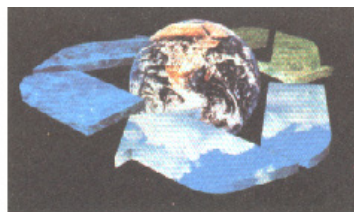


MED HÅLLBARHET I TANKARNA

Introduktion av biodrivmedel



Ecotraffic

Titel: Med hållbarhet i tankarna : Introduktion av biodrivmedel

Sökord: Bränslen, koldioxid, etanol, metanol, RME, Fischer-Tropsch, bensin, diesel, vätgas, syntesgas, metan, biogas, biobränslen, drivmedel, DME, systemverkningsgrad, hållbarhet

Författare: Peter Ahlvik och Åke Brandberg, Ecotraffic ERD³ AB,

Kontaktperson: Lars Nilsson, Vägverket, miljöenheten, Olle Hådell, fordonsavdelningen

Vägverkets publikationsnummer: 2002:83

ISSN: 1401-9612

Utgivningsdatum: 2002-06

Tryckeri: Vägverket, Borlänge

Pris: 150 kr

Upplaga: 200 exemplar

Distribution: Vägverket, avdelningen för intern service, telefon 0243-755 00, fax 0243-755 50, e-post: vagverket.butiken@vv.se

Rapporten finns även att hämta digitalt på www.vv.se

FÖRORD

Vägtransporternas utsläpp av klimatgasen koldioxid och vilka åtgärder som bör vidtas för att minska dessa utsläpp debatteras ofta livligt både i Sverige och internationellt. Diskussionerna om EU:s direktivförslag för introduktion av biodrivmedel är ett sådant exempel.

En mängd alternativa drivmedel diskuteras. Det kan gälla bränslen baserade på biomassa, alternativa fossila bränslen och nya drivsystem som också kräver nya bränslen etc. I många fall är kostnaderna i dag alltför höga och förutsätter stora skattereduktioner för att vara konkurrenskraftiga. En utveckling av produktionsmetoderna för att minska kostnaderna är således en nödvändighet.

En svensk strategi för introduktion av biodrivmedel saknas i dag. Rapporten utgör ett underlag för diskussioner om en sådan strategi. Kända tekniska och ekonomiska förutsättningar för en mer storskalig introduktion av biodrivmedel har sammanställts. Utifrån dessa aspekter har ett antal huvudkandidater till drivmedel identifierats.

Rapporten har tagits fram av Peter Ahlvik och Åke Brandberg, Ecotraffic ERD³ AB. Författarna ansvarar för de resultat och de bedömningar som presenteras i rapporten.

Borlänge i juni 2002

Vägverket, Miljöenheten

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sida

SAMMANFATTNING

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	1
2	METODIK	3
2.1	Några frågeställningar	3
2.2	Sammanställning av resultat från tidigare studier.....	4
3	RESULTAT	5
3.1	Tillgång på fossil råvara	5
3.1.1	Tillgång på konventionell råolja.....	5
3.1.2	Tillgång på andra fossila resurser	6
3.1.3	Konsekvenser för miljön	7
3.2	Verkningsgrad i ett livscykelperspektiv	7
3.2.1	Tänkbara drivmedel.....	7
3.2.2	Råvaror	8
3.2.3	Produktion.....	9
3.2.4	Distribution inkl. tankning.....	11
3.2.5	Användning och effektivitet i olika motorer/drivsystem.....	11
3.3	Låginblandning i bensin och dieselolja.....	13
3.3.1	Bensin.....	14
3.3.2	Dieselolja.....	16
3.4	Användning av alternativa drivmedel i större skala.....	17
3.4.1	Ottomotorn.....	18
3.4.2	Dieselmotorn.....	19
3.4.3	Bränsleceller	20
3.4.4	Marknadspenetration för olika energiomvandlare	21
3.4.5	Drivsystem	23
3.4.6	Förutsättningar för marknadspenetration av olika drivmedel och energiomvandlare.....	23
3.4.7	Prioritering av drivmedel för bred användning	25
3.5	Nischprogram för förbättrad lokal luftkvalitet.....	29
3.5.1	Förutsättningar	29
3.5.2	Biogas/naturgas.....	30
3.5.3	Syntesgasbaserad FTD	31
3.5.4	Syntesgasbaserad DME	32
3.5.5	RME	32
3.5.6	Alkoholer	33
3.5.7	Elfordon	34
3.6	Kostnader	34
3.6.1	Etanol.....	34
3.6.2	Biometanol.....	35
3.6.3	Biobaserad DME.....	35
3.6.4	Vätgas från biomassa.....	35
3.6.5	FTD	36
3.6.6	RME	36
3.6.7	Jämförelse med konventionella fossila drivmedel.....	36
3.6.8	Kostnader för distribution av drivmedel.....	37

3.6.9	Totala kostnader för produktion och distribution av drivmedel	39
3.7	Förslag till strategi.....	40
3.7.1	Dagens användning av biodrivmedel	40
3.7.2	Värderingsmatriser	41
3.7.3	Syntesgasprogram.....	44
3.7.4	Etanol från lignocellulosa.....	44
3.7.5	Spannmålsetanol	44
3.7.6	RME	44
3.7.7	Biogas	44
3.7.8	Strategi.....	45
3.7.9	Implementering.....	46
4	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	47
4.1	Förutsättningar.....	47
4.2	Distribution	47
4.3	Strategi och prioriteringar.....	47
4.4	Energiomvandlare	48
4.5	Förutsättningar för att klara EU:s föreslagna mål	48
4.6	Kostnadskrav	48
4.7	Konkurrens med användning av biomassa i andra sektorer	49
4.8	Slutsatser	50
5	REFERENSER	52

TABELLFÖRTECKNING

Sida

<i>Tabell 1.</i>	<i>Potential för fossila bränslen i världen (källa: H. H. Rogner [3])</i>	6
<i>Tabell 2.</i>	<i>Produktionsutbyte i procent (LHV-bas) inkl. råvaruproduktion och – transport</i>	10
<i>Tabell 3.</i>	<i>Förklaringar till förkortningarna i Figur 3</i>	12
<i>Tabell 4.</i>	<i>Drivmedel och energiomvandlare</i>	24
<i>Tabell 5.</i>	<i>Distributionskostnad för några olika drivmedel, omräknat till ersättning för bensin (kr per liter ersatt bensin)</i>	38
<i>Tabell 6.</i>	<i>Kostnadsuppskattningar</i>	39
<i>Tabell 7.</i>	<i>Uppskattad användning av biodrivmedel i Sverige för 2002</i>	40
<i>Tabell 8.</i>	<i>Värderingsmatris för biodrivmedel som bensinersättning</i>	42
<i>Tabell 9.</i>	<i>Värderingsmatris för biodrivmedel som dieseltersättning</i>	43

FIGURFÖRTECKNING

Sida

<i>Figur 1.</i>	<i>Global oljeproduktion beroende på storlek av oljereserver (källa: EIA, USA)</i>	5
<i>Figur 2.</i>	<i>Världens oljeproduktion och oljebehov (källa: DOE, USA)</i>	6
<i>Figur 3.</i>	<i>Systemverkningsgrad för den bästa kombination för respektive drivmedel. Drivmedel med biomassa som råvara</i>	12
<i>Figur 4.</i>	<i>Framtida drivsystem för personbilar</i>	22
<i>Figur 5.</i>	<i>Energianvändning för flytande biodrivmedel</i>	26

BILAGOR

Bilaga 1: Tillverkning av etanol från cellulosaråvara

Bilaga 2: Motorer och drivsystem

Bilaga 3: Rapsmetylester (RME)

SAMMANFATTNING

Inledning och bakgrund

Kraven på en minskning av klimatgaserna och inte minst EU:s direktivförslag för en introduktion av biodrivmedel har medfört att intresset på senare tid ökat för dessa drivmedel. Långsiktigt finns också hotet om sjunkande oljeproduktion vilket innebär att andra råvarubaser måste användas för drivmedelsframställning.

Rapporten syftar till att sammanställa de kända tekniska och ekonomiska förutsättningarna för en mera storskalig introduktion av biodrivmedel. I det hänseendet är systemeffektiviteten från "vaggan till graven" en faktor som starkt påverkar både tillgång och kostnad för drivmedlet. Kostnaden för alternativa drivmedel är helt avgörande för möjligheterna till genomslag på marknaden.

Konkurrens med användning av biomassa i andra sektorer

Rapporten behandlar endast biomassans användning som energikälla i transportsektorn. Biomassa kan användas som energiråvara även i andra sektorer, t.ex. för uppvärmning, vilket i dag är markant kostnadseffektivare än att producera biodrivmedel. Analysen visar också på att effektiviteten är högre vid framställning av drivmedel än vid elproduktion.

En mycket stor del av Sveriges koldioxidutsläpp kommer dock ifrån transportsystemet och utsläppen från denna sektor fortsätter att öka. Det innebär att trycket på att vidta åtgärder inom transportsystemet ökar. Inom EU diskuteras också ett direktivförslag som innebär mål om en 2% andel för biodrivmedel till 2005 och 5,75% till 2010. Det är alltså värt att undersöka möjligheterna att framställa biodrivmedel.

Drivmedelsproduktion och energieffektivitet

Från en tidigare studie av Ecotraffic där 98 olika kombinationer av drivmedel och drivsystem undersöktes kan kombinationerna med de högsta verkningsgraderna identifieras. Dessa är:

- Dimetyleter (DME) /dieselmotor/
- Vätgas i gasform /bränslecell/
- Metanol /dieselmotor, bränslecell/

Något sämre är vätgas i flytande form, etanol samt bio-Fischer-Tropsch dieselolja (FTD).

I ett längre tidsperspektiv kommer det att bli möjligt att nå mycket låga hälsofarliga avgasemissioner med alla typer av drivmedel och därför kommer tillgången på råvara, verkningsgrad och kostnaderna på lång sikt att bli dimensionerande faktorer.

Distribution

Distributionskostnaderna bedöms vara lägre för flytande bränslen än för gasformiga bränslen. Distributionen för förvätskade gaser eller kryogena vätskor är mycket dyr. Distribution av gasformiga bränslen i rörsystem kräver kostsamma investeringar. Vi bedömer därför att dessa bränslen blir hänvisade till lokala fordonsflottor.

Kostnadsuppskattningar

Vi har gjort bedömningar av framställnings och distributionskostnaderna för de olika alternativen. Bedömningarna är av blandad säkerhet. Vissa bränslen tillverkas i dag vilket gör att kunskapen om kostnaderna är relativt goda. Kostnaderna för andra bränslen eller beräknade framtida kostnader innehåller större eller mindre osäkerheter beroende på vilket underlag som finns tillgängligt. Uppskattningarna i **Tabell S.1** nedan är därför markerad med vilket underlag som föreligger (faktisk kostnad, ingenjörberäkningar eller grova uppskattningar).

Tabell S.1 Kostnadsuppskattningar

Kostnader för biodrivmedel (inkl. distribution exkl. skatt)	Tidsram	Prod. pris kr/l	Pris, distribuerad produkt ^a		Anmärkningar
			kr/l bensinekv.	kr/l dieselev.	
Bensin	2001	2	2,85		Medelpris 2001
Dieselolja	2001	2		2,84 ^b	Medelpris 2001
Etanol, spannmål	2000	6	10,0		Faktisk kostnad
Etanol, cellulosa	2010	4,6	7,9		Ingenjörber.
	2020	3,8	6,7		Ingenjörber.
Metanol, naturgas	2000	1,1	3,4		Faktisk kostnad
Metanol, bio-syn	2010	2,5	6,2		Ingenjörber.
	2020	2	5,2		Ingenjörber.
F-T-diesel, bio-syn	2010			7,6	Grov skattning
	2020			6,3	Grov skattning
DME, naturgas	2000			4,2	Ingenjörber.
DME, bio-syn	2010			6,9	Ingenjörber.
	2020			5,8	Ingenjörber.
RME	2000	6,5		7,4	Faktisk kostnad
Vätgas ^c		?			Svårt att uppsk

Anmärkningar:

- ^a Prisjämförelser görs i två fall, jämfört med bensin respektive dieselolja. Eftersom energiinnehållet per liter är olika för bensin och diesel kan inte de båda kolumnerna jämföras direkt.
- ^b Priset för dieselolja har beräknats för en tänkt distribution till privatkund i stor skala (vilket inte är fallet i dag där den största andelen av dieseloljan distribueras till storkunder).
- ^c Någon kostnad för vätgas har inte uppskattats. Främst beror det på svårigheten att bedöma kostnaderna för distribution och lagring.

Kostnadsuppskattningarna för biodrivmedlen i tabellen ovan tar inte hänsyn till ev. användning av spillvärme. Om detta beaktas – och om värmebehov finns – kan kostnaden för dessa alternativ minska något. Man kan också notera att verkningsgraden i flera fall ökar vid användning av alternativa drivmedel jämfört med konventionella drivmedel (t.ex. alkoholer i st. för bensin i ottomotor).

Framdrivningssystem

Biodrivmedel verkar bli avsevärt dyrare än konventionella drivmedel. Vi gör därför bedömningen att en storskalig introduktion av biodrivmedel förutsätter bränslesnålare bilar så att merkostnaden för trafikanten inte blir avskräckande.

