

INTROMET

Introduktion av metanol som drivmedel

Slutrapport

Energimyndigheten Projektnr 20679-1

Juni 2006



Göteborgs Stad
Trafikkontoret

CHALMERS



Chalmers University of Technology, Sweden

VATTENFALL



GATUBOLAGET



INNEHÅLLSFÖRTECKNING**Sida**

SAMMANFATTNING	I
1 INTRODUKTION	1
1.1 Tidigare försök med metanolbränsle.....	1
2 LITTERATURSTUDIE	3
2.1 Metodik.....	3
2.2 SAE:s databas	3
2.3 Avgränsningar	4
2.4 Översikt	4
2.4.1 Användning av metanol sett i ett större sammanhang	5
2.4.2 Äldre publikationer.....	7
2.5 Några intressanta resultat från litteraturstudien	7
2.5.1 Materialkompatibilitet.....	8
2.5.2 Motorslitage och kompatibilitet med smörjoljor	9
2.5.3 Fasseparation.....	10
2.5.4 Kallstart	10
2.5.5 Flottförsök m.m.	11
2.6 Alternativ användning av metanol.....	12
2.6.1 Direktinsprutning i otto- och dieselkoncept.....	12
2.6.2 Dissocierad metanol	13
2.6.3 Sammanfattande kommentarer om litteraturstudien	14
3 FLOTTFÖRSÖK M3E3	17
3.1 Fordon.....	19
3.2 Undersökning av korrosion	20
3.3 Analys av motorolja.....	22
3.3.1 Analysresultat:	22
3.4 Användaracceptans	23
3.5 Introduktion av M3 på allmän tankstation	23
4 EMISSIONSMÄTNING PÅ FORDON	25
4.1 Provcell och analystrustning.....	25
4.1.1 Aldehyder.....	25
4.1.2 Partikelstorleksfördelning.....	25
4.1.3 Bränslen	26
4.1.4 Provbil	26
4.1.5 Inställning av dynamometer.....	26
4.1.6 Körcykel.....	27
4.1.7 Provschema och provningsmetodik.....	28
4.2 RESULTAT.....	28
4.2.1 Bränsleförbrukning (BF).....	28

4.2.2	Energiförbrukning	30
4.2.3	Koldioxid (CO ₂)	31
4.2.4	Kolväten (HC)	32
4.2.5	Kolmonoxid (CO)	33
4.2.6	Kväveoxider (NO _x)	34
4.2.7	Formaldehyd och acetaldehyd	35
4.2.8	Partiklar - massa	36
4.2.9	Partiklar - antal och storlek	36
4.2.10	Slutsatser och diskussion	39
5	EMISSIONSMÄTNINGAR I MOTORPROVCELL	41
5.1	Provmotorer	41
5.2	Bränslen	41
5.3	Emissionsmätningar	41
5.4	Provpunkter	42
5.5	Provresultat Volvo portinsprutad	43
5.5.1	HC emissioner	43
5.5.2	CO emissioner	44
5.5.3	NO _x emissioner	46
5.5.4	Bränsleförbrukning BSFC	48
5.6	Provresultat Mitsubishi GDI	50
5.6.1	HC emissioner	50
5.6.2	CO emissioner	52
5.6.3	NO _x emissioner	53
5.6.4	BSFC	54
5.6.5	Jämförelse mellan M5 och M10	55
5.6.6	Slutsatser	60
6	INBLANDNING AV ETANOL OCH METANOL	61
6.1	Bränslespecifikationer	61
6.2	Fördelar med inblandning av både metanol och etanol	61
6.2.1	Möjliga bränsleformuleringar	62
6.2.2	Fasseparationsproblemet	63
6.2.3	Flyktighet	65
6.2.4	Kompatibilitet mellan metanol och motormaterial	67
6.2.5	Oktantalsrespons vid inblandning av alkoholer i bensin	68
7	STORSKALIG INTRODUKTION AV METANOL SOM DRIVMEDEL	71
7.1	Introduktionsstrategi	72
7.2	Distribution	73
7.2.1	Distribution av biometanol för låginblandning	73
7.2.2	Distribution av fossil metanol	74
8	SLUTSATSER	75
8.1	Emissioner	75
8.2	Fördelar med inblandning av både metanol och etanol	76

8.3	Fasseparation	76
8.3.1	Flyktighet.	77
8.3.2	Kompatibilitet mellan metanol och motormaterial.....	77
8.3.3	Körbarhet Oktantalsrespons vid inblandning av alkoholer i bensin.	77
8.4	Storskalig introduktion av metanol som drivmedel	78
8.5	Introduktionsstrategi.....	78

BILAGA 1. Bensinspecifikation enligt Miljöklass 1**BILAGA 2. Standard för metanol enligt IMPCA****BILAGA 3. Blandningstabell för bensin och matanol**

TABELLER	Sida
<i>Tabell 1. Fordon i flottförsöket. Sträcka och tankningsvolym enligt körjournaler. -----</i>	<i>19</i>
<i>Tabell 2. Provpunkter (väglaster) för samtliga blandningar -----</i>	<i>42</i>
<i>Tabell 3. Särskilda provpunkter med M5, M10 på GDI motor -----</i>	<i>42</i>
<i>Tabell 4. Provpunkter vid fullast (WOT) (lasten är riktvärden) -----</i>	<i>42</i>
<i>Tabell 5. Maximal inblandning (vikts-%) av vatten i bensin/metanol (vid 20oC) -----</i>	<i>65</i>
<i>Tabell 6. Beräknade RVP-värden för olika aktuella alkoholinblandningar i bensin. -----</i>	<i>66</i>
<i>Tabell 7. Metanol specifikation i Svenska flottförsök under 1980-talet -----</i>	<i>72</i>
<i>Tabell 8. Metanoltransporter med tankbil -----</i>	<i>74</i>

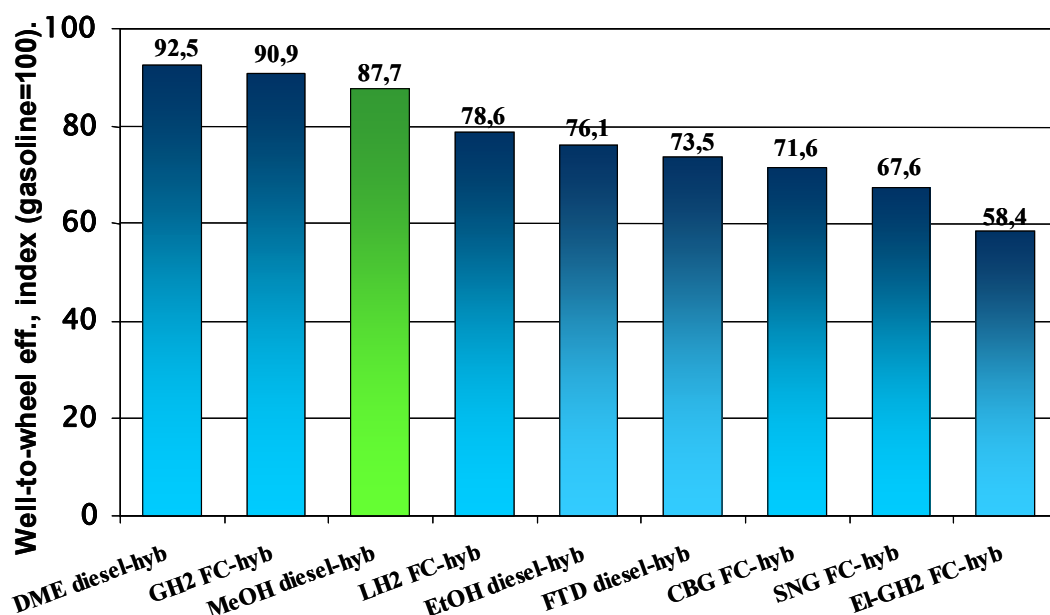
BILDER	Sida
<i>Figur 1. WTW index avseende energieffektivitet för biodrivmedel för bästa kombination av bränsle och drivlina (Ahlvik). -----</i>	<i>i</i>
<i>Figur 2. WTW index avseende energieffektivitet för biodrivmedel för bästa kombination av bränsle och drivlina (Ahlvik). -----</i>	<i>iii</i>
<i>Figur 3. Antal publikationer om metanol i SAE:s databas (1990-2003) -----</i>	<i>5</i>
<i>Figur 4. Statoils tankstation i Hjällbo, Göteborg. -----</i>	<i>17</i>
<i>Figur 5. ConVault ovanjordcistern för M3E3-bensin -----</i>	<i>18</i>
<i>Figur 6. Cistern och pump för flottförsök med M3E3-bensin -----</i>	<i>19</i>
<i>Figur 7. Foto på kolv och cylindervägg. -----</i>	<i>20</i>
<i>Figur 8. Foto på kolv. Uttagen för ventilererna syns i bildens överkant. -----</i>	<i>20</i>
<i>Figur 9. Foto på tändstiften. -----</i>	<i>21</i>
<i>Figur 10. Foto på bränslepump och filter. -----</i>	<i>21</i>
<i>Figur 11 Rullmotstånd på chassidynamometer -----</i>	<i>27</i>
<i>Figur 12. EU-körcykel -----</i>	<i>27</i>
<i>Figur 13. Total bränsleförbrukning i EU-körcykeln [liter / 100 km] -----</i>	<i>29</i>
<i>Figur 14. Total energiförbrukning i EU-körcykeln [MJ/ 100 km] -----</i>	<i>30</i>
<i>Figur 15. Emissioner av koldioxid -----</i>	<i>31</i>
<i>Figur 16. Emissioner av kolväten -----</i>	<i>32</i>
<i>Figur 17. Emissioner av kolmonoxid -----</i>	<i>33</i>

Figur 18. Emissioner av kväveoxider-----	34
Figur 19. Emissioner av formaldehyd [totalresultat NEDC]-----	35
Figur 20. Emissioner av acetaldehyd [totalresultat NEDC] -----	35
Figur 21. Emissioner av partiklar [gravimetrisk mätning]-----	36
Figur 22. Partikelkoncentration i antal/cm ³ under körcykeln. Realtidsmätning med ELPI – Electrical Low Pressure Impactor. -----	37
Figur 24. Partikelmasskoncentration i mg/m ³ under körcykeln. Realtidsmätning med ELPI – Electrical Low Pressure Impactor. -----	38
Figur 25. Partikelantal och storleksfördelning för olika halter av metanol i bensin. -----	39
Figur 26. Specifika HC emissioner före katalysator-----	43
Figur 27. Specifika HC emissioner före katalysator vid fullast (WOT) -----	44
Figur 28. Specifika CO emissioner före katalysator-----	45
Figur 29. Specifika CO emissioner fullast före katalysator(WOT) -----	45
Figur 30. Specifika NOx emissioner före katalysator -----	46
Figur 31. Specifika NOx emissioner efter katalysator vid fullast (WOT) -----	47
Figur 32. Specifik bränsleförbrukning, ej korrigerat för energivärdet-----	48
Figur 33. Specifik bränsleförbrukning korrigerat för energivärdet -----	48
Figur 33. Specifik bränsleförbrukning ej korrigerat för energivärdet -----	49
Figur 35. Specifik bränsleförbrukning korrigerat för energivärdet -----	49
Figur 35. Specifika HC emissioner före katalysator. -----	50
Figur 36. Specifika HC emissioner före katalysator vid fullast (WOT). -----	51
Figur 37. Specifika CO emission före katalysator -----	52
Figur 38. Specifika NOx emissioner före katalysator -----	53
Figur 39. Specifika NOx emissioner före katalysator vid fullast (WOT)-----	53
Figur 40. Specifik bränsleförbrukning -----	54
Figur 41. Specifik bränsleförbrukning korrigerat för energivärdet -----	54
Figur 42. Jämförelse av specifik HC emission före katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2. -----	55
Figur 43. Jämförelse av specifik HC emission efter katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2 -----	56
Figur 44. Jämförelse av specifik CO emission före katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2. -----	57
Figur 45. Jämförelse av specifik CO emission efter katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2. Kurvorna visar motsvarande lambda värden-----	57
Figur 46. Jämförelse av specifik NOx emission före katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2. -----	58
Figur 47. Jämförelse av specifik NOx emission efter katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2. Kurvorna visar motsvarande lambda värden-----	58
Figur 48. Koncentrationer före respektive efter katalysator vid 2000 rpm och 2 bar medeltryck. -----	59
Figur 49. Syre- och alkohol för blandningar mellan M3 och E5 -----	64

Sammanfattning

Introduktion

Metanol är ett av de drivmedel som kan framställas ur bioråvara, med hög verkningsgrad. Ur systemperspektiv är metanol ett av de absolut energieffektivaste biodrivmedlen (Figur 1). Metanol kan produceras ur biomassa genom termisk förgasning till sk. syntesgas och tillhör därmed ”andra generationens drivmedel”. Dessa drivmedel föreslås erhålla



utvecklingsstöd av den svenska Kommissionen mot oljeberoende, 2006, som ett viktigt led i att minska Sveriges beroende av fossil olja. Råvarupotentialen, i form av biomassa från tex skogsråvara, är stor vilket innebär att biometanol skulle kunna ersätta en stor del av dagens fossila drivmedel. Även svartlut från massaindustrin går att använda om dagens användning av svartluten kan ersättas av annan energi.

Intromet-projektet startade 2003 med stöd från Energimyndigheten. Syftet har varit att studera introduktion av metanol som drivmedel, främst genom låginblandning i bensin. I ett längre perspektiv kan metanol användas som drivmedel för bränsleceller.

Detta projekt har innefattat flottförsök, emissionsmätningar på fordon, emissionsmätningar i motorprovcell, litteraturstudier, olje- och drivmedelsanalyser.

Projektorganisation

Ecotrafic ERD ³ AB	Henrik Boding, projektledare, Peter Ahlvik, Lars Eriksson, Ralf Barkhage
ELAB	Egon Larsson
Statoil Norge AS	Sjur Haugen
Statoil Detaljhandel AB	Bjarne Lindberg, Helena Fornstedt, Einar Botten
OK-Q8 AB	Per-Martin Roos
Chalmers tekniska högskola	Ingemar Denbratt
Trafikkontoret i Göteborg	Anders Roth
Gatubolaget i Göteborg	Christoffer Widegren
Identic AB	Sylvid Källberg
Vattenfall Utveckling AB	Clas Ekström, Per Holmberg
Konsultfirma Peter Schmidt	Peter Schmidt

Slutsatser

En inblandning av metanol i bensen är praktiskt möjligt idag. Europastandarden för bensen tillåter upp till 3% inblandning av metanol och emissioner och körbarhet påverkas ej. En bättre blandning är att utöver 3% metanol även tillsätta 3% etanol, totalt 6% alkohol, vilket också ryms inom bensinstandardens ramar och denna blandning fungerar också bra i praktiken vilket flottförsöket i detta projekt visat. Produktion av biometanol bör stimuleras parallellt med att bränslespecifikationerna ses över i syfte att tillåta högre halter av metanol. Metanol har snarlika egenskaper med etanol och en samintroduktion av dessa bränslen bör uppmuntras. Förslagsvis kan specifikationen för E85 och E10 bensen utökas med en väsentlig del metanol för att utöka marknaden för biometanol. Dagens etanolbilar bör i framtiden även klara M85 eller en betydande andel metanol.

Inverkan på emissionerna är inte mätbara för en alkoholinblandning upp till 5% men med högre inblandningar kan alkoholernas påverkan registreras, även om de är små. Partikelkoncentrationen (antal/volymsenhet) i avgaserna påverkas ej av metanolhalten i bensen men däremot minskar partikelmassan med ökande metanolhalt

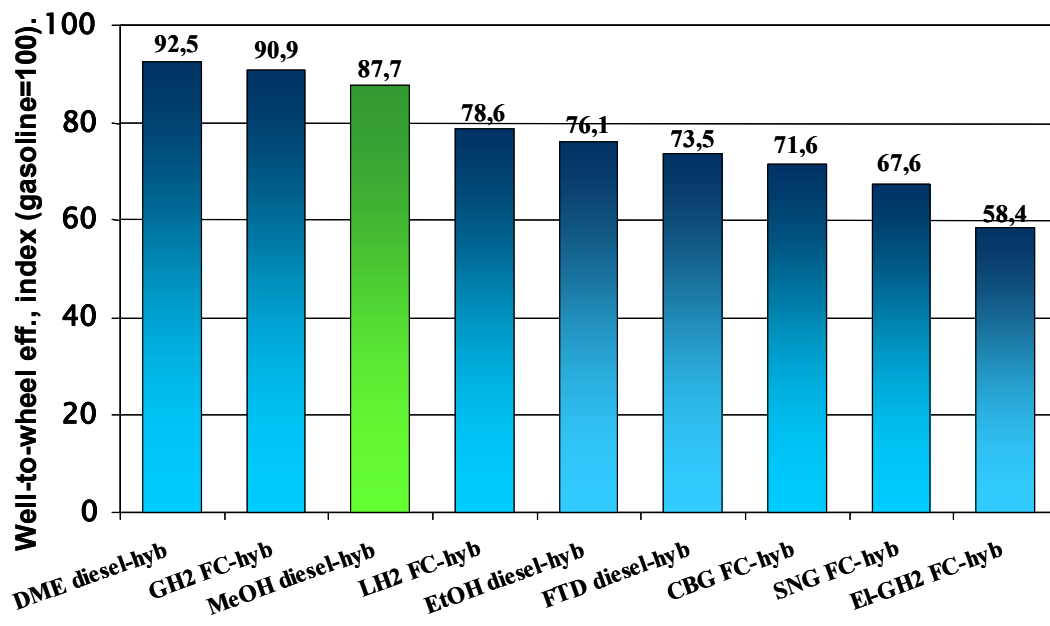
Alkoholer har många goda egenskaper som drivmedel och metanol fungerar som drivmedel i både otto- och dieselmotorer och i framtiden även bränsleceller och nya koncept som tex HCCI-motorer. Detta innebär att det finns avsättning för framtida produktion av biometanol genom termisk förgasning av biomassa eller svartlut men också för fossil metanol som kan motiveras av försörjningsskäl.

Metanol är en av de vanligaste handelskemikalierna världen över med en årlig förbrukning på ca 35 miljoner ton, och dess egenskaper är väl kända. Ett argument som ofta förs mot metanolen är dess giftighet. En åtgärd vid metanolintag är att dricka etanol och en blandning av etanol och metanol bör därför reducera risken för metanolförgiftning. Det finns i dag också effektiva motgift mot metanolförgiftning på marknaden. I en bensinblandning är emellertid risken för metanolförgiftning liten eftersom bensen i sig självt inte inbjuder till att dricka. Om ren metanol i framtiden introduceras som drivmedel finns redan idag slutna tankningssystem utvecklade i Sverige.

SUMMARY

Introduction

Methanol is one of the automotive fuels that can be produced from biomass with high energy-efficiency. In a system perspective, methanol is one of the most energy effective biofuels (see the figure below). Methanol can be produced from biomass through gasification to synthesis gas, and is one of the "second generation biofuels". These fuels are proposed by the Swedish Commission on Oil Independence 2006, to be granted support for development as one important pathway to reduce the Swedish dependence on fossil oil. The raw material potential, e.g. woody biomass is sufficient to replace fossil fuels to a large extent. Even black liquor from the pulp and paper industry could be used if the use today could be replaced by other energy sources.



The Intromet project started in 2003 with financial support from the Swedish Energy Agency. The purpose has been to study the introduction of methanol as an automotive fuel, mainly by low level blending in petrol. In a longer perspective methanol can be increasingly used as a fuel for fuel cells.

This project has included a fleet test, emission measurements on vehicles and on engines in test cells, as well as literature surveys, oil and fuel analyses.

Conclusions

An introduction of methanol as a low-level blending component in petrol is practically feasible today. The European fuel standard allows a blending level of up to 3% by volume, in petrol and the driveability is not affected. The standard also allows a blending of 3% ethanol together with 3% methanol. This blend works well in practice as shown in this project. An alcohol blend of up to 5% has negligible impact on emission levels but above this alcohol level, the impact is shown even though it is small. The particle concentration (numbers/volume) in the exhaust gases are not affected by the methanol content but the particle mass decreases with increased amount of methanol.

This implies that there is a market for biomethanol today as automotive fuel, produced by thermal gasification of biomass. The use of fossil methanol from natural gas could also be justified in terms of the need for security of energy supply.

Biomethanol production should be stimulated in parallel with adjustment of fuel specifications to allow higher content of methanol. Methanol has similar characteristics as ethanol and a co-introduction of these two kinds of alcohols should be supported. As a suggestion, the specification for E85 could be extended with a considerable part of methanol to increase the market for biomethanol. The Fuel-Flexible Vehicles running on ethanol today should also be prepared for use of M85 as well, or at least, a considerable part of methanol in the fuel.

One often used argument against methanol as a motor fuel is its toxicity. However, one measure to be taken in case of methanol intake is to drink ethanol. This should mean that a mixture of ethanol and methanol would reasonably be less dangerous to humans and lower the risk of methanol poisoning. There are also good antidotes available on the market. Methanol blended petrol involves a low risk of poisoning since petrol is not very appetizing. Methanol is a worldwide available commodity on the market today and it is well known how to handle it in a safe way. Spill free fuelling systems are already available.

Alcohols have many good properties as fuels and methanol is a good fuel for otto- and diesel engines and in the future also for fuel cells and new concepts as HCCI-engines.

1 INTRODUKTION

1.1 Tidigare försök med metanolbränsle.

Att alkoholer kan användas som motordrivmedel har varit känt sedan länge. Redan för årtionden sedan har alkoholhaltiga drivmedel för fordon förekommit i industriländerna. Tidigare var dock de krav som kunde ställas från motortillverkarnas sida på kompatibilitet mellan drivmedel och motor tämligen beskedliga, medan det idag ställs högre krav. Särskilt är det stegrade krav på motoreffekt, ekonomi, körbarhet och miljö, som har gjort det nödvändigt att genomföra intensifierade ansträngningar att genom forskning och utveckling på drivmedelsområdet föra fram alternativen för storskalig insats på marknaden. Detta har varit särskilt påtagligt sedan 1970-talets oljekriser.

Alltsedan nämnda oljekriser har således flera motortillverkare kunnat ställa olika prototyper till förfogande för provningsverksamhet, och ett första storförsök med ett blandbränsle mellan metanol och bensin i proportionerna 15/85 (så kallat M15-bränsle) genomfördes i Tyskland med 45 fordon redan 1975/76. Ungefär samtidigt och något senare genomfördes ett stort M15 projekt med inte mindre än 1000 fordon i Sverige i regi av företaget Svensk Metanolutveckling AB ("SMAB"). Dessa försök genomfördes framgångsrikt. Samtidigt genomfördes också försök med metanol som dieselbränsle i nyttofordon, bl a också i Sverige. Något senare under 1980/90-talen tillkom försök med ren metanol som drivmedel för personbilar i t ex Sverige och Tyskland. Projektet i Sverige genomfördes för 100 bilar. Man löste en serie viktiga problem i och med sådana fältförsök, såsom problem beträffande materialkompatibilitet och bränsleoptimering, varvid oljeindustri, fordonstillverkare, tillbehörsindustri samt kemiindustri genomförde egna forsknings- och utvecklingsprogram i tät samverkan med varandra. Inte minst viktigt var det att genomföra försök under extrema temperaturbetingelser, varvid deltog, förutom Tyskland och Sverige, arbetsgrupper från Brasilien, Italien, Kanada, Nya Zeeland, Nederländerna, Sydafrika och USA.

Intromet projektets syfte är att undersöka möjligheten att ersätta en mindre del av fossil bensin på drivmedelsmarknaden med metanol. Drivkrafterna för detta är:

1. Försörjningstrygghet. Fossil olja blir alltmer svårtillgänglig vilket innebär ökat oljepris och osäker tillförsel.
2. Klimatpåverkan. Sambandet mellan ökade halter av växthusgaser och jordens temperaturökning är starkt och enligt Kyotoprotokollet ska utsläppen av fossil CO₂ minska till nivåer under 1990 års nivå.
3. Jord- och skogsbruk. Dessa sektorer ser en marknad i att kunna leverera råvara till drivmedelsframställning. Dessa sektorer är starka politiska pådrivare i både Europa och USA.

2 LITTERATURSTUDIE

En litteraturstudie ansågs viktig i projektet eftersom aktiviteterna i Sverige inom området de senaste två decennierna varit mer eller mindre obefintliga. Under en period på 1980-talet var metanol i Sverige det mest intressanta alternativa drivmedlet. Utveckling och flottförsök bedrevs bl.a. i företaget SMAB:s (Svensk Metanolutveckling AB) regi. SMAB ägdes till att börja med gemensamt av svenska staten och Volvo. Efter att intresset initialt varit stort för metanol kom dock utvecklingen i slutet av 80-talet och början av 90-talet att koncentreras på andra drivmedel som t.ex. etanol, naturgas och biogas.

En intressant sammanställning av hur förutsättningarna för olika alternativa drivmedel varierat under perioden mellan 1974 och 2004 har gjorts i en rapport av CTH [1].

2.1 Metodik

Den litteraturstudie som genomförts här gör inte anspråk på att vara fullständig. Som jämförelse kan nämnas att en litteraturstudie för en teknisk/vetenskaplig avhandling i princip kräver att all relevant litteratur inom området går igenom. Detta förutsätter sökningar i en mängd olika databaser (eller användning av sökmotorer som hämtar data från flertalet andra databaser) för att man inte skall missa någon relevant litteratur. I det här fallet har författarna koncentrerat sig på en tämligen enkel metod, nämligen att använda SAE:s databas (se beskrivning nedan). Syftet har varit att ta reda på om det finns någon litteratur av specifik nytta för Intromet projektet samt att i någon mån sätta låginblandning av metanol i bensin i ett större sammanhang där även andra alternativ diskuteras kort.

I de preliminära sökningarna i SAE:s databas som utfördes i slutet av 2003 och början av 2004 visade det sig att det totala antalet referenser var så pass litet att någon avgränsning med hjälp av olika sökord och sökbegrepp utöver "methanol" inte behövde göras. Risken för att missa en publikation minskar därmed till nära noll medan arbetet med att gå igenom titlar och "abstracts" förstås ökar. Användningen av sökord blir begränsad till titlar, abstracts och de nyckelord (index terms) som SAE anger eftersom GMD databasen inte medger någon fritextsökning. Trots det verkar sannolikheten vara liten för att en rapport som behandlar metanol inte skulle nämna det i rapportens "abstract"..

2.2 SAE:s databas

Ecotrafic prenumererar sedan många år tillbaka på SAE:s databas GMD (Global Mobility Database). Databasen finns i två versioner: en på CD-ROM och en Internetbaserad. Ecotrafic använder den senare varianten eftersom den uppdateras mer frekvent än den förra (månatligen i stället för en gång per år).

SAE GMD databasen innehåller över 120 000 referenser; de äldsta daterade redan 1906. Utöver bibliografiska data och liknande uppgifter för publikationerna innehåller databasen även sammanfattningar (förutom i undantagsfall, som för de allra äldsta referenserna). Förutom SAE:s egna publikationer har också material från SAE:s systerorganisationer och liknande organisationer samlats.

Exempel på publikationer är "technical papers", standarder, direktiv, tidskrifter, rapporter m.m. Förutom från USA kommer litteraturen från ett flertal andra viktiga länder som t.ex. Japan, Tyskland, Italien, Storbritannien, Schweiz, Frankrike, Korea, Kanada m.fl. Det vanligast förekommande språket bland referenserna i GMD databasen är engelska men

även publikationer på en mängd andra språk finns tillgängliga. Översättningar görs inte av SAE annat än på beställning. Sammanfattningarna är som regel tillgängliga på engelska, även för de publikationer som bara finns tillgängliga på andra språk än engelska. SAE säljer förutom sina egna publikationer även en del publikationer (kopior) från övriga organisationer men i en del fall hänvisas man till den organisation som ursprungligen publicerat materialet.

2.3 Avgränsningar

Användning av metanol i andra sektorer än väg- och järnvägstransporter har inte beaktats. Samlingsdokument av typen "SAE Special Publications" (SP) innehåller ett flertal SAE rapporter och räknas inte med i den statistik som redovisas nedan då de enskilda publikationerna redan omfattar detta material. Rapporter som fokuserat på användningen av metanol i andra alternativa motorer än bränsleceller, t.ex. gasturbiner stirlingmotorer och ångmotorer, har inte beaktats då sådana motorer är av begränsat intresse i dag.

I och med att litteratursökningen och litteratursammanställningen inom Intrometprojektet utfördes i början av 2004 är det främst litteratur fram till och med detta datum som studerats. I något fall har enstaka senare publikationer behandlats nedan som komplettering till det arbete som gjordes 2004 men någon regelrätt genomgång av alla publikationer har inte utförts.

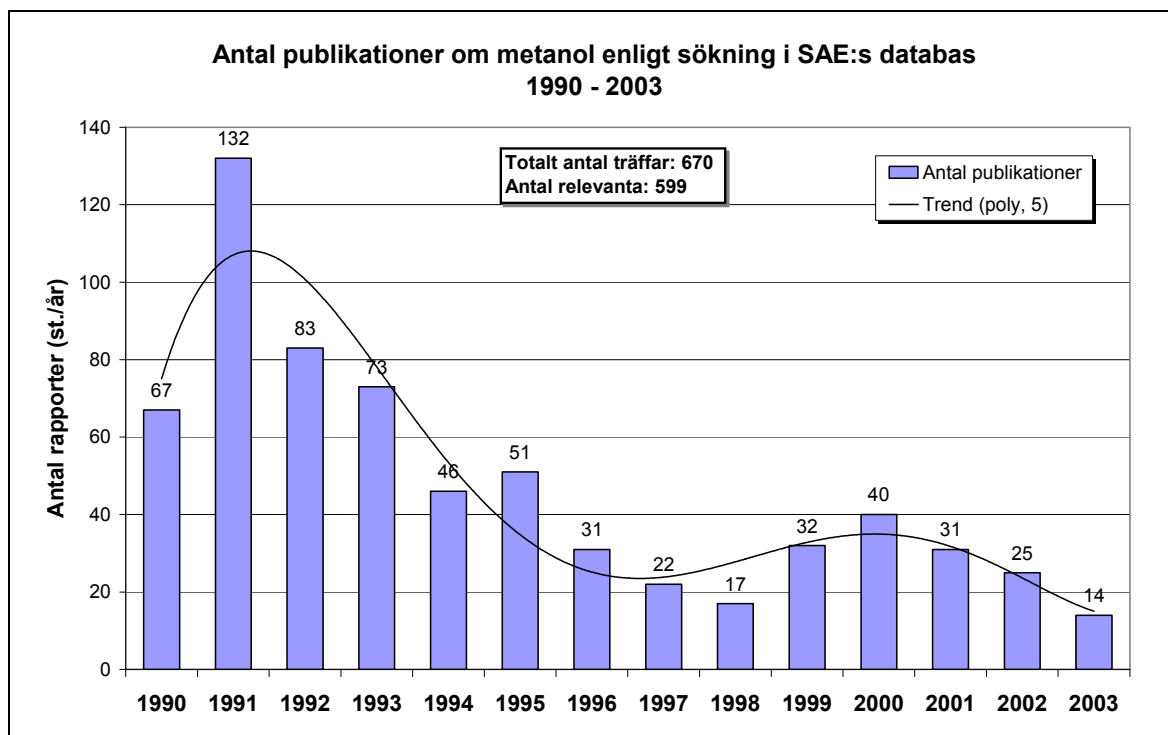
2.4 Översikt

Av förståeliga skäl är intresset för nyare publikationer (90-talet och senare) som regel störst. Likväl kan man konstatera att det tidigare ofta förekommit perioder då det publicerats betydligt mer material om metanol än som genomsnitt under en längre period. En indelning i det studerade materialet har gjorts. Den första perioden omfattar publikationer fram till 1990 och den senare 1990 och senare. En sortering av materialet har gjorts för att ta bort träffar som inte är relevanta för området. Följande resultat erhöles:

- Före 1990: 341 träffar, varav 318 relevanta
- 1990 och senare (fram till SAE Kongressen i mars 2004): 670 träffar, varav 599 relevanta

Totalt erhöles alltså 1011 träffar, varav 917 ansågs ha åtminstone lite relevans för området. Som nämnts ovan utfördes litteratursökningen 2004. I några enstaka fall har publikationer av senare datum också behandlats nedan. För tydlighetens skull bör nämnas att dessa publikationer dock inte ingår i materialet ovan.

I Figur 3 visas en plottning av antalet referenser mellan 1990 och 2003. För 2004 finns av förståeliga skäl inte några referenser med eftersom året ännu inte hade löpt ut när litteratursammanställningen gjordes. Under 2004 – som egentligen bara omfattade en enda stor konferens fram till det datum litteratursökningen gjordes, nämligen SAE Kongressen – hittades bara två publikationer.



Figur 3. Antal publikationer om metanol i SAE:s databas (1990-2003)

I figuren syns en tydlig topp för antalet publikationer i början av 90-talet. Den uppgång som syns kring sekelskiftet kan hänföras till ett ökat intresse för användning av metanol i bränslecellfordon. Av någon anledning synes detta intresse ha minskat under de senaste åren. I stället har intresset för bränsleceller koncentrerats på vätgas som drivmedel även om man också i detta fall kan skönja en viss avmattning¹.

2.4.1 Användning av metanol sett i ett större sammanhang

Alkoholer användes redan i början av 1900-talet i förbränningsmotorer och speciellt etanol har i kristider (t.ex. under de båda världskrigen) ofta använts i form av låginblandning. I dag är etanol det i särklass största biodrivmedlet världen över. De största marknaderna för etanolanvändning är Brasilien och USA. Även i dessa fall dominerar låginblandning.

Gengas användes t.ex. i Sverige under andra världskriget i förhållandevis stor skala (~75 000 fordon²) men röner i dag föga intresse. LPG (motorgas) är ett drivmedel som vunnit ganska stor spridning världen över. Någon väsentlig ökning är inte att förvänta då tillgången på LPG är begränsad och konkurrens med användning i andra sektorer (t.ex. matlagning och industri) finns. Intresset för naturgas (CNG) som drivmedel är ökande men den användningen är fortfarande väsentligt lägre än för etanol och LPG. På de marknader där tillgången på naturgas är ringa eller obefintlig förekommer användning av biogas. Dock kan man konstatera att användningen av biogas utanför Sverige är förhållandevis ringa och definitivt gäller det om jämförelsen görs mellan naturgas och biogas.

¹ Under en period för några år sedan var också bensen och nafta av intresse men svårigheterna att reformera dessa drivmedel har också resulterat i ett minskat intresse. Senare har visst intresse noterats för reformering av dieselolja och bensen för användning i bränsleceller till elgenerering (APU) i fordonet.

