volvos bussar.
30. Björkman, E., Egebäck, K-E, Grägg, K. SNV rapporter 3170, 3171 och 3577.
31. Rehnberg, O. et al (Högskolan i Luleå). Katalysatorsystem för lågbelastade dieselmotorer. Teknisk rapport 1984:22T.