Bilindustrin investerar nu stora belopp i utveckling av energieffektivare fordon och framdrivningssystem. Det är dock inte klart vilket eller vilka utvecklingsspår som kommer att leda till framtidens energieffektiva fordon. Det innebär att en storskalig introduktion av alternativa bränslen måste göras så att det bäddar för framtidens fordonsteknik oaktat vilken eller vilka lösningar som kommer. I första steget måste alternativ introduceras som passar bensin och dieselmotorer och i ett andra steg bör även bränsleceller beaktas.

Värderingsmatriser

Ett försök att på ett samlat sätt åskådliggöra resultaten och de rekommendationer som härrör från diskussionen ovan är att göra en sammanfattning i form av två värderingsmatriser, en för bensinersättning och en för dieseltersättning.

Den ”betygsskala” som använts i matriserna börjar med 0 (i princip omöjligt) och slutar med 5 (bästa). När alla faktorer beaktas för de drivmedel som lämpar sig som bensinersättning (**Tabell S.2**) framstår etanol från cellulosa råvara och metanol som de främsta kandidaterna, med ett litet försteg för metanol

DME och FTD är de drivmedel som är bäst lämpade som dieseltersättning (**Tabell S.3**). Trots att förutsättningarna i flera avseenden är bättre för DME utgör distributionskostnaderna och det faktum att DME är ett helt nytt drivmedel begränsningar för en snabb introduktion. Alkoholer kan också fungera som dieseltersättning men det svala internationella intresset för detta och svårigheterna vid låginblandning medför att dessa drivmedels användning på dieselsidan är av mindre intresse på kort sikt.

Tabell S.2 Värderingsmatris för biodrivmedel som bensinersättning

	Bensinersättning	Etanol	Metanol	Metan	Vätgas	Bensin
Introducerbarhet	Både bio och fossil	Nej	Ja	Ja	Ja	-
	Passar i infrastruktur	4	4	2	0	5
	Låginblandning otto	5	3	4		
Framtid	Dedicerad ottomotor	5	5	5	4	4
	Emissioner	3	3	4	-	2
	Systemverkningsgrad	3	4	4	3	5
	FC-bränsle	2	3	1	5	1
	Möjliga volymer 2005	1	0	1	1	5
Ekonomi	Möjliga volymer 2020	2	3	1	2	5
	Pris 2005	1	0	1		5
	Pris 2020	2	3	1	1-2	4
	Cellulosaprocess	Cellulosaprocess	Syntesgas	Distributionskostnad	Vätgasprod. Distribution	Ändlig tillgång
Bedömning	Utv. cellulosa-process	Utv. cellulosa-process	Utveckla biosyngas	Nisch DFV ^c	Möjligt framtidsbränsle DFV ^c svårt	Måste fasas ut på lång sikt
	Huvudbränsle (FFV)	Huvudbränsle (FFV)	Huvudbränsle (FFV)			

Anmärkningar:

- ^a En linjerad ruta visar något som i princip är omöjligt.
^b Emissionerna för vätgas är noll (vilket skulle rendera 5 i betyg) för bränsleceller men NO_x bildning i ottomotorer är ett problem som ej analyserats närmare.
^c DFV: Dual Fuel Vehicle, eller tvåbränslemotor.

Tabell S.3 Värderingsmatris för biodrivmedel som dieselsätsning

	Dieselsätsning	Etanol	Metanol	DME	FTD	RME	Vätgas	Metan	Mk1 diesel
Introducerbarhet	Både bio och fossil	Nej	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja	-
	Passar i infrastruktur	4	4	2	5(4)	5	0	0	5
	Låginblandning diesel	1	1	Ja	5	5			
Framtid	Dedicerad dieselmotor	2-4 ^b	2-5 ^b	5	4	3	1-2	2	3
	Emissioner	4	4-5	5	4	3	?	4-5	3
	Systemverkningsgrad	3	4	4	3	2	?	4	5
	FC-bränsle	2	3	3	1	0-1	5	1	0-1
	Möjliga volymer 2005	1	0	1	1	1	0	1	5
Ekonomi	Möjliga volymer 2020	2	3	2	3	1	2	1	5
	Pris 2005	1	0			1		1	5
	Pris 2020	2	3	3	2	1	3	1	4
Kritisk faktor		Cellulosa-process	Syntesgas	Syntesgas	Syntesgas	Begr. tillgång	Vätgasprod. Distribution	Distributionskostnad	Ändlig tillgång
		Utveckla cellulosa-process	Utveckla biosyngas	Utveckla biosyngas	Huvudbränsle	Inga satsningar	Framtidsbränsle	Nisch	Måste fasas ut på lång sikt
Bedömning									

Anmärkningar:

^a En linjerad ruta visar något som i princip är omöjligt.

^b Det stora spannet för alkoholer illustrerar det faktum att en speciellt konverterad dieselmotor behövs. Samtidigt har alkoholema bättre egenskaper än dieselolja – t.ex. mindre sotbildning och NO_x – vilket renderar ett högre betyg. Etanol har dock uppvisat så pass höga partikelemissioner vid användning av EGR att partikelfilter i framtiden knappast kan undvikas. Eftersom metanol är bättre i detta avseende har det övre intervallet satts så högt som 5.

Strategi och prioriteringar

En strategi för biodrivmedel måste bygga på överblickbar teknisk utveckling och ekonomisk rimlighet. Tänkbara är alkoholer och bio-FTD. Båda kan användas som komponenter i befintliga bränslen (låginblandning) för befintliga bilparker eller till motorer som modifierats för att få bättre verkningsgrad. De kan också bli huvudbränslen för framtida utvecklade drivsystem, inkl. bränsleceller.

Resultaten från studierna om systemeffektivitet och kostnader i biomasse-baserade system visar att metanol producerad via förgasning och syntes har ett försteg framför bio-FTD. Metanol och FTD kan framställas från syntesgas och båda dessa processer är kommersiella med naturgas som råvara. Förgasningssteget av bioråvara är emellertid ännu inte färdigutvecklat och demonstrerat i kommersiell skala. Det är därför angeläget att satsa på utvecklingen av syntesgastillverkning. Denna process kan också användas för att tillverka DME.

En svensk strategi för en storskalig introduktion av biodrivmedel skulle kunna vara att utveckla framställningsprocessen för syntesgas för produktion av metanol, FTD eller DME. Parallellt kan tillverkningsprocessen av cellulosabaserad etanol utvecklas. En förutsättning för att industriella aktörer skall engagera sig i en sådan utveckling är att omvärldsvillkoren blir långsiktigt fastställda och internationellt harmoniserade.

Förutsättningar för att klara EU:s föreslagna mål

I dag finns bara begränsade kvantiteter bio-alkohol (nästan enbart etanol) och RME tillgängliga på marknaden. De är otillräckliga för att nå EU:s 2%-mål till 2005. Ytterligare kvantiteter kan på kort sikt bara produceras med spannmål som råvara ehuru fortfarande otillräckliga för den kommersiella potential som låginblandning i all bensin utgör. Närmast i utvecklingen är förmodligen en på svartlut baserad metanolproduktion, som dock ligger minst 4-5 år bort i tiden. Först mot slutet av decenniet kan produktion ur vedråvara (metanol och/eller etanol) bli verklighet. Detta kräver dock att satsningen påbörjas omgående.

Konsekvenser av tänkbara utvecklingsstrategier

Satsning på befintliga alternativ, etanol och RME

RME har mycket låg potential att ersätta dieselolja och kostnaden är hög. RME erbjuder ej heller flexibilitet för framtida drivkällor t.ex. bränsleceller. Satsning på RME avrådes utom som additiv i dieselolja. Etanol ur spannmål kommer med stor sannolikhet att förbli oacceptabelt dyr och kräver intensivodling av marken.

Satsning på cellulosabaserad Etanol

Etanol ur cellulosa kan bli ett alternativ men ännu återstår många hinder. Om processen kan ge konkurrenskraftiga bränslekostnader bör introduktion ske som inblandning och i viss mån för FFV-fordon. Etanol tillhör inte de bästa alternativen för bränsleceller.

Satsning på inblandning av syntesgasbaserad metanol.

Bränslet kan ha en potential att erbjuda en introduktion till lägre kostnader än de andra alternativen. Det är dock tveksamt om inte kostnaderna behöver pressas ytterligare (jämfört med de uppskattningar vi har gjort om vad som är möjligt) för att inte kostnaderna ska hindra en storskalig introduktion. De flesta stegen i processerna är väl kända utom den mest vitala, omvandlingen av biomassa till syntesgas. Syntesgas erbjuder flera utvecklingslinjer mot DME, FTD och Vätgas. Ett sådant system har möjlighet att vara kompatibelt med omvärld och framtid. Metanol är en lämplig vätebärare för bränsleceller.

Satsning på inblandning av bio-FTD (syntesgasbaserad Fischer-Tropsch diesel.)

Bränslet kan ha potential att erbjuda en introduktion till måttliga kostnader även om kostnadsuppskattningarna är osäkrare än för metanol. liksom för metanol är det omvandlingen av biomassa till syntesgas som är det mest vitala steget vilket behöver utvecklas. För inblandning av FTD krävs ingen motorutveckling utan det är endast smärre justeringar av bränslestandard som behöver göras.

Satsning på syntesgasbaserad DME

Detta bränsle kräver samma utveckling av förgasningsprocessen som de två föregående. Bränslet har fördelar i form av hög energieffektivitet både i bränsleproduktion och drivsystem. Dessutom erhålls mycket låga emissioner av skadliga ämnen.

Som nisch tillämpning för till exempel stadsbussar och innerstadsfordon, är DME intressant. Inom samma nisch konkurrerar dock även metangasdrivna fordon. En fördjupad analys av tekniska möjligheter och kostnader bör göras. En satsning på en begränsad demonstrationsflotta skulle kunna vara önskvärd för att ge svar på bränslets för- och nackdelar. Att bygga ett DME-system är ett större språng än det föregående alternativet. En ny infrastruktur behöver en avsevärd avskrivningstid för att vara acceptabel samhällsekonomiskt.

Vätgassatsning

Vätgas har potential att erbjuda ett rent och flexibelt system. Produktionsmetoderna är många bl.a. från syntesgas och elektrolys. Många kritiska problem är dock olösta t.ex. distribution och lagring. Sin största fördel i fordonsdrift erbjuder vätgasen i kombination med bränsleceller.

1 INLEDNING OCH BAKGRUND

Utsläppen av klimatgaser från transportsektorn har de senaste åren globalt visat en ökande trend och prognoser för framtiden antyder också att denna trend kommer att öka successivt. I och med den ökade integrationen av den Europeiska marknaden, bl.a. genom EU:s monetära union och EU:s tidigare och framtida utvidgning, kommer sannolikt att framgent ytterligare öka transportererna inom Europa. Detta gäller i synnerhet godstransporter. Även när det gäller persontransporter kan man förutse en ökning i framtiden. Ökat resande i arbetet och på fritiden torde stå för det största bidraget i detta fall, medan ökningen av arbetsresor (till och från arbetet) sannolikt inte kommer att öka i samma omfattning.

Ökningen av utsläppen av klimatgaser från transportsektorn står i kontrast till utvecklingen inom flera andra sektorer där ökningen har stagnerat eller där det i vissa fall t.o.m. skett minskningar. I många av de andra sektorerna finns också möjligheter till en bredare energibas för tillförseln än i fallet med transportsektorn. Ett sådant exempel är uppvärmning av bostäder som t.ex. direkt kan tillgodogöra sig solvärme eller värme från bibränsleeldning. Ett annat exempel är framställning av el som också kan använda en bredare råvarubas än drivmedel. Det förtjänar att nämnas att det i båda dessa sektorer (värme och el) finns stora möjligheter att dels effektivisera, dels använda förnybara resurser (t.ex. biomassa). I och med den tidigare nämnda ökningen av klimatgaserna från transportsektorn, samt dess allt större *andel* av utsläppen av klimatgaser, finns skäl att undersöka möjligheterna till andra råvarubaser än fossil olja även i detta fall.

Även på europeisk bas har frågan om transportsektorns energiförsörjning i framtiden diskuterats. Ett förslag till ett direktiv för främjande av biodrivmedel och motsvarande förslag till ändringar av skattedirektivet kom under hösten 2001 [1]¹. Förslaget fokusering är biodrivmedel men även andra fossila alternativa drivmedel diskuteras. För naturgas och vätgas (som är en energibärare och kan vara av både fossil och icke-fossil) föreslås också särskilda insatser som dock ännu ej är specificerade. Parallellt med förslaget om främjande av biodrivmedel finns också ett förslag om en skattereduktion med maximalt 50% för dessa drivmedel.

Jordbrukspolitiska frågor brukar ofta vara tämligen framträdande när alternativa drivmedel diskuteras. Så är sannolikt också fallet när det gäller EU:s förslag till direktiv för alternativa drivmedel. Tidigare har också rapsmetylester (RME) och etanol från spannmål eller andra jordbruksgrödor fått en framträdande roll. Det kan emellertid vara på sin plats att påpeka att de flesta överväganden som gjorts i denna rapport inte har haft som syfte att beröra jordbrukspolitiska frågor.