² Som kuriositet kan nämnas att dagens användning av så kallade "miljöbilar" är mycket lägre. Exempelvis var antalet miljöbilar som drivs med etanol (den största delmängden av miljöbilar), knappt 8 000 under 2003, bara drygt en tiondel av antalet gengasbilar i Sverige i slutet av andra världskriget. Under 2005 och 2006 har dock försäljningen av miljöbilar ökat kraftigt.

Metanol är en av de tre största kemikalier som hanteras världen över. Den primära användningen är således som råvara för kemisk/teknisk industri. De metanolproducenter som producerar metanol som kemisk/teknisk råvara har inga direkta intressen i drivmedelsproduktion och distribution. Över decennierna har motiven för ett intresse för metanol som drivmedel för fordon varierat. Metanol kan sägas vara ett av de första ”nya” alternativa drivmedel som kom till användning under 80-talet. Åren efter 70-talets energikriser var fokuseringen störst på energiförsörjning. Därför var den fossila råvara som då fanns tillgänglig, företrädesvis naturgas och kol, av primärt intresse. Andra motiv för metanol under 70- och 80-talet var en minskning av avgasemissionerna. Sedermera när det visat sig att man lyckats åstadkomma mycket låga emissionsnivåer med bensen (först) och (senare också) med dieselolja har det motivet mer eller mindre försvunnit.

Sedan den period i slutet av 80- och början av 90-talet då intresset för användning av ”ren” metanol var som störst i USA har man sedermera koncentrerat sig på att använda metanol som råvara för MTBE (metyl tertiär butyleter). Drivkraften till användningen av MTBE var en minskning av avgasemissionerna och framförallt då de hälsofarliga emissionerna (air toxics) och den ozonbildning som avgaserna (i kombination med solljus och NO_x i det senare fallet) ger upphov till. MTBE har den fördelen jämfört med ren metanol att den kan blandas in utan förändring av basbensinen eller användning av tillsatser för att minska riskerna för fassparation. MTBE är mer lösligt i vatten än bensen och för några år sedan kunde man konstatera bl.a. i USA att flertalet vattentäkter förorenats av MTBE. Att åtgärda det verkliga problemet, dvs. de läckande tankarna, har knappt diskuterats som ett konkret alternativ, utan i stället har diskussioner om ett förbud av MTBE förts. Detta har sedermera lett till att MTBE numera är förbjudet i ett antal delstater och måste fasas ut. Detta gäller t.ex. den folkrikaste delstaten Kalifornien. Där kommer MTBE att ersättas med etanol. Det är ännu ej helt fastlagt att användningen av etanol kan ge den positiva inverkan på avgasemissionerna som visats för MTBE. Kraftigt ökade förångningsemissioner har konstaterats genom den ökade permeabilitet i polymerer och elastomerer som inblandning av etanol medför och en del oljeindustrier motsätter sig därför låginblandning av etanol [2]. En utfasning av MTBE har diskuterats i flera länder i Europa men ännu har inget land utom Danmark anammat denna strategi. EU har i ett officiellt dokument tagit ställning till användning av MTBE i bensen och förespråkar inget förbud [3]. EU har också låtit göra en riskuppskattning för MTBE [4]. I Sverige finns en produktionskapacitet på ca 50 000 ton MTBE och totalt användes under 2002 ca dubbelt så mycket MTBE. Endast i något enstaka fall har kontamination av grundvatten med MTBE kunnat påvisas i Sverige. Användningen av MTBE i Sverige har minskat kraftigt när på senare tid låginblandning av etanol i stor skala har införts. Denna inblandning görs dels av ekonomiska skäl (skattebefrielse), dels i syfte att uppfylla EU:s så kallade ”biodrivmedelsdirektiv” som föreslår ett (ej bindande) mål på 5,75 % för substitutionen (på energibas) av bensen och dieselolja till 2010. I flera europeiska länder har ETBE kommit till användning i stället för MTBE. Anledningen här är densamma som för etanolinblandning, nämligen att substituera bensen med en icke-fossil drivmedelskomponent. Emedan det tillåtna ångtrycket dock är lägre i länder nere på kontinenten än i Sverige och övriga nordiska länder utom Danmark, är inblandning av etanol svårare än inblandning av ETBE. Låginblandningen av etanol ökar ångtrycket kraftigt medan ETBE inte har någon nämnvärd inverkan.

Efter den period under 80- och början av 90-talet då intresset för metanol var som störst har intresset dalat. Bland fordonsindustri och oljebolag är intresset i dag som regel mycket ringa. I de fall som metanol de senaste åren rönt intresse har det varit som drivmedel för fordon med bränsleceller.

2.4.2 Äldre publikationer

Den allra första SAE rapporten från 1967 inom området [5] behandlar metanol som drivmedel för bränslecellfordon – ett i dag synnerligen aktuellt ämne. Rapporten fick dock få efterföljare under de närmaste två decennierna. Först i slutet av 90-talet och i innevarande decennium har intresset för bränsleceller tagit fart på allvar. En viss ökning av intresset för metanol kan skönjas som följd av denna utveckling.

Under de 5 första åren under 70-talet (1970-1974) publicerades totalt bara 10 SAE rapporter om metanol, dvs. i medeltal 2 per år, men 1975 publicerades hela 12 rapporter. Det lär knappast vara något sammanträffande att denna ökning skedde strax efter den första oljekrisen 1973, med hänsyn taget till den ”eftersläpning” på 1-2 år som brukar vara fallet innan en ”yttre” faktor av detta slag kan påverka antalet publikationer [3]. Efter ”toppåret” 1975 sjönk åter antalet publikationer och låg under resten av decenniet på i medeltal 6 publikationer per år (totalt 24 för 1976-1979).

Som kuriosas kan nämnas att en SAE rapport publicerades 1981 beskriver den så kallade ”Mobil processen” för att framställa bensin från metanol [6]. Bensin av hög kvalitet kan framställas från metanol över en katalysator av ZSM-5 (zeolit). Detta är ett alternativ till Fischer-Tropsch metoden men har de senaste åren inte uppmärksammats lika mycket som den sistnämnda metoden.

2.5 Några intressanta resultat från litteraturstudien

Som nämnt tidigare gör denna litteraturstudie inte anspråk på att vara på något sätt heltäckande. Det innebär också att all litteratur inte beskrivs eller refereras till i texten. I stället har ett urval av intressanta rapporter gjorts. Litteraturen har sorterats in efter några olika problemområden i underrubriker i detta avsnitt (2.5). För att i någon mån visa på annan användning av metanol som drivmedel och för att sätta in låginblandning av metanol i ett större sammanhang har också ett antal publikationer som behandlar områden som ligger utanför nämnda område kommenterats. Detta behandlas under avsnitt 2.6 nedan.

De problemområden som har anknytning till låginblandning av metanol i bensin som valts för indelningen i underrubriker nedan är:

Materialkompatibilitet

Motorslitage och kompatibilitet med smörjolja

Fasseparation

Kallstarter

Flottförsök mm.

Den sista rubriken handlar egentligen inte om något specifikt problemområde utan refererar till några av de flottförsök som genomförts inom området.

³ Det tar mer än ett halvår mellan ”call for papers” till SAE och publikation. Om man dessutom förutsätter att underlaget för publikationen tar ett halvt till ett år att generera erhålls en total minimiperiod på ca 1-1,5 år innan ”systemet” reagerar. Detta stämmer ganska bra med den observerade ”fördröjningen” mellan oljekrisen 1973 och SAE Kongressen 1975.

2.5.1 Materialkompatibilitet

Med materialkompatibilitet avses här dels korrosion av metaller, dels påverkan på polymerer och elastomerer.

Kompatibiliteten med elastomerer och polymerer vid olika inblandningshalter av etanol och metanol i (högaromatisk) bensin undersöktes redan 1980 i studier av GM [7] och Du Pont [8]. Vid samma koncentrationer (10 till 100%) gav metanol i den sistnämnda studien en *ökad svällning av materialen jämfört med etanol*. Elastomerer som syntetiskt gummi (fluorkolväte gummi, Engelska: fluorohydrocarbon resin) uppvisade den bästa resistansen. De flesta studier av materialkompatibilitet har handlat om M85 eller M100. Betydligt färre studier finns med låginblandning av metanol.

I en SAE rapport från 1992 görs en genomgång av materialval och konstruktion av tankningsstationer för metanol [9]. En stor del av rapporten koncentreras på materialkompatibilitet. En mycket omfattande manual för metanoltankstationer har tagits fram av Acurex på uppdrag av CEC (California Energy Commission) [10]. Sammanfattningsvis kan konstateras att det finns en väl dokumenterad kunskap på det här området.

Det har ofta ansetts att metanol är mer korrosivt än etanol. Emellertid visade Norman Brinkman på GM i en studie att E85 var mer korrosiv än M85 genom en högre löslighet för korrosiva föreningar [11]. Korrosiva föreningar som sulfater är kända för att initiera galvanisk korrosion. För att galvanisk korrosion skall uppstå krävs följande: anod, katod, elektrolyt och en elektrisk kontakt. Elektrolyten är i det här fallet E85 eller M85. Metallerna i bränslesystemet utgör anod respektive katod. En kraftig ökning av korrosionen uppmättes av Brinkman för bränslen med högre halt av sulfater.

Inom SAE har en standard (SAE J1681) för testning av materialkompatibilitet utarbetats. När standarden kom var metanol/bensin blandningar i fokus men i en senare utgåva av standarden behandlas de flesta flytande drivmedel [12]. Olika testbränslen som skall representera ”värsta” fall har tagits fram. För att representera låginblandning används en blandning innehållande 85 % kolväten och 15 % metanol. Metanol har valts i stället för etanol eftersom den anses mer aggressiv än etanol. För att ytterligare öka aggressiviteten har tillsatser av vatten, salt och myrsyra gjorts i noga specificerade koncentrationer. För att testa material för en världsomspännande generell användning i bränslesystem till bensin- och dieselmotorer krävs tester med fyra olika testbränslen. Ett av dem är nämnda variant innehållande 15 % metanol, en annan innehåller 15 % MTBE och de två övriga är olika varianter av kolväten med korrosiva tillsatser. Man kan även tillägga material till bränslesystem i bilar som exempelvis skall köras på E85 och M85 måste genomgå fler tester. Här måste förutom 85 % alkohol även blandningar med alkoholhalter på 15 % och 30 % alkohol testas, liksom även kombinationer innehållande MTBE.

Man borde kunna utgå ifrån att bränslesystemen i moderna bilar har material som genomgått de tester som specificeras i SAE J1681. En inblandningshalt på 3 % som tolereras enligt EU:s specifikation borde därför inte bereda några problem. Även om en viss säkerhetsmarginal i förhållande till det testbränsle som används enligt ovan (15 % metanol) torde vara önskvärd borde rimligtvis högre halter än 3 % metanol kunna tolereras.

En fråga som kommit upp på senare år i och med att bl.a. Kalifornien fasat ut inblandning av MTBE till förmån för etanol är att genomsläppligheten (permeabiliteten) för polymerer och elastomerer ökar vid inblandning av alkoholer [13, 14]. Denna egenskap omfattas inte direkt av den ovan diskuterade SAE J1681 standarden. Tester har visat en betydligt högre permeabilitet när etanol blandas i bensin jämfört med standardbensin [15]. Detta resulterar i kraftigt förhöjda förångningsemissioner vid praktisk drift. Inverkan ökar med ökande

temperatur, något som är speciellt viktigt i Kalifornien men som naturligtvis inte har samma betydelse i Sverige. Notera att det inte bara är fråga om utsläpp av etanol utan att även lättare kolväten ”följer med” etanolen. MTBE som ju etanolen ersätter har inte samma kraftiga inverkan på permeabiliteten. I den ovannämnda rapporten har inte metanol undersökts men i flera rapporter nämns att metanol har en ännu högre permeabilitet än etanol. Det är förståeligt eftersom metanolkokylen är mindre än etanolkokylen och därför lättare penetrerar genom polymerer och elastomerer. Det finns naturligtvis material som har mindre genomsläpplighet än de vanliga materialen i bränslesystemet till bensinbilar. Materialen som används i E85 och M85 bilar i USA är självfallet av denna typ eftersom de bilarna måste klara samma krav på förångningsemissioner som bensindrivna bilar. Det är också troligt att E85 bilar producerade i EU också har bättre material även om dessa i dag inte behöver certifieras (och genomgå efterkontroll) med E85 som bränsle (dock med bensin). Problemet med låginblandning är att bilar avsedda för bensindrift inte har material som ”tål” högre inblandning av alkoholer utan att permeabiliteten ökar drastiskt. Att bygga om gamla bilar är inte realistiskt och att anpassa alla nya bilar till en betydligt högre inblandning är heller knappast realistiskt. Det finns därför en rimlig gräns för hur hög alkoholinblandning sådana bilar klarar med hänsyn till förångningsemissionerna. Gränsen kan ligga lägre än vad motorn och motorstyrningen egentligen tål. Kanske ligger denna praktiska gräns för etanol så pass lågt som 10 % och för metanol sannolikt lägre. En ökad inblandning av etanol upp till just 10 % diskuteras för närvarande inom EU. Den gräns på 3 % som finns för metanol kommer sannolikt att behållas [16].

2.5.2 Motorslitage och kompatibilitet med smörjolja

Den korrosion som beskrevs i avsnittet ovan hänger till stor del samman med det ökade slitaget i metanoldrivna ottomotorer som beskrivs i många publikationer. Mest undersökt är M85 men i en del fall förekommer även M100. Några undersökningar av motorslitage vid låginblandning av metanol har inte hittats i litteratursökningen.

Inverkan på slitaget med metanol som bränsle dokumenterades i en SAE rapport från SwRI på en Ford 2,3 liters motor [17]. Metanol minskade visserligen uppbyggnaden av beläggningar men ökade slitaget kraftigt jämfört med bensin. Slitageproblemet diskuterades sedermera i ett flertal publikationer från samma tidsperiod [18, 19]. Ryan m.fl. visade t.ex. att de förbränningsprodukter som myrsyra reagerar med järnet i cylinderfodret [18]. Metanol i flytande form i förbränningsrummet spelar också en stor roll.

Naegeli visade i en studie att en film av flytande metanol som antänds på en polerad stålplatta producerar distinkt rost [20]. Vid förbränning av metanol bildas mindre mängder myrsyra, formaldehyd och dioxymetylenperoxid som oxidationsprodukter. En del av dessa ämnen löses i den vätskeformiga filmen. Myrsyra identifierades som den främsta orsaken till initieringen av rost.

I en studie av Toyota konfirmerades resultaten från flera andra studier som pekat på inverkan av temperaturen på korrosionen [21]. Vid högre temperaturer på kylvätska och olja än 70°C var förslitningen med metanol snarlik den för oblyad bensin. Författarna till rapporten konstaterar också att slitaget kan reduceras genom tätare oljebytesintervaller, genom att använda specialolja och med ytbehandling av motordelar.

En annan viktig faktor som konstaterades av Baisley och Edwards var att korrosionshastigheten är starkt beroende av hur bränsle-luft prepareringen sker [19]. Med en bra atomisering och förångning minskar korrosionen. Med förgasare ökar slitaget oerhört.

I ett fältprov av staten New York har motorslitaget dokumenterats för fyra M85 drivna Ford Taurus och fyra bensindrivna bilar ur en kontrollgrupp [22]. Oljeanalyserna av innehåll av järn visade en initialt hög förslitning för alla bilar när de var nya, som sedan minskade när bilarna väl var inkörda. Slitaget av järn var dock genomgående något högre för de M85 drivna bilarna. Orsaken tros vara att metanolen tvättar bort oljefilmen från cylinderväggarna. Även för aluminium noterades något högre värden för M85 men de ansågs inte utgöra någon anledning till oro vad gäller motorernas livslängd.

Inverkan av olika smörjoljor och alternativa formuleringar har studerats i ett antal rapporter. Några av de tidigaste studierna härrör från 80-talet [23, 24], [25]. I en rapport av senare datum (1993) har ett laboratorietest använts för att utvärdera motoroljor för FFV bilar [26]. Slitaget ökar desto längre oljan använts.

Som nämnts ovan finns inte särskilt många publikationer om motorslitaget med M15 eller E15. Ett undantag är dock en rapport från Finland som beskriver resultaten från fyra Talbot Horizon som körts på E15 i över 20 000 km [27]. Ett kraftigt ökat slitage noterades, särskilt i så kallad ”stop and go” trafik. Nödvändigheten av att bränslen och oljor matchas påpekades. Man kan notera att denna rapport är gammal och att den motorteknik och de oljor som användes då skiljer sig kraftigt från det vi har i dag. Det är inte säkert att resultaten är överförbara till de förutsättningar man har i dag. Det finns ändå skäl att uppmärksamma att det i kallt klimat finns risk för ökat motorslitage även med lägre inblandningshalter av alkoholer.

2.5.3 Fasseparation

Fasseparation av metanol/bensinblandningar kan inträffa om vattenhalten är för hög. Risken för separation ökar vid minskande temperatur. Fasseparation undersöktes redan tidigt när metanol blev aktuellt som motorbränsle och ett flertal studier om detta problem finns publicerade [28, 29, 30].

Eftersom intresset för användning av metanol i form av låginblandning minskat kraftigt efter 80-talet, finns relativt få nya publikationer. En studie publicerad i Journal of Automotive Engineering under 2005 kan dock vara värd att nämna [31]. Effekterna av användning av etanol som hjälplösningsmedel (co-solvent) till metanol studerades. För ”M10” användes halterna 8,5 %_{vol} av metanol och 1,5 %_{vol} av etanol. För ”M25” var halterna 19 respektive 6 %. Genom tillsatsen av etanol löstes problemen med fasseparation.

Det kan nämnas att fasseparation också nämns i ett antal av de övriga publikationer som citeras i denna sammanställning.

2.5.4 Kallstart

Någon väsentlig (mätbar) inverkan på motorns kallstartförmåga kan inte förväntas vid så låga inblandningshalter av metanol i bensin som 3 %. Dock är det välkänt att detta problem är påtagligt vid högre inblandningshalter. Följaktligen behandlar många referenser detta problem. Som tidigare konstaterats är en lösning att låta bilen starta på bensin. Denna metod användes redan i M 100 programmet i Sverige [34]. I en senare rapport har Volvo och Cosworth Engineering studerat ett lite modernare koncept på samma tema [32]. Ett system med två olika drivmedel är dock knappast praktiskt för en bredare introduktion utan andra lösningar måste hittas.

Problemet vid kallstart är egentligen direkt förknippat med den bränsle-luft preparering som förekommer i ottomotorer. Generellt har ju även bensindrivna ottomotorer liknande problem med bränsle-luft prepareringen vid kallstarter. Emellertid förvärrar alkoholernas annorlunda fysikaliska egenskaper jämfört med bensin problemet. Olika metoder att

förbättra kallstartegenskaperna har undersökts. Man kan också notera att den inre bränsle-luft preparering med mycket höga insprutningstryck som används i dieselmotorer har väsentligt bättre egenskaper vid kallstart utifrån denna aspekt (alltså bränsle-luft prepareringen). Följaktligen är det ej förvånande att goda kallstartegenskaper ända ned till -29°C har kunnat åstadkommas med direktinsprutning av metanol [33]. Noteras bör att testcellen som användes av GM Research Labs vid försöken i nämnda rapport inte klarade en lägre testtemperatur än så. Utan tvekan vore detta alltså en fullt gångbar lösning på problemet med kallstarter. I och med övergången till direktinsprutning för bensindrivna motorer kommer tekniken att finnas tillgänglig i framtiden. Det bör dock poängteras att den första generationen av insprutningssystem direktinsprutning av bensen *inte* ger en så fin atomisering av bränslet som man skulle önska. Den andra generation av insprutningssystem, som introduceras under hösten 2006 av bl.a. BMW och Mercedes, torde innebära en väsentlig förbättring på denna punkt.

Dieselmotorer till personbilar är i dag uteslutande utrustade med direktinsprutning. Under slutet av 80-talet och början av 90-talet utvecklades två prototypmotorer för drift med M100 av utvecklingsföretagen AVL och FEV (i samarbete med VW). Tester med kallstart av båda motortyperna finns dokumenterade. Kallstart ända ner till -29°C har demonstrerats, vilket är mycket bättre än vad dagens E85 bilar klarar. Utvecklingen av motorerna beskrivs mer i detalj i avsnitt (2.6.1).

2.5.5 Flottförsök m.m.

Två svenska flottförsök inom området utfördes på 80-talet, det ena med M15 och det andra med M100 som drivmedel. M15 projektet omfattade 1 000 bilar och 19 pumpar. Båda flottförsöken kan betecknas som tämligen ”ospektakulära”, dvs. inga större driftsproblem förelåg. Exempelvis fanns inga problem med den ovan beskrivna fasseparationen i M15 flottförsöket. Den teknisknivå som fanns i bilarna i båda projekten – speciellt i M15 projektet – måste dock betecknas som föråldrad med dagens mått och värdet av erfarenheterna är därför inte så stort i dag.

De svenska erfarenheterna från det så kallade ”M 100” projektet finns dokumenterade i en rapport från STU⁴ (Styrelsen för Teknisk Utveckling) [34]. Fältprovet pågick i över två år och omfattade 22 bilar från 7 olika tillverkare. Den bil som i fältprovet kört längst avverkade 85 000 km. Kallstartproblematiken var en egenskap hos metanol som uppmärksammades speciellt genom de ovanligt kalla vintrarna 84/85 och 85/86. De flesta bilarna hade ett system för att starta på bensen och kunde därför klara samma temperaturnivå (-30°C) för kallstarter som bensindrivna bilar. Endast en av bilarna var utrustad med insprutningssystem och så kallad trevägskatalysator. Inspektioner av motorerna visade att de metanoldrivna motorerna generellt var renare än motsvarande bensindrivna motorer. Desto mindre bensen som användes vid kallstart, desto renare var motorerna. Flertalet av motorerna, och speciellt då från de två svenska tillverkarna som hade utvecklats under kortare tid än de flesta andra bilarna, uppvisade ett ökat slitage jämfört med normala bensindrivna bilar. Slitaget kunde direkt relateras till driftsförhållandena (antalet kallstarter, m.m.). Kortare oljebytesintervaller (7 500 km) än normalt användes. De oljor som var speciellt anpassade var bättre än standardoljor men det nämndes i rapporten att de fortfarande inte var fullt anpassade för metanoldrift.

⁴ STU kom sedermera att ingå i NUTEK efter sammanslagning med dåvarande Energiverket (STEV) och Industriverket (SIND). Efter NUTEK:s uppdelning i flera myndigheter (Energimyndigheten och Vinnova), respektive sammanslagning mellan dessa och verksamheter från KFB, kan Vinnova och Energimyndigheten i dag sägas ha den roll som STU hade.

Två tidiga ”svenska” rapporter från SMAB⁵ (Svenska metanolutveckling AB) kan också vara av intresse att nämna. I den första rapporten undersöktes emissionerna av polycykliska organiska föreningar, PNA (alternativa benämningar är PAH eller PAC), med metanol, bensin och blandningar av metanol och bensin som drivmedel [35]. Inga konsekventa skillnader mellan de två bränslena och blandningar mellan dem kunde konstateras. PNA som inte finns i drivmedlen kunde hittas i avgaserna. Den andra rapporten från SMAB behandlade främst metanol och bensinblandningar [36]. Att man koncentrerade sig på detta alternativ i stället för användning av metanol i ren form berodde på att strategin på den tiden var först att introducera metanol i form av låginblandning. Något väsentligt skäl till annan strategi finns knappast i dag heller.

2.6 Alternativ användning av metanol

Ovan har inblandning av metanol i bensin, både i form av låginblandning och högre halter (M85) diskuterats. Låginblandning i bensin är sannolikt den bästa och mest kostnadseffektiva vägen att snabbt introducera ett drivmedel på marknaden. Bränsleflexibla bilar (M85) är ett annat koncept av intresse under en övergångsperiod. På längre sikt kan andra koncept vara av intresse. Även om det ligger utanför ramarna för denna studie kan det vara av intresse att kort beröra några av alternativen. Detta eftersom de kan ge en fingervisning om lösningen på några av de problem som har diskuterats ovan.

2.6.1 Direktinsprutning i otto- och dieselkoncept

Direktinsprutning är främst intressant eftersom det kan lösa kallstartproblemet. Det är också troligt att problemet med förslitning kan minskas kraftigt. Detta gäller för ottomotorer under förutsättning att insprutningstekniken kan utvecklas.

En intressant SAE rapport från 1980 behandlar tester med ren metanol och blandningar av metanol och bensin i en direktinsprutad Ford ”Proco” motor [37]. Det kan först vara på sin plats med lite bakgrundsinformation. Proco motorkonceptet (Proco: PROgrammed COMbustion) utvecklades av Ford i slutet av 70-talet och början av 80-talet som ett svar på kraven att minska bränsleförbrukningen från personbilarna. De övriga två stora amerikanska tillverkarna satsade då på dieselmotorer i personbilar – en strategi som senare övergavs. Fords Proco motor kom aldrig i produktion då det fanns en hel del tekniska problem med konceptet. Bl.a. fanns då inte insprutningsutrustning tillgänglig med den flexibilitet som moderna direktinsprutningskoncept kräver. För att ändå uppmärksamma hur pass långt framme Ford var på den tiden kan man notera att den nivå av NO_x emissioner som uppnåddes låg på ungefär samma nivå som för den första ”moderna” direktinsprutade motorn från Mitsubishi. Det sistnämnda resultatet uppnåddes dock mer än 15 år senare (1997) och dessutom med hjälp av en NO_x reducerande katalysator. Testerna med metanol i Proco motorn var framgångsrika. En relativt låg känslighet för ångtryck, god bränsleekonomi, låga emissioner och god körbarhet för blandningar av metanol och bensin såväl som för ren metanol (M100). Testerna utfördes med en modifierad insprutningspump som anpassats till metanol.

Relativt nyligen har konceptet med direktinsprutning av metanol i förhållande till bensin undersökts vid Universitetet i Zwickau [38, 39]. Försöken – som genomförts i en insprutningsrigg – har visat vissa fördelar för metanol jämfört med bensin vid

⁵ SMAB var föregångare till SDAB (Svensk Drivmedelsteknik AB). Som kuriosa kan nämnas att några av de personer som var anställda i bolaget sedermera skulle bli engagerade i Ecotrafic, Nykomb Synergetics och Chemrec.

direktinsprutning på grund av de fysikaliska egenskaperna⁶. Inga försök på motor var ännu kända när denna litteratursökning gjordes.

Två koncept med direktinsprutade dieselmotorer drivna med M100 för personbilar utvecklades på 1990-talet av utvecklingsföretagen AVL [40, 41, 42] och FEV [43, 44, 45, 46]. AVL motorn baserades på en 2,3-liters Opel direktinsprutad prototyp som uppenbarligen aldrig kom i produktion. FEV motorn baserades på en 1,9-liters VW TDI motor och utvecklades i samarbete med VW. Båda motorerna använde glödstift och kunde därför använda M100 som drivmedel. Olika kompressionsförhållanden mellan 15,5:1 och 23,5:1 testades med glödstift som tändhjälp och ända upp till 26/27:1 testades med kompressionständning. De slutliga utförandena av motorerna fick i båda fallen kompressionsförhållanden något högre än för dieselbränsle. Nästan lika hög verkningsgrad som med dieselbränsle erhöles i båda fallen. Emissionsnivåerna var, med beaktande av att detta åstadkommits redan för ca 15 år sedan, imponerande. FEV motorn testades även i oberoende tester av amerikanska EPA. Som lägst nåddes en NO_x nivå på 0,1 g/km, dvs. nästan i nivå med moderna bensindrivna bilar med trevägskatalysator. Emissionerna av formaldehyd, ett känt problem på metanoldrivna motorer, kunde med katalysator reduceras till en nivå av några milligram. Omsättningen i katalysatorn på bilen från FEV låg då på ca 96 %. Kallstart ner till -20°C (AVL) och -29°C (FEV) demonstrerades. En ganska lång period av förglödning med glödstiftet krävdes dock för att motorerna skulle starta vid denna temperatur. Ingen av de nämnda motorerna nådde produktionsstatus. Sannolikt var orsaken till detta att intresset för metanol kraftigt minskade i början av 90-talet. En annan bidragande orsak kan vara att alkoholdrivna direktinsprutade dieselmotorer inte kan göras bränsleflexibla. Detta är en avgörande nackdel under en introduktionsfas av ett drivmedel.

2.6.2 Dissocierad metanol

En av de första rapporterna som behandlar dissocierad metanol kommer från Jet Propulsion Laboratory (JPL) [47]. Genom att använda avgasvärme över en katalysator kan metanolen dissocieras i CO och H₂. Detta ökar energiinnehållet i förhållande till ren metanol. Genom att denna energi tas från avgaserna brukar konceptet ibland kallas "bottoming cycle" på engelska. Forskning inom området bedrevs också på KTH i Sverige på 80-talet och fram till början av 90-talet. Se t.ex. Lars Petterssons doktorsavhandling för en översikt av den forskning som utförts i Sverige [48].

Ångreforming av metanol är ett liknande sätt att öka energiinnehållet för bränslet [49]. I detta fall görs en vatten-gas skift för att konvertera CO till CO₂ och H₂O till H₂. Detta är för övrigt också den process som används för att framställa vätgas för användning i bränsleceller. I förhållande till dissociation "förloras" lite energi men å andra sidan kanske det kan kompenseras av att vätgasen har mer gynnsamma egenskaper än den blandning av CO och H₂ som erhålls vid dissociation.

Dissociation och ångreforming är två processer som är mycket svåra att utnyttja för andra drivmedel än metanol ombord på fordonet. DME har liknande förutsättningar men de är inte lika grundligt undersökta. Genom att processerna för metanol (och DME) sker vid låga temperaturer till skillnad från förhållandet för kolväten (bensin, diesel, CNG, etc.) finns som sagt var möjligheten att öka energiinnehållet. Detta kan inte göras på ett praktiskt sätt för några andra drivmedel än metanol och DME. Det är något förvånande att de unika möjligheter till verkningsgradsförbättring som finns inte undersökts mer i detalj.

⁶ Notera det omvända, dvs. att bensin fungerar bättre än metanol vid kallstart med konventionell insprutning i inloppsröret, jämfört med vad den nämnda referensen indikerar.

2.6.3 Sammanfattande kommentarer om litteraturstudien

Inom Intromet-projektet har inte medel funnits för någon regelrätt litteraturstudie i den omfattning som man normalt förknippar med begreppet. Därför har relativt få rapporter behandlats här. Några intressanta kommentarer kring den litteratur som trots allt gått igenom har sammanställts nedan.

Materialkompatibilitet har ofta framförts som ett stort problem för metanol. Genomgången av litteraturen har dock visat att detta problem är välkänt och att det finns många olika materialkandidater som kan användas. Den standard för testning av material som utarbetats, SAE J1681, borde, om den tillämpas av fordonsindustrin och dess underleverantörer, vara fullt tillräcklig för att säkerställa att låginblandning av metanol inte skall ge några problem med materialkompatibilitet. Testerna utförs nämligen med inblandning av 15 % metanol och därmed borde tillräcklig marginal till den inblandning på 3 % som i dag är tillåten finnas. Även när det gäller tankningsutrustning finns en omfattande dokumentation kring hur sådana anläggningar skall byggas och vilka material som kan användas. Följer man dessa rekommendationer borde problem kunna undvikas även här. Man kan också notera att ångåterföring både enligt steg I och steg II använts i USA. Detta är inte fallet för E85 stationerna i Sverige, vilket kan tyckas något anmärkningsvärt.

Ökat motorslitage har konstaterats i ett flertal studier, främst med högre halter metanol (M85 och M100). Värst verkar problemet vara för gamla förgasarbilar. Mekanismerna för förslitningen tycks vara tämligen väl kartlagda. En intressant väg att minska slitaget vore om bränsle-luft prepareringen kunde förbättras. Denna förbättring har redan skett till viss del för bensindrivna bilar under de nära två decennier som katalytisk avgasrening använts. Den körcykel som används i EU i dag börjar med en tomgångsperiod på 11 sekunder. Många nya bilar kan i dag redan uppnå stökiometrisk reglering samt t.o.m. tända katalysatorn under denna period. Det är därför givet att en avsevärd förbättring av bränsle-luft prepareringen bör ha skett vid kallstart under den nämnda tidsperioden. Kanske är denna förbättring inte lika dramatisk vid kallstart vid lägre temperaturer men även här finns förbättringar eftersom krav på emissioner vid -7°C införts i EU. Tester med modifierade smörjoljor finns dokumenterade och säkert kan bättre oljor minska slitaget. Problemet för bränsleflexibla bilar är dock att man helst vill använda samma olja både om man kör på bensen eller alkohol. Slitageproblematiken gäller som bekant för högre inblandningshalter av metanol. I en rapport finns högre förslitning dokumenterad även för bilar drivna med E15. Här var det dock fråga om förgasarbilar, vilket torde vara största orsaken till problemen. Med så låga inblandningshalter som 3 % och i moderna bilar bör förslitningsproblemet vara ringa eller obefintligt men det finns ändå skäl att undersöka det.

Fasseparation har undersökts i många studier. Lösningen på det problemet verkar vara inblandning av högre alkoholer, t.ex. etanol, och en kontroll på att distributionsproblemet hålls torrt.

Kallstart är en akilleshäl för alkoholdrivna ottomotorer där några egentliga lösningar ännu inte kommersialiserats. Dock finns mängder av tänkbara lösningar, varav direktinsprutning torde vara den mest intressanta eftersom den också för med sig en del andra fördelar. Vid låginblandning torde inte kallstart utgöra något större problem. Här saknas också studier.

Slutligen kan en jämförelse som gjordes mellan olika gasformiga drivmedel för ottomotorer i en amerikansk studie vara värd att kommentera [50]. Från sammanfattningen i rapporten har följande utdrag gjorts:

Gaseous fuels can allow increased efficiency of spark-ignition Otto Cycle internal combustion engines during

warm-up at the expense of reduced specific power output. Neat methanol allows increased fuel efficiency and specific power output and is easier to incorporate into a transportation vehicle. Gaseous fuels are best suited to stationary combustion systems served by pipelines. Liquid fuels are better suited to use in transportation; alternative liquid fuels should be developed with transportation use in mind.

Trots att intresset för gasformiga drivmedel är större i dag – och sådana svängningar av intresset är inte ovanliga – kan man hävda att slutsatserna enligt ovan fortfarande står sig i dag. Svängningarna i intresse mellan olika drivmedel beror ofta på helt andra faktorer än grundläggande tekniska egenskaper.

3 FLOTTFÖRSÖK M3E3

I Göteborg genomfördes ett flottförsök 2005-2006 med 10 fordon som körde på en blandning av 3% metanol, 3% etanol och resten bensin, M3E3. Ursprungligen var det tänkt att bara köra på M3 men vid projektstart var det svårt att få tag på bensin för 95 oktan utan etanolinblandning. Dessutom finns ett krav på att stabilisator ska tillsättas bensinen om metanol används som inblandningskomponent och etanol har en sådan effekt. Det gjordes också bedömningen att det finns fördelar att introducera metanol tillsammans med etanol. Etanol och metanol har i många avseenden liknande egenskaper men också skillnader. Etanol har funnits som drivmedel på marknaden både som låginblandning och som E85 för FFV-bilar (trots att det inte funnits lagrum för detta) och blivit allmänt accepterat. Intresset för metanol var stort under 1980-talet ur energiförsörjningssynpunkt och flera flottförsök gjordes. Intresset minskade sedan när oljepriset sjönk och istället kom etanol i fokus men med dess positiva inverkan på emissionerna på dåtidens bilar utan katalysatorer.

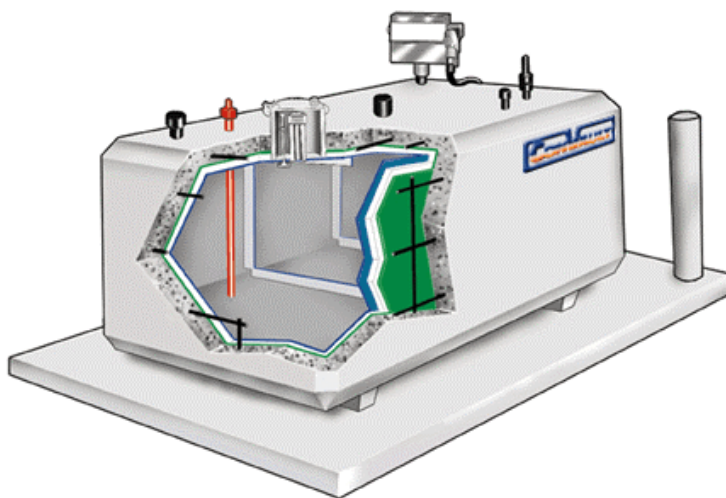
Göteborgs stad genom Trafikkontoret och Gatubolaget ställde upp med bilar och Statoil gjorde i ordning ett tankställe på stationen i Hjällbo i Göteborg. Under planeringen av placeringen av tankstället fanns flera olika alternativa lokaliseringar men det tog tid att finna en placering där alla krav kunde uppfyllas.

- Det skulle ligga nära område där Göteborgs stads fordon opererade
- Det skulle finnas möjlighet att ha en särskild cistern för M3E3-bensinen
- Tankningarna i försöket skulle redovisas separat
- Endast bilar i flottförsöket skulle ha rätt att tanka initialt
- Lokaliseringen måste vara godkänd för hantering av klass-1 vara för att få hanterings-tillstånd
- Det måste gå att komma till med tankbil för påfyllning



Figur 4. Statoils tankstation i Hjällbo, Göteborg.

Arbetet med att finna lämplig placering tog längre tid än beräknat vilket bidrog till att flottförsöket blev försenat.



Figur 5. ConVault ovanjordcistern för M3E3-bensin

Ett annat problem var att hitta en lämplig cistern för drivmedlet. Ingen av de föreslagna tankstationerna hade möjlighet att upplåta en befintlig cistern. Identic AB hjälpte till med att hitta lämplig tankningsutrustning och via företaget Däldehög fick man tag i en cistern som var godkänd för hantering av klass-1 vara ovan jord (Figur 5 & Figur 6). Cisternen var en rektangulär betongkonstruktion med mycket hög säkerhetsklassning. Statoil lät Däldehög ta fram ritningar på placering av cisternen, pumputrustning samt kringut-

rustning som tex belysning.

Stationen i Hjällbo utsågs som den mest lämpliga och tillfälligt bygglov och hanteringstillstånd söktes.

Under tiden som arbetet med lokalisering av tankstation pågick gjorde Statoil i ordning en blandningscistern på deras anläggning vid Oljenäset i Göteborg. Anläggningen används inte i någon större utsträckning idag så en befintlig cistern kunde användas för blandning av bensinen för flottförsöket. Det krävdes dock en komplettering av en tryck/vacuumventil. Denna lösning medgavs efter en dispensansökan hos Naturvårdsverket. På Oljenäset blandades 25 m³ M3E3 bensin som skulle motsvara behovet under flottförsöket. Hänsyn togs även till behov för sköljning av tankar och ledningar samt att den sista volymen inte kan tas upp på normalt sätt. Bensinen kunde hämtas från OKQ8 i Halmstad som hade möjlighet att tillhandahålla rätt bensinkvalitet med endast 3% etanol.

Ångtrycket i bensin i Sverige varierar mellan sommar och vinter. I vinterbensin får ångtrycket vara max 95 kPa och i sommarbensin 70 kPa. Det högre ångtrycket vintertid förbättrar kallstartsegenskaperna men sommartid blir utsläppen av flyktiga kolväten för stor pga av avdunstning och därför är ångtrycksgränsen lägre på sommaren. I södra Europa är gränsen ännu lägre. För att klara sommargränsen användes basbensin med sommarkvalitet. Den blev inte tillgänglig förrän i april (2005) vilket medförde viss fördröjning. När bensinen slutligen levererades till Oljenäset tillsattes metanolen. Därefter kördes bensinen ut till stationen i Hjällbo vars cistern rymde 6 m³.

Att få till ett tankställe var betydligt mer tidskrävande än vad som planerats i projektet. Många parter var inblandade, bygglov och hanteringstillstånd/dispens krävdes, ombyggnad av cisternen i Oljenäset, cistern för drivmedlet, det var inte lätt att få tag i rätt basbensin etc. Till detta kom att flera personer inom Statoil som var involverade i projektet bytte arbetsuppgifter internt vilket är sådant som händer under långa projekt.



Figur 6. Cistern och pump för flottförsök med M3E3-bensin

3.1 Fordon

Fordonen tillhandahölls av Gatubolaget i Göteborg och används av Hemsjukvården. Som framgår av Tabell 1 var det 6 st Toyota Yaris, 3 st Renault Clio och 1 st VW Golf som ingick i flottförsöket. Försöket startade inte förrän efter sommaren 2005 pga att service utförs under sommarmånaderna och därför var det ingen idé att starta före sommaren. Dessutom körs bilarna under sommaren till största delen av sommarvikarier. I just detta område byttes några bilar ut varför de nya bilarna togs i drift senare under hösten. På motsvarande sätt togs några bilar ur drift under våren pga av ålder. Leasingavtalets längd överskreds i några fall för att få så lång tid som möjligt i flottförsöket.

Tabell 1. Fordon i flottförsöket. Sträcka och tankningsvolym enligt körjournaler.

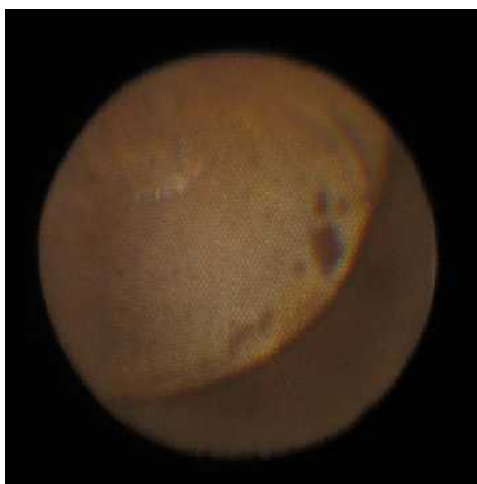
Bilmodell	Reg nr	Km före	Datum	Km Efter	Datum	Sträcka km	Liter	Förbrukn L/10 km
Toyota Yaris	UPE 225	22269	2005-09-20	29295	2006-04-27	7026	499	0,71
Toyota Yaris	WUU 011	3857	2005-09-23	12104	2006-04-25	8247	546	0,66
Renault Clio	UAA 194	16933	2005-09-13	21719	2006-04-18	4786	377	0,79
Renault Clio	UAA 193	37421	2005-09-30	45653	2006-04-23	8232	534	0,65
Renault Clio	TZY 164	18994	2005-09-12	23187	2006-05-24	4193	299	0,71
Toyota Yaris Verso	UXL 403	8754	2005-09-20	16279	2006-04-21	7525	373	0,50

Bilmodell	Reg nr	Km före	Datum	Km Efter	Datum	Sträcka km	Liter	Förbrukn L/10 km
Toyota Yaris	WXZ 858	802	2005-11-08	4302	2006-04-26	3500	259	0,74
Toyota Yaris	WYT 735	1168	2005-11-08	5108	2006-05-01	3940	286	0,72
Toyota Yaris	WYT 740 ⁷	1168		5108		3940	286	0,72
VW Golf	WYL 879	1085	2005-11-03	5276	2006-04-18	4191	400	0,96
					Summa:	55580	3859	

3.2 Undersökning av korrosion

En motorinspektion efter flottförsöket genomfördes på en av provbilarna för att undersöka om korrosion eller annan påverkan av M3E3-bensinen förekommit. Inspektionen gjordes 2006-05-29 på Gatubolagets verkstad i Göteborg med assistans av mekaniker. Det är främst korrosion på metalldelar och inverkan på packningsmaterial och plaster som det kan finnas risk för när alkoholer och i synnerhet metanol används.

Fordonet, en Toyota Yaris med registreringsnummer UPE 225, miljöklass 2005 (Euro IV), hade vid inspektionstillfället totalt rullat 30 000 km varav 7 000 km på M3E3-bensin.



Figur 7. Foto på kolv och cylindervägg.



Figur 8. Foto på kolv. Uttagen för ventilerna syns i bildens överkant.

Cylindrarna inspekterades med endoskop via tändstiftshålen och bränslepumpen monterades bort från tanken och monterades ner i mindre enheter. Ingen åverkan kunde noteras vare sig i cylindrarna eller på bränslepumpen. Cylinderrummet var rent och snyggt.

⁷ Körjournal för detta fordon saknas. Samma uppgifter som för WYT 735 har antagits.

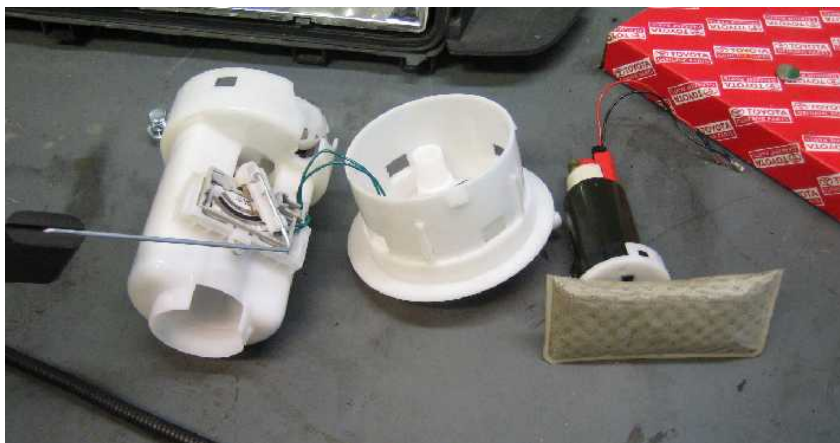
Några mörka fläckar kunde noteras på främst den vänstra kolven som troligtvis är sot. Som jämförelse inspekterades en annan Toyota Yaris som ej varit med i flottförsöket och alltså kört på 95-oktanig standardbensin med 5% etanol. Detta fordon var nyare med kortare körsträcka och något renare i cylinderrummet men i övrigt lika utseende som försöksbilen.

Tändstiften såg också helt normala ut (Figur 9). Verkstadspersonalen bekräftade att allt såg normalt ut.



Figur 9. Foto på tändstiften.

Något separat bränslefilter finns ej på bilen utan endast det filter som sitter i tanken före bränslepumpen. Detta filter var helt rent (Figur 10).



Figur 10. Foto på bränslepump och filter.

3.3 Analys av motorolja

För att studera inverkan på motoroljorna gjorde OKQ8 analyser av motoroljor på 5 bilar, före respektive efter flottförsöket. I samband med service sommaren 2005 togs oljeprover från 6 st bilar innan oljan byttes. Fordonen i flottförsöket hade alla utom en, ny olja före försöket. Proverna efter försöket togs under april 2006. En av de 6 bilarna var inte tillgänglig då så prov togs från 5 bilar. Samtliga bilar varmkördes före provtagningen, och oljan sögs ut från "mittenskiktet". Oljan som togs före flottförsöket analyserades under vintern 2006 och hade alltså stått ett tag men analyserna visade inga tecken på oljorna skulle ha påverkats av detta.

3.3.1 Analysresultat:

1. Oljeprovorna visade att alla bilar är körda med ett körmönster som innehåller korta körsträckor (höga värden på bränslespädning/oxidation/nitrering).
2. Det är tuffare att vara bilmotor på vintern än på sommaren. Alla prover från april (i slutet på flottförsöket) hade högre bränsleutspädning än sommarproverna (före flottförsöket) vilket var förväntat. Utspädningen blir högre på vintern när starterna är kallare. Dessutom kokar bensinen bort lättare vid varm väderlek så den eventuella spädning som fanns och kom från vintern/våren 2005 försvann under sommaren/hösten samma år.
3. Alla prover efter försöket var ur oljesynpunkt i sämre skick än före av ovanstående skäl. Det är bränslespädningen som driver på oxidation/nitrering.
4. Alla prover efter försöket uppvisade högre nivåer av slitagepartiklar vilket blir en följd av bränslespädning samt många kallstarter. Bensin smörjer ej samt tunnar ut oljan.
5. Vatten binds i oljan och ökar normalt under vintern med alla kallstarter. Men vattenhalterna i aprilproverna var lägre än förväntat och en förklaring skulle kunna vara att alkoholen binder vattnet i oljan och drar ut det ur oljan.
6. Mängden kisel ("Si") var mycket höga på Toyota Yaris och normala på Renault Clio. Det indikerar att Renault har effektivare luftfilter. Däremot uppvisade inte Toyotabilarna högre halter av slitagepartiklar vilket skulle kunna bli följden av sämre luftfiltrering.
7. Det fanns inga rester av alkoholer och hade inte heller förväntat det eftersom de normalt kokar bort vid motorns driftstemperatur.
8. Alla aprilprover hade nått eller skulle snart nå sin maximala livslängd. Bilarna behövde snart byta olja. Oljorna var utslitna men det fanns dock inget tecken på att det var alkoholens fel utan snarare de korta körningarna med kall motor.

I stort sett var resultaten av oljeprovorna normala och förväntade. Oxidationen/nitreringen var större än förväntat men det betyder inte att det var något fel och utspädningen är hög. Orsaken var nog det sätt på vilket dessa bilar körts med många korta körningar under vintertid. Körjournalerna visade i vissa fall körsträckor på ett par km.

Det gick inte att se att alkoholinblandningen skulle ha haft någon negativ inverkan på oljan.

3.4 Användaracceptans

I slutet av flottförsöket genomfördes en enkätundersökning hos de förare som kört fordonen i flottförsöket. Resultatet blev att förarna inte upplevt någon skillnad mellan vanlig bensin och M3E3. Frågorna tog upp praktiska frågor (tankning och journalföring), drift (motorgång, bränsleförbrukning, driftsäkerhet, motoreffekt) samt det samlade intrycket. Många upplevde att tankningen fungerat bättre än normalt tack vare att de sluppit köer på tankstationen men denna fördel kan naturligtvis inte tillskrivas M3E3-drivmedlet.

3.5 Introduktion av M3 på allmän tankstation

Försöket visar att det är fullt möjligt att öppna upp för allmän användning av 3% inblandning av metanol i bensin. Anpassningen av distributionssystemen för etanol har underlättat detta och användningen av etanol i bensinen har gjort distributionssystemen vattenfria. Försöket visar också att det finns teknik för att ovan jord hantera drivmedel för otto-motorer och att man inte är hänvisad till nedgrävda cisterner. I detta försök tilläts endast fordonen i flottförsöket att tanka den metanolhaltiga bensinen eftersom den bensin som användes under flottförsöket inte fullt levde upp till standardspecifikationen för Mk1-sommarbensin. Ångtrycket låg på ca 74 kPa med max tillåten gräns på 70 kPa för sommarkvalitet och syrehalten låg på 2,9% med en maxgräns för både sommar- och vinterkvalitet på 2,7%. Detta har inte haft någon praktisk betydelse för flottförsöket men för allmän användning måste bensinen uppfylla gällande specifikationer.

4 EMISSIONSMÄTNING PÅ FORDON

I projektet har avgasutsläppen från en bil körd på 5 olika blandningar av metanol och bensin analyserats (0, 5, 10, 15 samt 20 vol-% metanol i etanolfri bensin). Proverna har utförts på en chassidynamometer (rullande landsväg) och i enlighet med europaprovcykeln. Totalt utfördes 10 prov (2 per bränsle). Som provbil användes en Renault Clio av 2002 års modell.

4.1 Provcell och analystrustning

Samtliga prov har utförts i provcell 4 på AVL MTC i Jordbro söder om Stockholm (tidigare Bilprovningens Motortestcenter).

Proverna har utförts vid en omgivningstemperatur av ca 22 °C. Cellen är utrustad med en chassidynamometer av typ Clayton DC 500 (rullande landsväg). Avgaser har före de analyserats späts ut med luft i en utspädningstunnel, CVS (Constant Volume Sampling). Genom att använda en venturi erhöles ett konstant flöde på 9 m³/min i tunneln.

Avgaser har efter att de insamlats analyserats i analysatorer av fabrikat Horiba (9000-system)

Avgaskomponent Mätprincip

HC	FID (Flame Ionisation Detector)
CO	NDIR (Non-Dispersive Infrared Analyser)
CO ₂	NDIR (Non-Dispersive Infrared Analyser)
NO _x	CLA (Chemiluminescence Analyser)
Partikelmassa	Partiklar har insamlats på teflonbehandlade glasfiberfilter av typen Pallflex T60A20

Bränsleförbrukning har beräknats enligt ”kolbalansmetoden”, dvs genom att räkna in alla kolatomer från mätningar av de kolinnehållande avgaskomponenterna (HC, CO och CO₂) kan bränsleförbrukningen beräknas (under förutsättning att bränsleparametrar är kända).

4.1.1 Aldehyder

Under provningarna har förekomsten av acet- och formaldehyd analyserats. Vid dessa provtagningar har utspädda avgaser sugits igenom speciella provrör där eventuella aldehyder adsorberas. Provrören har sedan analyserats på ett externt och för ändamålet ackrediterat laboratorium.

4.1.2 Partikelstorleksfördelning

Partiklarnas antal och storleksfördelning har analyserats med en ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) från Dekati Oy. Partiklarna laddas positivt i en laddare och sorteras därefter i 12 steg beroende på partiklarnas aerodynamiska diameter. De 12 impaktorstegen i ELPI är fördelade mellan 30 nm och 10 µm och med en tilläggsutrustning innehållande ett filtersteg (absolutfilter) mäts partiklar mellan 7 nm och 30 nm. Partiklarna ”lämnar” ifrån sig sin positiva laddning när de sorterats in i aktuellt steg. På detta sätt kan man elektriskt ”räkna” hur många partiklar det finns i varje storleksintervall. ELPI har en tidsupplösning på 1 Hz.

4.1.3 Bränslen

Vid provningarna har 5 olika metanolinblandningar i etanolfri bensin används, 0, 3, 10, 15 och 20 volymprocent. I Bilaga 3 redovisas kemiska och fysikaliska data för olika blandningsförhållanden av metanol och etanolfri bensin. Bensin och metanol tillhandahålls av Statoil och de olika bränsleblandningarna i försöket blandades på plats. Bensinen levererades i fat innehållande en mycket grumlig bottensats bestående av vatten och rost vilket gjorde att inte allt av bensinen kunde användas. (Små mängder vatten i bensin leder ovillkorligen till att metanol löser sig i detta vatten och bildar en bottenfraktion).

4.1.4 Provbil

Fabrikat	Renault
Modell	Clio 1.4
Årsmodell	2002
Registreringsnummer	TEM 413
Tjänstevikt	
Körsträcka	~ 15.000 km
Växellåda	4-växlad automat
Motoreffekt	72 kW
Miljöklass	Miljöklass 2005, motsvarande Euro IV

4.1.5 Inställning av dynamometer

Rullmotståndet (F) som använts vid chassidynamometerprovningarna redovisas i Figur 11 nedan. Motståndskurvan är ett polynom av andra graden.

$$F = F_0 + F_1 * v + F_2 * v^2 \quad \text{där}$$

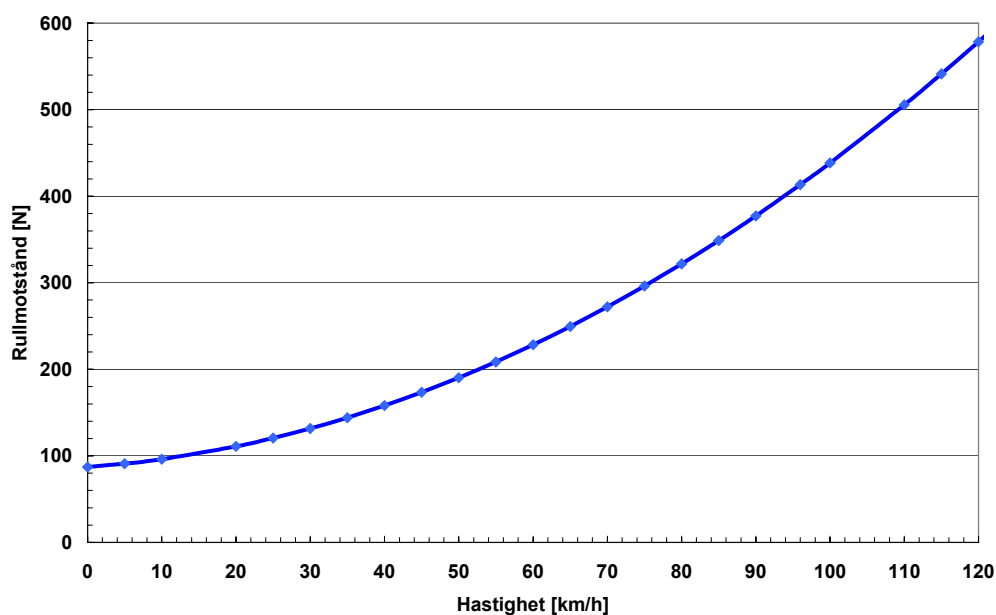
v Hastighet [km/h]

F₀ 87.1 [N]

F₁ 0.614

F₂ 0.0290

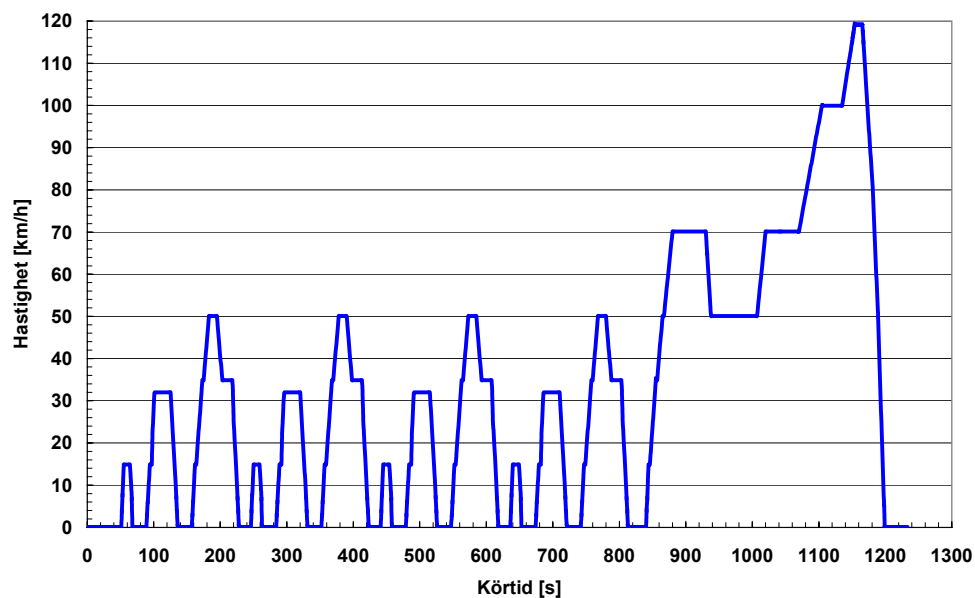
Vid proverna användes en svängmassa på 1270 kg. Detta motsvarar bilens tröghetsmoment.



Figur 11 Rullmotstånd på chassidynamometer

4.1.6 Körcykel

Samtliga prover kördes i enlighet med EU- körcykeln, se Figur 12 nedan.



Figur 12. EU-körcykel

Körcykeln är uppdelad i tre delar. Således får man tre resultat från ett körprov. Den första delen representerar kallstart av fordonet och den sista delen körning på motorväg med väl

uppvärmd motor. Den mellersta delen som är en upprepning av den första delen representerar något som kan liknas vid en stabiliseringsfas. Dessa tre delar (eller faser) viktas sedan samman till ett totalresultat. Aktuella lagstadgade gränsvärden relaterar alltid till det viktade slutresultatet. Innan start skall fordonet ha intagit samma temperatur som omgivningen vilket i denna provserie var ca 22 °C.

4.1.7 Provschema och provningsmetodik

Totalt har 2 prover per bränsle utförts (dubbelprov), dvs totalt 10 prov. De två första proverna utfördes med ren bensin (0 % metanol). Nästa dubbelprov utfördes med 3 % metanol i bensin och så vidare upp till den högsta blandningen med 20 % metanol. Vid byte av bränsle tömdes först bilens bränsletank följt av att ca 5 liter av det nya bränslet fylldes på. Tanken tömdes även på dessa 5 liter följt av en påfyllning av ca 15 liter av aktuell bränsleblandning. Denna procedur antogs att på ett tillfredställande sätt säkerställa att bilen kördes på det bränsle som avsågs vid aktuellt prov. Efter avslutad provning sparades det bränsle som inte förbrukats under proven (i praktiken ca 15 – 2 liter).

4.2 RESULTAT

4.2.1 Bränsleförbrukning (BF)

Bränsleförbrukning har beräknats enligt kolbalansmetoden med följande formel:

$$BF = [(CO \cdot 429) + HC \cdot 0,866] + (CO_2 \cdot 0,273) / CWF / \rho$$

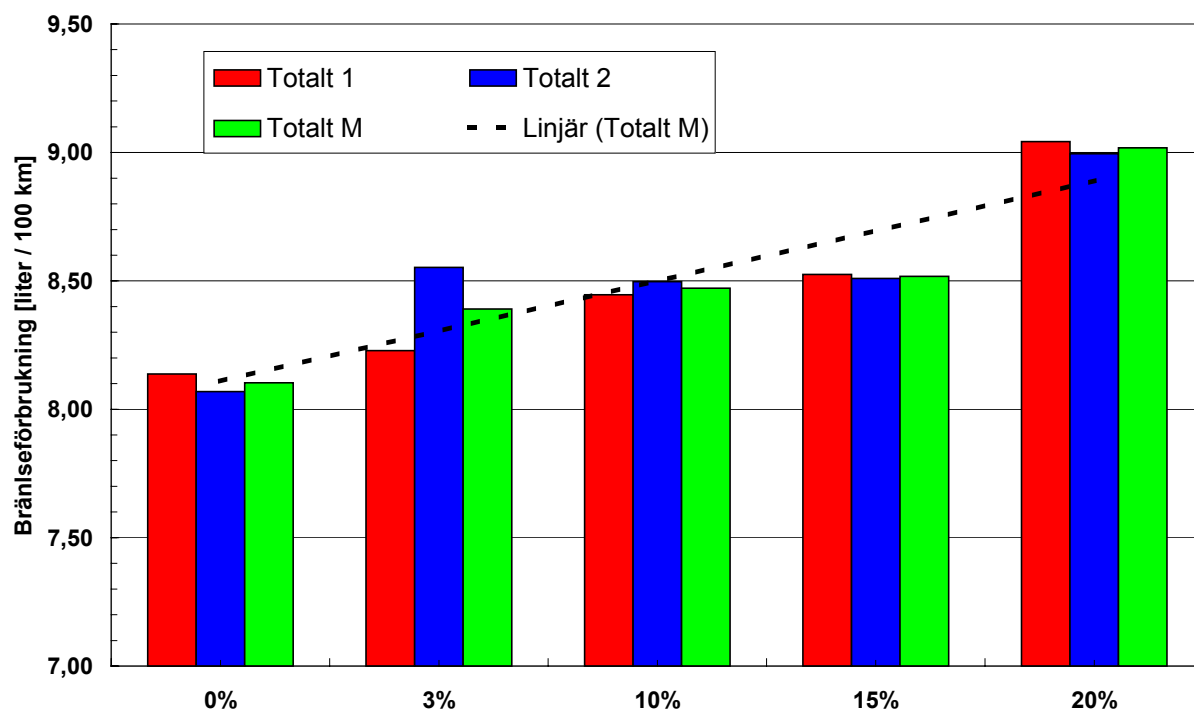
där,

$$CWF = \text{bränslets kolinnehåll (mass-\%)}$$

$$\rho = \text{Bränslest densitet (kg / m}^3\text{)}$$

För de olika bränsleblandningarna har följande värden använts:

	M0 [0%]	M3 [3%]	M10 [10%]	M15 [15%]	M20 [20%]
CWF	0,8600	0,8446	0,8089	0,7837	0,7586
ρ [kg/m³]	739,40	740,98	744,66	747,29	749,92
Energi [MJ/kg]	43,500	42,737	40,968	39,716	38,473



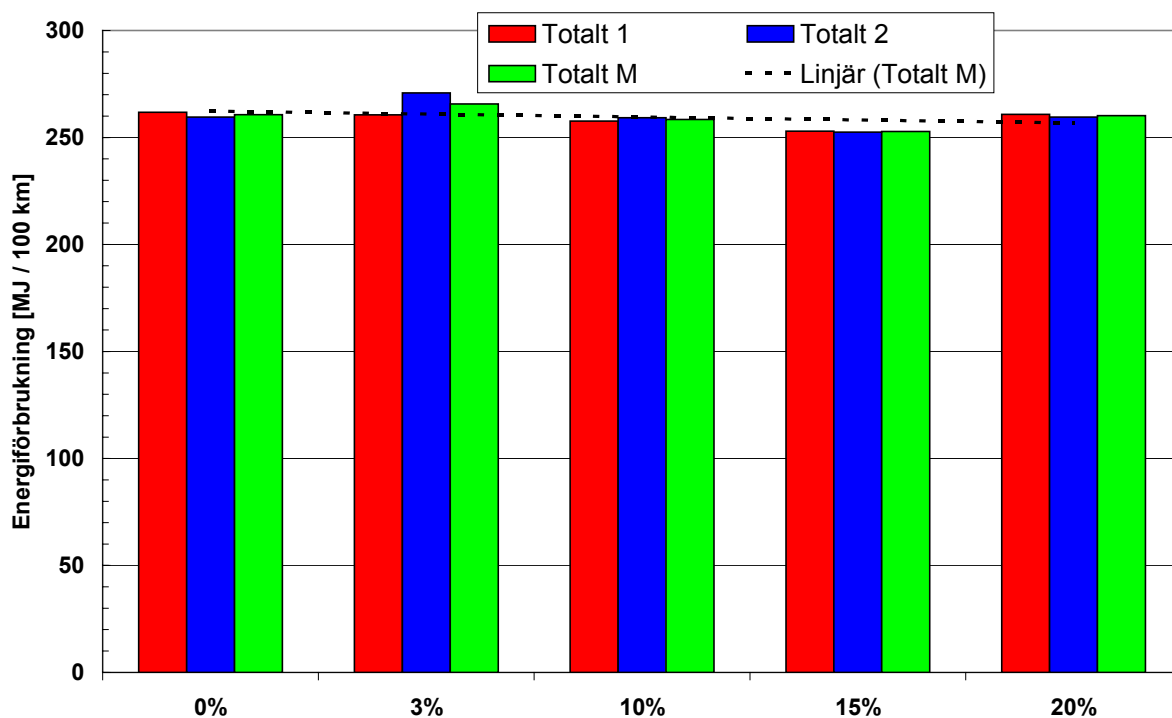
Figur 13. Total bränsleförbrukning i EU-körcykeln [liter / 100 km]

Ur Figur 13 framgår att bränsleförbrukningen räknat som liter per 100 km ökar med ökad inblandning av metanol. Detta är ett väntat resultat eftersom energiinnehållet per liter minskar med ökad metanolhalt.

4.2.2 Energiförbrukning

Jämförelser av bränslen med olika energiinnehåll och densitet kan lätt missuppfattas om bränsleförbrukningen presenteras som volym per sträcka. Genom att räkna om bränsleförbrukningen till en energiförbrukning kan olika bränslen jämföras på ett mer rättvisande sätt.

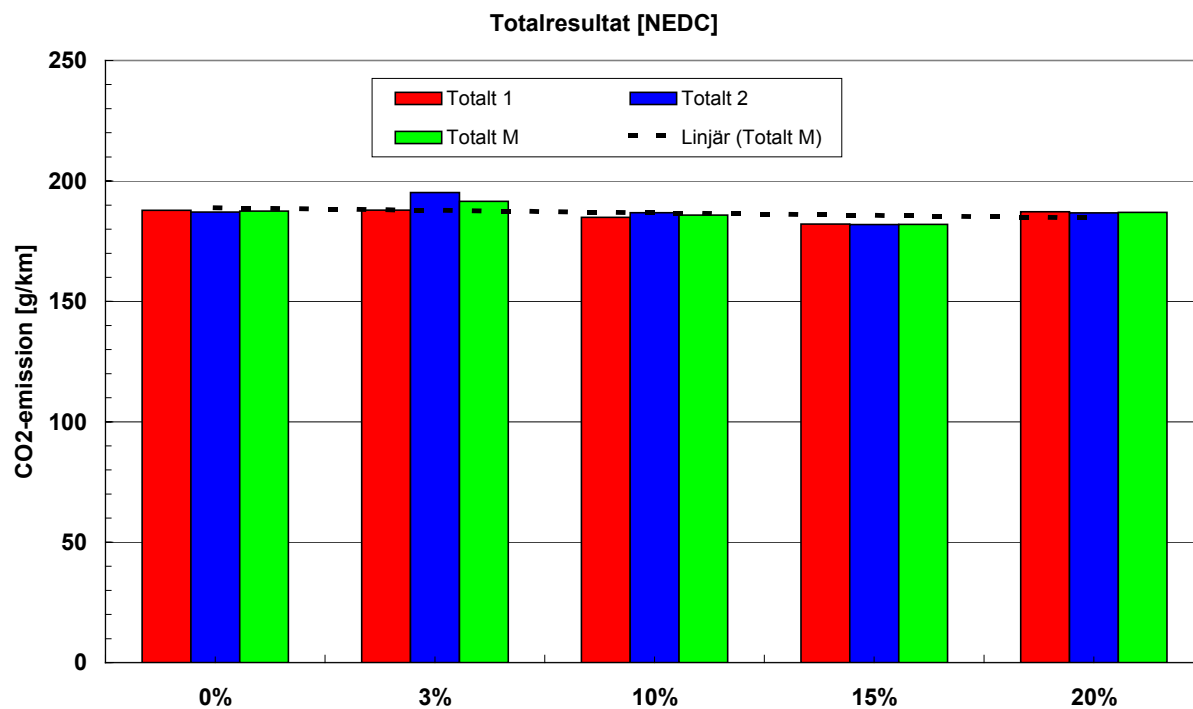
Det är svårt att uppfatta någon tydlig trend vad gäller energiförbrukning för olika inblandningar av metanol. Troligt är att energiförbrukningen är mer eller mindre konstant oberoende av inblandningsförhållande.