Vid utarbetandet av en strategi för framtiden är det viktigt att de beslut som tas är långsiktigt hållbara både vad avser ekologi och ekonomi. På kort sikt måste också en mängd olika beslut tas och förutsättningarna för dessa beslut kan i många fall skilja sig avsevärt från situationen i det långsiktiga fallet. Exempelvis är tillgången på förnybar energi (t.ex. biomassa) långsiktigt en mycket viktig faktor. Kortsiktigt kan emellertid satsningar på t.ex. energieffektivisering vara mycket mer kostnadseffektiva. I situationer som dessa måste lämpliga avvägningar göras mellan de olika prioriteringarna. Ett viktigt motto kan formuleras enligt följande: ”tänk långsiktigt, handla kortsiktigt”.

¹ Siffror inom hakparenteser avser en referens som listats i referenslistan i slutet av rapporten.

Syftet med denna studie har varit att sammanställa ett underlag som kan användas vid diskussioner om framtida satsningar på biodrivmedel. Detta gäller speciellt mot bakgrund av föreliggande direktivförslag. Visserligen vet man i dag inte om förslaget kommer att gå igenom i nuvarande utseende, ej heller om ett ev. modifierat förslag kommer att antas överhuvudtaget. Likväl har det dock ansetts viktigt att utifrån de förutsättningar som satts upp i direktivförslaget identifiera vilka åtgärder som måste vidtas och vilka förberedelser

som måste vara gjorda för att förslaget skall kunna genomföras. Huruvida förslaget är realistiskt och genomförbart eller ej tar författarna egentligen inte ställning till.

Kompletterande information till huvudtexten har lagts in i speciella fakta och diskussionsrutor (se exempel ovan) för att på ett enkelt sätt sära på denna information och den egentliga rapporten.

Ecotraffics kommentarer

Fakta och diskussionsrutor

I de fall som kompletterande fakta och/eller kommentarer utan direkt anknytning till den övriga texten tillfogas har detta skett i särskilda "rutor". Detta har gjorts för att hålla isär denna text från huvudrapporten.

2 METODIK

2.1 Några frågeställningar

Som grund för studien ställdes en del kritiska frågeställningar upp. Det har självfallet inte varit möjligt att inom ramarna för studien komma med svar på alla frågorna men att lista några av de viktigaste frågorna är en bra grund. Följande frågeställningar bedömdes som viktiga att beröra:

- Vilka drivmedel har potential till stora volymer på kort sikt (2-5 år), dvs. i huvudsak låginblandning?
- Var står forskningen när det gäller framställning av flytande drivmedel från syntesgas (främst Fischer-Tropsch dieselolja och metanol), speciellt när syntesgasen framställs från biomassa?
- Hur fungerar låginblandning av metanol i bensin? Materialkompatibilitet, risk för separation vid distribution m.m. Kompatibilitet med dagens fordonsflotta.
- Metanol, hur hantera giftigheten?
- Hur skulle man kunna överbrygga klyftan mellan dagens ointresse för metanol i konventionella motorer och framtidens intresse för att använda metanol i bränsleceller?
- Distribution och användning av FTD (främst låginblandning). Materialkompatibilitet, inverkan av lägre densitet m.m.? Behövs emissionstester på låginblandning av FTD och/eller på dedikerade fordon som använder ren FTD (i fordonsflottor för nischer).
- Vilka drivmedel kan användas i nischprogram för att förbättra lokal luftkvalitet (t.ex. natur- och biogas, FTD, DME och elfordon)?
- Vilka biodrivmedel bör prioriteras lågt i dag p.g.a. ringa potential?
- Varför omvandla naturgas och/eller biogas till flytande drivmedel?
- Kan ett kostnadskrav motsvarande en merkostnad på 1,5 kr/liter (i bensinekvivalenter) nås långsiktigt för stora produktionsvolymer?
- Strategi för att nå det kortsiktiga målet på 2% substitution till 2005.
- Vad är nyttan av att begränsa antalet drivmedel/drivmedelskvaliteter?
- Konsekvens av föreslagen drivmedelsstrategi för energiomvandlare (motorer) och drivsystem. Nya energiomvandlare (t.ex. bränsleceller och HCCI) kan ställa helt nya krav på drivmedel. Hur ta hänsyn till framtida krav redan nu?
- Konkurrens med andra sektorer. Varför inte elda upp biomassan i stället?

Det må framhållas att svar inte kunnat tas fram till alla frågeställningarna ovan men i de flesta fall där så inte varit fallet har i stället forsknings- och utvecklingsbehov identifierats.

2.2 Sammanställning av resultat från tidigare studier

Någon regelrätt litteratursökning har inte gjorts för detta projekt med hänsyn till dess begränsade omfattning. I stället har redan tillgängligt material använts som bas. En del av detta material har dock sammanfattats för att ge en bakgrund till föreslagna prioriteringar.

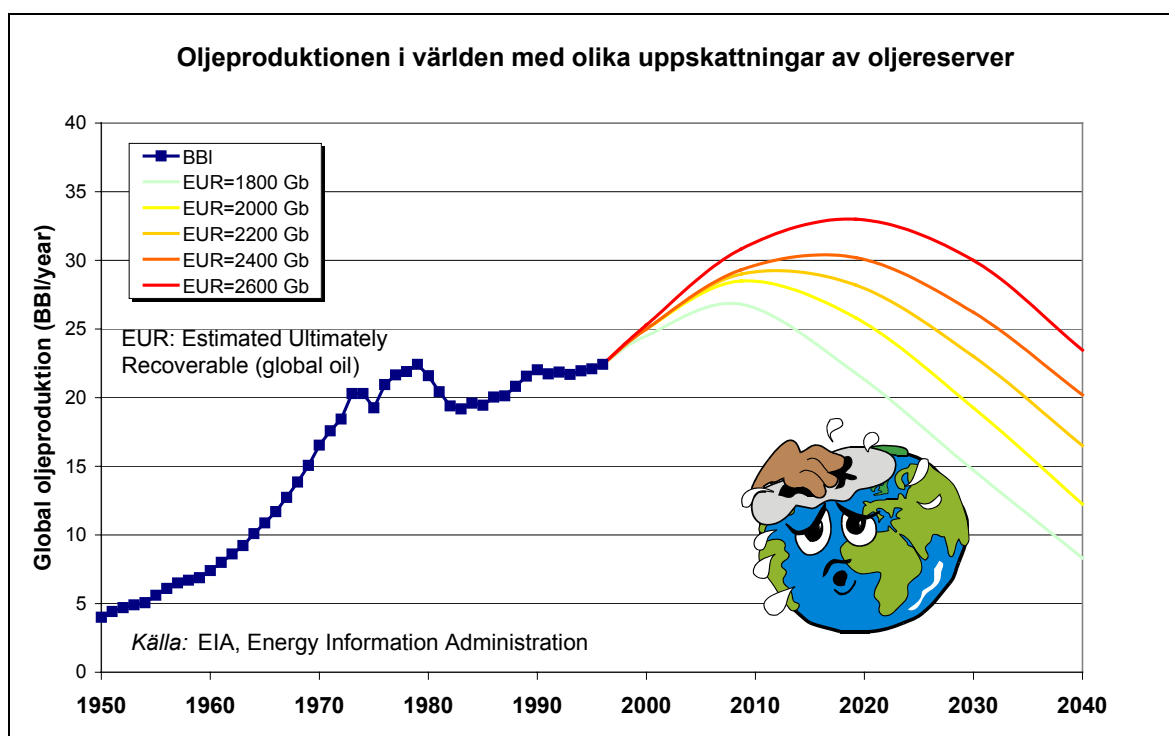
3 RESULTAT

3.1 Tillgång på fossil råvara

Det finns anledning att diskutera tillförseln av råolja och andra fossila energitillgångar i framtiden eftersom dessa resurser som bekant är begränsade. Bortsett från klimatproblematiken är det ju också fråga om ett långsiktigt problem för energitillförseln.

3.1.1 Tillgång på konventionell råolja

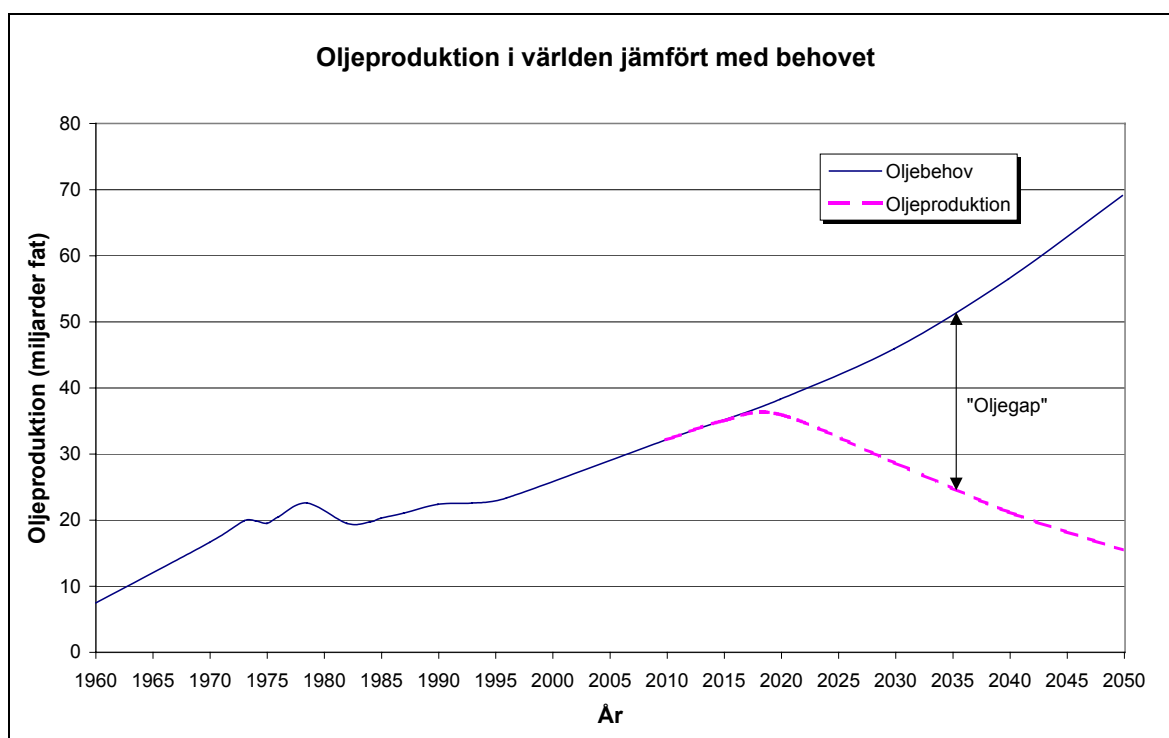
Det första man kan notera är att det finns ett produktionstak för oljeproduktionen. Olja kan helt enkelt inte utvinnas snabbare än i en viss maximal takt med den produktionsteknik man förfogar över i dag. Detta är avhängigt av de begränsningar som föreligger i de oljeförande skikten. Normalt brukar maximal produktion kunna nås när ca hälften av oljetillgångarna i en oljekälla utnyttjats. Ett sådant exempel är USA som på 70-talet utnyttjat ca hälften av sina tillgångar. Oljeproduktionen har sedan dess stadigt minskat i USA och följaktligen har importen ökat. I **Figur 1** visas ett diagram som ursprungligen sammanställts av Energy Information Administration (EIA) i USA. Beroende på hur stora de konventionella resurserna av olja är skulle den maximala produktionen enligt denna uppskattning ligga mellan 2010 och 2020.



Figur 1. Global oljeproduktion beroende på storlek av oljereserver (källa: EIA, USA)

Det stora problemet på kort och medellång sikt med oljetillförseln är inte att oljereserverna sinar utan att efterfrågan är större än produktionen. Ifall oljeförbrukningen fortsätter att öka enligt tidigare prognoser kommer man förr eller senare till en punkt när efterfrågan inte längre kan mötas. Ett exempel på detta visas i **Figur 2** där resultat som visar kurvor på till-

gång och efterfrågan hämtats från en studie som utförts i USA av Department of Energy (DOE), några av DOE:s federala laboratorier, samt ett par underkonsulter [2]. Med de förutsättningar som satts upp i studien skulle skillnaden mellan behov och produktion, det så kallade "oljegapet" 2035 vara lika stort som oljeproduktionen under detta år. Detta är naturligtvis en ohållbar situation som skulle leda till kraftigt ökade priser och därmed en lägre konsumtion. Priskriser, med de eventuella politiska spänningar som hänger samman med kriser av detta slag, kan utan tvekan förutspås ske i det beskrivna scenariot.



Figur 2. Världens oljeproduktion och oljebehov (källa: DOE, USA)

3.1.2 Tillgång på andra fossila resurser

Det finns även okonventionella oljetillgångar och tillgångar på annan fossil energi som vida överstiger de råoljetillgångar som visats ovan. I en rapport av Rogner, som även används av DOE som underlag för den studie som citerades ovan, har en sammanställning av konventionella och okonventionella fossila resurser gjorts [3]. En sammanställning av tillgångarna visas i **Tabell 1**.

Som framgår av **Tabell 1** är tillgångarna av konventionell olja (förbrukade och reserver) och naturgas på ca 3 terabarrel i respektive fall små i förhållande till de okonventionella tillgångarna av

Tabell 1. Potential för fossila bränslen i världen (källa: H. H. Rogner [3])

Energislag	Energiresurs (terabarrel)
Metanhydrater	137,5
Kol	45,78
Okonventionell naturgas	6,14
Konventionell naturgas	3,08
Okonventionella oljetillgångar	17,17
Konventionella oljetillgångar	2,163
Förbrukade oljetillgångar	0,81

olja och naturgas. De största reserverna är dock kol och metanhydrater. Även om tillgången på kol är stor är detta det fossila bränsle som per energienhet innehåller mest kol. En utökad exploatering av kol är därför inte önskvärd. Metanhydrater är den kanske mest okända och mest svårtillgängliga råvaruresursen. I dag finns i vilket fall som helst ingen teknik för att utnyttja resursen.

3.1.3 Konsekvenser för miljön

Den knapphet på olja som kommer att vara ett faktum om ett par decennier enligt vad som beskrivits ovan kan leda till att mer okonventionella oljeresurser och naturgas börjar utnyttjas i större utsträckning. Detta gäller såväl energi- som transportsektorn. När det gäller drivmedel för transportsektorn förefaller utnyttjande av så kallad "tjärsand" och naturgas för framställning av bensen och dieselolja vara de alternativ som närmast kommer till kommersiell användning. Utvinning av övriga resurser är teoretiskt möjliga men de är i dag inte ekonomiskt konkurrenskraftiga.

Det förefaller uppenbart att om endast en liten andel av de totala fossila resurserna som nämnts ovan kommer till användning blir konsekvenserna på klimatet stora. En möjlighet att minska utsläppen av CO₂ som diskuterats är att framställa vätgas och att sedan "deponera" den kvarvarande koldioxiden i naturliga akvifärer (ung. "vattenlager") i jordskorpan. Denna teknik är emellertid ännu inte fullt utvecklad och det skulle dessutom krävas att man löser problemen med lagring och distribution av vätgas. Innan dessa problem är lösta torde konventionella kolvätebaserade drivmedel vara det enda alternativet för en bred användning. *Slutsatsen är att en fortsatt ökad användning av konventionella fossila drivmedel, men där dessa framställs från de mer okonventionella fossila råvarorna enligt ovan, riskerar att leda till en total ekologisk katastrof. I ett långsiktigt perspektiv (> 50 år) måste man övergå till förnybara resurser. En minskning av utsläppen av CO₂ med upp till 80% har ansetts nödvändigt för att stabilisera klimatet på längre sikt. I ett sådant scenario kan man inte heller undgå att minska utsläppen av CO₂ från transportsektorn.*

3.2 Verkningsgrad i ett livscykelperspektiv

3.2.1 Tänkbara drivmedel

Bedömning av verkningsgrader (och kostnader, se avsnitt 3.6) för de olika leden i hela kedjan för nya drivmedel/drivsystem måste göras med förutsättningen att produktion, distribution och användning sker i stor skala för att motsvara vägtrafikmarknaden i dag och skall avse förutsebara, framtida förhållanden. Introduktionsfasen fram till denna storskaliga användning är också viktig och bör vara föremål för separat studier. För att motsvara krav på stor potential måste tillgängligheten för nya system på sikt vara allmän och innefatta bara få nya bränslen, helst bara ett, som skall kunna framställas från många råvaror inkl. bioråvaror. Begränsade nisch-applikationer av vissa andra bränslen kan dock vara berättigade under vissa förutsättningar.

De scenarier vi kan se som dels möjliga att omedelbart börja genomföras, dels ha potential att inrymma dessa framtida, självständiga drivmedel från alla tänkbara råvaror, inkl. förnybara, för allmän användning överallt i alla framtida drivsystem är:

- Produktion av alkoholer (metanol, etanol) för system med hög effektivitet och enkel och billig distribution som flytande drivmedel och användning först som komponent i

bensin för befintlig bilpark och i ökande omfattning som bränsle för optimerade bränsleflexibla bilar (FFV) och slutligen som rent bränsle för framtida dedikerade drivsystem (DI-, HCCI-dieselmotorer och elektrokemiska bränsleceller).

- Produktion av syntetiska kolväten (FT-kolväten) för enkel och billig distribution som flytande drivmedel och användning först som kvalitetsförbättrande komponent för diesellojor (sannolikt med rätt hög inblandning möjlig) och slutligen som självständigt bränsle för framtida optimerade DI- och HCCI-dieselmotorer och möjliga vätebärare för elektrokemiska bränsleceller.

Nischapplikationer av andra drivmedel med begränsningar av olika skäl kan ses (och finns redan i viss utsträckning) för följande om egna meriter befinns tillräckliga:

- Oljor av RME-typ för låg inblandning i dieselloja; tekniskt ligger begränsningen i låg potential (2 – 3% av diesellojeanvändningen) för produktion genom intensivodling av oljefröväxter på jordbruksmark..
- Etrar av DME-typ som bränsle för lokala, dieselmotordrivna flottor av miljöskäl; tekniskt ligger begränsningen i att något allmänt distributionsnät för bränslet inte kan förväntas, trots högsta systemeffektivitet för dieselbränslen från alternativa råvaror, och i att det är olämpligt som ottomotorbränsle.
- Metangas i form av fossilgas/naturgas och biogas för lokala/regionala flottor; tekniskt ligger begränsningen i något allmänt distributionsnät för naturgas (även som kryogen vätska) inte kan förväntas och i att potentialen för lokalt producerad biogas är otillräcklig för allmän användning och då har sämre energieffektivitet i hela kedjan än andra alternativ.
- Vätgas för ev. lokala flottor med bränslecelldrift av fordon med noll-utsläpp. Begränsningen ligger i att ett allmänt nät för distribution av vätgas (även som kryogen vätska) inte kan förväntas, och ny acceptabel teknik för transport och lagring ligger minst 20 år bort i tiden om den överhuvudtaget kommer. Denna begränsning finns inte om lätthanterliga flytande vätebärare (metanol, syntetiska kolväten) används i distributionen och väte framställs ombord på fordonet.
- Elektricitet från förnybara källor från nätet för batteridrivna specialfordon (tätortsfordon av olika slag); tekniskt ligger begränsningen i att prestanda för batterier, teknik för lagring av elenergi och för snabb ”tankning” i dag är otillräckliga för fordon i allmän användning och något genombrott för ny teknik inte kan ses.

3.2.2 Råvaror

Råvaror med potential att på relativt kort sikt i stor skala komplettera/ersätta de konventionella råoljorna är naturgas och biomassa vid inriktning mot minskade utsläpp av fossil koldioxid. Visserligen finns ändå mycket större resurser av fossila kolväteråvaror (tunga råoljor, tjärsand, oljeskiffer, stenkol, brunkol, metanhydrat, etc.) men användandet förutsätter att kolet avskiljs och deponeras för distribution av enbart vätgas som energibärare, vilket inte är sannolikt scenario.

Naturgas är en resurs av samma storleksordning som råoljan men finns som denna inte heller i de stora konsumtionsområdena (Väst- och Centraleuropa, USA) utan måste impor-

teras. Konvertering till andra mer lätttransporterade energibärare (LNG, metanol, kolväten) vid källan är därför sättet för dess utnyttjande på längre sikt.

Biomassa, främst vedartade växter, är en förnybar resurs, vars potential i europeisk och global skala ännu inte är ordentligt klarlagd. Med ursprung i den direkta solstrålningen, som representerar ett energiflöde av storleksordningen 10.000 ggr hela världens energianvändning, bedöms den årliga bildningen av landbiomassa vara av storleksordningen 10 ggr hela världens energianvändning. Studium av fördelning och typer på jorden borde göras för att bättre få grepp om potentialen som lokalt/regionalt tillgänglig råvara/energibärare för utnyttjande av människan. Utnyttjande av solstrålningen kan ske med högre verkningsgrad via solceller än genom fotosyntesen och leder till produktion av el eller väte. Kan kostnadshinder övervinnas återstår ändå frågan om distribution, som är hinder särskilt i transportsektorn, och omvandling till flytande produkt är sannolikt nödvändig.

I Sverige har den biomassa, som skulle kunna vara tillgänglig från produktiv skogsmark (efter tekniska, ekologiska och ekonomiska begränsningar) i form av trädrester efter tillvaratagande av stamdelen, beräknats av SLU. Den uppgår vid nuvarande avverkningsnivå till över 19 Mt/år TS (torrsubstans, ca 100 TWh/år) med betydande potential för utveckling. Ca 9 Mt/år TS utnyttjas redan som bränsle för husuppvärmning på landsbygden, pannbränsle i industri och i värme- och kraftvärmeverk. Till detta kan läggas råvaror från jordbruksmark, avfall i samhället och en begränsad mängd torv samt massaindustrins svartlut. Överskott av jordbruksmark används bäst för energiskogsodling (utväxlingen: producerad biomassa per enhet insatt fossil energi är 20 á 30:1; för spannmål är den lägre, under 10). Den potentiella tillgången är sålunda betydligt större, kanske dubbla nämnda tal, och reserverna överskrider vida den resterande användningen av fossila bränslen för nämnda ändamål. Det finns således betydande förnybara råvaruresurser för användning för vägtransportsektorn.

3.2.3 Produktion

Huvudspåret till alternativa drivmedel innebär konvertering av råvara till *flytande produkter* (alkoholer, kolväten). Effektiviteten i detta produktionsled är viktig och är högst för DME, vätgas och metanol, varav endast det sistnämnda bränslet är flytande. Det primära steget är förgasning till syntesgas och därefter katalytisk syntes av önskad produkt, ev. följd av viss sekundär upparbetning till slutlig specifikation. Med naturgas som råvara är tekniken känd, kommersiellt tillgänglig och använd i stor skala (metanol, FT-kolväten). Med biomassa, som väsentligen är lignocellulosa ("ved"), är förgasningssteget till syntesgas ännu inte fullt utvecklat och demonstrerat i kommersiell skala men bedöms som moget för detta steg grundat på kunskaper från tidigare verksamheter i pilotanläggningar och erfarenheter från drift av kommersiella anläggningar med näraliggande råvaror (torv, brunkol). Upparbetning till färdig syntesgas kan ses som känd, kommersiellt tillgänglig och använd teknik exemplifierad med kol av olika slag som råvaror.

För cellulosahaltiga råvaror finns en annan produktionsväg, (kemisk/biokemisk konvertering, hydrolys till enkla sockerarter och jäsnings, som leder till etanol. Den är kommersiellt och storskaligt använd för socker- och stärkelsehaltiga råvaror och har tidigare använts för vedråvara men behöver förfinas för att få höga utbyten. Sådan verksamhet pågår bl. a. vid svenska universitet och en kommande pilotanläggning i Sverige. Enligt amerikanska studier skall hydrolysen av cellulosan till jäsbart socker ske biokemiskt med enzymer för bästa resultat. Uppnåbara utbyten av etanol är beroende av råvarans halter av hemicellulosa och cellulosa.

Ingenjörstudier ligger till grund för angivna effektiviteter vid produktion från bioråvara.

I **Tabell 2** nedan anges för produktionssteget de utbyten som använts i den tidigare studien över effektivitet (i energitermer i energimässigt självförsörjande anläggningar) för olika system (naturgas som råvara och vätgas som produkt som jämförelse).

Tabell 2. Produktionsutbyte i procent (LHV-bas) inkl. råvaruproduktion och –transport

Produkt Råvara	METANOL/ /DME	ETANOL	FT-KOLVÄTE	VÄTGAS
NATURGAS	68/72	--	55	73
BIOMASSA	52/55	45	43	54

Högst utbyte ger de gasformiga drivmedlen DME och vätgas medan metanol är det flytande drivmedel som har högst utbyte. Metanolsyntesen ger således relativt sett 15 – 20% högre utbyten än kolvätesyntesen och etanolutbytet är begränsat av råvarans cellulosainnehåll. Det råder viss osäkerhet om utbytestalen för FT-syntesen gäller om enbart en dieseloljefraktion skall framställas (inga data publicerade) då syntesen ger en bred mix av olika kolväten i motsats till metanolsyntesen som selektivt ger praktiskt taget 100% metanol. I en rapport av Wang, m.fl. [4] anges ett något högre värde för FT-kolväten än i Ecotraffics studie. Vid diskussioner med nämnda författare framkom att dessa data baserade sig på nya data från Shell [5]. Resultat från Shell har publicerats i en SAE rapport [6]. Tyvärr finns inte tillräckligt underlag i rapporten för att dels bedöma de förutsättningar som använts, dels genomföra en beräkning av utbytet vid framställning av FTD från biomassa (som inte finns med i rapporten). Det är dock troligt att utbytet kan bli lika högt eller något högre än för etanol. *Vi har därför valt att betrakta utbytet för dessa drivmedel som lika stora (dvs. 45%) i det fortsatta resonemanget.* Dock har ingen korrektion gjorts för de data som presenteras med hänvisning till det bristande underlaget för en sådan beräkning. Sannolikt skulle också de nämnda förbättringarna, åtminstone delvis, vara överförbara även på andra bränslen producerade från syntesgas (DME, metanol och H₂). Relativt sett skulle således skillnaderna inte påverkas mycket annat i dessa fall utom i jämförelsen med etanol.

Ecotraffics kommentarer

Användning av spillvärme?

För alla produktionsanläggningar som beskrivits har hänsyn tagits till att biprodukter utöver drivmedlet ibland produceras (s.k. energimässig "kreditering"). Dock har ingen hänsyn tagits till användning av spillvärme. En sådan användning skulle öka verkningsgraden. Tidigare utförda studier av Ecotraffic har emellertid visat att en analys av denna potential är komplicerad och kräver att lokala förhållanden beaktas. Om hänsyn togs till utnyttjande av spillvärme skulle knappast ordningsföljden mellan drivmedlen ovan förändras.