Figur 14. Total energiförbrukning i EU-körcykeln [MJ/ 100 km]

4.2.3 Koldioxid (CO₂)

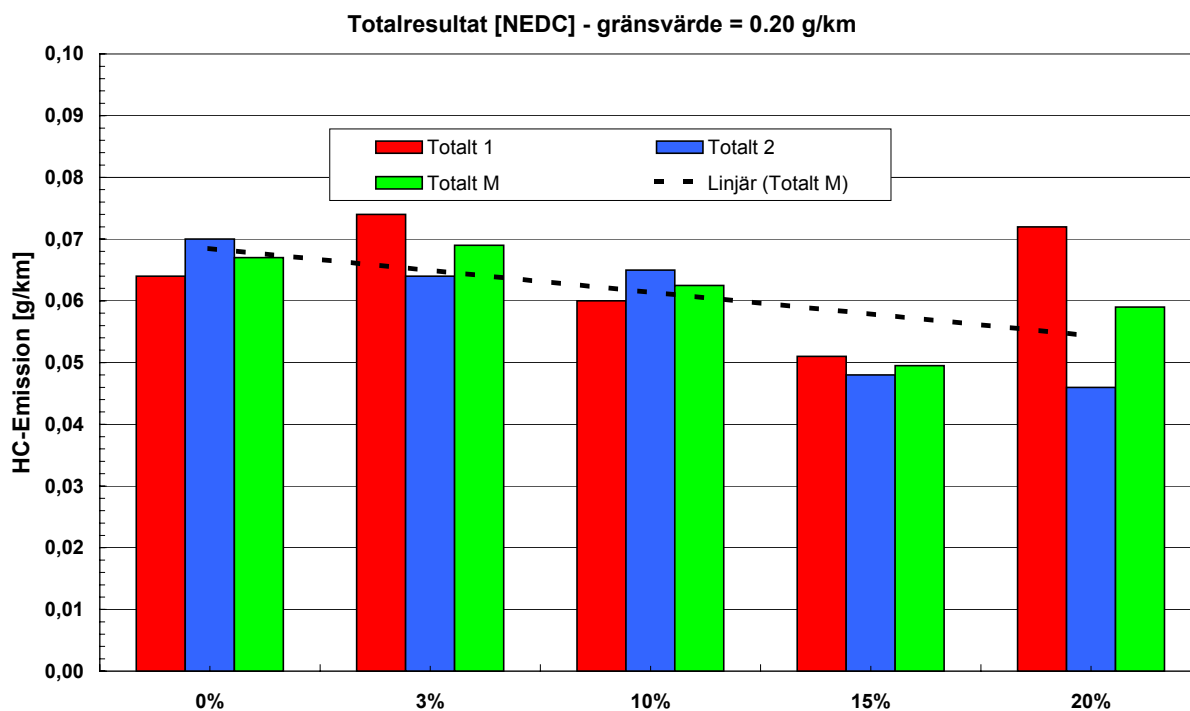
Utsläppen av CO₂ har en svagt sjunkande trend. Trenden är dock svag och slutsatsen som kan dras är antagligen att inverkan på CO₂-utsläppen endast beror marginellt av inblandning av metanol. Ju mer metanol som inblandas i bensinen desto högre blir förhållandet mellan väte och kol. Detta leder till att CO₂-bildningen minskar.



Figur 15. Emissioner av koldioxid

4.2.4 Kolväten (HC)

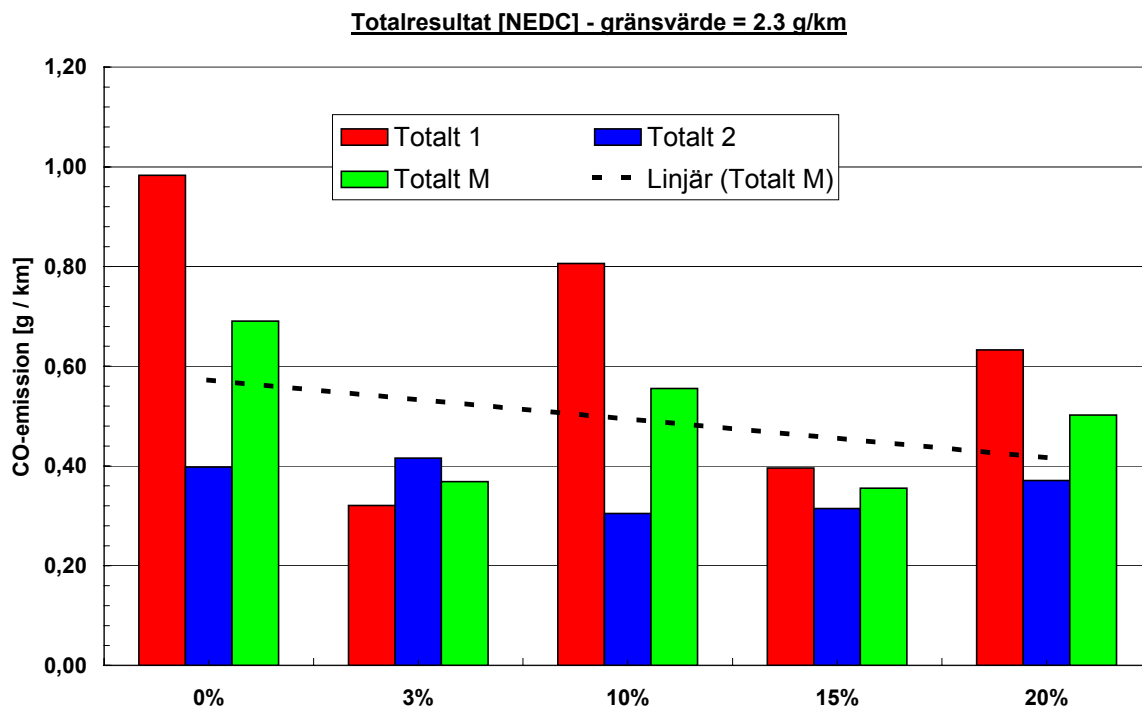
Ur Figur 16 nedan framgår att de totala utsläppen av oförbrända kolväten är väl under den lagstadgade nivån på 0,20 g per km för samtliga bränslen och prover. Ökad inblandning av metanol ser ut att leda till att utsläppen av kolväten minskar.



Figur 16. Emissioner av kolväten

4.2.5 Kolmonoxid (CO)

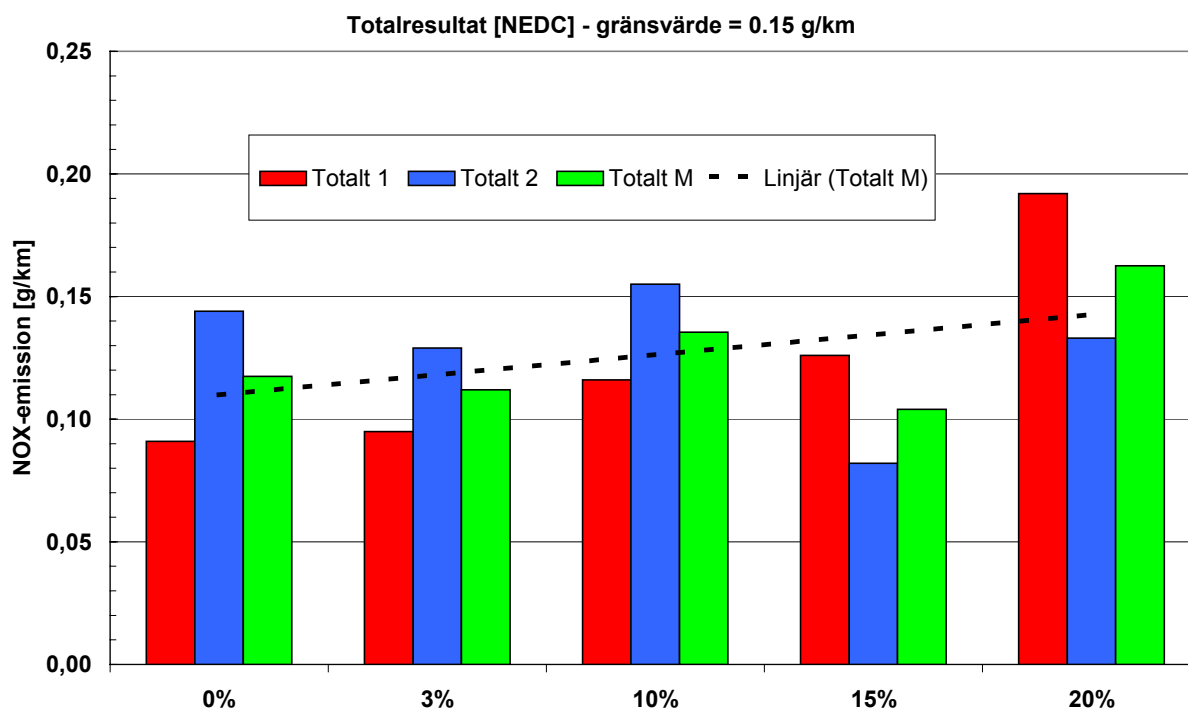
Ur Figur 17 nedan framgår att de totala utsläppen av oförbränd kolmonoxid är väl under den lagstadgade nivån på 2,3 g per km för samtliga bränslen och prover. Ökad inblandning av metanol ser ut att leda till att utsläppen av kolmonoxid minskar. Spridningen är relativt sett stor, speciellt för fallet med ren bensin och 10% inblandning av metanol. Trots spridningen tyder det på att CO-emissionerna minskar med ökad metanolhalt.



Figur 17. Emissioner av kolmonoxid

4.2.6 Kväveoxider (NO_x)

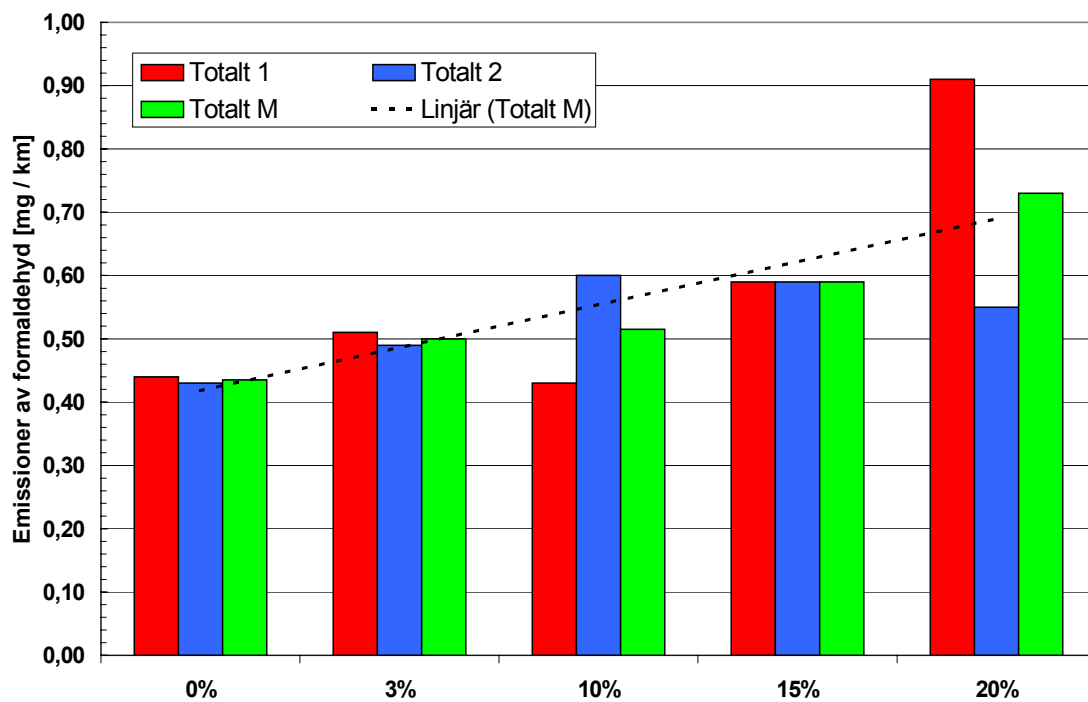
Spridningen i NO_x-emissioner är relativt sett stor. För inblandningshalter upp till 15% finns ingen tydlig trend (mest spridning) men för den högsta inblandningshalten verkar det som om NO_x-emissionerna är något förhöjda. Detta skulle kunna bero på att luft/bränsleförhållandet inte längre kan regleras till stökiometriskt förhållande ($\lambda=1$). Detta är ett känt fenomen vid låginblandning av alkoholer och antyder att inblandningshalten av metanol i bensinen för denna bil borde begränsas till ca 15%.



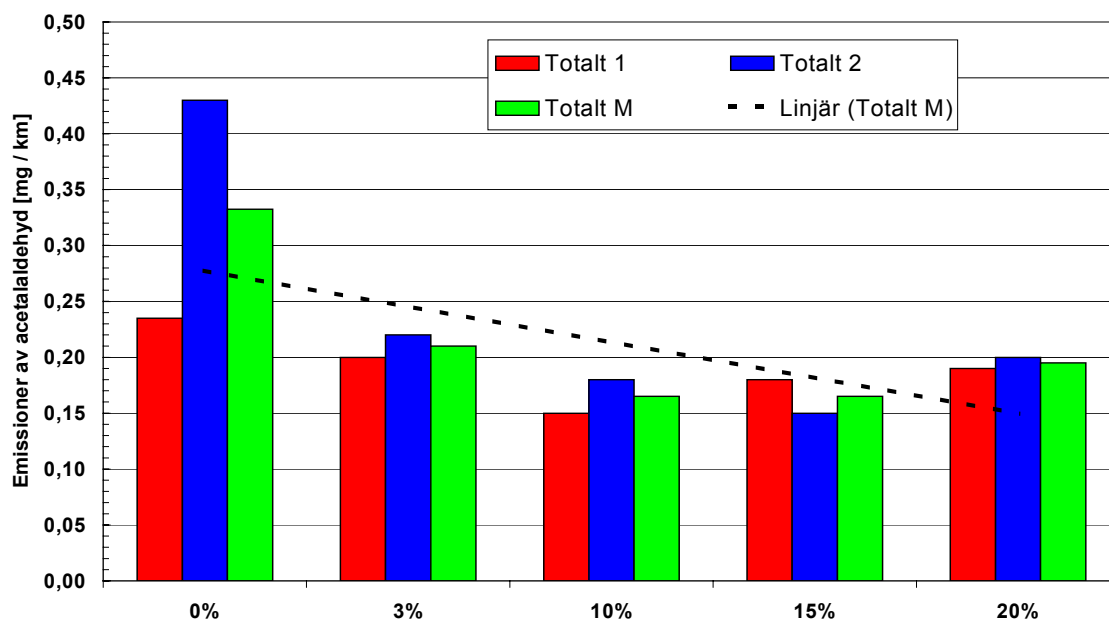
Figur 18. Emissioner av kväveoxider

4.2.7 Formaldehyd och acetaldehyd

Ur Figur 19 och Figur 20 nedan framgår att emissionerna av formaldehyd ökar med ökad inblandning av metanol samtidigt som emissionerna av acetaldehyd har en nedåtgående trend.



Figur 19. Emissioner av formaldehyd [totalresultat NEDC]

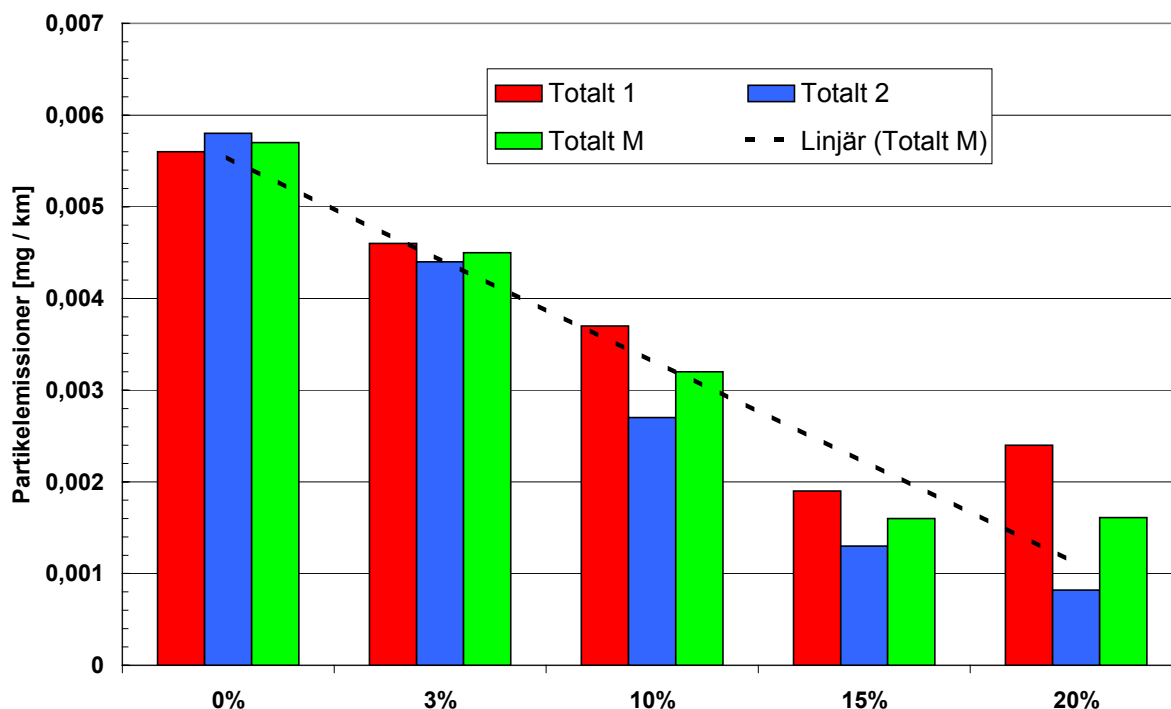


Figur 20. Emissioner av acetaldehyd [totalresultat NEDC]

4.2.8 Partiklar - massa

Utsläpp av partiklar mätt som partikelmassa har en kraftigt avtagande trend med ökad inblandning av metanol. Detta tycks statistiskt säkerställt även om absolutnivån är förhållandevis låg också för bensin. Det finns i dag inget gränsvärde för partiklar från bensinbilar. I Euro 5 kommer partikelgränsen 0,005 g/km (5 mg/km) att införas för bensinbilar med direktinsprutning och mager förbränning. Nivån för denna bil ligger med ren bensin aningen över detta värde.

Partiklar från bensinbilar består inte enbart av sot utan även av bl.a. aska från smörjolja och flyktiga föreningar från bränsle och smörjolja. Sannolikt är det främst bildningen av sot som påverkas vid låginblandning av metanol och – mot bakgrund av detta förhållande – är det resultat som ses här en anmärkningsvärd förbättring.



Figur 21. Emissioner av partiklar [gravimetrisk mätning]

4.2.9 Partiklar - antal och storlek

Partiklarna i avgaserna undersöktes med avseende på antal och storlek. För dessa undersökningar gjordes mätningar med ett särskilt mätinstrument kallat ELPI - Electrical Low Pressure Impactor som tillverkas av Dekati OY i Finland. Instrumentet mäter partiklar i realtid uppdelat i 12 olika storleksintervall från 7 nm upp till 10 µm.

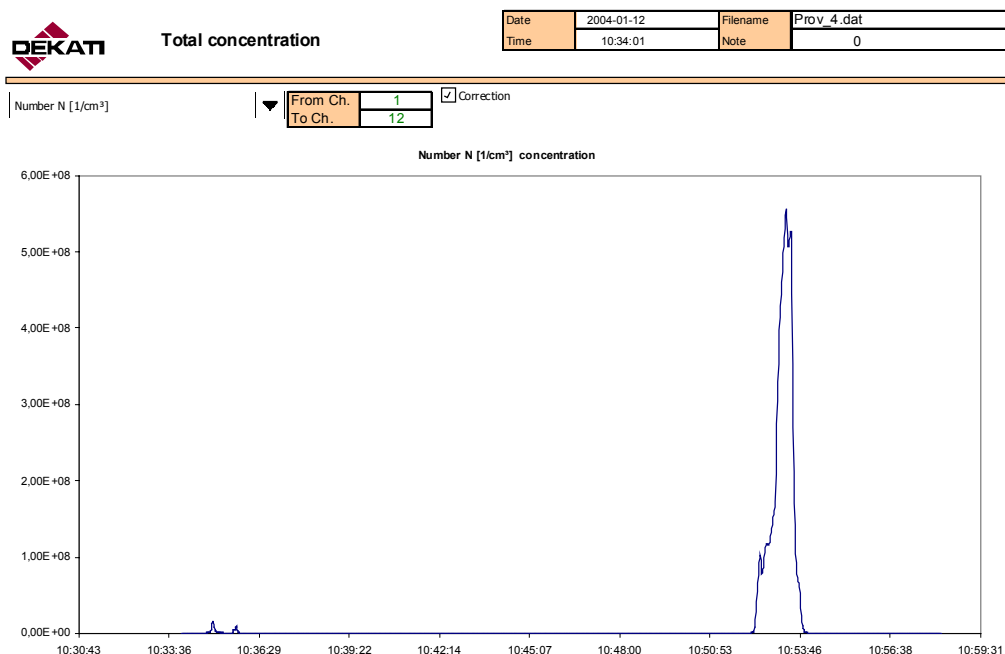
ELPI är i första hand ett instrument för mätning av antal partiklar men resultat kan också presenteras som massa, volym och area. För att få någon större exakthet vad gäller de övriga resultaten krävs kunskap om partiklarnas effektiva densitet. Eftersom det inte

funnits någon möjlighet att göra kompletterande mätningar för att exakt fastställa densiteten är de resultat som nedan redovisas för partikelmassa indikativa.

Ett delflöde ur avgaserna leds in i ELPI'n och partiklarna ges en elektrisk laddning. Vid passage genom instrumentet avlänkas flödet i 13 olika impaktorsteg varvid partiklarna fastnar i impaktorstegen beroende på storlek. I de första impaktorstegen fastnar de största partiklarna och de minsta fastnar i det sista steget. När partiklarna fastnar avger de sin laddning som registreras direkt i instrumentet och på så vis erhålles partikelemissionerna i realtid i respektive storleksintervall. Den ELPI som användes i testerna vid AVL MTC var försedd med en extrautrustning bestående av ett filtersteg, vilket medgav mätning av partiklar ända ner till en storlek av 7 nm (30 nm i standardutförande).

Som framgår av

Figur 22 och Figur 23 uppkommer partikelutsläppen i huvudsak vid tre tillfällen under provkörningscykeln. Figurerna visar ett typiskt förlopp för bensinmotorer. De första två tillfällena härrör från de första accelerationerna efter 50 resp 90 sekunder och beror främst på att motorn är kall. Det tredje tillfället kommer efter 840 sek under landsvägskörningen då huvuddelen av partiklarna emitteras. Anledningen är sannolikt att motorn går med luftunderskott varvid luft/bränsleblandningen blir fet, vilket ger sotbildning. Avgasflödet är också stort och sotpartiklarna hinner inte förbrännas.

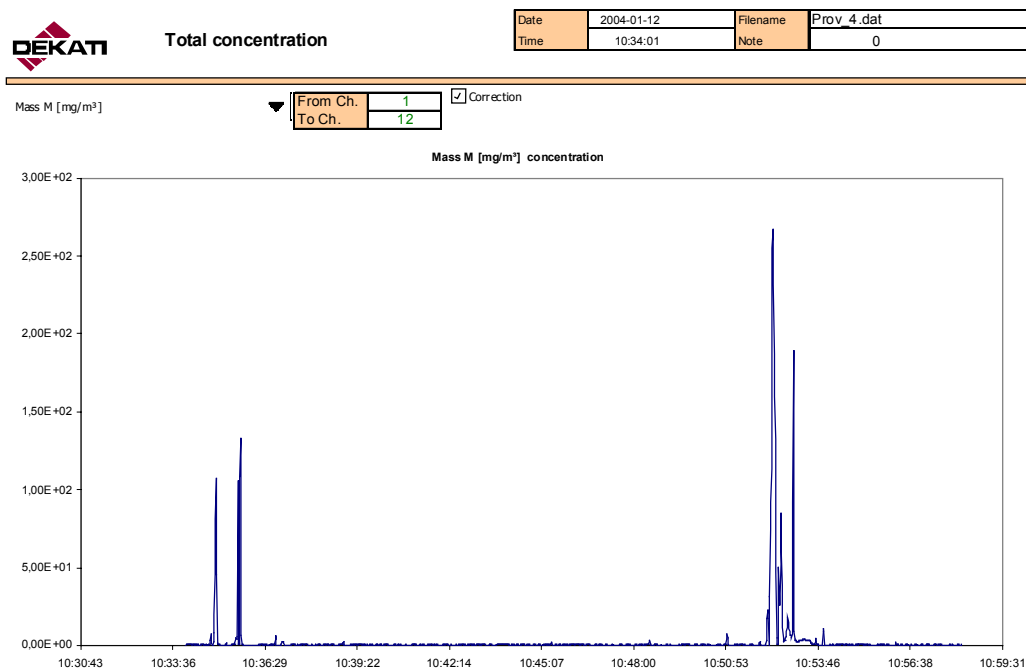


Figur 22. Partikelkoncentration i antal/cm³ under körningscykeln. Realtidsmätning med ELPI – Electrical Low Pressure Impactor.

Figur 22 och Figur 23 ser man att vid de första två utsläppspunkterna emitteras en relativt sett betydligt större partikelmassa (Figur 23) än antal (

Figur 22) partiklar. Förklaringen är sannolikt att få men stora partiklar bildas i den första fasen av körningscykeln och att partiklarna vid landsvägskörningen är mindre men betydligt fler i antal. Detta beror troligen på att motorn ej hunnit bli varm i början av körningscykeln och

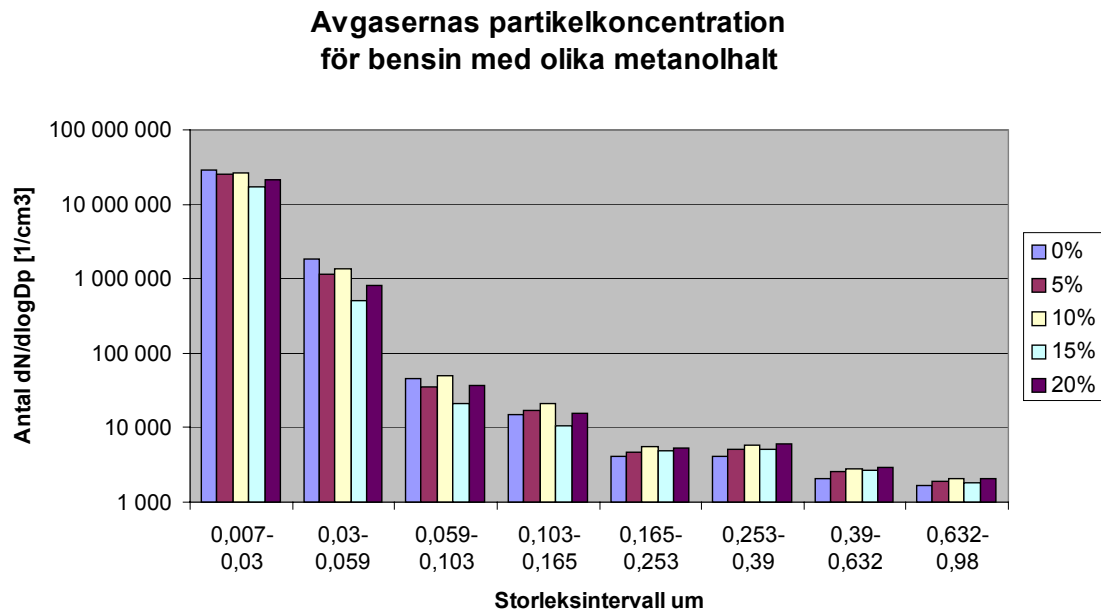
därmed bildas sotpartiklar som är mycket större än andra partiklar och därför bidrar mer till partikelmassan. I slutet av körcykeln kan också större partiklar bildas eftersom en anrikning av bränsle kan förekomma, vilket också leder till sotbildning.



Figur 23. Partikelmasskoncentration i mg/m^3 under körcykeln. Realtidsmätning med ELPI – Electrical Low Pressure Impactor.

I Figur 24 visas partikelantal och storleksfördelning för bränslen med olika halt av metanol. Det går inte att se om antalet partiklar påverkas av metanolhalten utan de flesta partiklarna härrör troligtvis till största delen från motoroljan och är oberoende av metanolhalt. De gravimetriska partikelmätningarna (total partikelmassa under provcykeln mätt med filter) från dessa prov visar en tydlig tendens att partikelmassan minskar med ökad metanolinblandning. Denna tendens kan inte påvisas med realtidsmätningarna vilket kräver en mer ingående analys. Som tidigare konstaterats är antalet partiklar generellt lågt för denna bil oavsett bränsle. Som framgår av Figur 24 är också antalet partiklar för de större storlekarna mycket lågt i förhållande till de små (observera logskalan i figuren). Skillnaden är mer än 3 tiopotenser. När man studerar rådata från elektrometrarna i mätfilen finner man att dessa värden ligger på eller under detektionsgränsen för elektrometrarna. Begreppet negativ massa eller negativt antal partiklar finns inte och därför negligeras negativa värden i beräkningsalgoritmerna för ELPI. Man kan därför konstatera att de värden som visas för de 3 eller 4 största partikelstorlekarna i Figur 24 knappast är något annat än brus från elektrometrarna. Den troliga förklaringen till den skenbara diskrepansen mellan resultaten för partikelmassa och antal partiklar är helt enkelt att de stora partiklar som bidrar till massan helt enkelt är så få att de inte ”syns” i förhållande till bruset. Bildningen av dessa partiklar kan påverkas av metanolhalten i bränslet. Sedan tidigare är det välkänt att syrehalten i bränslet påverkar sotbildning vid luftunderskott och/eller diffusionsförbränning. Ett känt exempel är att sotbildning knappt förekommer i etanol- och metanoldrivna dieselmotorer. Vid ett syrenehåll på omkring 20% i bränslet upphör sotbildningen. Det är troligt att den minskning av partikelmassan som uppmäts här beror på att sotbildningen minskats, eller eliminerats, under kallstartfasen och i slutfasen av körcykeln.

En annan tänkbar förklaring, eller bidragande orsak, till den skenbara diskrepansen mellan resultat för massa och antal kan vara att partikeldensiteten på något sett påverkas av metanolinblandning. Med de mätinstrument som funnits till förfogande har inte partikeldensiteten kunnat fastställas så det är svårt att spekulera om denna inverkan. Ett annat av Dekatis instrument, DMM, mäter partikelmassa i realtid och har också en



Figur 24. Partikelantal och storleksfördelning för olika halter av metanol i bensin.

realtidsmätning av partikeldensiteten. Vid framtida mätningar på alkoholdrivna bilar (t.ex. E85, M85), eller vid högre inblandningshalter av alkoholer, rekommenderas därför en komplettering av mätningarna med flera instrument för att resultat för partikelmassa och antal skall kunna belysas mer i detalj. En analys av partikelsammansättning (på provfilter och i de olika stegen i ELPI) rekommenderas också.

4.2.10 Slutsatser och diskussion

Resultatspridningen har för denna provserie varit relativt stor. Vad som orsakar denna spridning är inte helt klart men några delförklaringar är antagligen:

- Bilen är automatväxlad varför den inte växlar upp och ner på exakt samma ställe vid upprepade körprov.
- Rullmotståndet på chassidynamometern är inte exakt lika vid de upprepade provena
- Använt rullmotstånd kan ha varit något för lågt för att vara representativt.

En annan och viktig slutsats är att spridningen i avgasemissioner sker kring låga värden varför små avvikelser får proportionellt sett stor inverkan. De slutsatser (trots osäkerheten orsakad av resultatspridning) som kan dras av denna provserie är:

- Avgaskomponenter som ska oxideras i fordonets katalysator, det vill säga oförbränt kolmonoxid (CO) och kolväten (HC), tenderar att minska med ökande metanolhalt.

- Partiklar, som delvis kan oxideras i en katalysator, minskar kraftigt mätt som massa men inte till antalet.
- Avgaskomponenter som ska reduceras i fordonets katalysator, det vill säga kväveoxider (NO_x), tenderar att öka när metanolinblandningen i bensinen överstiger 15%.
- Bränsleförbrukningen räknat som liter bränsle per körd sträcka ökar med ökad metanolhalt. Detta förklaras av att energiinnehållet i bränslet minskar med ökad metanolinblandning.
- Energiförbrukningen per körd sträcka [MJ/km] är oberoende av metanolhalt i bensin.
- Emissioner av formaldehyd ökar medan utsläppen av acetaldehyd minskar med ökad metanolinblandning.

Då metanolhalten ökar minskar luftmängden som behövs för att förbränna bränslet. Utan inblandning av metanol krävs 14.69 kg luft för att förbränna 1 kg bränsle (stökiometrisk mängd). Vid 20 % metanol i bensin krävs 12.95 kg luft för att förbränna 1 kg bränsle. Lambda definieras som det uppmätta luft/bränsleförhållandet (mäts med lambdasond) dividerat med det stökiometrisk luft/bränsleförhållandet (bränsleparameter). Vid $\lambda > 1$ körs motorn magert och vid $\lambda < 1$ körs motorn fett. Lambda är alltså en parameter som räknas fram genom att mäta luft/bränsleförhållandet uppströms katalysator och sedan dividera detta med en bränslekonstant. Strävan är att avgaserna skall hålla $\lambda = 1$ varför luft/bränsleblandningen in till motorn kontinuerligt justeras. Den provbil som användes i denna provserie är kalibrerad för att köra på bensin varför bränslekonstanten är låst till 14.69. Uppmätta förhållanden i avgaserna kommer alltså att divideras med 14.69. Då metanol blandas in i bensinen tenderar förbränningen vid transient körning att i genomsnitt bli magrare ju mer metanol som blandas in i bensinen eftersom uppmätt luft/bränsleblandning divideras med ett för stort tal.

Mager förbränningen har följande inverkan:

- Mager förbränning ger högre temperatur vilket ger högre NO_x-bildning
- Mager förbränning ger mindre mängd partiklar.
- Magra avgaser ger bättre katalysatorfunktion för oxidation av CO, HC och partiklar
- Magra avgaser ger sämre katalysatorfunktion för reduktion av NO_x.
- Minskningen av partikelmassan beror sannolikt främst av den ökade syrehalten i bränslet som metanolinblandningen medför.

5 EMISSIONSMÄTNINGAR I MOTORPROVCELL

Inverkan av olika metanolblandningar i etanolfri bensin med avseende på emissioner och bränsleförbrukning har undersökts för en direktinsprutad och en portinsprutad SI⁸ motor. Båda motorerna är standard kommersiella motorer där ingen anpassning eller optimering genomförts för de olika bränsleblandningarna. Fem olika bränsleblandningar har använts 3, 5, 10, 15, 20 volymprocent samt ren bensin. Prov har genomförts för dellaster (standard väglaster) samt vid fullast, WOT.

5.1 Provmotorer

Två olika SI⁸ bensinmotorer har provats. Den ena är en direktinsprutad motor från Mitsubishi och den andra en portinsprutad från Volvo. Ingen anpassning av provmotorerna har gjorts för de olika bränsleblandningarna.

	Mitsubishi GDI direktinsprutning	Volvo portinsprutad
Cylinderdiameter	81 mm	83
Slaglängd	89 mm	90
Slagvolym	1,836 dm ³	2,435
Bränsleinsprutningstryck	5,0 Mpa	3,5 bar
Cylinderkonfiguration	Rak fyra cylindrar	Rak 5 cylindrar

5.2 Bränslen

Vid provningarna har 5 olika metanolinblandningar i etanolfri bensin använts, 0, 3, 5, 10, 15 och 20 volymprocent. I Bilaga 3 redovisas kemiska och fysikaliska data för olika blandningsförhållanden av metanol och etanolfri bensin. Bensin och metanol tillhandahålls av Statoil. Bensinen levererades i fat innehållande relativt sett mycket vatten och rost (i praktiken en mycket grumlig bottenfats). Bensin och metanol blandades på plats. Eftersom bensinen i botten på faten var förorenad kunde bara en liten del av vad som fanns i faten användas. (Små mängder vatten i bensin leder ovillkorligen till att metanol löser sig i detta vatten och bildar en bottenfraktion).

5.3 Emissionsmätningar

Emissionsmätningar av HC, NO_x, CO och CO₂ gjordes före och efter katalysator. Samtliga mätningar utfördes på CTH Institutionen för förbränningsmotorteknik. Bränsleförbrukning mättes med en AVL bränslevåg

Avgaskomponent	Mätprincip
HC	FID (Flame Ionisation Detector)
CO	NDIR (Non-Dispersive Infrared Analyser)
CO ₂	NDIR (Non-Dispersive Infrared Analyser)
NO _x	CLD (Chemiluminescence Detektor)

⁸ Spark ignition.

5.4 Provpunkter

Tabell 2. Provpunkter (väglaster) för samtliga blandningar

Provpunkt Nr	Varvtal [rpm]	Last [BMEP, bar]
1	2000	2
2	2000	3,5
3	2000	1
5	2000	3
6	2000	2 homogen $\lambda=1$

Tabell 3. Särskilda provpunkter med M5, M10 på GDI motor

Provpunkt Nr	Varvtal [rpm]	Last [BMEP, bar]	Förbränningsmod
1	1500	1,5	Stratifierad
2	2000	2	Stratifierad.
3	2000	3	Stratifierad
4	2500	3	Stratifierad
5	3000	3	Stratifierad

Tabell 4. Provpunkter vid fullast (WOT) (lasten är riktvärden)

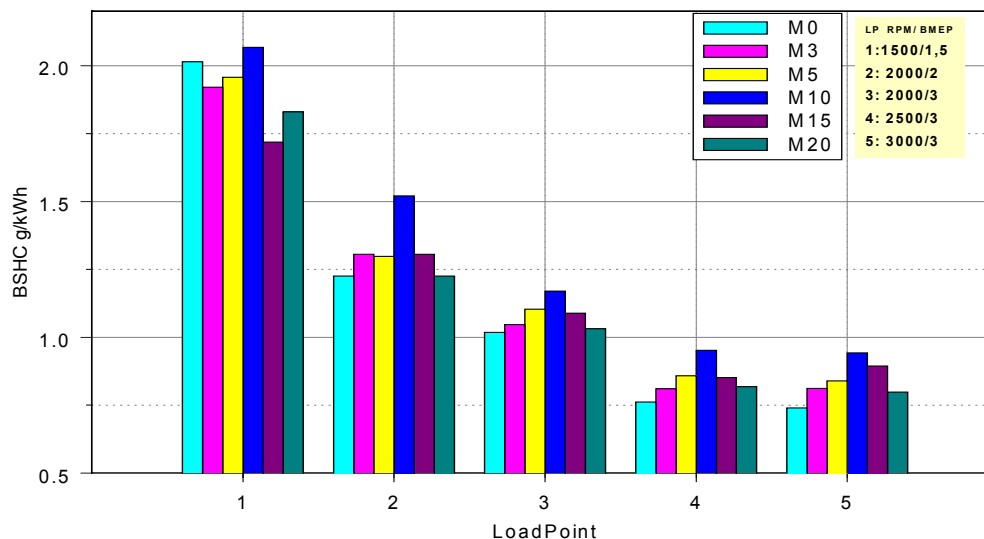
Provpunkt Nr	Varvtal [rpm]	Last [BMEP, bar]
1	1000	8
2	2000	10
3	3000	10,3
4	4000	11,3
5	5000	11,8
6	6000	10,5

5.5 Provresultat Volvo portinsprutad

5.5.1 HC emissioner

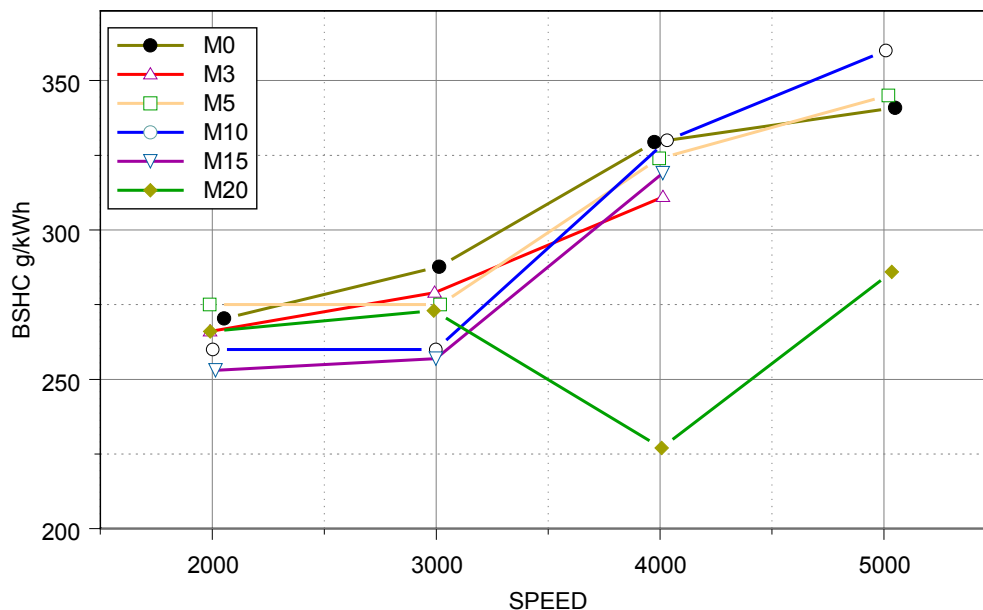
HC emissioner består av helt eller delvis oförbränt bränsle men kan även till viss del härröra från motorns smörjolja. Den vanligaste orsaken till HC emissioner för en Ottomotor är att bränsle undkommer förbränning genom de hålrum som finns i förbränningsrummet (toppland, kolvringspår, ventil-ventilsäte, tändstiftsgångar mfl.), men också genom absorption/desorption i oljefilm och flamsläckning vid förbränningsrummets väggar (quenching). I extrema fall kan även partiell förbränning och misständning ge upphov till mycket höga HC-emissioner.

För väglaster (Figur 25) är tendensen en ökning av HC upp till och med M10 för att därefter falla successivt med ökad metanolinblandning. För samtliga mätningar låg lambda stabilt mellan 0,99-1,0.



Figur 25. Specifika HC emissioner före katalysator

För fullastmätningen (Figur 26) är tendensen något tydligare att HC emissionerna minskar med ökande metanolinblandning. Mätningarna visar att vid fullast är luftflödet till motorn lika vid samma provpunkt och att lambda mätt i avgaserna uppvisar små avvikelser. Det extra syret som följer av ökad metanolhalt tycks därför ha en positiv inverkan på HC emissionerna. Det behövs dock en relativt hög inblandning innan det får ett signifikant genomslag.



Figur 26. Specifika HC emissioner före katalysator vid fullast (WOT)

5.5.2 CO emissioner

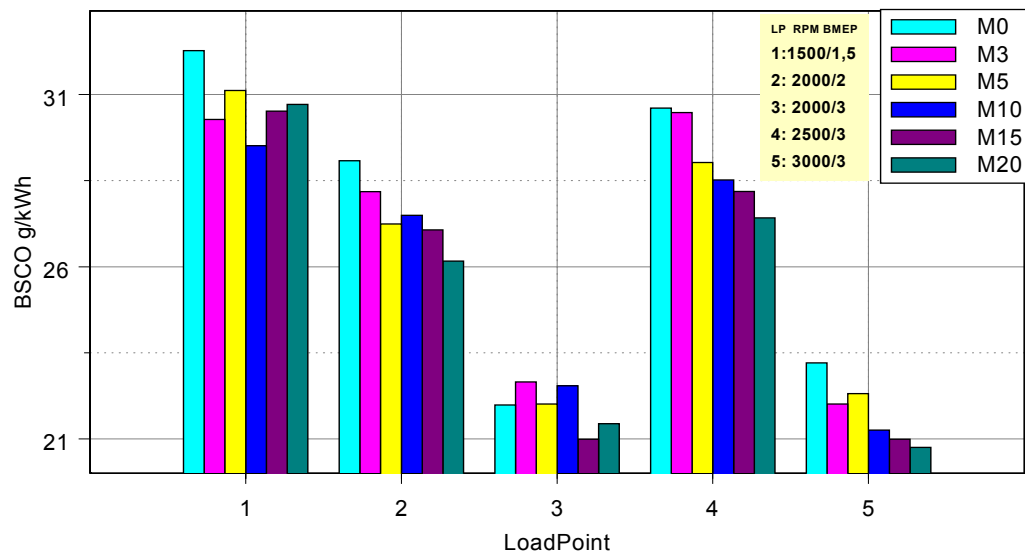
CO emissionerna är primärt orsakade av otillräcklig mängd luft i förhållande till bränslemängden, alltså vid $\lambda < 1$. Signifikant för CO bildningen är att den ökar snabbt då λ understiger 1 men ligger på ett stabilt värde vid $\lambda > 1$. Detta kan medföra att CO halten kan variera starkt genom att det är flödesobalanser mellan de olika cylindrarna trots att det totala λ mätt i avgaserna från motorn ligger på 1.

För väglaster (Figur 27) kan man urskilja en tydlig trend att CO minskar med ökande metanolhalt. Det stökiometriska förhållandet ligger i intervallet 0,99-1 och det verkar som om det syre som följer med via metanolen har en gynnsam inverkan på förbränningen med avseende på CO emissionerna.

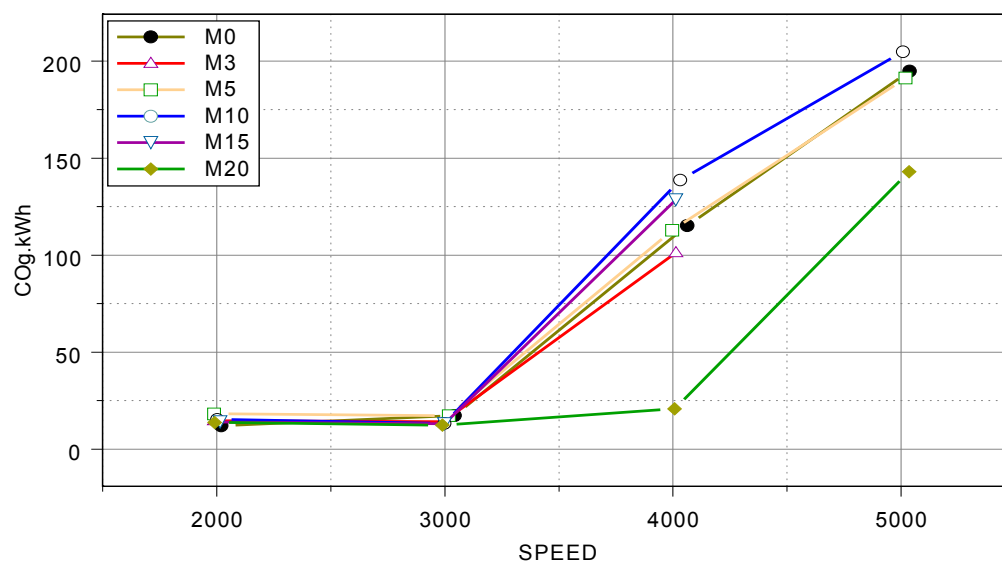
För WOT (Figur 28) är emissionsivåerna klart proportionella mot λ . Vid 2000 och 3000 rpm är λ lika med 1 för samtliga halter och CO halten har ingen spridning mellan de olika metanolhalterna.

För varvtalen 3000 -5000 rpm sprider sig CO halten i proportion till luftunderskottet. Det finns ingen klar trend mellan luftunderskott och metanolhalt och följaktligen inte något signifikant samband mellan metanolhalt och CO nivå heller, utom för M20. För M20 gäller att λ värdet är högre än för samtliga övriga blandningar. Det är endast marginella skillnader i motoreffekt mellan de olika mätningarna.

Det finns en klar trend att CO ökar med minskat λ men att denna inverkan är mindre känslig med ökande metanolhalt. Detta faller sig naturligt vid WOT då ingen strypning av luftflödet sker och det extra syret som tillförs genom metanolen medför extra syre vid förbränningen.



Figur 27. Specifika CO emissioner före katalysator

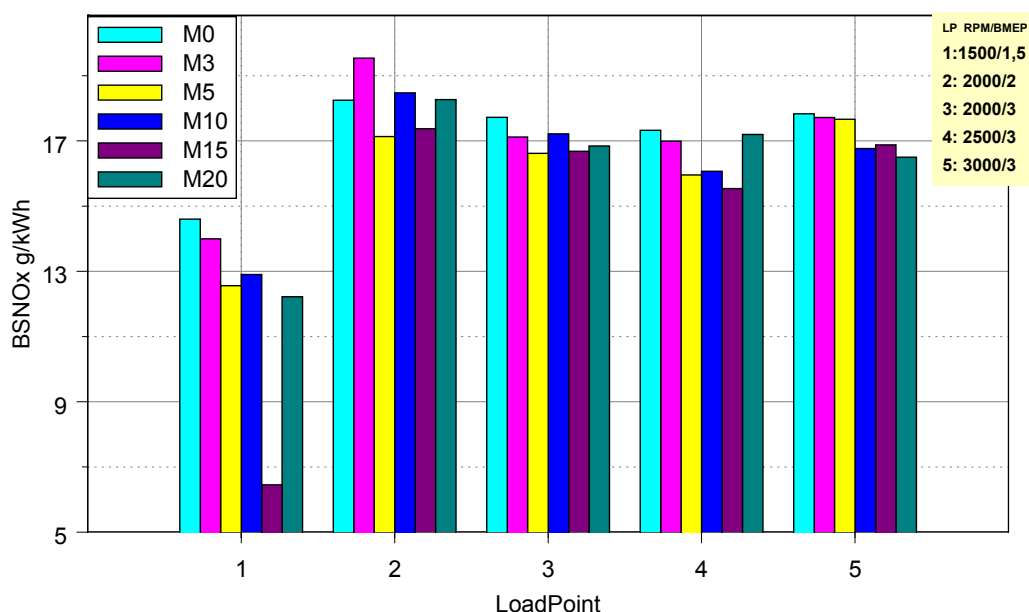


Figur 28. Specifika CO emissioner fullast före katalysator(WOT)

5.5.3 NO_x emissioner

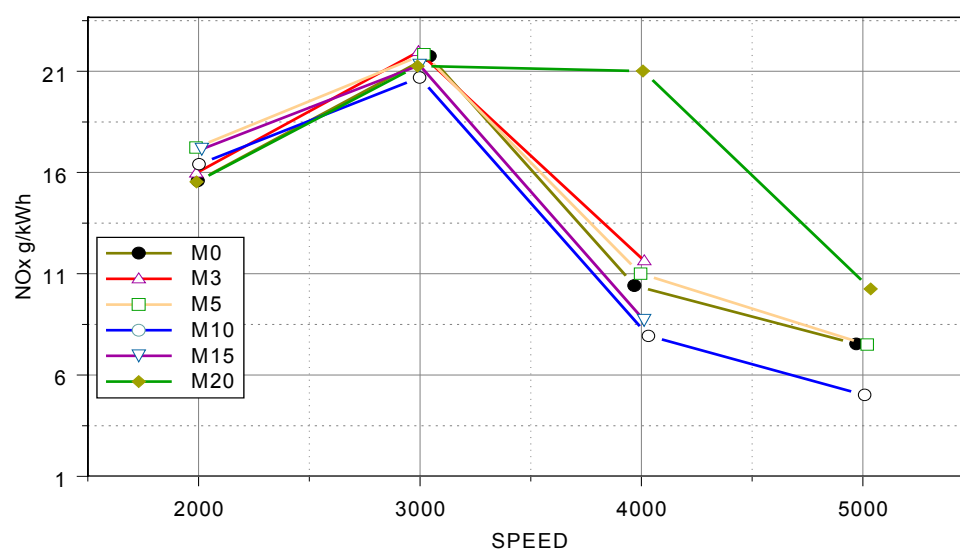
Kväveoxider bildas genom en oxidation av luftens kväve under förbränningsprocessen. Koncentrationen av kväveoxider i avgaserna påverkas av luft bränsleförhållandet och har ett maximum strax över det stökiometriska förhållandet. Bildningen av kväveoxider är starkt temperaturberoende och mängden ökar därför med ökande motorbelastning.

För dellastmätningarna (Figur 29) kan möjligen en svag tendens till minskad specifik NO_x för respektive belastningspunkt urskiljas.



Figur 29. Specifika NO_x emissioner före katalysator

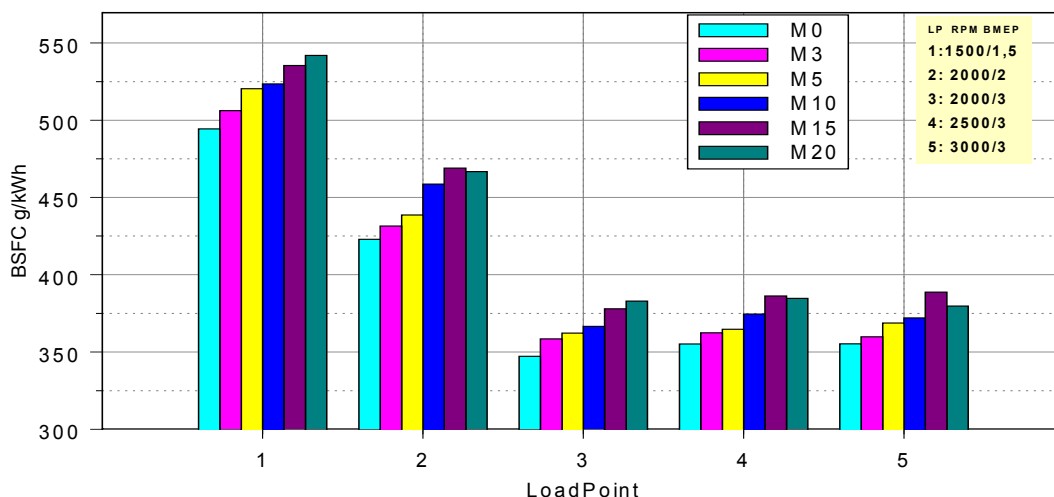
Kväveoxider som ökar med ökande förbränningstemperatur och syrekoncentration uppvisar en nära nog spegling av CO emissionerna för WOT fallet (Figur 30). Detta gäller nära nog också vid jämförelse med HC emissionerna. Den med ökande varvtal ofullständiga förbränningen av bränslet har en kylande effekt på förbränningstemperaturen samtidigt som det minskade lambdavärdet visar på en låg syrekoncentration.



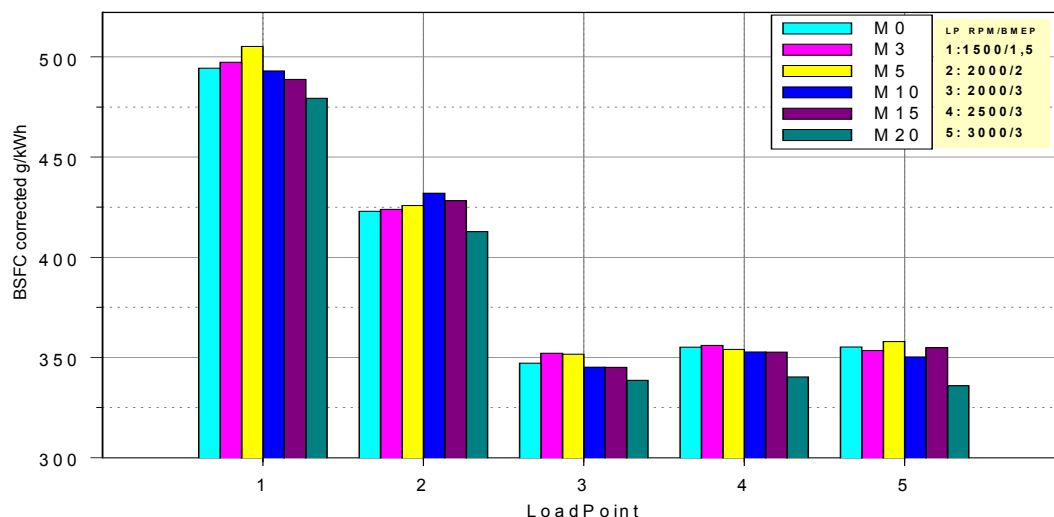
Figur 30. Specifika NOx emissioner efter katalysator vid fullast (WOT)

5.5.4 Bränsleförbrukning BSFC

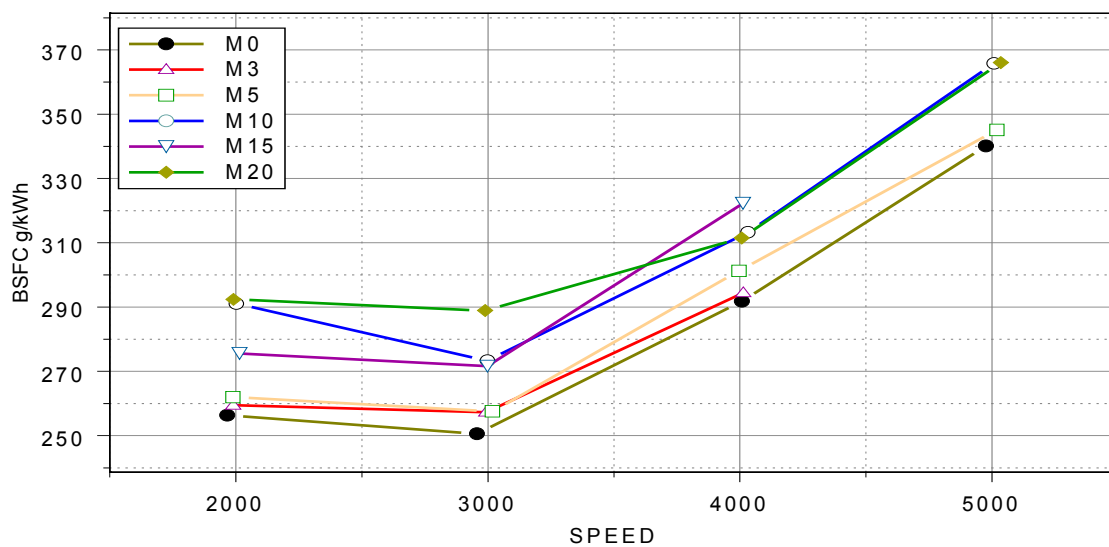
Figur 31 och Figur 33 visar hur bränsleflödet ökar med ökande inblandning av metanol. Skillnaden mellan de olika blandningarna står dock inte alltid i proportion till ökningen av metanolhalten. Figur 32 och Figur 34 visar det energikorrigerade flödet. Skillnaderna i bränsleförbrukningen utgör ett mått på motorns totalverkningsgrad för de olika belastningspunkterna. Ur grafen framträder återigen M20 som den bästa blandningen avseende CO₂ liksom tidigare visats för HC och CO.



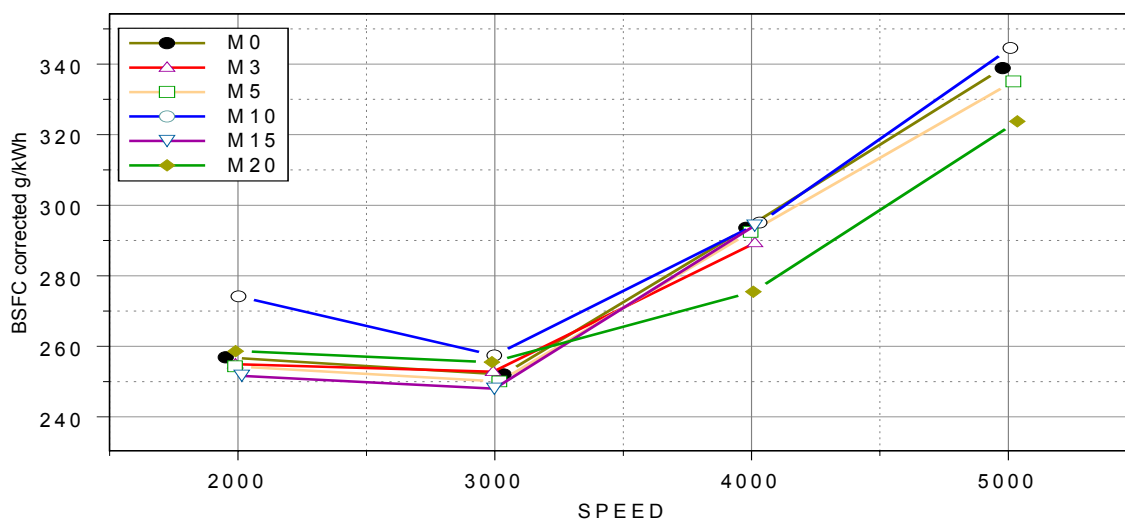
Figur 31. Specifik bränsleförbrukning, ej korrigerat för energivärdet



Figur 32. Specifik bränsleförbrukning korrigerat för energivärdet



Figur 33. Specifik bränsleförbrukning ej korrigerat för energivärdet



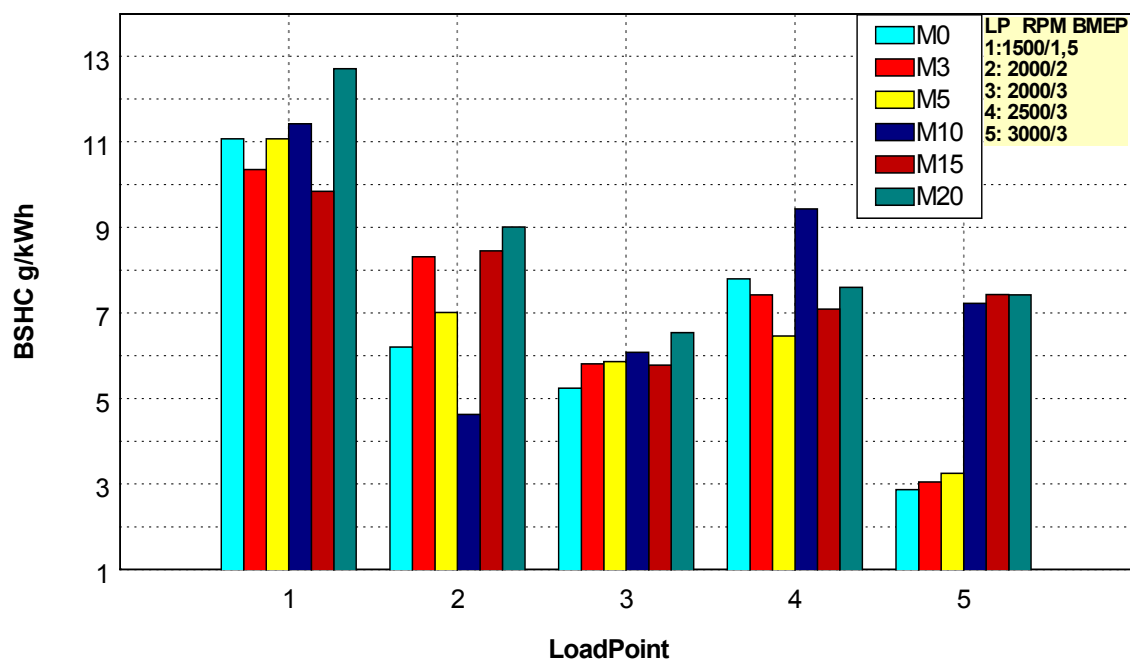
Figur 34. Specifik bränsleförbrukning korrigerat för energivärdet

5.6 Provresultat Mitsubishi GDI

5.6.1 HC emissioner

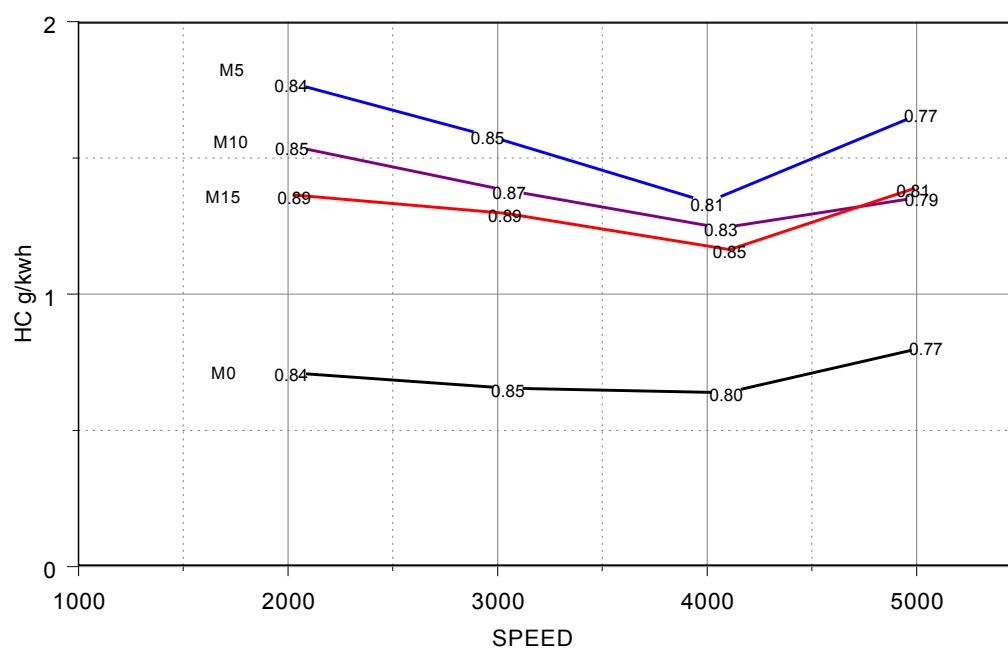
För HC emissioner varierar värdena något slumpartat med metanolhalten för de olika belastningspunkterna. Detta stämmer relativt väl vid en jämförelse mellan olika mätningar vid samma belastning och tillfälle. GDI motorn uppvisar en större instabilitet från cykel till cykel jämfört med den portinsprutade motorn.

Trenden tycks dock vara att HC ökar med ökande metanolhalt, vilket är tydligast för de högre blandningarna. Resultatet är i motsats till det portinsprutade fallet där nivån faller vid de högre halterna (Figur 35). Nivåerna för GDI motorn är också betydligt högre jämfört med den portinsprutade motorn. HC emissionerna vid stratifierad drift orsakas i huvudsak av två källor, överutmagring i bränsle/luft-blandningens periferi och undermixning i huvudsak förorsakad av väggvätning (väggstyrt system). Vid homogen drift är HC-källorna desamma som för en portinsprutad motor med tillägg av väggvätning. Förmodligen förorsakar metanolens höga förångningsvärme en ökad väggvätning eftersom HC ökar med ökad inblandning.



Figur 35. Specifika HC emissioner före katalysator.

För fullastfallet (Figur 36) ligger nivåerna högre för metanolblandningarna än för ren bensin och faller sedan med ökande inblandning.

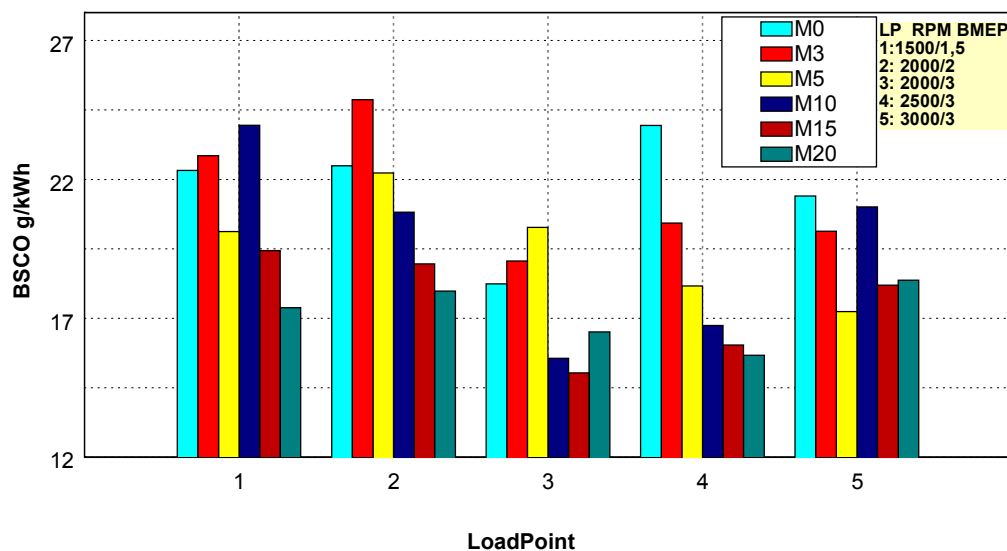


Figur 36. Specifika HC emissioner före katalysator vid fullast (WOT).

5.6.2 CO emissioner

För väglaster kan en tydlig trend urskiljas att CO minskar med ökande metanolhalt. Eftersom värdet på lambda ligger i intervallet 1,75-2,1 för samtliga mätningar är det sannolikt att det syre som transporteras med bränslet har en gynnsam inverkan på oxideringen av CO i själva förbränningszonen. I jämförelse med portinsprutad motor är nivåerna lägre och minskningen av CO starkare med ökad metanolhalt.