Bra ottomotorbränsle (högoktanig bensin) är omständligt att producera FT-vägen (sker enklare och effektivare via metanol). Utbytet för denna bensin blir också lägre än för FTD, samtidigt som det förutsätter användning i en ottomotor med lägre verkningsgrad än dieselmotor och bränslecell. Möjligt vore att producera ett enklare kolväte ("nafta") som lämpar sig för användning i bränsleceller men utbytet skulle då bli snarlikt det för FTD, dvs. lägre än för metanol som är bättre lämpat för bränsleceller. Den enklaste produkten, vätgas,

ger högt utbyte men denna fördel förloras vid distribution och fordonstankning. Distribution av DME är enklare än för vätgas men DME måste hanteras under måttligt tryck (5-10 bar) för att vara flytande.

3.2.4 Distribution inkl. tankning

Distribution av flytande drivmedel till många tankningsställen är mycket energisnål, ca 1% av energiinnehållet för flytande kolväten och ca 2% för metanol. Övriga flytande drivmedel ligger mellan dessa. Själva tankningen av fordon kräver obetydligt med energi (vätskepump i lågtryckssystem) och är närmast försumbar som term i kedjan. Detta i motsats till gaser som använder 10 – 30% i dessa steg i högtrycks- eller kryogena system. Gaser som kan förvätskas vid normal temperatur (DME och LPG) utgör ett mellanting ur distributionssynpunkt.

Den lägsta kostnaden för distribution erhålls för flytande drivmedel. Kostnaden för gasformiga bränslen blir självfallet högre och högst blir kostnaden för vätgas, det lättaste drivmedlet. Återigen är de förvätskningsbara gaserna ett mellanting. Kostnaderna för de kryogena gaserna är sannolikt ännu högre än för motsvarande gasformiga drivmedel. Fördelen med kryogena gaser skulle vara en ökad räckvidd och möjligheter till ett mer heläckande distributionsnät.

3.2.5 Användning och effektivitet i olika motorer/drivsystem

För att ge en översikt över effektiviteten för olika drivmedel visas här några av resultaten från två rapporter som publicerats från en studie för Vägverket [7, 8]. I studien undersöktes sammanlagt 98 olika kombinationer av drivmedel, energiomvandlare och drivsystem så det är naturligt att en viss sovring måste göras av materialet. Studien omfattade bara personbilar och resultaten kan därför inte utan vidare generaliseras även till tyngre fordon.

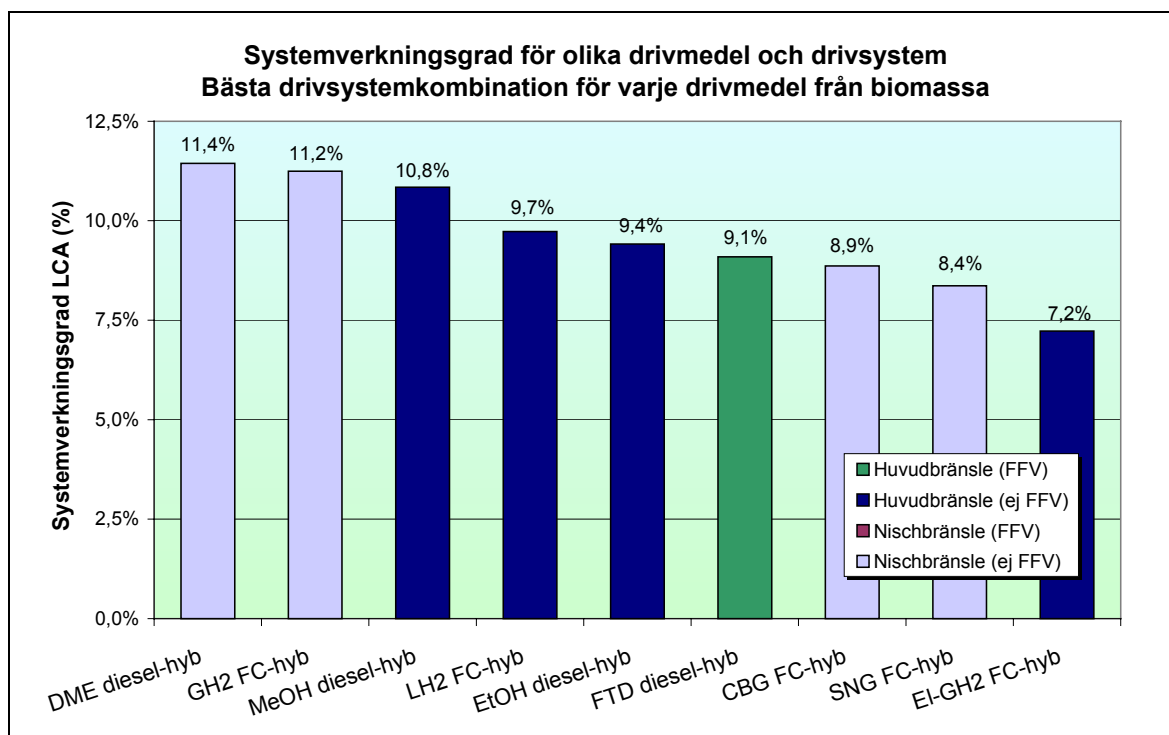
Den första indelningen av resultaten görs för fossila drivmedel baserade på naturgas respektive biobaserade drivmedel. Nästa förenkling är att endast redovisa den bästa kombinationen av energiomvandlare och drivsystem för respektive drivmedel. Vidare görs en indelning i huvudbränslen och nischbränslen enligt definitionen att ett huvudbränsle skall ha förutsättningar för att kunna nå en marknadsandel på över 10%. Eftersom bränsleflexibilitet eller möjligheten till inblandning av drivmedlet i fråga i dagens drivmedel också är av intresse redovisas detta också separat. Den beteckning som valts för denna utvidgade typ av flexibilitet är, i brist på bättre benämning, ”FFV”. Följande indelning kan således göras (i prioritetsordning):

- Huvudbränsle, FFV
- Huvudbränsle, ej FFV
- Nischbränsle, FFV
- Nischbränsle, ej FFV

Resultaten för de biobaserade² drivmedlen visas i **Figur 3**. De beteckningar som visas i figuren förklaras i **Tabell 3**. Eftersom endast ett urval av alla 98 kombinationerna visas fattas en av kategorierna enligt listan ovan (nischbränsle, FFV) i diagrammet. Det effektivitetsmått som visas är verkningsgraden för hela kedjan från vaggan till graven (från produktion av råvara till arbetet vid hjulet på fordonet). Eftersom det finns stora förluster i

² Resultat finns även för drivmedel producerade från naturgas men de visas inte här av utrymmesskal.

denna kedja är det naturligt att den totala systemverkningsgraden inte blir speciellt hög i absoluta termer.



Figur 3. Systemverkningsgrad för den bästa kombination för respektive drivmedel. Drivmedel med biomassa som råvara

Tabell 3. Förklaringar till förkortningarna i **Figur 3**

Förkortningar	Förklaringar
DME diesel-hyb	DME, dieselmotorhybrid
GH ₂ FC-hyb	Komprimerad vätgas, bränslecellhybrid
MeOH diesel-hyb	Metanol, dieselmotorhybrid
LH ₂ FC-hyb	Kryogent (flytande) väte, bränslecellhybrid
EtOH diesel-hyb	Etanol, dieselmotorhybrid
FTD diesel-hyb	F-T dieselbränsle (syntetisk dieselolja), dieselmotorhybrid
CBG FC-hyb	Komprimerad biogas, bränslecellhybrid
SNG FC-hyb	Komprimerad syntetisk naturgas, bränslecellhybrid
EI-GH ₂ FC-hyb	Komprimerad vätgas, producerad från el (lokalt), bränslecellhybrid

Föga förvånande är att resultaten i **Figur 3** innehåller bara hybridfordon – verkningsgraden är ju högre för dessa system än för direktdrift. Det är ej heller förvånande att ingen ottomotor finns med i diagrammet – för alla drivmedel finns helt enkelt antingen en bränslecell och/eller en dieselmotor som ger högre verkningsgrad. De 6 bästa drivmedlen är följande:

- DME

- Vätgas (GH₂)
- Metanol
- Vätgas (LH₂)
- Etanol
- FTD

Notera att FTD i **Figur 3** och i listan ovan har en lägre verkningsgrad än etanol. Om de förbättringar av produktionsprocessen som Shell indikerat kan förverkligas (se avsnitt 3.2.3, sidan 9) skulle FTD hamna på samma nivå eller något högre jämfört med etanol.

Det som är mest intressant för framtiden är ju naturligtvis de biobaserade drivmedlen. Samtidigt vill man ju också öka råvarubasen på kort sikt från i huvudsak råolja till att innefatta även naturgas. Intressant är då vilka drivmedel som återfinns bland de bästa *både* med naturgas och med biomassa som råvarubas. De tre bästa drivmedlen enligt detta kriterium blir (i ordningsföljd efter högst verkningsgrad i biodrivmedelsfallet):

- DME
- Vätgas (GH₂)
- Metanol

Det är ovannämnda drivmedelsalternativ som enligt författarnas mening bör prioriteras högst på lång sikt om verkningsgrad och klimatgaser är de främsta kriterierna. Som framgår av resonemang i senare avsnitt finns emellertid också andra kriterier för prioriteringar.

Det må tyckas förvånande att drivmedel som biogas inte finns med på någon av listorna för de högst prioriterade drivmedlen ovan. Likaså finns etanol bara med på den första av listorna. Stora satsningar har gjorts i Sverige³ inom forskning, utveckling och demonstration för alternativen etanol och biogas. Detta gäller både för drivmedelsproduktion och på fordonsområdet. Biogas har t.ex. utnämnts till ”bästa” drivmedel av flera statliga utredningar. Det som är skillnaden mellan dessa utredningar och vår studie är bl.a. att de statliga utredningarna inte prioriterat verkningsgrad så högt utan i stället vägt in andra faktorer, bl.a. avgasemissioner, högre. Ofta har avgasemissionerna också bedömts utifrån dagens (eller gårdagens) tekniknivå och inte beaktat de förbättringar som i framtiden kommer att minska skillnaderna mellan alla drivmedel till en nästintill försumbar nivå. Vår bedömning är att de viktigaste kriterierna för huvudbränslen i framtiden kommer att vara effektivitet och utsläpp av växthusgaser. Vid nisch användning kommer dock avgasemissionerna att prioriteras högre trots en förmodat låg emissionsnivå för alla drivmedel.

3.3 Låginblandning i bensin och dieselolja

De två möjligheter som finns för att införa ett nytt motorbränsle är dels att använda det för befintlig bilpark utan någon ändring av denna, dels att använda det för nya, modifierade fordon eller helt nya drivsystem. Låginblandning i befintlig bensin eller dieselolja är exempel på det förstnämnda och en omedelbar väg till hela bilparken öppnas med möjlighet

³ Bortsett från att etanol från cellulosa varit av stort intresse i USA kan man konstatera att intresset för etanol och biogas varit tämligen svalt utomlands. Störst intresse har naturgas rönt.

till alternerande tankning med befintliga bränslekvalliteter resp. låginblandade sådana. Modifierade och nya system, som kan använda sig av det nya bränslet och vara optimerade för detta, behandlas under avsnitt 3.4 nedan. Det finns också övergångslösningar som är bränsleflexibla och kan använda sig både befintligt och nytt bränsle.

3.3.1 Bensin

Låginblandning av oxygenater (alkoholer och etrar) i bensin har använts i modern tid sedan 70-talet och finns reglerad i standard och förordningar. Användningen grundas på att oxygenaterna kan ses som normala bensinkomponenter med höga oktantal och icke-aromatisk karaktär med potential att ge bensinen bättre emissionsegenskaper och viss ersättning av råoljebaserade produkter. I USA ledde detta till lagstiftning för obligatorisk användning i reformulerad bensin motsvarande 2% m syre i regioner med dålig luftkvalitet, t.ex. Kalifornien (specifikationen tillåter högst 2,7% m motsvarande drygt 7% v etanol⁴). Denna grundades på omfattande undersökningar i det amerikanska Auto/Oil-programmet för kartläggning av emissionerna från äldre och då moderna (1989) bilar. Effekten blev ca 25% minskade utsläpp av CO, ca 10% minskade utsläpp av HC (oförbränt bränsle) utan ökade NO_x-utsläpp samt 15 – 25 minskning av potential för ozonbildning och "air toxics" (cancerogena gaser). Högre halter än motsvarande 2,7% m syre visade sig kunna medföra förhöjda NO_x-utsläpp. De lägre utsläppen av CO och HC är en indikation på aningen högre förbränningsverkningsgrad, som medför att den volymetriska förbrukningen inte ökar fullt ut i förhållande till det lägre energiinnehållet jämfört med bensin utan oxygenater. (Det vore i sig intressant att undersöka om även dagens moderna motorer med förbättrade styrsystem för bränsletillförseln ger samma effekter men det har inte kommit till stånd sannolikt p.g.a. höga kostnader. Det senare europeiska Auto/Oil-programmet tog inte upp en jämförande studie av bensin med och utan oxygenater då alla provbränslen innehöll etern MTBE motsvarande knappt 2% m syre.)