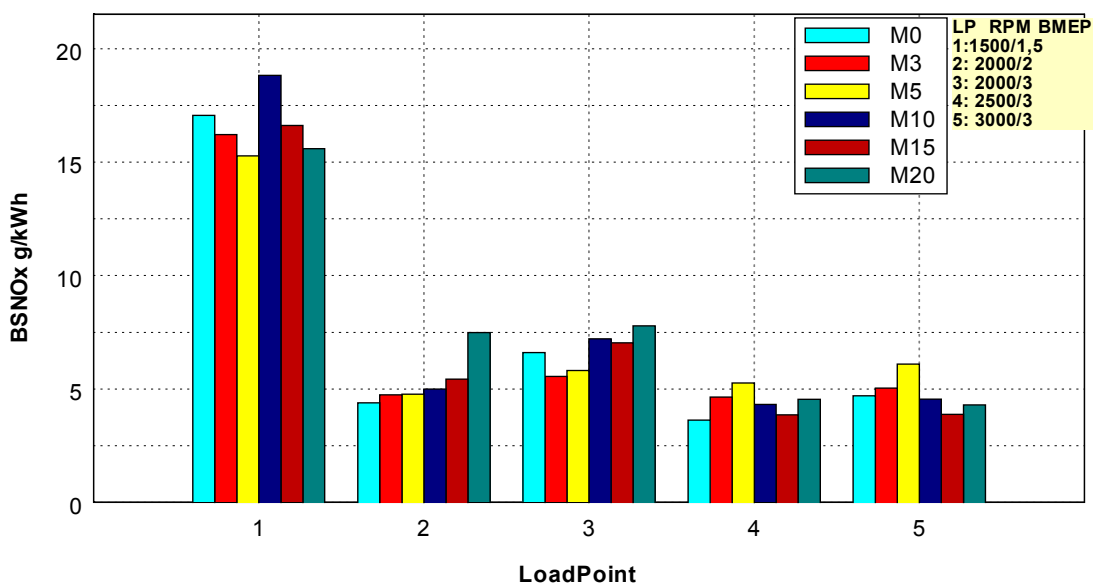
Data för CO vid fullast finns tyvärr inte.



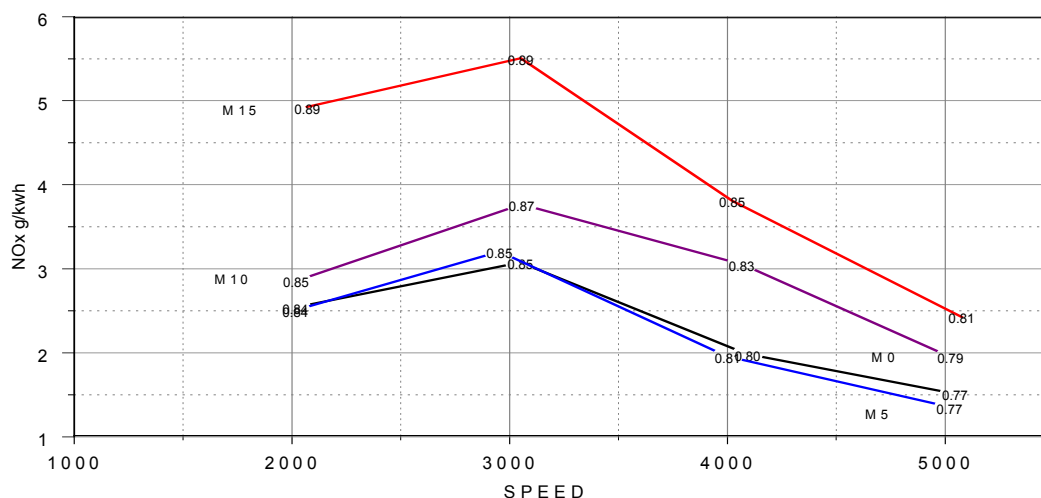
Figur 37. Specifika CO emission före katalysator

5.6.3 NO_x emissioner

Möjligen kan en svag ökning av NO_x emissionerna konstateras jämfört med M0 fallet (Figur 38). Mellan de olika metanolhalterna kan inte någon direkt signifikant trend utläsas utan skillnaderna verkar snarare bero på cykel till cykelvariation. För lastpunkterna 2-5 ligger nivåerna överlag på ca 1/3 av fallet med portinsprutad motor. Sannolikt beror en del av detta på det höga luftöverskottet som har en kylande inverkan på förbränningstemperaturen. För fullastfallet (Figur 39) ökar specific NO_x med ökande metanolinblandning. De inlagda lambdavärdena för respektive mätpunkt visar att syrehalten ökar med ökande metanolhalt och att det sannolikt är detta som är orsaken till ökningen av kväveoxiderna.



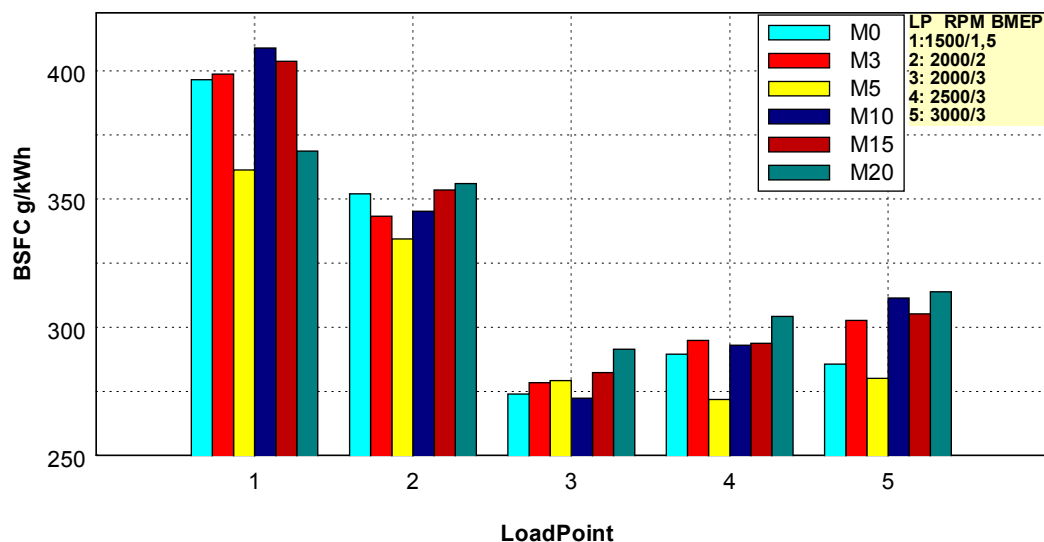
Figur 38. Specifika NO_x emissioner före katalysator



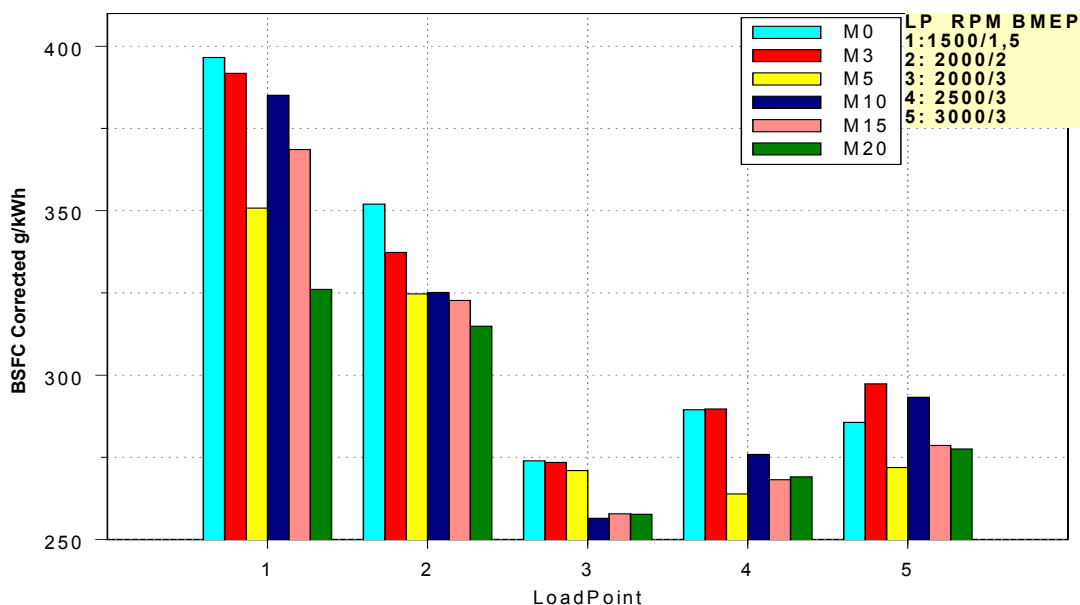
Figur 39. Specifika NO_x emissioner före katalysator vid fullast (WOT)

5.6.4 BSFC

Figur 40 visar hur bränsleflödet ökar med ökande inblandning av metanol. Skillnaden mellan de olika blandningarna står dock inte alltid i proportion till ökningen av metanol och tycks även vara något slumpmässig. Figur 41 visar det energikorrigerade flödet. Skillnaderna i bränsleförbrukningen utgör ett mått på motorns totalverkningsgrad för de olika belastningspunkterna. Trenden pekar mot ökande verkningsgrad med ökande metanolhalt.



Figur 40. Specifik bränsleförbrukning

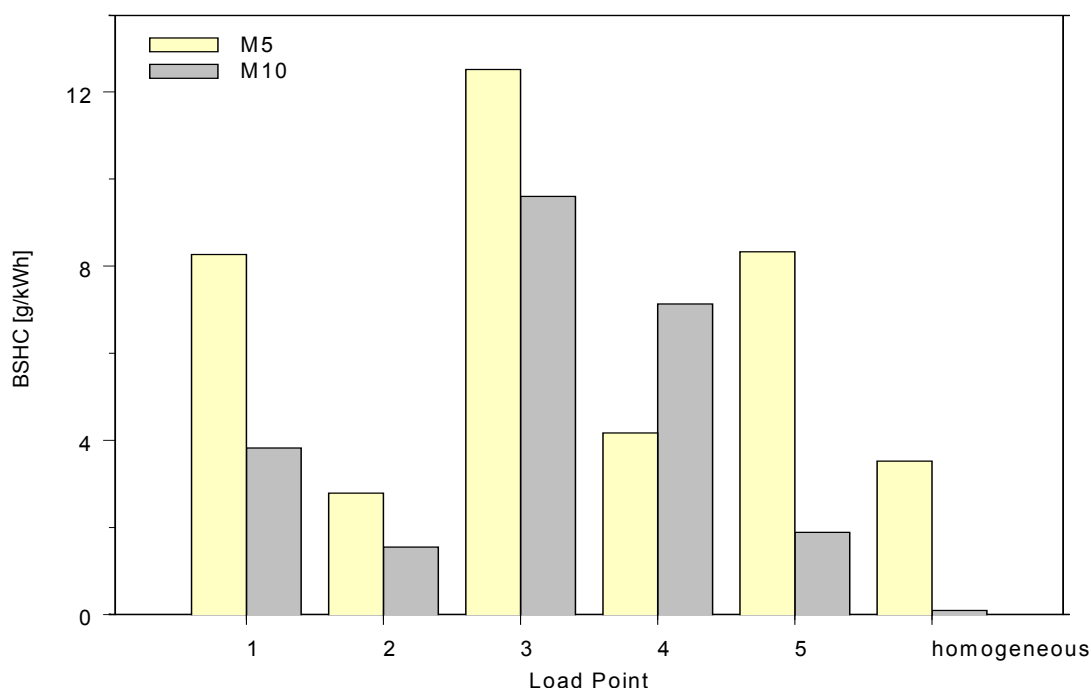


Figur 41. Specifik bränsleförbrukning korrigerat för energivärdet

5.6.5 Jämförelse mellan M5 och M10

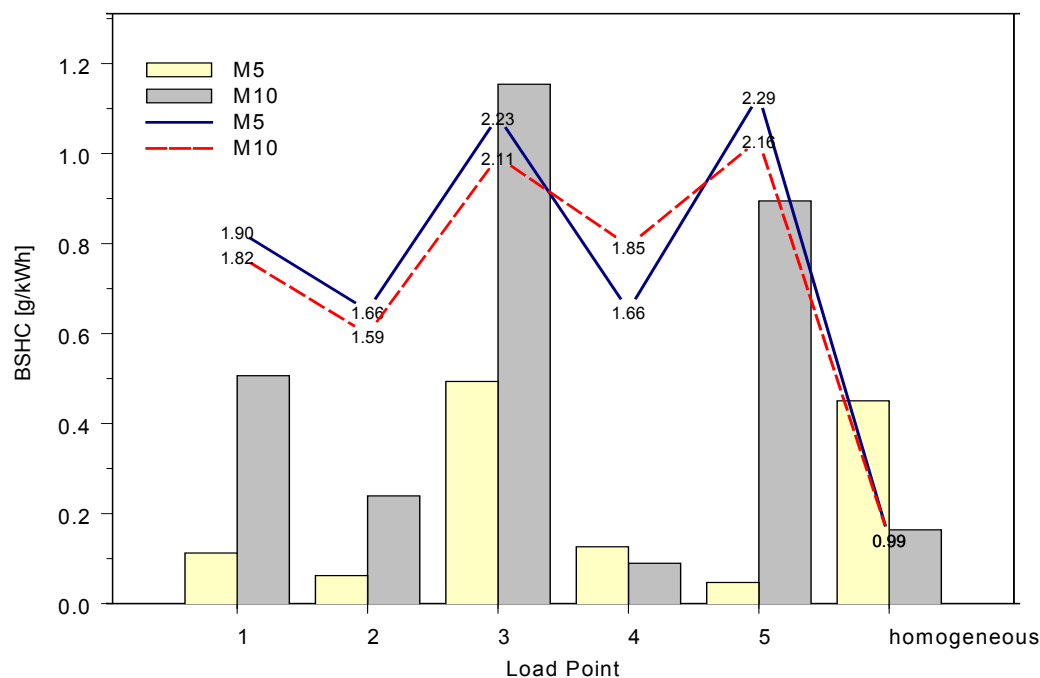
En separat jämförelse har genomförts för blandningarna M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2. Denna belastning är den samma som användes i en tidigare studie⁹ på samma motor men med inblandning av etanol i ren bensin.

För HC emissionerna är nu trenden tydligare att dessa emissioner minskar före katalysatorn med fördubbling av metanolhalten (Figur 42). Efter katalysatorn (Figur 43) är skillnaderna mer utjämnad samtidigt som nivåerna minskar kraftigt. Luftöverskottet vid M5 har överlag varit högre än vid M10 och är sannolikt den viktigaste faktorn till att M5 uppvisar lägre nivåer än M10. I den homogena punkten ($\lambda=1$) framträder tydligt skillnaden i ökad syrehalt i M10 blandningen.



Figur 42. Jämförelse av specifik HC emission före katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2.

⁹ Influence of Ethanol Contents in Gasoline on Speciated Emissions from a direct Injection Stratified Charge SI Engine. SAE 2001-01-1206. Sandquist et al.



Figur 43. Jämförelse av specifik HC emission efter katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2

För CO emissionerna före katalysator (Figur 44) är trenden även här tydlig att CO emissionerna minskar med M10 jämfört med M5 trots att λ är överlag högre för M5. Detta indikerar att syre som tillförs via bränslet har en mer gynnsam inverkan på förbränningen än det syreöverskott som finns totalt i förbränningsrummet. Detta framträder tydligt i den homogena punkten där det inte finns något syreöverskott för någon av blandningarna.

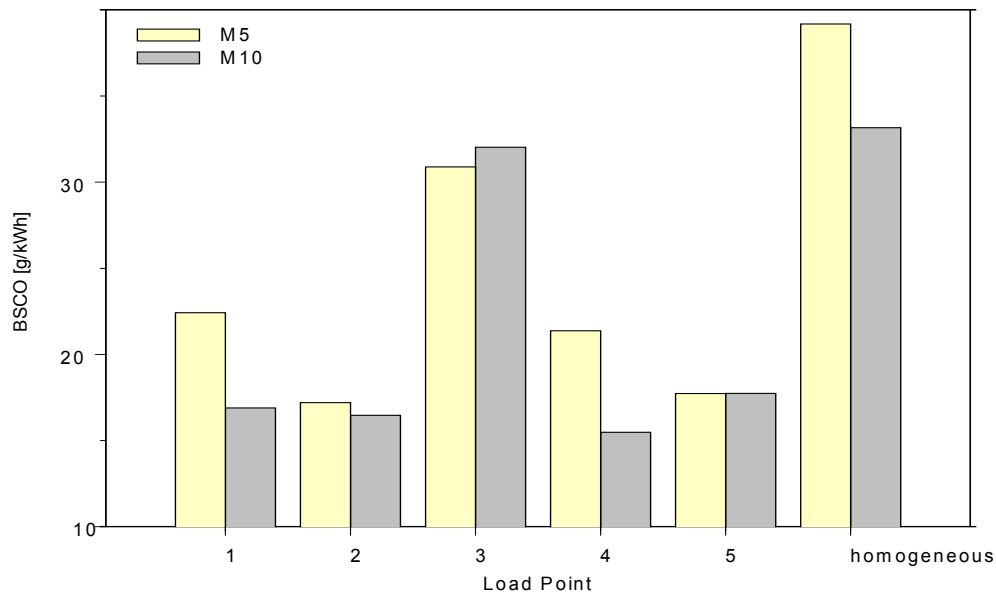
Efter katalysator (Figur 45) är oxideringen av M5 fullständig förutom vid den homogena punkten där värdet för M5 är högre än för M10.

För kväveoxiderna är det ingen större skillnad mellan före respektive efter katalysator (Figur 46 & Figur 47). Reducering av kväveoxider kräver en syrefattig miljö, vilket inte är fallet förutom i den homogena punkten. I övrigt så följer NO_x värdena väl värdena för lambda och inverkan av metanolhalten är sannolikt försumbar.

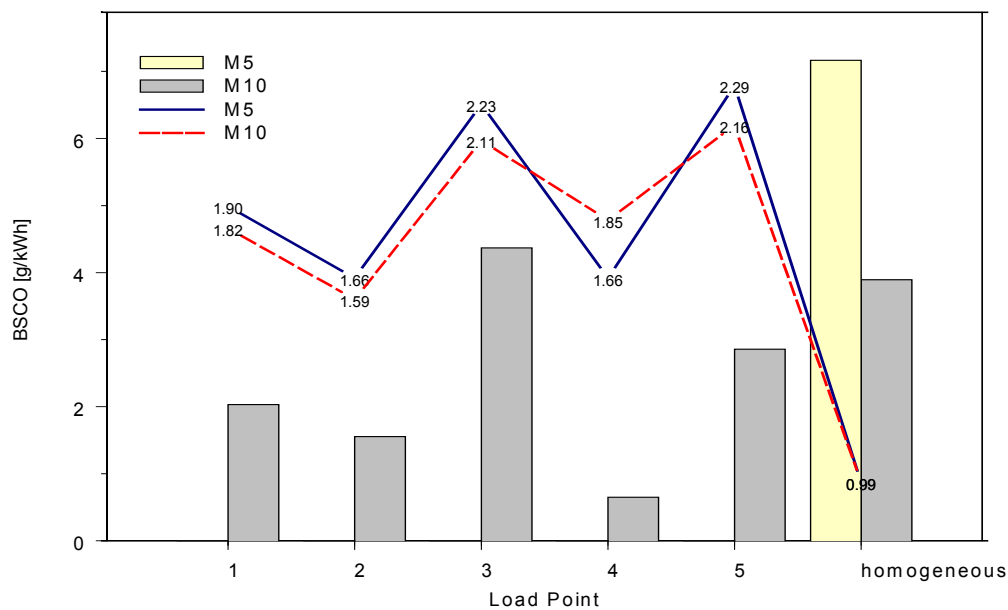
Slutligen visar (Figur 48) koncentrationerna av metan, acetaldehyd, formaldehyd och metanol före respektive efter katalysator. Värdena baserar sig på medlevärdet av mätningarna vid 2000 rpm och 2 bars medeltryck.

Metanolhalten är hög före katalysator medan metanolhalten är mycket låg. Efter katalysator har metanolhalten minskat medan metanolhalten har ökat. Detta beror på att en del av metanet oxideras till metanol i katalysatorn.

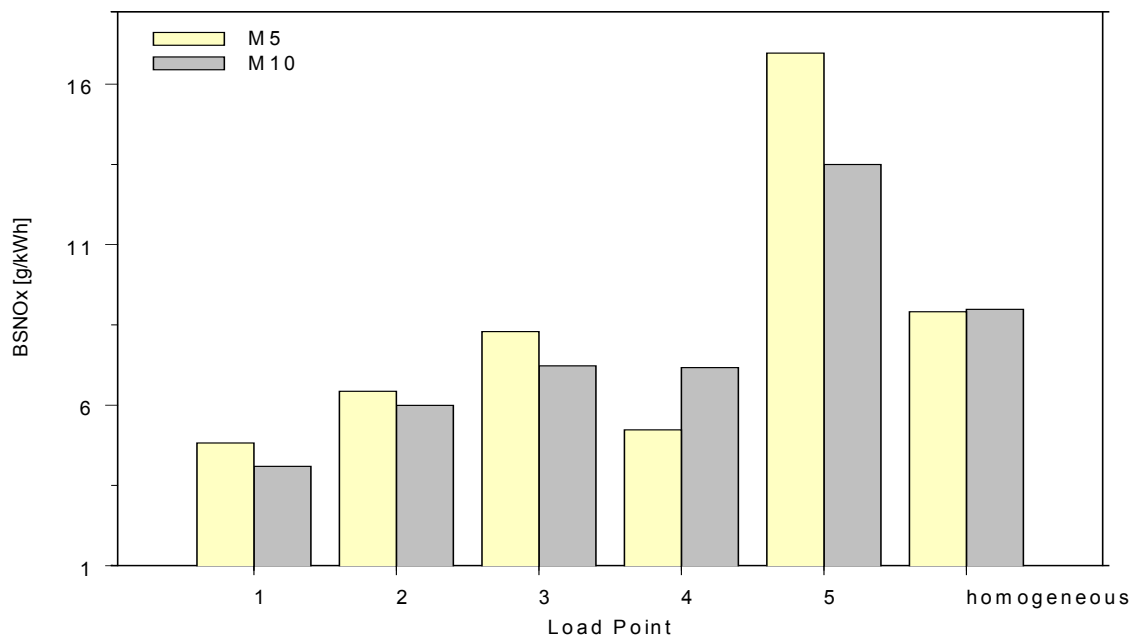
För acetaldehyd och formaldehyd gäller små koncentrationer före katalysator och som minskar ytterligare i katalysatorn.



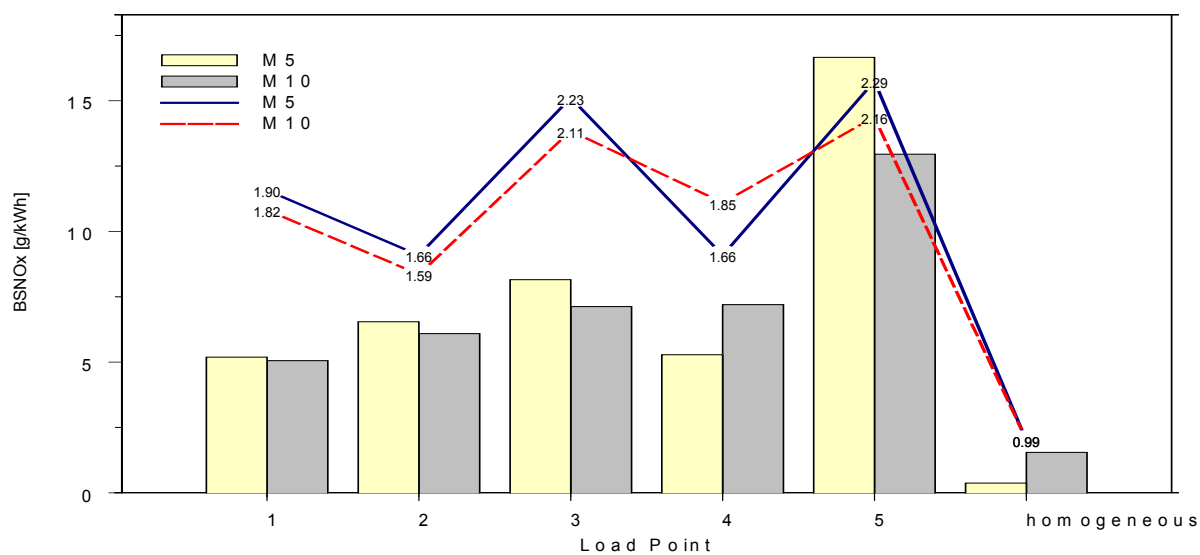
Figur 44. Jämförelse av specifik CO emission före katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2.



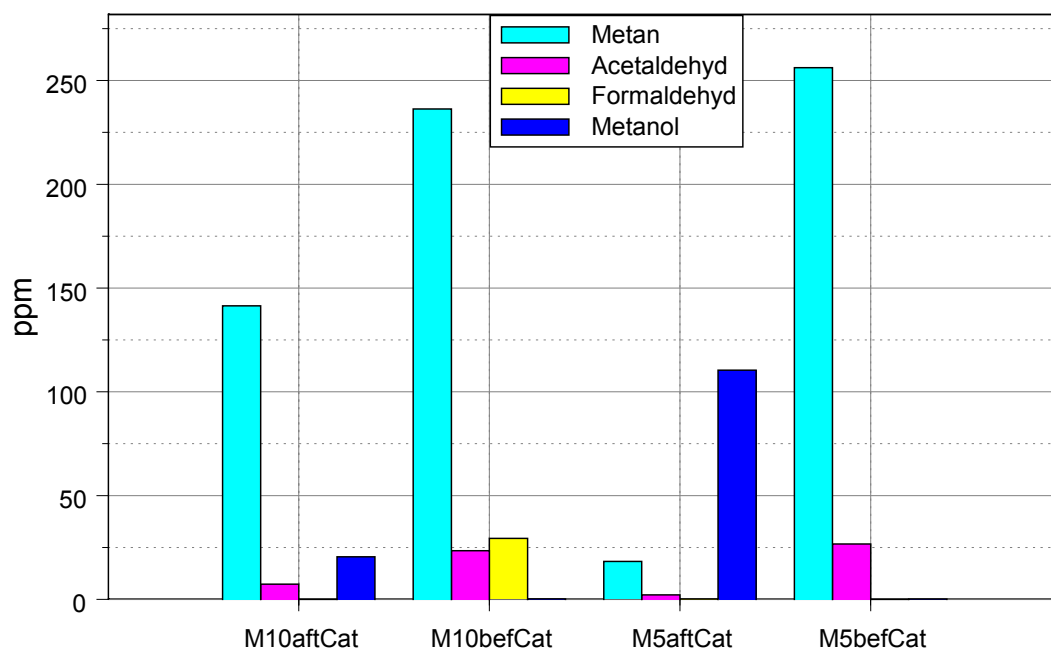
Figur 45. Jämförelse av specifik CO emission efter katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2. Kurvorna visar motsvarande lambda värden



Figur 46. Jämförelse av specifik NOx emission före katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2.



Figur 47. Jämförelse av specifik NOx emission efter katalysator mellan M5 och M10 med belastning enligt Tabell 2. Kurvorna visar motsvarande lambda värden



Figur 48. Koncentrationer före respektive efter katalysator vid 2000 rpm och 2 bar medeltryck.

5.6.6 Slutsatser

Inblandning av metanol i etanolfri bensin har haft en viss gynnsam inverkan på basemissionerna avseende CO och energieffektivitet. För HC och NO_x emissionerna har det inte gått att påvisa någon signifikant inverkan. Tendensen har sammantaget varit en mycket svag ökning av HC för båda motortyperna medan NO_x minskat för den portinsprutade motorn men ökat svagt för GDI motorn.

Efter katalysatorn är skillnaderna mer utjämnade och för de oxiderande emissionerna är värdena överlag låga. För kväveoxiderna är förändringarna mycket små och tycks påverkas mer av andra faktorer än bränsleblandningen.

Halterna av metan, acetaldehyd, formaldehyd och metanol i avgaserna är mycket låga. Katalysatorn reducerar dessa ytterligare till nära nollvärden, undantaget metan.

Sammantaget finns det ingen anledning att avstå från inblandning av metanol i bensin där redan 10% inblandning i de flesta fall har en gynnsam effekt på emissioner och fossil CO₂ både genom inblandning samt att motorn verkningsgrad ökar något. Det är säkert möjligt att nå ytterligare prestandaförbättringar genom optimering av motor och dess insprutningssystem för aktuellt bränsle.

6 INBLANDNING AV ETANOL OCH METANOL

6.1 Bränslespecifikationer.

Det för projektet initialt föreslagna M3-bränslet skulle bestå av en låginblandning av 3 vol-% metanol i bensen. Ett sådant blandbränsle förekommer inte på marknaden. Det tyska bolaget Aral har dock utnyttjat metanolinblandning i bensen under lång tid, varvid halten lär ha varit omkring 2 vol-%. Man använde sig därvid av sk cosolventer för att göra blandbränslet mer tåligt mot vatteninträngning och att därvid förhindra att bränslet separerar i två faser ("fasseparation"). Motsvarande inblandning av en cosolvent kunde förutses behövas även i föreliggande projekt för M3 (se nedan).

För bensen torde det vara den gällande specifikationen för bensen, miljöklass 1 (MK 1), som är aktuell. Denna ges av svensk standard SS 15 54 22, "Motorbränslen – Oblyd bensen av miljöklass 1 – Krav och provningsmetoder." Den är ett svenskt komplement till Europastandarden SS-EN 228 ("Automotiv fuels – Unleaded petrol of environmental class 1 – Requirements and test methods", utgåva 5). Standarden är anpassad till den svenska lagstiftningens definitioner av miljöklassad motorbensen i miljöbalken.

Som synes av Bilaga 1, där aktuella krav enligt standarden framgår, kan upp till 3 vol-% metanol ingå i bensen utan att standardens krav åsidosätts. Ett annat krav är att masshalten syre ej får överskrida 2,7 vikts-%. Detta senare krav begränsar halten av den tillåtliga mängden oxygenater i bränslet. 3 vol-% metanol innebär en masshalt syre av endast 1.6 vikts-% (om inga andra oxygenater är närvarande). Detta innebär då faktiskt, att det redan finns en accepterad standard för blandbränslet M3, som skulle kunna användas. Någon ny standard för M3 behövs därför inte. Det finns dessutom en marginal för ytterligare oxygenatinblandning, som kan användas för något speciellt ändamål såsom att öka bränslets tålighet mot fasseparation (p g a vatteninträngning). Om etanol väljes för denna funktion, finns därmed en marginal på 3,0 vol-% etanol. Ett blandbränsle, som skulle kunna betecknas M3E3 satisfierar också angiven bensinstandard, med kravet på en syrehalt inte överstigande 2,7 vikts-%. Ett sådant bränsle har fördelen gentemot M3 att kunna vara mer robust med avseende på vatteninträngning och därav följande fasseparation.

Slutsatsen blir alltså, att gällande bensinspecifikation tillåter ett blandbränsle innehållande såväl 3 vol-% metanol som 3 vol-% etanol.

6.2 Fördelar med inblandning av både metanol och etanol

1. Bränslet kan lätt distribueras storskaligt eftersom metanol kan blandas direkt i befintliga cisterner för etanol före inblandning i bensen.
2. Etanolen gör blandningen stabilare ur fasseparationssynpunkt. På de ställen där E5 används idag är risken för vatteninblandning undanröjd.
3. Etanolen har sannolikt en reducerande inverkan på metanolens ökande av RVP.
4. Ökningen av oktantal blir högre för M3E3 (+2,2) än för E5 (+1,7).
5. Totala volymsandelen alkoholer kan ökas jämfört med E5 vilket kan vara gynnsamt ur prissynpunkt. Särskilt om metanolen erhåller skattebefrielse som pilotprojekt men också om metanol beskattas med rättvis energi- och CO₂-skatt.

För bränsle innehållande metanol synes specifikationskraven för bränslemetanol kunna sammanfalla med den specifikation, som hittills gällt för metanol till kemisk industri. En aktuell specifikation kan därför vara en av International Methanol Producers and Consumers Association (IMPCA) specification 1999, som återges i Bilaga 2 och som antas kunna också fylla de strängare krav för den metanolkvalitet, som skall kunna användas för FCV ("Fuel Cell Vehicles"). I avsaknad av en produktion av biometanol har för närvarande ännu inte någon särskild specifikation för en sådan, på förnybara råvaror baserad produkt kunnat tas fram. Man torde dock kunna få förutsätta, att en gångbar specifikation för "biometanol" kommer att sammanfalla med den för fossilbaserad metanol gällande industristandarden.

Vad beträffar framtida utveckling och användning av bränslecellfordon (FCV), så kommer sannolikt dessa att kräva inte bara strikt trohet mot en skärpt metanolspecifikation utan även trohet också mot en närmast sluten hantering av metanol från "vaggan till graven". En sådan hantering blir då helt tillägnad slutanvändning av metanol i FCV-fordon med de stränga krav på att metanol inte får förorena extremt känsliga delar i bränslecellsystemet (t ex system för konvertering av metanol till vätgas "on line"). De krav som då måste ställas på metanolkvaliteten har undersökts i ett projekt, som nyligen beskrivits i en rapport från bränslecellbolaget "XCELLSiS" ("Methanol Fuel Quality Specification Study For Proton Exchange Membrane Fuel Cells", av Melissa Funk). Härutöver har organisationen "Methanol Fuel Cell Alliance" (MFCA) nyligen på ett mer heltäckande sätt belyst problematiken med metanol för FCV-användning ("MFCA joint position document") i ett omfattande forskningsdokument (242 sidor).

Den slutsats som kan dras av dessa "bränslecellsdedicerade" studier är att de krav, som behöver ställas på metanol för låginblandningsändamål skiljer sig på ett par punkter från de krav som bränslecellanvändningen ("FC-bränsle") ställer. En viktig skillnad är att "FC-metanol" skall innehålla vatten till ca 20% medan metanol för låginblandning kräver högsta möjliga vattenfrihet för undvikande av fassetparation i bensinblandningar. En annan skillnad består i att extremt höga krav måste ställas på ett distributionssystem för metanol till FC-bränsle medan distributionen för låginblandning i varje fall inte skulle behöva vara helt sluten och dedicerad uteslutande för metanol (blandad användning av rörledningar för bensin och alkohol kunde t ex vara tillåtlig).

6.2.1 Möjliga bränsleformuleringar.

Genomförande av fältprov med M3-bränsle kräver att en basbensin helt utan tillsatser kan tas fram. Denna bensin skall kunna karaktäriseras som ett M0E0-bränsle med en specifikation enligt svensk standard SS 15 54 22. Metanol skall tillsättas med specifikation enligt tillämplig standard (t ex enligt International Methanol Producers and Consumers Association (IMPCA) specification 1999, Bilaga 2, eller Federal Grade AA). En infrastruktur för fältprovet inkluderande en lämplig bränsletank, förslagsvis av kolstål, rostfritt stål eller av galvaniserat material, skall då etableras och användas för bränslelagring och tankning.

Den låginblandning, som för närvarande används i Sverige, är ett E5-bränsle, som uppfyller svensk standard. En fungerande infrastruktur för E5 har följaktligen etablerats med gott resultat. Att etablera ett med detta system konkurrerande M3-system i stor, kommersiell skala skulle möjligen komma att stöta på vissa besvärliga problem. Det kan därför förefalla som mer genomförbart och mindre problemfyllt att istället för en M3-formulering inrikta introduktionsfasen för en metanolhaltig låginblandning på ett recept, som utgår ifrån E5-bensin som grundbensin (istället för en E0M0-formulering). En sådan

blandning kan åstadkommas utan att den aktuella bensinstandarden för MK1 överträds. En låginblandning som således innehåller både metanol och etanol kommer dessutom att få relativt M3 bättre egenskaper samtidigt som den redan etablerade infrastrukturen för E5 kan användas utan problem.

M3-bränsle är känslig för fassparation genom vatteninträngning. Detta problem skulle kunna lindras (som omnämnts ovan) genom att istället helt ut utnyttja den bensinspecifikation som gäller i vad avser maximal halt av syre i bränslet (2,7 vikts-%). Om man utgår från E5-bränsle, skulle ett bränsle innehållande 1,7 vol-% metanol i E5-bensin inte överskrida den stadgade maximala gränsen på 2,7 vikts-% syre. Halten etanol sjunker då något med denna metanolinblandning till 4,9 vol-%. Aktuell bensinstandard skulle då innehållas med formuleringen M1,7E4,9. Fördelarna med denna bränsleformulering är bl a följande:

1. M1,7E4,9 är ett ur fassparationssynpunkt mer stabilt bränsle än M3-bensin.
2. M1,7M4,9 uppfyller gällande bensinstandard vad avser tillåtliga halter av etanol, metanol och syre.
3. M1,7E4,9 kan lätt åstadkommas omedelbart genom att använda kommersiellt tillgängligt E5-bränsle.
4. En låginblandning M1,7E4,9 skulle omedelbart kunna introduceras utan problem, eftersom det tilltänkta fältprovet med M3 inte gett anledning till bekymmer av något slag vad beträffar effekten av metanolhalten i bensin. Det är tom sannolikt, att ett sådant bränsle skulle kunna tillhandahållas till ett billigare pris än nuvarande E5-bränsle (kanske t o m utan punktskattebefrielse för metanolkomponenten). Ur prissynpunkt kan det vara en fördel att ha ytterligare en komponent eftersom etanolpriset förmodligen kommer att stiga i framtiden beroende på att användningen i Europa av etanol i bensin sannolikt kommer att öka.
5. M1,7E4,9 skulle kunna färdigtillblandas på i princip samma sätt som E5 idag genom att tillhandahålla en alkoholkomponent innehållande ca 25,8 vol-% metanol i vattenfri etanol. Denna alkoholblandning tillsättes sedan bensin till 6,6 vol-% för att erhålla ett M1,7E4,9-bränsle.
6. Produktionen av M1,7E4,9 skulle på detta sätt kunna etableras utan förändring av nuvarande infrastruktur för E5. Behovet av en särskild infrastruktur för metanolhaltig låginblandning bortfaller. Infrastrukturen för E5 har fungerat utan att problem med t ex vatteninträngning som orsakat fassparation hittills inträffat.

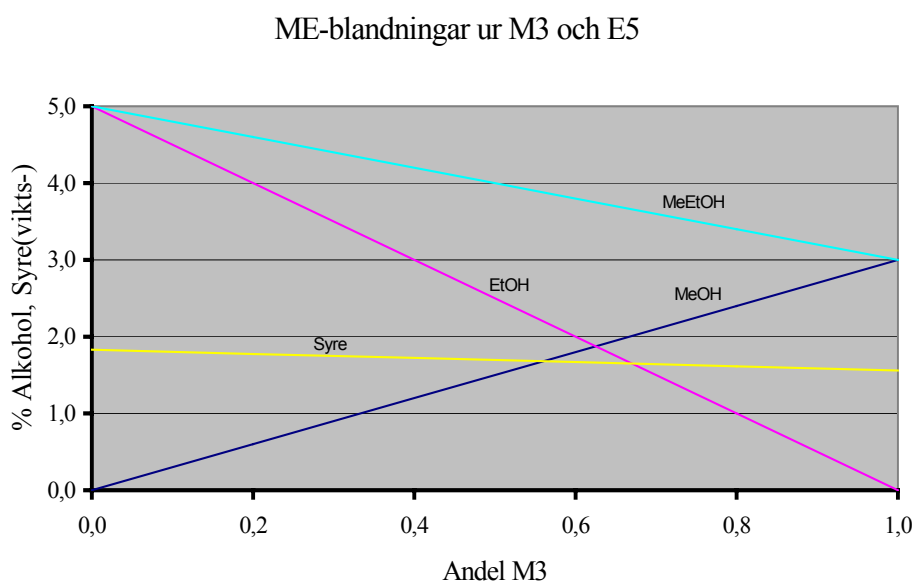
Respektive metanol-, etanol- och syrehalter genom att blanda M3- och E5-bränsle producerade bränsleformuleringar framgår av Figur 49 nedan (exempel från Fig 20: M3-andelen = 0,4 ger E5-andelen = 0,6 och bränsleformeln M1,2E3).

6.2.2 Fasseparationsproblemet.

Konventionella petroleumbaserade bränslen har ytterst liten benägenhet att ta upp vatten och förbli homogena. Vatteninträngning i bränslesystemen leder därför lätt till fassparation, dvs vatten ansamlas i en särskild fas på botten av lagercisterner och fordonstankar (vatten har högre täthet än bensin). Kapaciteten att ta upp vatten utan att fassparation uppträder ökar dock kraftigt vid inblandning av alkoholer. Men så snart kapacitetsgränsen för vattenupptagningsförmågan vid en viss alkoholinblandning har nåtts sker ändå en uppdelning av blandbränslet i två skilda faser, varvid den (sjunkande) tyngre fasen består av såväl vatten som alkohol. Den lättare fasen blir därmed utarmad på alkohol.

Bränslets formulering måste då vara sådan att säkerheten mot fassparation blir betryggande i hela kedjan distribution, lagring och slutlig användning i fordon.

Vid fassparation sjunker alltså den tyngre vätskefasen till botten av en lagertank och tenderar sedan att sprida sig därifrån ut i distributionssystemet, om den inte upptäcks och åtgärdas. Eftersom den lättare bensinfasen riskerar att bli "off-spec" efter fasseparationen (bl a extraheras aromater ut i alkoholfasen), kommer alkoholens oktantalseffekt att förloras och bensinens egenskaper påverkas negativt (motorn hackar eller tom stannar. Om den vattenhaltiga alkoholfasen kommer in i bränslesystemet stannar motorn omedelbart). Andra negativa effekter består i ökad korrosion med risk för igensättning av filter på grund av rost- och smutsinblandning i bränslet. Det blir om detta inträffar, nödvändigt att dränera och rena hela bränslesystemet i motorn, innan nytt bränsle kan tankas.



Figur 49. Syre- och alkohol för blandningar mellan M3 och E5

Toleransen mot vatteninträngning beror också på bensinens kemiska sammansättning. Så t ex ökar vattentoleransen vid ökande halt av aromater. Den ökar också vid ökande alkoholinblandning, varvid inblandning av högre alkoholer (C_X -alkoholer, med $X > 1$) utgör ett mer effektivt skydd än vid ren metanolinblandning. Dessutom stiger vattentoleransen vid ökande temperatur, varav också följer att en specifikation för en blandbensin måste kunna specificera en lägsta temperatur för att säkra homogeniteten ("enfashigheten") av den aktuella bränsleformuleringen vid alla de yttre temperaturer, som kan förekomma i bensinens användningsområde.

Enligt en undersökning (SMAB 1978, "Framtida drivmedel") ges den maximala inblandningen av vatten i en metanol/bensin-blandning vid 20°C i nedanstående Tabell 5:

Tabell 5. Maximal inblandning (vikts-%) av vatten i bensin/metanol (vid 20°C)

Vatten	Bensin	Metanol
0,023	100	0
0,06	98,0	2,0
0,13	94,9	4,9
0,15	93,1	6,8
0,24	89,8	10,0
0,32	86,6	13,1

Genom enkel interpolering fås nu att vattentåligheten för ett M3-bränsle ligger på nivån 0,08 vikts-% vatten för den speciella bensin, som undersökningen avsåg. IMPCAs standardförslag anger ett maxvärde på 0,1 vikts-% vatten i metanol, vilket för M3 innebär ett maximalt vattentillskott av 30 ppm till blandbensinen, som därför får en marginal för vatteninträngning på åtminstone ca 540 ppm upp till en vattentolerans (vid 20 °C) av 800 ppm ($800-230-30 = 540$) för M3. Om detta inte kan anses tillräckligt måste tillsatser göras av högre alkoholer, som har betydligt större löslighet i bensin än metanol.

Vattentoleransen hos en metanol/bensin-blandning ökar vid tillsats av en högre alkohol såsom isobutanol (bäst är C₅-C₆-alkoholer). Enligt gjorda undersökningar ökar vattentåligheten vid -30°C till omkring 0,20 – 0,30 vikts-% vid tillsats av isobutanol till 4 vikts-% i en blandning med 16 vikts-% metanol. Vilka värden som skulle erhållas med dagens svenska MK1-bensin och vid lägre ”lågïnblendningshalter” av metanol och etanol har inte klarlagts. Detta bör dock göras inför en introduktion av en metanol/bensin-blandning som drivmedel.

E5-bränsle med en aromathalt av 26 % klarar ett krav på en vattentolerans av 0,1 vikts-% vid så låga temperaturer som -30°C enligt ”Alcohol and alcohol blends as motor fuels”, (STU information 580-1986, avsnitt 6.8), varför man kan dra slutsatsen att en kombination av metanol och etanol i ovan antydda proportioner också skulle göra detsamma vid användning av MK1-bensin enligt aktuell standard med enligt standarden tillåtliga aromathalter (upp till 35%).

6.2.3 Flyktighet.

Körbarheten (t ex i termer av hur fordonet svarar på förarens behandling av gaspedalen) av ett bränsle beror i hög grad på dettas flyktighet. Körbarheten beror således inte bara på motorns egenskaper (t ex storlek, vridmoment, etc.) utan också på hur väl blandning sker av luft och bränsle i, i synnerhet, förgasarmotorer. Detta blir särskilt påtagligt under mer extrema förhållanden av kyla och värme. Kallstartegenskaper, acceleration, tomgång, och uppvärmningstid är exempel på egenskaper, som kan påverkas av bränslets flyktighet.

Flyktigheten hos ett bränsle eller en olja kan enklast definieras som dess tendens att övergå från vätskefas till ångfas och beror på dess sammansättning och temperatur. Sammansättningen har betydelse, eftersom bensin innehåller många olika komponenter med olika koktemperaturer mellan ca 20 och till mer än 200 °C, och bränslet exponeras i motorn inte bara för omgivningens temperatur utan också för arbetstemperaturen i hela bränslesystemet. Bränslet kan således komma att exponeras för temperaturer på från (åtminstone) -30 till ca +120 °C i förhållanden, som typiskt kan förekomma i Europa.

På grund av att alkoholer karaktäriseras av starka s k vätebindningar är alkoholernas flyktighet avsevärt lägre än många av de kolväteföreningar, varav bensin består. Detta

illustreras enklast genom att jämföra kokpunkterna för de olika föreningarna. Så t ex har metanol och etanol höga kokpunkter (69 resp 78 °C) medan motsvarande (jämförbara molekylvikter) kolväten har betydligt lägre kokpunkter (t ex etan har en kokpunkt på -88 °C).

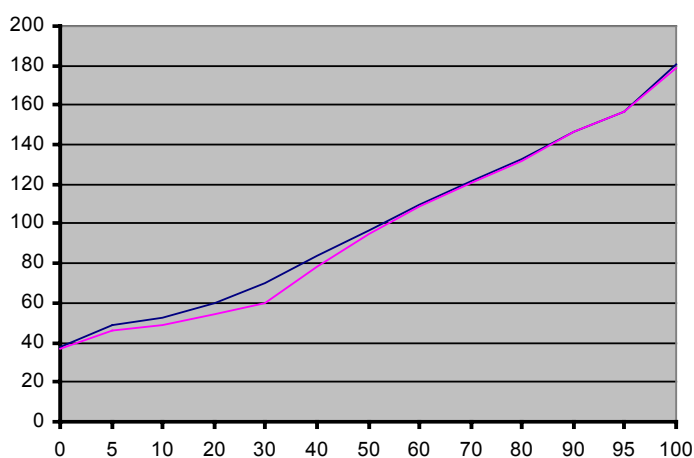
Vid låginblandning av alkohol i bensin inträffar dock det fenomenet, att ångtrycket för blandningen ökar jämfört med den alkoholfria bensinen. Detta är särskilt utpräglat vid låginblandning av metanol.

RVP-värdet för metanol och etanol ligger på 32 resp. 16 kPa (enligt bensinstandarden för MK1 skall RVP sommartid ligga på max 70 kPa och vintertid på max 95 kPa). Det RVP-värde som beräknas för en med nämnda alkoholer låginblandad bensin, måste dock kalkyleras på basis av värden för bland-RVP, som för metanol ligger på 400 och för etanol på 120 (enl "Ethers in Gasoline", NUTEK 1995:41). Orsaken för att skillnader uppstår mellan bland-RVP och RVP för de rena alkoholerna beror på att antalet vätebindningar mellan enskilda alkoholmolekyler blir färre vid inblandning i bensin (eftersom RVP-värdet sammansätts av partialtrycken för bensinkomponenterna måste dock erinras om att bland-RVP för alkoholerna också torde bli beroende på basbensinens detaljerade sammansättning).

För de olika låginblandningar, som kan bli aktuella för Intromet-projektet beräknas RVP (kPa) enl Tabell 6 nedan:

Tabell 6. Beräknade RVP-värden för olika aktuella alkoholinblandningar i bensin.

Formel	Basbensin	RVP-ökning (utöver max- standard)	Total RVP	Kvalitet
M3	RVP = 59	-0,8	69,2	Sommar
M3	RVP = 85	-0,5	94,5	Vinter
M3E3	RVP = 57	-0,8	69,2	Sommar
M3E3	RVP = 83	-1,4	93,6	Vinter
M1,7E4,9	RVP = 61	-0,3	69,7	Sommar
M1,7E4,9	RVP = 88	-0,1	94,9	Vinter



Figur 50. Destillationskurvor för E3 resp M3E3

För att säkerställa bensinstandardens max-värden för RVP kan det bli nödvändigt att modifiera basbensinen så att låginblandningens resulterande RVP inte överskrider nämnda max-värden. Av ovanstående tabell framgår då att basbensinens sommar-RVP kan väljas till högst 59 kPa för M3, 57 kPa för M3E3, 61 kPa för M1,7E4,9, utan att RVP för respektive

låginblandningar hamnar utanför standardiserat max-värde. För vinterkvaliteterna gäller på samma sätt, att basbensinens RVP bör vara högst 85 för M3, 83 för M3E3, och 88 för M1,7E4,9. Samtliga av dessa krav faller inom Mk1-standardens RVP-intervall.

Jämförelse mellan ovan beräknade RVP-värden med uppmätta värden för av Statoil färdigställda och analyserade verkliga blandningar (M3E3 resp E3) visar god överensstämmelse.

Närvaro av alkoholer i bensin har stor påverkan på destillationskurvan liksom på V/L-förhållandet, och det är återigen metanol, som har störst effekt. Också basbensinens sammansättning har betydelse för storleken av påverkan. Detta beror på att olika kolväten bildar lågkokande azeotroper med alkoholer. Vilka avvikelser, som kan anses kunna tillåtas vad avser flyktighetsegenskaperna för låginblandning kan behöva bestämmas efter omfattande tester med existerande och framtida bilmodeller.

I återges destillationskurvorna för två av projektet valda sammansättningar, E3 resp M3E3, vilka tillblandats och analyserats av Statoil. Diagrammet ger temperatur vs procentandelen förångat. Den övre kurvan avser E3 och den undre M3E3. (mer exakt M3,7E2,8 resp M0,6E2,8). Det framgår att de båda bränsleblandningarna är likvärdiga för om mellanområdet (dvs för temperaturer över 100 °C), medan M3E3 torde ha bättre kallstartegenskaper än E3.

Flampunkten hos bränslet är den lägsta temperatur vid vilken antändning av ångfasen över bränslets vätskefas kan ske (t ex av en gnista). Flampunkten, som utgör ett mått på tendensen hos ett bränsle att bilda antändningsbara blandningar med luft, har huvudsakligen betydelse för säkerheten i vad avser hantering, lagring och distribution av ett bränsle. Låginblandning av alkoholer i bensin torde endast få marginell påverkan av flampunkten.

6.2.4 Kompatibilitet mellan metanol och motormaterial.

De flesta bilar har konstruerats för kolvätebränslen enbart. Många nyare modeller har dock modifierats för att motstå påverkan från såväl låg- som höginblandning av alkoholer (såsom M15). Det kan emellertid förväntas, att biltillverkare kommer att - under överskådlig tid - tillåta endast låginblandning. Detta torde i synnerhet gälla för metanol, där gränsen hittills satts till M3 i Europa. Etanol tillåts däremot till 5% och i USA till 10% (gasohol). I Brasilien används ända upp till renalkoholbränsle ("neat alcohol fuel").

Kompatibiliteten mellan ett bränsle och ett visst material (metall, gummi, plast) kan definieras som livslängden av materialet ifråga vid exponering för bränslet. För ersättningsmaterial kan detta sammanfalla med den maximala tiden mellan servicetillfällena. För andra material kan det röra sig om fordonets eller motorns hela livslängd.

Alkoholblandning ökar korrosion av metalliska konstruktionsmaterial (jämfört med kolväten) bl a på grund av att alkoholer har högre elektrisk ledningsförmåga än kolväten, vilket kan påskynda, i synnerhet vid närvaro av fukt i bränslesystemet, elektrokemisk påverkan och galvanisk korrosion mellan olika metaller i kontakt med varandra. Närvaro av alkoholer kan också orsaka svällning, hårdning, eller förlust av mekaniska egenskaper hos organiska konstruktionsdetaljer. Alltför korta serviceintervall orsakade av sådana effekter kan indikera behov av förändringar.

Då en materialpåverkan har påträffats kan en enkel lösning vara att öka användningen av t ex korrosionsinhibitorer. Annan additivering kan också vara nödvändig (såsom

detergenter, anti-skummedel, antioxidanter, etc). Därvid måste kompatibiliteten med alkohol prövas, i varje fall vid högnivåinblandning.

Resultat från laboratorieundersökningar, som också bekräftats av genomförda fältprov, visar att låginblandning av alkoholer i bensin i allmänhet inte medför några kompatibilitetsproblem mellan bränslet och motorns konstruktionsmaterial jämfört med 100 % ren "kolvätebensin". Detta kan kanske sägas ligga redan i det faktum att låginblandning med högst 5 % etanol och högst 3 % metanol är tillåten enligt svensk standard för MK1-bensin. Däremot har kompatibilitetsproblem uppstått vid högnivåinblandning, vid tvåfas-separerade blandningar liksom vid användning av rena alkoholer som drivmedel.

Vid förbränning av alkoholer bildas ättiksyra och myrsyra. Syrorna kan lösa upp den smörjande oljefilmen i cylindrarna och därigenom ge ökat slitage och direkt korrosion vid direktkontakt med cylindermetalen. Detta är sannolikt inget problem vid låginblandning och för högre blandningar löser man problemet med rätt materialval. Bränslets syratall bör inte vara högre än 0,005% räknat som ättiksyra och pH-värdet, som är en annan viktig faktor bör ligga i intervallet 6,5-9. SAAB Powertrain som så framgångsrikt introducerat SAAB 9-5 BioPower med en FFV-motor för E85, arbetar vidare med både etanol- och metanoldrift. SAAB ser gärna att korrosionsinhibitorer används som tex Octel DCI-11 men med rätt materialval bör korrosionen vid högre halter av metanolinblandning inte vålla några problem.

Mot bakgrund av att motorbränslen varierar på marknaden i avseende på sammansättning, ursprung, förekomst av additiv av olika slag, mm, har det länge funnits behov av rationella metoder för att kvalificera material för generell användning i bränslesystem med syfte att uppnå större säkerhet i bedömningen av om komponenterna i ett bränslesystem kan överleva i den miljö, som definieras av ett visst bränsle. Problemet har upplevts som allt svårare under senare tid sedan kraven på bättre miljö har medfört utveckling av en serie "renare" bränslen. Av detta skäl har sedan mer än 10 år en särskild arbetsgrupp ("SAE J1681 Task Force", jfr 2.4.1) med representanter från bl a motortillverkare (t ex Ford Motor Co, GM) och bränsleföretag arbetat med detta problem och kunnat utveckla en enkel och rationell metod för att kvalificera material för användning i motorer. Metoden bygger på tanken att använda särskilda standardiserade test-vätskor och test-bränslen, som skall simulera motorbränslets påverkan på ett sätt, som är starkare än det aktuella motorbränslet, och som därför dels blir mer utslagsgivande, dels ger snabbare resultat och blir billigare att använda än om det egentliga motorbränslet skulle testas. Sådan laboratorieprovning torde dock ej behöva genomföras för de för Intromet-projektet aktuella låginblandningarna, av vilka ingen behöver överskrida aktuell bensinstandard. För blandningar med högre alkoholhalter synes dock sådan materialprovning bli nödvändig.

6.2.5 Oktantalsrespons vid inblandning av alkoholer i bensin.

Alkoholblandning i bensin påverkar (höjer) oktantalet hos bensinen ifråga på att det skiljaktigt oktantalet för alkoholer är betydligt högre än oktantalet ("ON") för basbensinen. Således kan oktantalet för låginblandningen skrivas som

$$ON = a \cdot ON_1 + b \cdot ON_2$$

Där ON_1 betecknar alkoholkomponentens blandoktantal och ON_2 representerar basbensinens oktantal. a och b står för respektive blandkomponents halt i vol-%. RON_1 (Research Octane Nr) för metanol ligger på värdet 133 för metanol och på 130 för etanol (enl "Fuels and Lubricants Handbook", ASTM Manual Series: MNL37WCD, June 2003). Motsvarande värden för MON (Motor Octane Nr) är 99 resp 96 för metanol resp etanol.

Insättning av dessa värden samt med aktuella halter alkohol och bensin erhålls följande oktantalshöjningar (Delta ON) relativt basbensinen (M0E0), som antas ha ett RON på 95 och ett MON på 85:

M3:

$$\text{Delta RON} = 0,03 \cdot (133 - 95) = 1,14, \text{ och } \text{Delta MON} = 0,03 \cdot (99 - 85) = 0,42$$

M3E3:

$$\text{Delta RON} = 1,14 + 0,03 \cdot 35 = 2,19; \text{Delta MON} = 0,42 + 0,03 \cdot 11 = 0,75$$

M1,7E4,9:

$$\text{Delta RON} = 0,017 \cdot 38 + 0,049 \cdot 35 = 2,36; \text{Delta MON} = 0,017 \cdot 14 + 0,049 \cdot 11 = 0,78$$

E5:

$$\text{Delta RON} = 0,05 \cdot (130 - 95) = 1,75; \text{Delta MON} = 0,05 \cdot (96 - 85) = 0,55$$

Bränsleformuleringarna M3E3 och M1,7E4,9 är således ganska lika vad avser oktantalrespons och de höjer också oktantalerna mer än både E5 och M3-formuleringarna. Med referens till fördelar, som listats härövan och den här uppskattade oktantalseffekten vid låginblandning med metanol och etanol skulle ett utbyte av E5 med M3E3 eller M1,7E4,9 (ung = M2E5) medföra förbättringar. I jämförelse härmed ger genomförda oktantalsmätningar på verkliga blandningar M3E3 således delta RON = 1,9 jämfört med 2,2 enl beräkning härövan (baserad på RON 95). MON-talet mättes till 86,3 för den nämnda blandningen, vilket skulle betyda att basbensinens MON skulle ligga på värdet 85,6, om ovan gjorda beräkning av delta MON (0,75) är riktiga.

7 STORSKALIG INTRODUKTION AV METANOL SOM DRIVMEDEL

Metanol kan användas som blandningskomponent i bensen eller som ren produkt. 100% metanol kan användas i ottomotorer, dieselmotorer och bränsleceller men för ottomotoranvändning blandas normalt ca 15% bensen (sk M85) i för att klara kallstarter. För dieselmotorer krävs tillsats av en tändförbättrare om inte annan teknisk lösning används som t ex glöd- eller tändstift.

Eftersom 3% inblandning av metanol är tillåten i svensk bensen enligt specifikationen för MK1 och MK2, dock med tilläggskravet att stabiliseringsmedel måste tillsättas, bör inga tekniska hinder vare sig i distributionsledet eller användarledet finnas i dagsläget. Etanolen som finns i dagens bensen fungerar som stabiliseringsmedel varför ingen extra stabiliserande tillsats behövs. Distributionssystem och fordon förutsätts klara detta på samma sätt som det idag ingår 5% etanol. Det är alltså fullt möjligt att ersätta en del av etanolen med metanol. Detta projekt har också visat att det är praktiskt möjligt. Det största tekniska problemet utgör den ökning av ångtrycket som alkoholen förorsakar när den blandas i bensen. I Sverige är gränsen för max tillåtet ångtryck högre än för mellersta och södra Europa. Basbensinen som ska blandas med alkohol måste ha lägre ångtryck före inblandning för att kompensera för den ångtrycksförhöjning som alkoholtillsatsen medför. Vid tidigare inblandningar av metanol i bensen har TBA (Tertiär Butyl Alkohol) blandats in vilket minskat ångtrycksökningen väsentligt kombinerat med att stabilitet mot fassparation vid vatteninblandning. I detta fall minskar kravet på lågt ångtryck på basbensinen före alkoholinblandning.

Det är önskvärt att högre halter än 3% får blandas in i bensen men detta steg kräver ytterligare studier av hur äldre fordon skulle påverkas av korrosion och angrepp på plast- och gummidmaterial i bränslesystemen.

Metanol kan som nämnts användas i dieselmotorer men idag sker ingen tillverkning av sådana motorer. Denna tillämpning är ändå mycket intressant för framtiden eftersom energiverkningsgraden är högre för dieselmotorer jämfört med ottomotorer.

Erfarenheterna från bränsleceller med metanolreformerare är ännu små. De sista åren har försök med bränsleceller för fordonsdrift varit fokuserade på vätgas som drivkälla. Kommersiella tillämpningar för bränsleceller för vägtransporter ligger ännu långt borta och det första steget tas med vätgas som drivmedel.

Försök av bla Xcellsis har visat att en del additiv, tänkbara för konventionella motorer, har försämrat funktionen hos katalysatorn i reformeraren redan efter kort tids test i laboratoriemiljö.

Den bästa användningen för metanol i dagsläget torde vara som låginblandning i bensen eller för FFV-bilar (Flexible Fuel Vehicles). Marknaden i dag är de 3% som får blandas in i bensen men för att skapa en större marknad för metanol i perspektivet att det är en av de mest energieffektiva bränslekandidaterna med stor råvarubas bör denna gräns höjas. Detta bör beaktas i arbetet som pågår med att höja tillåten gräns för etanol i bensen till 10%.

Den metanol som används idag är till största delen den internationella handelskvalitet som är specificerad enligt IMPCA (Bilaga 2). Denna kvalitet är fullt tillräcklig för inblandning i bensen eller som rent drivmedel för förbränningsmotorer. Det är sannolikt så att denna kvalitet är onödigt hög för användning i förbränningsmotorer men i ett framtida perspektiv kräver användning i reformatorer för bränsleceller mycket hög grad av renhet. Två faktorer

skiljer dock. För användning i förbränningsmotorer ska vattenhalten hållas så låg som möjligt medan reformering kan kräva tillsats av vatten. Alternativt kan vattnet recirkuleras.

Olika additiv kan tillsättas (för lukt, smak, färg, smörjning etc.) i metanol. För bränsleceller kan tillsatser ställa till problem i reformeraren eller bränslecellsstacken. Det är en fördel i det långa perspektivet om endast en metanolkvalitet används. Detta skulle underlätta framtida distribution.

I ett introduktionsskede kommer metanol primärt användas som inblandningskomponent varför fassparation pga vatteninträngning är en huvudfråga. Separation i fordonstanken ses inte som något problem så länge som distributionskedjan hålls vattenfri.

I Sverige användes metanol i flera flottförsök under 1980-talet. I dessa försök var fassparation inte något problem. En av de specifikationer som tillämpades framgår av Tabell 7.

Tabell 7. Metanol specifikation i Svenska flottförsök under 1980-talet

Komponent	Gräns/Enhet
Metanol	99,19% vikt
Vatten	0,09% vikt
Koldioxid	0,59% vikt
Hökokande komponenter	0,13% vikt

Som framgår av tabellen så var metanolen nästan vattenfri.

Dagens bensinspecifikation tillåter max 3% metanol i bensin under förutsättning att stabiliseringsmedel tillsätts. Vissa oljebolag menar att stabilisator inte är nödvändigt eftersom dagens distributionssystem är torra, till stor del beroende på att vi i Sverige har 5% etanol i bensinen vilket tar upp eventuella små vattenmängder. Etanol kan fungera som stabilisator vilket detta projekt visat. Observera att stabilisator inte är nödvändigt för högre inblandningshalter och gränsen ligger vid ca 15% metanolhalt.

Introduktion av biodrivmedel kräver skattesubventioner av något slag så länge priset på bensin och diesel ligger på nuvarande nivåer. De planer som föreligger i Sverige att fortsätta att introducera biodrivmedel och ge stöd för detta är bra. Det är dock inga långsiktigt givna politiska löften vilket är nödvändigt för att investeringar i nya produktionsanläggningar ska komma till stånd. Produktionskostnaderna för andra generationens biodrivmedel är högre än konventionell raffinaderiteknik.

7.1 Introduktionsstrategi

På bara ett par år har medvetenheten om begränsade oljetillgångar och ökad klimatpåverkan från användning av fossila bränslen ökat kraftigt och försäljningen av miljöbilar slår alla rekord. Anledningen till denna snabba förändring torde vara en kombination av fördelaktiga skattevillkor för förmånsbilar, skattesubvention av biodrivmedel samt ökad medvetenhet om oljetillgång och klimatpåverkan. Som exempel kan nämnas SAAB's succé med introduktion av 9-5 Biopower. SAAB nästa utvecklingssteg är motorer för 100% etanol som drivmedel och man tittar också redan idag på metanol.

Marknaden för metanol som drivmedel måste öka och ett första steg är att höja gränsen för inblandning i bensin samt att utreda möjligheten till att tillåta en väsentlig andel av metanol i dagens E85-bränsle. Detta bör ske omgående innan fordonsparken för E85-bilar vuxit alltför stor.

Introduktion av biometanol, såväl som andra biodrivmedel, kräver insatser inom två huvudsakliga områden. Å ena sidan måste ett marknadsbehov skapas samtidigt som produktionstekniken måste utvecklas och demonstreras. Intromet-projekt har varit fokuserat på marknaden. Utan avsättning för metanol som drivmedel kommer inte heller produktionstekniken att utvecklas. Ur försörjningssynpunkt kan fossil metanol, producerad från naturgas, introduceras redan idag. Detta skulle öppna upp en marknad för biometanol och stödja investeringar i förgasningsteknik för biomassa.

Förändringar i drivmedelstillförsel eller motorteknik påverkar ett väl etablerat system som långsamt byggts upp steg för steg under mer än ett århundrade. Vägtransporter med person- eller lastbil är en självklarhet i dagens samhälle och väsentliga förändringar måste planeras noggrant och involvera myndigheter och näringsliv inom ett stort geografiskt område. EU utgör ett tillräckligt stort område för introduktion av nya drivmedel.

Samtidigt med introduktion av nya drivmedel bör även miljöpåverkan och säkerhet vid tankning beaktas. Dagens tankningssystem bygger på gammal teknik och skulle ur miljö- och säkerhetssynpunkt förmodligen se helt annorlunda ut om de introducerades idag. System finns idag framtagna för helt sluten och spillfri tankning som medför både högre säkerhet mot olyckor och stöld samt inga utsläpp av flyktiga komponenter.

De viktigaste långsiktiga förutsättningarna för introduktion av biometanol är:

- Etablerade drivmedelspolicyer och introduktionsstrategier för biodrivmedel inom EU.
- Långsiktiga skatteförutsättningar som prioriterar biodrivmedel före fossila drivmedel.
- Tydliga intentioner från myndigheter om initiala investeringsstöd.
- Fortsatta forsknings- och utvecklingsstöd för förgasningstekniken.

7.2 Distribution

7.2.1 Distribution av biometanol för låginblandning

I en tidigare studie¹⁰ har det framkommit att en ekonomiskt lämplig storlek på en förgasningsanläggning för produktion av biometanol i Sverige, skulle framställa 550 ton ren metanol per dygn. Detta skulle generera transporter motsvarande 14 tankbilar per dygn, Tabell 8. Den mest effektiva distributionslogistiken är att utnyttja tomma tankbilar som fyllt på bensin på tankstationer och på vägen tillbaka till bensin depån passerar de metanolanläggningen och fyller på metanol för transport tillbaka till bensindepån. Här finns alltså en idag outnyttjad transportkapacitet. Tankbilarna måste dock vara klassade för metanol men då får även bensin transporteras. Detta är dock inget problem. Metanol är en handelskemikalie som fraktas dagligen i stora kvantiteter världen över och det finns ett väl

¹⁰ BioMeeT II Altener Project AL/2000/367

etablerat regelverk och väletablerad teknik. På depån blandas sedan metanolen med etanol i lämpliga proportioner. I detta fall 50/50 för att sedan blandas till M3E3-bensin.

Tabell 8. Metanoltransporter med tankbil

Dygnproduktion	550	Ton
Tankvolym	50,4	m ³
Lastkapacitet per transport	40	Ton
Produktionsdagar per år	333	Dagar
Leveranser per år	4 566	St
Leveranser per dygn	14	St
Leveranser per h	0,6	St/h
Leveransintervall	1,8	h

7.2.2 Distribution av fossil metanol

Fossil metanol tillverkas främst från naturgas men kol är också ett alternativ som diskuteras alltmer världen över som en ersättare till naturgas och råolja (Kina, USA). Stora kolreserver och en god global fördelning bidrar till att man idag ökar insatsen av forskning på kol till flytande drivmedel (CTL). Kolbaserad metanolproduktion kombinerat med omhändertagande av CO₂ kan bli verklighet i framtiden. I Sverige finns ingen produktion av fossil metanol idag utan allt importeras.