Med hänsyn till de gynnsamma effekterna av oxygenater som bensinkomponenter och till möjligheten att i befintlig bensinpool bereda plats för komponenter med annan råvarubas är låginblandning tveklöst en verksam del i en introduktionsstrategi. I USA har detta skett genom administrativa bestämmelser medan det i Västeuropa inte finns något motsvarande. Dock har ramarna för hur låginblandning får gå till angivits i det s.k. låginblandningsdirektivet 85/536/EEC. Detta tillkom efter omfattande frivillig användning från slutet av 70-talet. Direktivet anger att marknadsföring av bensin med oxygenater upp till 2,5% m syrehalt inte får hindras och att, om halten överstiger 3,7% m, måste detta anges på pumparna. Dessutom finns gränser för högsta halt av vissa oxygenater, nämligen bland annat 3% v av metanol och 5% v etanol, och inblandning av metanol måste åtföljas av viss inblandning av högre alkoholer (etanol och högre). Dessa gränser föranleddes av vissa materialproblem i några äldre bilmodellers bränslesystem, något som inte längre är relevant då alla numera tål betydligt högre halter och moderna lambdasond-styrda bränslesystem kan tekniskt köras med betydligt högre oxygenathalter.

Bestämmelsen om viss närvaro av högre alkoholer föranleddes av att alkoholblandad bensin är känslig för närvaro av för mycket vatten i bränslesystemet, vilket kunde leda till s.k. fas-separation innebärande att bensinen delar sig i ett vatten/alkohol-skikt och ett kolväteskikt. En viss, dock ej närmare definierad tolerans för vattennärvaro måste finnas. Denna

⁴ Notera att det således finns två bestämmelser gällande syrehalt. Den ena föreskriver användning av reformulerad bensin med minst 2% syre i områden med dålig luftkvalitet medan den generella bestämmelsen innefattar ett "tak" på maximalt 2,7% syre.

problematik studerades ingående på 80-talet och finns t.ex. sammanställd i rapport från STU:s [9].

Erfarenheter har visat att vid ca 5%v halt av etanol är vattentoleransen tillräcklig och att ett system som startats med alkoholinnehållande bensin i praktiken håller sig torrt och inga bottenskikt av vatten i lagertankar uppträder (vilket sker med enbart kolvätebensin) genom att spåren av vatten löses i bensinen och förs bort. Inflöde av vatten i flytande fas måste dock förhindras (tankar med flytande tak kompletteras med paraplytak) medan tillförsel av fukt med luft vid tankars tömning och andning vid temperaturväxlingar inte utgör något problem. Lagring av bensin på vattenbädd i bergrum, vilket är vanligt i Sverige kan inte användas utan inblandning får ske vid utlastning från dessa, vilket nu sker med etanol i all bensin i Stockholms-, Mälardals- och Norrköpingsområdena.

Metanol, som har sämre vattentolerans än etanol särskilt vid låg temperatur och låg-aromatisk bensin, bedöms i praktiken ge för låg marginal för störningar i distributionsledet om inte kontrollen över det är mycket god. I Västeuropa användes metanol för låginblandning men då blandad med den högre alkoholen TBA (tertiär butyl alcohol) under handelsnamnet Oxinol för iakttagande EEC-direktivets bestämmelser. Även IBA (isobutyl alcohol) har använts, och inget hindrar att den högre alkoholen kan vara etanol. En blandning av metanol och etanol kan därför användas för att utnyttja högsta lämpliga oxygenat-inblandning (motsvarande 2,7% m syre) under samtidigt iakttagande av direktivets (i och för sig obsoleta) gränser för individuella oxygenater. Även om inblandning av metanol i bensin i dag är tillåtet i EU ger bil- och motorindustrins organisationer i USA, Europa, och Japan i ett dokument om framtida bränslekviteter uttryck för ett annat synsätt [10]. Om metanol sägs kort: "methanol is not permitted". Någon direkt referens till varför metanol inte är önskvärt, utöver korrosivitet och aggressivitet mot polymerer och elastomerer, anges inte. Försök har utan framgång gjorts för att ta reda på bakgrunden till detta påstående.

Möjligheterna att öka inblandningshalten av alkoholer i bensin (upp till storleksordningen 10-20%) har diskuterats, då nyare bilar torde tillåta detta utan nämnvärda problem i form av ökade emissioner (främst NO_x) eller problem med materialkompatibilitet. Nya styrsystem minskar riskerna för att motorn går för magert och därmed finns inte problemet med ökade NO_x emissioner. De materialval som gjorts för bränslesystemet i nya bilar tillåter ofta också en högre halt av alkoholer. En inblandning av etanol upp till 10% används i USA under handelsnamnet "gasohol". Vissa biltillverkare har också sanktionerat en högre inblandning av etanol för flottförsök i Sverige. I bl.a. Sverige och Tyskland genomfördes på 80-talet framgångsrika försök med inblandning av 15% metanol (M15). Sannolikt är de flesta nya bilar i Europa byggda för att tåla en högre inblandningshalt av alkoholer än den maximala enligt bestämmelserna. En möjlighet att åstadkomma ett flexibelt distributionsystem vore att distribuera etanol som E100 och metanol som M100 till tankstationerna (med ev. nödvändiga tillsatser i båda fallen). Från blandningspumpar skulle sedan fordon som tål högre inblandning (t.ex. E15 och M15) och bränsleflexibla fordon (E85 och M85) kunna tankas. Från särskild pump skulle renalkoholfordon kunna tankas (t.ex. fordon med otto- och dieselmotorer som klarar renalkoholer samt bränsleceller). En speciell fördel i metanolfallet är att några tillsatser av högre alkoholer inte behövs för att åstadkomma erforderlig vattentolerans (vid en inblandning av 15% eller högre). Ett problem med en högre låginblandningshalt är att detta skulle innebära att en ny bränslekvitet (E15 respektive M15) måste införas. Samtidigt finns det en naturlig begränsning för substitutionen (av storleksordningen 15%_{vol}) även om man skulle kunna nå väsentligt längre än med dagens gränser för inblandning. Ändringar i drivmedelsdirektivet är en förutsättning för en stor-

skalig introduktion av detta slag men även andra hinder finns. Man kan t.ex. fråga sig om enbart en märkning av pumpar vore tillräckligt för att förhindra feltankning eller om ett mer sofistikerat system måste införas. Det andra alternativet till en mer storskalig introduktion vore att begränsa satsningen till bränsleflexibla fordon. Eventuella problem med en högre låginblandning kan således ställas mot den ökade komplexiteten med FFV-teknik som en ensidig satsning på detta alternativ skulle innebära. Det grundläggande problemet med en väsentligt högre inblandning än den i dag tillåtna är att det i så fall handlar om en ny bränslekvalitet på marknaden som inte alla bilar kan använda. Trots att en ökad inblandningshalt skulle erbjuda möjligheter att öka användningen av alkoholer ser författarna ändå bränsleflexibla bilar som ett bättre alternativ. Sådana bilar skulle kunna tillverkas till en mycket ringa merkostnad i framtiden jämfört med bensinbilar och passar bättre i en framtida uthållig och långsiktig strategi än en ökning av den tillåtna inblandningshalten. Med hänvisning till tidigare positiva erfarenheter med gasohol i USA och med låginblandning av metanol 80-talet i Europa, samt det faktum att bilarna i dag bör tåla en högre alkoholinblandning än dagens maximigränser, bör dock frågan om en möjlig ökning av inblandningshalten utredas vidare.

Problem med vattenkänslighet kan till största delen undgås om alkoholen omvandlas till eter (MTBE, ETBE). Detta har prefererats av oljeindustrin och svarar för den största användningen av metanol som oxygenat i bensin. Dock är lagring av eterhaltig bensin på vattenbädd inte möjlig p.g.a. att förorening av vattnet sker och skulle kräva rening av detta. Tillgången på kolvätedelen (isobuten) är därtill alltför liten för att kunna nå högsta lämpliga halt och komplettering måste då ändå ske med alkohol.

Slutsatsen av vad som sagts ovan är att låginblandning av oxygenater är en bra lösning och en omedelbart tillgänglig del av en introduktionsstrategi. Vid allmän användning av oxygenater som bensinkomponenter kan raffinaderierna utnyttja dessas egenskaper för att något förbilliga kostnaderna för produktion av basbensinen och för att möta krav på lägre skadliga utsläpp. Med det regelverk som gäller finns i den svenska bensinpoolen (i dag ca 5,4 milj. m³/år) finns utrymme för 400.000 m³/år etanol eller ca 140.000 m³/år metanol tillsammans med 200.000 m³/år etanol.

3.3.2 Dieselolja

Komponenter, med annat ursprung än i råolja, att blanda in i dieselolja är främst fettsyrastrar (vegetabiliska och animaliska oljor och fetter, som omförestrats med metanol eller etanol för att få acceptabla egenskaper) och syntetiska kolväten, Fischer-Tropsch (FT)-kolväten. Alkoholer är begränsat blandbara med dieselolja men har provats i form av emulsioner även i högre inblandningshalter än vad som kan betecknas och fungera som låginblandat bränsle och som är alternerande tankningsbart med dagens dieselolja, t.ex. 15% etanol emulgerad i dieselolja. Inblandning av alkoholer i form av en lösning är en möjlighet men då halten av tillsatser (co-solventer) för att åstadkomma detta är hög är ej heller detta någon lyckad lösning. Slutsatsen är att låginblandning av alkoholer i dieselolja avvisas då detta knappast kan tänkas bli ett allmänt använt, självständigt bränsle utan bara ett nischbränsle.

Den i Västeuropa vanligaste omförestrade feta oljan är RME, rapsfröoljemetylester. Den primärt utvunna rapsoljan är för viskös och högkokande för att obehindrat kunna användas utan omförestrats med metanol, varvid glycerol blir en biprodukt. I USA är omförestrad sojabönlolja vanligast. RME och liknande kan blandas med dieselolja i rätt höga halter utan att blandbränslets egenskaper eller motorprestanda ändras avsevärt. Begränsningen ligger i

att tillgängligheten är liten och i att den är en produkt från intensivodling av ettårsgrödor på jordbruksmark. Potentialen i Sverige bedöms motsvara ca 2 – 3% av förbrukningen dieselolja, och RME kan därför inte bli annat än ett nischbränsle eller bäst blandas in i dieselolja.

FT-kolväten kan, åtminstone om de framställs med metan (naturgas) som råvara och har samma kokpunktsintervall (FTD), direkt blandas med nuvarande dieselolja i höga halter utan att bränslets funktion ändras för mycket. Eftersom produkten är svavelfri, har mycket låg aromathalt och högt cetantal kan den användas som kvalitetsförbättrande komponent i dagens dieseloljor. Gränsen sätts av blandningens densitet då FT-produktens densitet är låg, oftast <0,78 kg/liter, en begränsning som teknikutvecklingen kan undanröja. FT-produkter med annan råvara (kol i Sydafrika) har något annorlunda egenskaper men är blandbara med konventionella dieseloljor. FTD (på naturgasbas) för ev. provningar kan köpas från t.ex. Sasol Oil i Sydafrika.

Slutsatser av det som sagts ovan är (ur teknisk synvinkel)

- *att samma bränslekomponenter, som kan användas för låginblandning i bensen och dieselolja, kan utvecklas till självständiga nya drivmedel för nuvarande och framtida drivsystem med alkoholer (metanol, etanol) och FT-kolväten som främsta kandidater med metanol som det med högsta systemeffektivitet,*
- *att produktionsprocesser som leder fram till lätthanterliga, flytande drivmedel från bioråvaror måste snarast leda fram till kommersiell demonstration, vilket främst gäller förgasningsvägen med biomassa som råvara (introduktion av sådana produkter kan påbörjas tidigare genom känd kommersiellt tillgänglig teknik med naturgas som råvara och, vid nuvarande råoljepriser, till lägre kostnad),*
- *att fortsatt utveckling på motorsidan med dieselmotor, FFV och ev., slutligen FC måste efterlysas och ges långsiktiga mål genom drivmedelsstrategin.*

3.4 Användning av alternativa drivmedel i större skala

Först kan en definition av några begrepp vara nödvändig. Med en *energiomvandlare* avses i detta sammanhang en ”motor” som omvandlar kemisk energi (bränsle) till någon annan form av energi, t.ex. mekanisk energi eller elektricitet som kan användas för fordonets framdrivning. De energiomvandlare som belysts här är de konventionella förbränningsmotorerna av otto- och dieseltyp samt bränslecellen. Beteckningen ”*drivsystem*” är något tvetydig då den ibland används för att beteckna energiöverföringen från motor till hjul och i vissa fall innefattas även energiomvandlaren i drivsystemet. En mer ingående beskrivning av de olika energiomvandlarna finns i bilaga 2 och en kort översikt följer nedan. Av förståeliga skäl styrs utvecklingen inom detta område av att de konventionella drivmedlen bensen och dieselolja kommer att användas under överskådlig tid framöver. Därför måste även denna utveckling beskrivas som grund för den tänkta framtida utvecklingen för alternativa drivmedel.

3.4.1 Ottomotorn

Ottomotorns funktion

Ottomotorn kännetecknas av att den (som regel) använder en förblandning⁵ av bränsle och luft och att denna blandning antänds av en gnista (tändstift). Luft-bränsle förhållandet är stökiometriskt, dvs. luft och bränsle tillförs i ”lagom” proportioner ($\lambda=1$) vid de flesta driftsfall. Detta ger möjligheter att använda så kallad trevägskatalysator (TWC) för att samtidigt minska alla de tre emissionskomponenterna CO, HC och NO_x. Numera används uteslutande någon form av insprutning i ottomotorer för personbilar. Normalt sker denna insprutning i inloppsroret eller i inloppskanalen och benämns därför ofta för ”indirekt” insprutning.

En nyare variant av bränsle-luft preparering är att bränslet⁶ sprutas in direkt i motorn, så kallad direktinsprutning. Med detta system kan en skiktning av bränsle-luft förhållandet i förbränningsrummet genereras, vilket i sin tur medför att en totalt sett magrare bränsle-luft blandning kan åstadkommas. Fördelen med detta koncept är en lägre bränsleförbrukning, ca 12% enligt Ecotraffics uppskattning med dagens tekniknivå, jämfört med den konventionella ottomotorn. Problemet med ett högt luftöverskott är att en vanlig trevägskatalysator inte ger någon NO_x reduktion. Nya katalysatorer håller dock på att utvecklas och dessa har redan börjat introducerats i några få bilmodeller, vilka innebär att ”handikappet” jämfört med de konventionella ottomotorerna minskar.

Ytterligare ett koncept för att minska bränsleförbrukningen har nyligen kommersialiserats av BMW. Detta koncept styr bränsle-luft tillförseln genom att en så kallad fullvariabel ventilstyrning (ventillyft, period och läge) används. Detta sker utan att luftöverskottet förändras ($\lambda=1$ kan behållas). Författarnas bedömning är att bränsleförbrukningen kan minska med ca 8% med dagens koncept för ventilstyrning, dvs. något mindre än för direktinsprutning⁷. Framtida system kan sannolikt nå något större reduktion. Den stora fördelen med systemet jämfört med direktinsprutningen är att den konventionella trevägskatalysatorn kan behålla och emissionsproblematiken är därför enklare än för de direktinsprutade motorerna.

För analyser av framtida drivsystem har författarna förutsatt att de ottomotorer i ett längre perspektiv (2010 och senare) kommer att använda direktinsprutning men att penetrationen av fullvariabel ventilstyrning initialt blir liten. En kombination mellan direktinsprutning och fullvariabla ventiltider medför ej heller att potentialen kan adderas men vissa mindre synergieffekter torde dock finnas för mer utvecklade system.

Alternativa drivmedel i ottomotorer

Alkoholer kan användas i konventionella ottomotorer och har vissa gynnsamma egenskaper men också vissa problem. Alkoholerna har högt oktantal och högt förångningsvärme, vilket leder till högre effekt och (något) högre verkningsgrad. Vidare kan en alkoholmotor

⁵ Med förblandning avses att bränsle och luft blandats väl (dvs. i praktiken ned till molekylär nivå) innan den antänds. Man brukar säga att blandningen är homogen.

⁶ Bensin är det enda bränsle som hittills används i kommersiella direktinsprutade ottomotorer men principiellt skulle direktinsprutning även kunna fungera för andra drivmedel.

⁷ BMW anger i och för sig en minskning med 10% för den bilmodell (3-serien) som presenterats med den första av en hel serie motorer. I den totala förbättringen ligger dock också en del andra förbättringar (friktion, 4 ventiler, nedskalning av motorstorleken m.m.), vilket medför att den relativa förbättringen för konceptet är mindre i praktiken än den som anges för den nya bilen i förhållande till den gamla.

också göras bränsleflexibel (FFV). Kallstart vid låg temperatur med alkoholdrivna ottomotorer ger, liksom för bensin, upphov till ökade emissioner och rent generellt är motorn svårare att starta än en bensinmotor. I framtiden kommer alkoholoromotorer sannolikt att kunna använda direktinsprutning ("ADI" i analogi med "GDI") på samma sätt som de bensindrivna motorerna och detta kommer att bidra till att lösa kallstartproblematiken. En viktig aspekt, åtminstone under en introduktionsfas, är emellertid huruvida det är möjligt att göra en sådan motor bränsleflexibel (FFV).

Gasformiga drivmedel, som t.ex. metan och propan, har ett högt oktantal, vilket är gynnsamt för ottomotorer. Vidare finns en väsentlig fördel vid kallstart med gasformiga bränslen eftersom bränslet ju redan är i gasform vid insprutningstillfället. Därmed minskar kallstartemissionerna avsevärt jämfört med bensin. En nackdel är att gasformiga bränslen tar mer plats i cylindern och därmed minskar motoreffekten jämfört med bensin. Emissionstester antyder också att problem kan finnas vad gäller den långsiktiga stabiliteten för emissionsnivån.

När det gäller användning av gas i tunga fordon kan man notera att dessa motorer som regel konverterats från dieselmotorer till ottomotorer. Detta kan ge vissa emissionsmässiga fördelar men också lägre verkningsgrad än den ursprungliga dieselmotorn. Oftast använder dessa gasmotorer en så kallad mager förbränning (lean-burn) men trevägskatalysator (TWC) förekommer också. Fördelen för lean-burn är en högre verkningsgrad medan TWC ger lägre emissioner. Även för gasformiga drivmedel finns möjligheter att använda direktinsprutning av bränslet men i detta fall är de tekniska problemen större än för alkoholer.

3.4.2 Dieselmotorn

Dieselmotorns funktion

Dieselmotorn arbetar till skillnad från den konventionella ottomotorn med stort luftöverskott. Vidare sker insprutningen (i moderna dieselmotorer) direkt i cylindern och tändningen sker med hjälp av den höga kompressionstemperaturen och det höga trycket. Verkningsgraden är väsentligt högre för dieselmotorer än för ottomotorer. Detta beror främst på de låga pumpförlusterna (ingen strypning med spjäll) och det höga kompressionsförhållandet. Den ofullständiga blandning av bränslet och luften är principbetingad för den typ av insprutning som används i dag och ger upphov till sotbildning. Den sena insprutningen ger en fördel i form av att mindre mängd bränsle hamnar i spalter runt förbränningsrummet, vilket ger lägre CO och HC emissioner än för ottomotorer.

CO och HC kan oxideras i en oxidationskatalysator medan NO_x (ännu) inte kan reduceras i katalysatorer. Inom något år (2003 har nämnts) kommer en liknande teknik för NO_x reduktion som för direktinsprutade ottomotorer enligt ovan att kunna användas även till dieselmotorer. Teknik för att minska partikelemissionerna genom användning av partikelfilter kommersialiserades för ca 1 år sedan av Peugeot och flera andra biltillverkare har aviserat att de också avser introducera partikelfilter inom kort. I och med användningen av partikelfilter och NO_x reducerande katalysator kommer emissionerna av dessa emissionskomponenter för dieselmotorer att i framtiden ligga på en liknande nivå som för ottomotorer.

Alternativa drivmedel i dieselmotorer

RME och FTD är "naturliga" dieselmotorbränslen med tillräckligt (eller mycket högt) cetantal och de är dessutom blandningsbara med konventionell dieselolja. Detta ger bränsle-

flexibilitet, en särskild fördel under en introduktionsfas. NO_x emissionerna blir generellt något högre för RME och något lägre för FTD jämfört med Mk 1 dieselolja. För en dedikerad motor kan egenskapen att RME och FTD har en lägre sotbildning än dieselolja användas som en fördel genom att mängden recirkulerade avgaser, s.k. EGR (Exhaust Gas Recirculation) kan ökas. Detta minskar NO_x-bildningen.

DME är ett utmärkt dieselmotorbränsle med sannolikt bättre emissionsegenskaper än alla andra alternativa drivmedel för dieselmotorer. Sotbildningen upphör praktiskt taget med DME och även NO_x emissionerna minskar avsevärt jämfört med dieseloljan. Fördelen vid användning av EGR är större än för RME och FTD. Tyvärr är DME inte blandningsbart med dieselolja och kräver en anpassning av insprutningsutrustning, samt speciella tankar och tankningsutrustning. DME kan om några år introduceras i speciella fordonsflottor men måste under överskådlig framtid ses som ett nischdrivmedel.

Alkoholer kan användas i dieselmotorer men man måste då förlita sig på någon form av tändhjälp (t.ex. kemiskt tändtillsats i bränslet, glödstift, el. dyl.). Fördelar finns för alkoholerna genom lägre NO_x och partikelemissioner, där fördelarna är större än för RME och FTD men kanske dock inte fullt så stora som för DME. Internationellt görs tyvärr mycket lite på alkoholdrivna dieselmotorer och några motorer för personbilar med denna teknik finns överhuvudtaget inte kommersiella. En nackdel med alkoholer är att de inte är blandningsbara med dieselolja och därför kan knappast detta koncept bli aktuellt för allmän användning förrän efter en introduktionsfas.

Gasformiga drivmedel som metan och propan är typiska ottomotorbränslen genom sitt höga oktantal. Det finns dock teknik för att använda dieselprincip även för dessa drivmedel. Fördelen är en högre verkningsgrad än en ottomotor men det innebär också att de klassiska dieselmotorproblemen med NO_x och partikelemissioner uppträder (kanske något mindre accentuerat) även med gas som bränsle. Utvecklingen har dock inte hunnit speciellt långt än inom detta område och kommersiella motorer till tunga fordon finns hittills ännu bara i USA (t.ex. Caterpillar). För lätta fordon används ännu inte tekniken kommersiellt och det får väl också anses tveksamt om denna applikation är lika väl lämpad för tekniken som stationära motorer och motorer till tunga fordon.

3.4.3 Bränsleceller

Bränsleceller kan omvandla kemisk energi direkt till el och har på så sätt en potential till en högre verkningsgrad än förbränningsmotorer. Internt måste de bränsleceller som för närvarande är aktuella för framdrivning av fordon (PEM) använda vätgas som bränsle. Det ”bästa” bränslet för bränslecellen är således vätgas; övriga bränslen måste omvandlas (reformerar) till vätgas för att kunna användas. Reformeringen orsakar energiförluster och är förknippad med diverse tekniska problem. Enklarest att reformera är metanol och DME och svårast är metan, bensin och dieselolja. Övriga drivmedel hamnar mellan de två nämnda kategorierna. För bensin och dieselolja krävs helt andra bränslespecifikationer än i dag för att dessa skall vara möjliga att använda i bränsleceller.

För metanol finns åtminstone teoretiskt en möjlighet att använda internreforming i en så kallad DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) bränslecell. Tillsvidare är verkningsgraden lägre för en DMFC än för en PEMFC men förutsatt att de tekniska problemen kan lösas finns en potential till en verkningsgrad på ungefär samma nivå även för den förstnämnda. En avsevärd förenkling av systemet skulle kunna åstadkommas med en DMFC jämfört med en PEM med reformer.

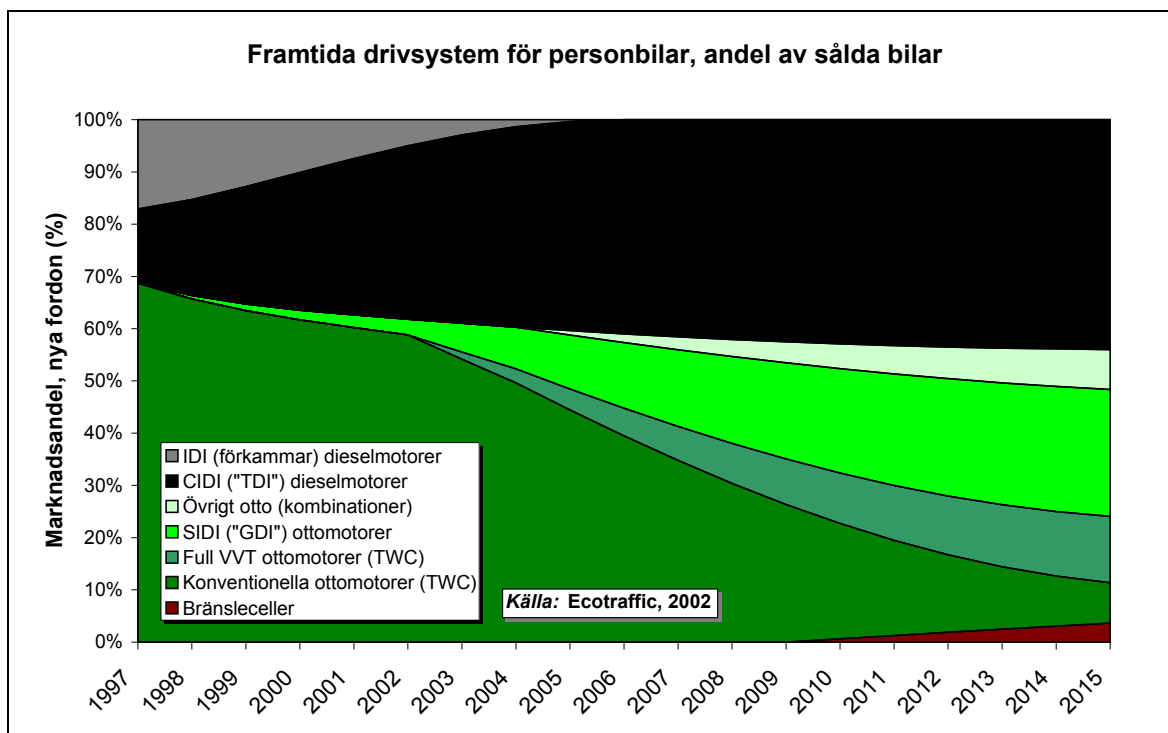
Verkningsgraden i bränslecellen är som nämnts hög och speciellt hög är den vid låga laster. Nödvändig hjälputrustning (pumpar, fläktar m.m.) minskar verkningsgraden, företrädesvis vid låga laster, vilket minskar den potentiella fördelen i detta driftsfall. Verkningsgraden i det elektriska drivsystemet är lägre än för mekaniska växellådor. Ett energilager kan också användas i de elektriska drivsystemen och det kan då karakteriseras som ett hybridssystem (mer därom nedan). Emissionerna från en vätgasdriven bränslecell och från en direktmetanolcell är praktiskt taget noll. Används en reformer tillkommer emissionerna från denna men förutsättningar verkar finnas för att dessa emissioner skall kunna hållas mycket låga. Det stora problemet för bränslecellerna torde vara den höga kostnaden och att de drivmedel man föredrar (metanol och vätgas) inte finns allmänt tillgängliga i dag.