8 SLUTSATSER

En inblandning av metanol i bensin är praktiskt möjligt idag. Europastandarden för bensin tillåter upp till 3% inblandning av metanol och emissioner och körbarheten påverkas ej. En bättre blandning är att utöver 3% metanol även tillsätta 3% etanol, totalt 6% alkohol, vilket också ryms inom bensinstandardens ramar och denna blandning fungerar också bra i praktiken vilket flottförsöket i detta projekt visat.

Det finns inte tillräckliga mängder biomassa i världen för att ersätta dagens användning av fossil bensin och diesel. Den biomassa som är lämplig för drivmedelsproduktion måste därför utnyttjas med högsta möjliga energieffektivitet och olika råvaror är olika lämpade för olika drivmedel. Det betyder att flera olika drivmedel måste finnas tillgängliga på marknaden för att nå en maximal biodrivmedelsandel. Det ställer krav på fordon och distributionssystem och en mångfald av drivmedel med speciellt framtagna fordon och separata distributionssystem blir kostsamt och det riskerar att fördröja utvecklingen och introduktionen av biodrivmedlen. Blandbränslen som tillåter flera olika drivmedelskomponenter ökar mångfalden av drivmedel men håller nere antalet fordonstyper och distributionssystem vilket är ekonomiskt fördelaktigt. Därför bör specifikationerna för diesel och bensin ses över i syfte att tillåta inblandning av flera olika biodrivmedelskomponenter. Produktion av biometanol bör stimuleras parallellt med att bränslespecifikationerna tillåter högre halter av metanol. Metanol har snarlika egenskaper med etanol och en samintroduktion av dessa bränslen bör uppmuntras. Förslagsvis kan specifikationen för E85 och E10 bensin utökas med en väsentlig del metanol för att utöka marknaden för biometanol. Dagens etanolbilar bör i framtiden även klara M85 eller åtminstone en betydande andel metanol.

Alkoholer har många goda egenskaper som drivmedel och metanol fungerar som drivmedel i både otto- och dieselmotorer och i framtiden även bränsleceller och nya koncept som tex HCCI-motorer. Detta innebär att det finns avsättning för produktion av biometanol, tex genom termisk förgasning av biomassa eller svartlut, men också för fossil metanol som kan motiveras av försörjningsskäl.

Metanol är en av de vanligaste handelskemikalierna världen över med en årlig förbrukning på ca 35 miljoner ton, och dess egenskaper är väl kända. Ett argument som ofta förs mot metanolen är dess giftighet. En åtgärd vid metanolintag är att dricka etanol och en blandning av etanol och metanol bör därför reducera risken för metanolförgiftning. Det finns i dag också effektiva motgift mot metanolförgiftning på marknaden. I en bensinblandning är emellertid risken för metanolförgiftning liten eftersom bensin i sig självt inte inbjuder till att dricka. Om ren metanol i framtiden introduceras som drivmedel finns redan idag slutna tankningssystem utvecklade i Sverige.

8.1 Emissioner

Inverkan på emissionerna är inte mätbara för en alkoholinblandning upp till 5% men med högre inblandningar kan alkoholernas påverkan registreras. Efter katalysatorn är skillnaderna i emissioner mellan olika metanolhalter i bensinen mycket små.

En intressant iakttagelse är att partikelkoncentrationen (antal/volymsenhet) i avgaserna påverkas ej av metanolhalten i bensinen men däremot minskar partikelmassan med ökande metanolhalt, vilket bekräftar tidigare erfarenheter att högre syrehalt i bensinen minskar partikelmassan i avgaserna.

Sammantaget finns det ingen anledning att avstå från inblandning av metanol i bensen där redan 10% inblandning i de flesta fall har en gynnsam effekt på emissioner och fossil CO₂ både genom inblandning samt att motorn verkningsgrad ökar något. Det är säkert möjligt att nå ytterligare prestandaförbättringar genom optimering av motor och dess insprutningssystem för aktuellt bränsle.

8.2 Fördelar med inblandning av både metanol och etanol

Bränslet kan lätt distribueras storskaligt eftersom metanol kan blandas direkt i befintliga cisterner för etanol före inblandning i bensen.

Etanolen gör blandningen stabilare ur fassparationssynpunkt. På de ställen där E5 används idag är risken för vatteninblandning undanröjd.

Etanolen har en reducerande inverkan på metanolens ökande av ångtrycket.

Ökningen av oktantalet blir högre för M3E3 än för E5.

Totala volymsandelen alkoholer kan ökas jämfört med E5 vilket kan vara gynnsamt ur prissynpunkt. Särskilt om metanolen erhåller skattebefrielse som pilotprojekt men också om metanol beskattas med rättvis energi- och CO₂-skatt.

8.3 Fasseparation

Dagens bensinspecifikation tillåter max 3% metanol i bensen under förutsättning att stabiliseringsmedel tillsätts. Vissa menar att stabilisator inte är nödvändigt eftersom dagens distributionssystem är torra, till stor del beroende på att vi i Sverige har 5% etanol i bensen vilket tar upp eventuella små vattenmängder. Etanol kan fungera som stabilisator vilket detta projekt visat. Stabilisator inte är nödvändigt för högre inblandningshalter och gränsen ligger vid ca 15% metanolhalt.

Konventionella petroleumbaserade bränslen har ytterst liten benägenhet att ta upp vatten och förbli homogena. Vatteninträngning i bränslesystemen leder därför lätt till fassparation, dvs vatten ansamlas i en särskild fas på botten av lagercisterner och fordonstankar. Kapaciteten att ta upp vatten utan att fassparation uppträder ökar dock kraftigt vid inblandning av alkoholer. Men så snart kapacitetsgränsen för vattenupptagningsförmågan vid en viss alkoholinblandning har nåtts sker ändå en uppdelning av blandbränslet i två skilda faser, varvid den tyngre fasen består av såväl vatten som alkohol. Den lättare fasen blir därmed utarmad på alkohol. Bränslets formulering måste vara sådan att säkerheten mot fassparation blir betryggande i hela kedjan distribution, lagring och slutlig användning i fordon.

Fasseparation har undersökts i många studier. Lösningen på det problemet verkar vara inblandning av högre alkoholer, t.ex. etanol, och en kontroll på att distributionsproblemet hålls torrt. I flottförsöket i detta projekt användes 3% etanol och 3% metanol och fassparation har inte uppstått, trots att omsättningen i cisternen som ställdes i ordning för flottförsöket var mycket låg.

8.3.1 Flyktighet.

Körbarheten av ett bränsle beror i hög grad på dettas flyktighet. Körbarheten beror således inte bara på motorns egenskaper utan också på hur väl blandning sker av luft och bränsle. Detta blir särskilt påtagligt under mer extrema förhållanden av kyla och värme. Kallstartegenskaper, acceleration, tomgång, och uppvärmningstid är exempel på egenskaper, som kan påverkas av bränslets flyktighet.

Alkoholernas flyktighet är avsevärt lägre än många av de kolväteföreningar som bensin består av. Vid låginblandning av alkohol i bensin inträffar dock det fenomenet, att ångtrycket för blandningen ökar jämfört med den alkoholfria bensinen. Detta är särskilt utpräglat vid låginblandning av metanol.

För att säkerställa bensinstandardens max-värden för ångtryck kan det bli nödvändigt att modifiera basbensinen så att låginblandningens resulterande ångtryck inte överskrider nämnda max-värden. Sommarångtrycket kan väljas till ca högst 57 kPa om M3E3 skall blandas in. För vinterkvaliteten gäller på samma sätt, att basbensinens ångtryck bör vara högst ca 85. Samtliga av dessa krav faller inom Mk1-standardens ångtrycksintervall.

8.3.2 Kompatibilitet mellan metanol och motormaterial.

De omfattande studier och försök som gjorts med metanol under åren har skapat en stor kunskap om materialpåverkan och lösningar. Den standard för testning av material som utarbetats, SAE J1681, borde, om den tillämpas av fordonsindustrin och dess underleverantörer, vara fullt tillräcklig för att säkerställa att låginblandning av metanol inte skall ge några problem med materialkompatibilitet. Följer man dessa rekommendationer kan problem undvikas.

Ökat motorslitage har konstaterats i ett flertal studier, främst med högre halter metanol (M85 och M100). Värst verkar problemet vara för gamla förgasarbilar. Mekanismerna för förslitningen tycks vara tämligen väl kartlagda. En intressant väg att minska slitaget vore om bränsle-luft prepareringen kunde förbättras. Denna förbättring har redan skett till viss del för bensindrivna bilar under de nära två decennier som katalytisk avgasrening använts.

Resultat från laboratorieundersökningar, som också bekräftats av genomförda fältprov, visar att låginblandning av alkoholer i bensin i allmänhet inte medför några kompatibilitetsproblem mellan bränslet och motorns konstruktionsmaterial. Inga tecken på korrosion har setts i projektets flottförsök.

8.3.3 Körbarhet Oktantalsrespons vid inblandning av alkoholer i bensin.

Kallstart är en akilleshäl för alkoholdrivna ottomotorer där några egentliga lösningar ännu inte kommersialiserats. Dock finns mängder av tänkbara lösningar, varav direktinsprutning torde vara den mest intressanta eftersom den också för med sig en del andra fördelar. Vid låginblandning utgör kallstart inte något problem. Under flottförsöket fanns inga problem med kallstarter under vintern, trots att den var både lång och kall.

Alkoholblandning i bensin höjer oktantalet hos bensinen pga att det sk bland-oktantalet för alkoholer är betydligt högre än oktantalet för basbensinen. Detta påverkar förbränningen i motorn positivt.

<u>M3</u> :	Ökning RON = 1,14	Ökning MON = 0,42
<u>3E3</u> :	Ökning RON = 2,19	Ökning MON = 0,75
<u>E5</u> :	Ökning RON = 1,75	Ökning MON = 0,55

8.4 Storskalig introduktion av metanol som drivmedel

Metanol kan användas som blandningskomponent i bensin eller som ren produkt. 100% metanol kan användas i ottomotorer, dieselmotorer och bränsleceller men för ottomotoranvändning blandas normalt ca 15% bensin (sk M85) i för att klara kallstarter. För dieselmotorer krävs tillsats av en tändförbättrare om inte annan teknisk lösning används som tex glöd- eller tändstift.

Eftersom 3% inblandning av metanol är tillåten i svensk bensin bör inga tekniska hinder vare sig i distributionsledet eller användarledet finnas i dagsläget. Etanolen som finns i dagens bensin fungerar som stabiliseringsmedel varför ingen extra stabiliserande tillsats behövs. Distributionssystem och fordon förutsätts klara detta på samma sätt som det idag ingår 5% etanol. Det är alltså fullt möjligt att ersätta en del av etanolen med metanol. Detta projekt har också visat att det är praktiskt möjligt. Det största tekniska problemet utgör den ökning av ångtrycket som alkoholen förorsakar när den blandas i bensinen. I Sverige är gränsen för max tillåtet ångtryck högre än för mellersta och södra Europa.

Det är önskvärt att högre halter än 3% får blandas in i bensin men detta steg kräver ytterligare studier av hur äldre fordon skulle påverkas av korrosion och angrepp på plast- och gummimaterial i bränslesystemen.

Metanol kan som nämnts användas i dieselmotorer men idag sker ingen tillverkning av sådana motorer. Denna tillämpning är ändå mycket intressant för framtiden eftersom energiverkningsgraden är högre för dieselmotorer jämfört med ottomotorer. USA's motsvarighet till Naturvårdsverket, EPA, konverterade en dieselmotor år 2005 till metanoldrift och nådde en högre verkningsgrad än vid dieseldrift.

Den bästa användningen för metanol i dagsläget torde vara som låginblandning i bensin eller för FFV-bilar (Flexible Fuel Vehicles). Marknaden i dag är de 3% som får blandas in i bensin men för att skapa en större marknad för metanol i perspektivet att det är en av de mest energieffektiva bränslekandidaterna med stor råvarubas bör denna gräns höjas. Detta bör beaktas i arbetet som pågår med att höja tillåten gräns för etanol i bensin till 10%.

Den metanol som används idag är till största delen den internationella handelskvalitet som är specificerad enligt IMPCA (Bilaga 2). Denna kvalitet är fullt tillräcklig för inblandning i bensin eller som rent drivmedel för förbränningsmotorer. Det är sannolikt så att denna kvalitet är onödigt hög för användning i förbränningsmotorer men i ett framtida perspektiv kräver användning i reformatorer för bränsleceller mycket hög grad av renhet.

Introduktion av biodrivmedel kräver skattesubventioner av något slag så länge priset på bensin och diesel ligger på nuvarande nivåer. De planer som föreligger i Sverige att fortsätta att introducera biodrivmedel och ge stöd för detta är bra. Det är dock inga långsiktigt givna politiska löften vilket är nödvändigt för att investeringar i nya produktionsanläggningar ska komma till stånd. Produktionskostnaderna för andra generationens biodrivmedel är högre än konventionell raffinaderiteknik.

8.5 Introduktionsstrategi

Marknaden för metanol som drivmedel måste öka och ett första steg är att höja gränsen för inblandning i bensin samt att utreda möjligheten till att tillåta en väsentlig andel av metanol i dagens E85-bränsle. Detta bör ske omgående innan fordonsparken för E85-bilar vuxit alltför stor.

Introduktion av biometanol, såväl som andra biodrivmedel, kräver insatser inom två huvudsakliga områden. Å ena sidan måste ett marknadsbehov skapas samtidigt som produktionstekniken måste utvecklas och demonstreras. Intromet-projekt har varit fokuserat på marknaden. Utan avsättning för metanol som drivmedel kommer inte heller produktionstekniken att utvecklas. Ur försörjningssynpunkt kan fossil metanol, producerad från naturgas, introduceras redan idag. Detta skulle öppna upp en marknad för biometanol och stödja investeringar i förgasningsteknik för biomassa.

Förändringar i drivmedelstillförsel eller motorteknik påverkar ett väl etablerat system som långsamt byggts upp steg för steg under mer än ett århundrade. Vägtransporter med person- eller lastbil är en självklarhet i dagens samhälle och väsentliga förändringar måste planeras noggrant och involvera myndigheter och näringsliv inom ett stort geografiskt område. EU utgör ett tillräckligt stort område för introduktion av nya drivmedel.

Samtidigt med introduktion av nya drivmedel bör även miljöpåverkan och säkerhet vid tankning beaktas. Dagens tankningssystem bygger på gammal teknik och skulle ur miljö- och säkerhetssynpunkt förmodligen se helt annorlunda ut om de introducerades idag. System finns idag framtagna för helt sluten och spillfri tankning som medför både högre säkerhet mot olyckor och stöld samt inga utsläpp av flyktiga komponenter.

De viktigaste långsiktiga förutsättningarna för introduktion av biometanol är:

- Etablerade drivmedelspolicyer och introduktionsstrategier för biodrivmedel inom EU.
- Långsiktiga skatteförutsättningar som prioriterar biodrivmedel före fossila drivmedel.
- Tydliga intentioner från myndigheter om initiala investeringsstöd.
- Fortsatta forsknings- och utvecklingsstöd för förgasningstekniken.

Referenser

- 1 Sandén Björn A. and Jonasson Karl M. (CTH): "Competition and co-evolution among contenders: *The development of alternative transport fuels in Sweden 1974-2004.*" Environmental Systems Analysis, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, 2005.
- 2 Hodge Carl (Consultant): "Ethanol use in the USA should be banned, not expanded." Oil and Gas Journal, week of September 2002.
- 3 European Union: "Proposal for a directive of the European parliament and of the council on the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 98/70/EC, COM(2001) 241 final, 2001.
- 4 European Chemicals Bureau: "European Union Risk Assessment Report TERT-BUTYL METHYL ETHER." EUR 20417 EN, European Communities, 2002.
- 5 Schlatter M. J. (Chevron): "Evaluation of fuel cell systems for vehicle propulsion", SAE Paper 670453, 1967.
- 6 Fitch F. B. and Lee W. (Mobil): "Methanol-To-Gasoline, An Alternative Route to High Quality Gasoline." SAE Paper 811403, 1981.
- 7 Abu-Isa Ismat A. (GM Res. Labs): "Effects of Mixtures of Gasoline With Methanol and With Ethanol on Automotive Elastomers." SAE Paper 800786, 1980.
- 8 Nersasian A. (Du Pont): "The volume increase of fuel handling rubbers in gasoline/alcohol blends." SAE Paper 800789, 1980.
- 9 Fernandes Elson G. (Clemmer Ind.) and Johnson Doug (Novacor): "Design Guidelines for Methanol Refuelling Stations 1992." SAE Paper 922275, 1992.
- 10 Acurex Environmental Co.: "Methanol Fueling Systems – Installation and Maintenance Manual." California Energy Commission, 1996.
- 11 Brinkman, Halsall, Jorgensen and Kirwan: "The Development of Improved Fuel Specification for Methanol (M85) and Ethanol (E85)." SAE Paper 940764, 1994.
- 12 Harrigan Michael J. Sr. (Ford), Banda Allan (GM), Bonazza Ben (TI Group Automotive Systems), Graham Pamela (Solvay Automotive) and Slimp Bryant (Specified Fuels & Chemicals, LLCA): "Rational Approach to Qualifying Materials for Use in Fuel Systems." SAE Paper 2000-01-2013, 2000.
- 13 Robert E. Reynolds (Downstream Alternatives Inc.): "Fuel specifications and fuel property issues and their potential impact on the use of ethanol as a transportation fuel." ORNL, Subcontract No. 4500010570, 2002.
- 14 Hammel-Smith C., Fang J., Powders M. and Aabakken J. (NREL): "Issues Associated with the Use of Higher Ethanol Blends (E17-E24)." NREL/TP-510-32206, 2002.
- 15 Haskew Harold M. (Harold Haskew & Associates, Inc.), Liberty Thomas F. (Harold Haskew & Associates, Inc.) and McClement Dennis (ATL): "Fuel permeation from automotive systems – Final Report." Prepared for CARB and CRC, CRC Project No. E-65, 2004.
- 16 Ian Hodson, European Commission, Environment Directorate General Office BU-9 6/176, personlig kommunikation 2006
- 17 Owens E. C., Marbach Jr. H. W., Frame E. A. and Ryan III T. W. (SwRI) "Effects of alcohol fuels on engine wear." SAE Paper 800857, 1980.

- 18 Ryan III T. W., Naegeli D. W., Owens E. C., Marbach H. W. and Barbee J. G. (U.S. Army Fuels and Lubricants Research Laboratory, SwRI): "The Mechanisms Leading to Increased Cylinder Bore and Ring Wear in Methanol-Fueled S.I. Engines." SAE Paper 811200, 1981.
- 19 Baisley W. H. (Uni. of Auckland) and Edwards C. F. (Uni. of Santa Clara): "Wear Characteristics of Fleet Vehicles Operating on Methyl Alcohol." SAE Paper 811202, 1981.
- 20 Naegeli, D.W. (SwRI): "Combustion-Associated Wear in Alcohol-Fueled Spark Ignition Engines," SAE paper 891641, 1989.
- 21 Ichimiya Tsuru, Takahashi Kazuo and Fuwa Yoshio (Toyota): "Wear Mechanisms of Methanol Fueled Engine." SAE Paper 852199, 1985.
- 22 Bechtold Richard L. (EA Mueller, Inc.), Miller Michael T. (EA Mueller, Inc.) Hyde James D. (New York State Dept. of Environmental Conservation): "Ford methanol FFV performance/emissions experience." SAE Paper 902157, 1990.
- 23 Chamberlin William B. and Brandow Warren C. (Lubrizol): "Lubrication Experience in Methanol-Fueled Engines Under Short-Trip Service Conditions." SAE Paper 831701, 1983.
- 24 Marbach, H. W. Jr. (SwRI), Frame (SwRI) E. A., Owens E. C. (SwRI), Naegeli D. W. (SwRI) and Wielgos B. D. (Texaco): "The Effects of Lubricant Composition on S.I. Engine Wear With Alcohol Fuels." SAE Paper 831702, 1983.
- 25 Ichimiya Tsuru, Takahashi Kazuo and Fuwa Yoshio (Toyota): "Wear Mechanisms of Methanol Fueled Engine." SAE Paper 852199, 1985.
- 26 Sorab Jagadish, Sosnitza Wolfgang G., Jensen Ron K. and K. Chui Granger (Ford): "Wear protection properties of flexible fuel vehicle (FFV) lubricants." SAE Paper 932791, 1993.
- 27 Saarialho A., Juhala M. Leppämäki E. and Nylund O. "Alcohol gasoline fuels and engine wear in cold climates." 19th FISITA Congress (1982), Melbourne, Australia, SAE Paper 825020, 1982.
- 28 Goetz W. A. (Ontario Research Foundation): "Phase Separation Control System for Gasoline-Methanol Blends in Passenger Cars." SAE Paper 821187, 1982.
- 29 Nakayama Mitsushige (Gunma Uni.): "Water Tolerability of Methanol-Gasoline Blends (Phase Separation and SI Engine Performances)." SAE Paper 852200, 1985.
- 30 Lee H. K. (Uni. of Flo), Shah D. O. (Uni. of Flo) and Brinkman N. D. (GM Res. Labs): "Enhancing Low-Temperature Phase Stability of a 50/50 Methanol/Hydrocarbon Blend." SAE Paper 881680, 1988.
- 31 Qi, D. H. Liu, S. Q. Liu, J. C. Zhang, C. H. and Bian, Y. Z. "Properties, Performance, and Emissions of Methanol-Gasoline Blends in a Spark Ignition Engine." Journal of Automobile Engineering, Vol. 219, No. D3 pp. 405-412, 2005.
- 32 Stodart Andy (Cosworth), Maher Jim (Cosworth Engineering), Greger Lars (Volvo), and Carlsson Jan-Olof (Volvo) : "Fuel System Development to Improve Cold-Start Performance of a Flexible Fuel Vehicle." SAE Paper 982532, 1998.
- 33 Siewert Robert M. and Groff Edward G. (GM Res. Labs): "Unassisted Cold Starts to -29Mdc and Steady-State Tests of a Direct-Injection Stratified-Charge (Disc) Engine Operated on Neat Alcohols." SAE Paper 872066, 1987.

- 34 SDAB: "Project M 100 – A Test With Methanol-Fueled Vehicles in Sweden", Styrelsen för Teknisk Utveckling (STU), STU information no. 640-1987, 1987.
- 35 Stenberg Ulf (SU), Alsberg Tomas (SU) and Bertilsson Britt-Marie (Swedish Methanol Development Co.): "A comparison of the emissions of polynuclear aromatic hydrocarbons from automobiles using gasoline or a methanol/gasoline blend." SAE Paper 810441, 1981.
- 36 Svahn Göran (Swedish Methanol Development Co.): "Evaluation of alcohol fuels for cars in Sweden" CEC EF/1/2, CEC UK.
- 37 Choma M. A., Havstad P. H., Simko A. O. and W. F. Stockhausen (Ford): "Fuel tolerance tests with the Ford PROCO engine." SAE Paper 810439, 1981.
- 38 Stan C., Tröger R., and Stanciu A. (Uni. of Zwickau): "Direct Injection of Variable Gasoline/Methanol Mixtures: A Future Potential of SI Engines." SAE Paper 2000-01-2904, 2000.
- 39 Stan C. (West Saxon Univ.), Tröger R. (West Saxon Univ.), Grimaldi C. N. (Univ. of Perugia) and Postrioti (Univ. of Perugia): "Direct Injection of Variable Gasoline/Methanol Mixtures: Injection and Spray Characteristics." SAE Paper 2001-01-0966, 2001.
- 40 Kapus P., Mikulic L und Zelenka P. (AVL): "Development of a Direct Injection Methanol Engine for Passenger Cars.", 11 International Vienna Combustion Engine Symposium 26 – 27 April 1990, VDI Fortschritt – Berichte, Reihe 12, Nr. 141, VDI Verlag, 1990, in German.
- 41 Zelenka P, and Kapus P. (AVL): "Development and Vehicle Application of a Multi-Fuel DI-Alcohol Engine." XXIV FISITA Congress 7-11 June 1992.
- 42 Quissek F., Zelenka P., Hulak K., and Kapus P. (AVL): "Cold Start Performance Comparison of Alcohol-Fueled Engines with In-Cylinder and Port Fuel Injection." SAE Paper 920003, 1992.
- 43 Pischinger F. (FEV), Hilger U. (FEV), Jain G. (FEV), Bernhardt W. (VW), Heinrich H. (VW) und Weidmann K. (VW): "The Concept of a 1,9 L DI Methanol Engine for Passenger Car Applications", 11 International Vienna Combustion Engine Symposium 26 – 27 April 1990, VDI Fortschritt – Berichte, Reihe 12, Nr. 141, VDI Verlag, 1990, in German.
- 44 Bruetsch R., and Hellman K. H. (US EPA): "Evaluation of a Passenger Car Equipped with a Direct Injection Neat Methanol Engine.", SAE Paper 920196, 1992.
- 45 Bartunek B. and Schorn N. (FEV): "Utilization of Methanol in DI Passenger Car Engines." ISAF X, November 7-10, 1993.
- 46 Hilger U. (FEV), Jain G. (FEV), Pischinger F. (FEV), Jain G. (FEV), Weidmann K. (VW), Heinrich H. (VW), Bernhardt W. (VW), and Rogers G. W. (FEV of America): "Development of a DI methanol engine for passenger car application.", IX International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF), Firenze, Italy, November 12 – 15, 1991. Ecofuel 15, Viale Brenta – 20139 Milano, Italy.
- 47 Purohit Ghanshyam and Houseman John (JPL, Cal. Inst. of Technology): "Methanol Decomposition Bottoming Cycle for Ic Engines", SAE Paper 790427, 1979.
- 48 Pettersson L. (KTH): "Alcohol Fuels for Internal Combustion Engines – Onboard Catalytic Treatment of Fuel and Emissions." ISSN 1104-3466, ISRN KTH/KET/R--4 -- SE, 1994.

- 49 McCall (Sandia) D. M. Lalk T. R. (Texas A&M Uni.) Davison R. R. (Texas A&M Uni.) and Harris W. B. (Texas A&M Uni.): "Performance and Emissions Characteristics of a Spark Ignition Engine Fueled With Dissociated and Steam-Reformed Methanol." SAE Paper 852106, 1985.
- 50 Fleming R. D. (DOE) and Bechtold R. L. (Mueller Associates): "Natural gas (methane), synthetic natural gas and liquefied petroleum gases as fuels for transportation." SAE Paper 820959, 1982.

BILAGA 1. BENSINSPECIFIKATION ENLIGT MILJÖKLASS 1

Svensk Standard SS 15 54 22 och SS-EN 228:

”Motorbränslen – Oblyad bensin av miljöklass 1 – Krav och provningsmetoder”

Krav på bensin av miljöklass 1 för motorfordon:

Egenskaper	Enhet	Krav	Provningsmetod
Oktantal: Researchmetoden Motormetoden		> el. = 95,0 ¹⁾ > el. = 85,0 ¹⁾	SS-EN 25164 SS-EN 25163
Densitet vid 15 °C	kg/m ³	720-775	SS-EN ISO 3675 SS-EN 12185
Blyhalt	mg/l	< el. = 5 ¹⁾	SS-EN 237
Fosforhalt	mg/l	< 0,2 ^{1,2)}	SS 155180
Svavel	mg/kg	< el. = 50 ¹⁾	SS-EN 24260 SS-EN ISO 8754 SS-EN ISO 14596 ASTM D 5453
Bensen	vol-%	< el. = 1,0 ¹⁾	SS-EN 238
Aromater	vol-%	< el. = 35 ¹⁾	SS 155120 ASTM D 5443 ASTM D 6293
Olefiner	vol-%	< el. = 13 ¹⁾	ASTM D 1159 Annex 2 ASTM D 1319 ³⁾ ASTM D 6293
Syre	vikts-%	< el. = 2,7 ¹⁾	
Oxygenater metanol, stabiliserings- medel måste tillsättas etanol, stabiliseringsmedel kan vara nödvändigt isopropylalkohol isobutylalkohol tertiär butylalkohol eterar (5 el fler C-	vol-%	< el. = 3 ¹⁾ < el. = 5 ¹⁾ < el. = 10 ¹⁾ < el. = 10 ¹⁾ < el. = 7 ¹⁾ < el. = 15 ¹⁾	SS-EN 1601 prEN 13132 ASTM D 6293

atomer) andra oxygenater		< el. = 10 ¹⁾	
Hartstal (heptantvättat)	mg/100ml	< el. = 5	SS-EN ISO 6246
Korrosivitet, Cu 3 tim v. 50 °C	enl. skala	klass 1	SS-EN ISO 2160
Utseende		klar och blank	Okulärkontroll
Destillation, förångat vid 70 °C, vid 100 °C (E ₁₀₀), Förångat vid 150 °C (E ₁₅₀)	vol-% vol-%	20-48 (sommar) 22-50 (vinter) 47 ¹⁾ -71 (sommar) 50 ¹⁾ -71 (vinter) < el. = 75 ¹⁾	SS-EN ISO 3405 SS-EN ISO 3405
Slutkokpunkt	°C	< el. = 205 ¹⁾	
Destillationsrest	vol-%	< el. = 2	
Ångtryck (VP) räknat som DVPE	kPa	45-70 ¹⁾ (sommar) 65-95 ¹⁾ (vinter)	prEN 13016-1
Total flyktighet (VLI = 10*VP+7*E ₇₀)		< el. = 1200 ⁴⁾	
Oxidationsstabilitet	min	>el. = 360	SS-EN ISO 7536
Funktionskrav: Insugningsventilers renhet		>el. = 9	CEC-F-05-A-94
Insprutningsreduktion	%	< el. = 4	CFC TAE-1-87

1) Lagstadgat krav

2) Lagstadgat krav är ”inte mätbar”. Metodens lägsta giltighetsgräns är 0,2 mg/l, varför kravet i standarden är <0,2 mg/l.

3) ASTM D 1319:1995 skall användas utan depentaniseringssteget för behoven i denna standard. Punkterna 6.1, 10.1 och 14.1 i ASTM D 1319 skall därför inte appliceras.

Gäller under tiden 1-30 april och 16 september – 15 oktober i Götaland och Svealand samt under tiden 16 april – 15 maj och 1 – 30 september i Norrland.

BILAGA 2. STANDARD FÖR METANOL ENLIGT IMPCA.**Specifications**

ITEM	LIMIT	ANALYSIS METHOD
Appearance	Clear and free of suspended matter	IMPCA 03-98
Purity % W/T on dry basis	min. 99,85	IMPCA 001-98
Colour Pt-Co	max. 5	ASTM D 1209-93
Water % W/W	max. 0,1	ASTM E 1064-93
Distillation range at 760 mm Hg	max. 1,0 deg C to 64,6 + or – 0,1 deg C	ASTM D 1078-97
Specific Gravity 20 deg/20 deg	0,791 – 0,793	ASTM D 891-95
Potassium Permanganate time test 15 deg C, minutes	min. 60	ASTM 1363-94
Carbonisable substances (Sulphuric Acid Wash Test) Pt-Co scale	max. 30	ASTM E 346-94
Ethanol mg/kg	max. 50	IMPCA 001-98
Chloride as Cl⁻ mg/kg	max. 0,5	IMPCA 002-98
Sulphur mg/kg	max. 0,5	ASTM D 3961-89
Hydrocarbons	pass test	ASTM D 1722-90
Carbonilic Compounds as Acetone mg/kg	max. 30	ASTM E 346-94
Acidity as Acetic Acid mg/kg	max. 30	ASTM D 1613-96
Total Iron mg/kg	max. 0,1	ASTM E 394-94
Non Volative matter mg/1000ml	max. 8	ASTM D 1353-96

BILAGA 3. BLANDNINGSTABELL FÖR BENSIN OCH METANOL.

Data för blandning av bensin (etanolfri) med metanol													
	Bensin	Metanol											
		14,69	6,43										
AFRs													
Densitet		0,7394	0,792										
Heat low KJ/Kg		43500	19700										
C mol		7,1661	3,1638										
H mol		13,8889	11,9048										
O mol		0	3,1252										
C wt%		86	38										
H wt%		14	12										
O wt%		0	50										
Blandning													
		För blandning av 1 liter bränsle											
Vol % Metanol	Mass % Metanol	Vikt g metanol	Vikt g bensin	AFRs	Heat low KJ/Kg	C wt%	H wt%	O wt%	H/C mol	O/H mol			
0,00	0,00	0,00	739,40	14,69	43500,00	86,00	14,00	0,00	1,94	0,0000			
3,00	3,21	23,76	717,22	14,43	42736,84	84,46	13,94	1,60	1,97	0,0072			
5,00	5,34	39,60	702,43	14,25	42229,86	83,44	13,89	2,67	1,98	0,0121			
10,00	10,64	79,20	665,46	13,81	40968,70	80,89	13,79	5,32	2,03	0,0243			
15,00	15,90	118,80	628,49	13,38	39716,41	78,37	13,68	7,95	2,08	0,0366			
20,00	21,12	158,40	591,52	12,95	38472,90	75,86	13,58	10,56	2,13	0,0490			
25,00	26,31	198,00	554,55	12,52	37238,09	73,37	13,47	13,16	2,19	0,0615			
30,00	31,46	237,60	517,58	12,09	36011,88	70,90	13,37	15,73	2,25	0,0741			
35,00	36,58	277,20	480,61	11,67	34794,18	68,44	13,27	18,29	2,31	0,0868			
40,00	41,66	316,80	443,64	11,25	33584,90	66,00	13,17	20,83	2,38	0,0997			
45,00	46,71	356,40	406,67	10,83	32383,96	63,58	13,07	23,35	2,45	0,1126			
50,00	51,72	396,00	369,70	10,42	31191,26	61,18	12,97	25,86	2,53	0,1257			
55,00	56,69	435,60	332,73	10,01	30006,74	58,79	12,87	28,35	2,61	0,1388			
60,00	61,64	475,20	295,76	9,60	28830,29	56,41	12,77	30,82	2,70	0,1521			
65,00	66,55	514,80	258,79	9,19	27661,84	54,06	12,67	33,27	2,79	0,1655			
70,00	71,42	554,40	221,82	8,79	26501,31	51,72	12,57	35,71	2,90	0,1790			
75,00	76,27	594,00	184,85	8,39	25348,62	49,39	12,47	38,13	3,01	0,1926			
80,00	81,08	633,60	147,88	7,99	24203,69	47,08	12,38	40,54	3,13	0,2063			
85,00	85,86	673,20	110,91	7,60	23066,44	44,79	12,28	42,93	3,27	0,2202			
90,00	90,60	712,80	73,94	7,21	21936,79	42,51	12,19	45,30	3,42	0,2342			
95,00	95,32	752,40	36,97	6,82	20814,67	40,25	12,09	47,66	3,58	0,2483			
100,00	100,00	792,00	0,00	6,43	19700,00	38,00	12,00	50,00	3,76	0,2625			