Helt klart är att en introduktion av bränsleceller på marknaden skulle favorisera drivmedel som antingen kan användas direkt (vätgas i PEMFC eller metanol i DMFC) eller som kan reformeras med hög verkningsgrad och på ett enkelt sätt (metanol och DME).

3.4.4 Marknadspenetration för olika energiomvandlare

Det kan vara av intresse att kort kommentera den tänkbara marknadspenetrationen för de tre olika energiomvandlarna eftersom detta ju också påverkar den möjliga användningen av alternativa drivmedel. I enskilda länder i Europa styrs användningen av bensin och dieselolja, och därmed också de två olika motortyperna, av en mängd nationella förutsättningar. Skillnaden mellan länderna är stor och en uppskattning för ett enskilt land är knappast möjligt då en mängd politiska beslut har stor inverkan. Något enklare är det att göra en uppskattning på europeisk basis. En sådan uppskattning har gjorts av Ecotrafic för personbilar och den visas i **Figur 4**. Underlaget till figuren är en tämligen enkel matematisk modell och indata har uppskattats av författarna utifrån några förutsättningar som kort beskrivs nedan. Modellen gör inget anspråk på att vara fullständigt korrekt för tidsperioden 1997 till 2002 och har således inte korrigerats för att erhålla en exakt överensstämmelse med historiska data.

Prognosen i **Figur 4** visar en ökande penetration av dieslbilar samt en övergång från indirekt (IDI) till direkt (DI) insprutning för dessa. Den ökade penetrationen av dieslbilar kommer enligt vår uppfattning dock att mattas något mot slutet av perioden och stabiliseras på ca 40% eller något däröver. Orsaken till denna avmattning är främst att andelen dieselolja vid raffinaderiet inte kan ökas till en godtyckligt hög nivå. Långsiktiga investeringar måste också avskrivas och detta leder till en "naturlig" maximal nivå för dieseloljan. En ökad handel med länder som har en betydligt högre andel bensin (t.ex. USA) vore möjlig men även denna handel kan vara begränsad. Sannolikt kommer dieseloljans pris (utan skatter) i förhållande till bensin att öka som följd av detta. Det är också troligt att skillnaden i skatt mellan bensin och dieselolja i de olika EU-länderna kommer att minska, vilket också minskar konkurrensfördelen för diesel.



Figur 4. Framtida drivsystem för personbilar

Konventionella bensinmotorer kommer att minska i popularitet till förmån för direktinsprutade motorer och motorer med fullvariabel ventilstyrning. Kombinationer av dessa båda tekniklogier har inordnats i den senare kategorin. Kategorin "övrigt" innebär kombinationer av de tidigare nämnda med annan teknik, t.ex. överladdning och/eller variabel kompression. Slutsatsen är att ottomotorn kommer att genomgå en metamorfos med syfte att minska bränsleförbrukningen under den visade tidsperioden. Skillnaden i bränsleförbrukning mellan bensin och diesel kommer att minska även om båda kommer att ligga på en lägre nivå än i dag. Användningen av allt mer sofistikerad teknik för ottomotorerna kommer att leda till ökade kostnader, vilket kommer att minska denna fördel gentemot dieselmotorer. Rent generellt kan man också se att även de tekniska skillnaderna mellan dessa båda motortyper kommer att minska och att synergieffekterna när det gäller utvecklingen av båda motortyperna kommer därför att öka.

Bränsleceller kommer enligt vår syn inte att få något stort genombrott under överskådlig framtid. En del prototypfordon kommer att finnas tillgängliga för tester 2003/2004. En begränsad produktion kan kanske starta omkring 2010 men denna produktion kommer bli begränsad till vissa nischer genom en högre kostnad och en begränsad infrastruktur för drivmedelstillförseln. Sannolikt kan inte en storskalig introduktion ske förrän ca 2020.

Drivsystem beaktades inte i **Figur 4** ovan. Som tidigare nämnts är det sannolikt att elhybrider kan få ett stort genomslag i framtiden. Det som avgör penetrationen är sannolikt merkostnaden i förhållande till konventionella system. Någon uppskattning av denna penetration har inte gjorts.

3.4.5 Drivsystem

Drivsystem används här som ett samlingsnamn för olika typer av växellådor och elektriska drivsystem. Även om dessa system är mer eller mindre allmänt bekanta kan det ändå vara av intresse att kort kommentera dem.

Konventionella drivsystem

Tre olika huvudtyper av växellådor är i dag aktuella. Den konventionella mekaniska växellådan har ett antal (5-6) fasta steg. En utveckling av denna växellåda är att den förses med växlingsautomatik, vilket minskar bränsleförbrukningen. Den automatiska växellådan använder en momentomvandlare i stället för koppling, vilket per definition till större förluster än för den mekaniska växellådan. Den tredje varianten på växellåda har en steglöst variabel (mekanisk) utväxling. Denna växellåda är praktiskt taget lika effektiv som den mekaniska växellådan (utan växlingsautomatik) och kan därför förväntas ta marknadsandelar från den konventionella automatlådan.

Elhybrid-drivsystem

Ett elektriskt drivsystem kan vara av direkttyp eller hybridtyp. Det förstnämnda innebär i praktiken att inget energilager för mellanlagring av energi finns. El genereras i fordonet (med förbränningsmotor och generator eller bränslecell) och elen överförs sedan till en elmotor som driver hjulen. I ett hybridsystem används en mellanlagring av el, oftast i ett kemiskt batteri. Elhybridsystemen kan karakteriseras som seriehybrider eller parallellhybrider men även mellanvarianter (kombinerade hybrider) förekommer. I seriehybrider ligger systemet i serie (t.ex. i kedjan energiomvandlare-generator-elmotor) och all kraft för framdrivningen kommer från elmotorn vid (eller nära) drivhjulen. I parallellhybriden överförs kraften dels mekaniskt (via växellåda) och dels elektriskt (via elmotor och ev. växellåda) till drivhjulen. Ett bränslecellfordon med energilager är att betrakta som ett hybridfordon. Per definition är endast seriehybridvarianten tänkbar i detta fall eftersom bränslecellen inte genererar något mekaniskt arbete.

Bränsleförbrukningen med förbränningsmotorer har generellt blivit lägre för hybridsystem i personbilar än för konventionella drivsystem i de simuleringar som Ecotrafic utfört [7, 8]. Detta är också den största fördelen med hybridsystem. Minskade emissioner är teoretiskt möjligt med hybridsystem men fördelarna i detta fall torde vara tämligen små. I tunga fordon är potentialen till minskad bränsleförbrukning med hybridsystem mindre än för lätta fordon utom i speciella fall som fordon för innerstadstrafik. Eftersom framtida elhybridsystem av kostnadsskäl kommer att ha tämligen små energilager är möjligheterna att ”tanka” el begränsade. Denna möjlighet har således inte beaktats.

3.4.6 Förutsättningar för marknadspenetration av olika drivmedel och energiomvandlare

En översikt av möjliga kombinationer av drivmedel och energiomvandlare visas i **Tabell 4**. Ett kriterium som använts för urvalet har varit att drivmedlet i fråga skall ha möjlighet att nå ett genomslag på minst 10% av bensin och dieselanvändningen. Drivmedel med denna potential kallas här ”huvuddrivmedel”. Drivmedel med lägre potential visas inte på listan. Någon skillnad på fossila och icke fossila drivmedel behöver inte göras när det gäller energiomvandlaren och således kan vissa drivmedel (t.ex. metan) ha olika ursprung.

Tabell 4. Drivmedel och energiomvandlare

Drivmedel	Ottomotor	Dieselmotor	Bränslecell
Bensin	Ja	Ej beakt. ^a	Ja ^b
Dieselolja	Nej	Ja	Ej beakt. ^a
Syntetisk dieselolja (F-T diesel)	Nej	Ja	Ja
Etanol	Ja	Ja	Ja
Metanol	Ja	Ja	Ja
DME	Nej	Ja	Ja
Metan (CNG, LNG , CBG och SNG)	Ja	Enbart tunga fordon ^a	Ja
Vätgas (GH ₂ och LH ₂)	Ja	Ej beakt. ^a	Ja

Anmärkningar:

- ^c Ej beaktat innebär att bränslet i fråga teoretiskt skulle kunna gå att använda i energiomvandlaren men att detta skulle nödvändiggöra en påtaglig förändring av bränslespecifikationen eller utveckling av energiomvandlaren.
- ^d Bensin i det här fallet skall inte tolkas som ”vanlig” bensin utan som en speciell bensinkvalitet praktiskt taget fri från svavel och aromater (man bör notera att bensin av bästa miljöklass har en tämligen hög halt av aromater). Således avses en helt ny bensinkvalitet jämfört med de bensinkvaliteter som används i dag. Benämningen ”bensin” är i detta fall kanske något missvisande och internationellt används ofta beteckningen nafta för detta drivmedel.

Som framgår av **Tabell 4** ovan finns ett antal möjliga kombinationer av drivmedel och energiomvandlare för de drivmedel som har potential att bli huvuddrivmedel. Det kan nämnas att det finns ett flertal andra drivmedel, t.ex. RME och el som inte har potential att nå 10% penetration.

Bensin och dieselolja är självklara drivmedel på listan ovan under överskådlig framtid. FTD har potential till mer än 10% penetration även om man begränsar råvaran till biomassa. Detsamma gäller också för DME, metanol och vätgas som liksom FTD kan framställas via förgasning av biomassa.

Biogas framställd via rötning har svårt att klara potentialen eftersom priset på råvaran kommer att vara en begränsande faktor⁸. SNG har i och för sig en stor råvarupotential då det i princip är fråga om samma råvarupotential som för övriga drivmedel som framställs från cellulosaråvara. Problemet med SNG är produktionen helst skall ske i stora anläggningar (för maximal effektivitet) och att detta är svårt att kombinera med en storskalig distributionen i gasform som i stället är bäst lämpad för lokal distribution. Därmed kommer de praktiska hindren att utgöra en begränsande faktor för marknadspenetrationen. En heltäckande distribution över hela landet är knappast tänkbar. (Andra mer tätbefolkade länder har väsentligt bättre förutsättningar i detta avseende.) Förvätskning av SNG är principiellt möjligt för att underlätta distributionen, men detta alternativ har uteslutits av kostnads- och effektivitetsskal. Om *både* CBG och SNG produceras är det dock inte omöjligt att nå en

⁸ Detta gäller förstås när de billigaste råvarorna tagits i bruk.

10%-ig penetration och därför finns dessa båda drivmedel med i tabellen. Det måste dock medges att underlaget för dessa överväganden är litet.

Råvarupotentialen för att producera vätgas från biomassa utgör inget problem när det gäller den möjliga penetrationen. Distribution av gasformigt väte i stor skala är dock inte praktiskt möjlig av samma skäl som för andra gasformiga drivmedel. En naturlig fråga är också om inte kryogent väte blir *för* dyrt för att vara av intresse i stor skala inom överskådlig tid.

3.4.7 Prioritering av drivmedel för bred användning

Som beskrivits ovan kunde listan över högst prioriterade biodrivmedel utsträckas till 6 olika alternativ. Det är främst följande drivmedel som är av intresse att diskutera:

- DME
- Vätgas (GH₂)
- Metanol
- Vätgas (LH₂)
- Etanol
- FTD

Distribution

Vätgas används ju i två olika former (GH₂ och LH₂) så i praktiken är det fråga om endast 5 olika drivmedelsalternativ. Som framgått av resonemanget i avsnitt 3.4.6 ovan finns ett antal olika alternativ som har potential att nå mer än 10% penetration på marknaden. Om man vill nå en ännu högre penetration än så – vilket bör vara målet på längre sikt – torde distribution av drivmedel som är gasformiga vid normalt tryck och temperatur leda till så höga kostnader att dessa drivmedel inte blir konkurrenskraftiga⁹. Distributionen beskrivs mer i detalj i kapitel 3.6. Ett annat problem är att Sverige är alltför glest befolkat för att det skall vara rimligt att bygga upp en infrastruktur för gasdistribution som kan betjäna en större del av befolkningen. Med dessa restriktioner begränsas listan till följande 3 olika drivmedel:

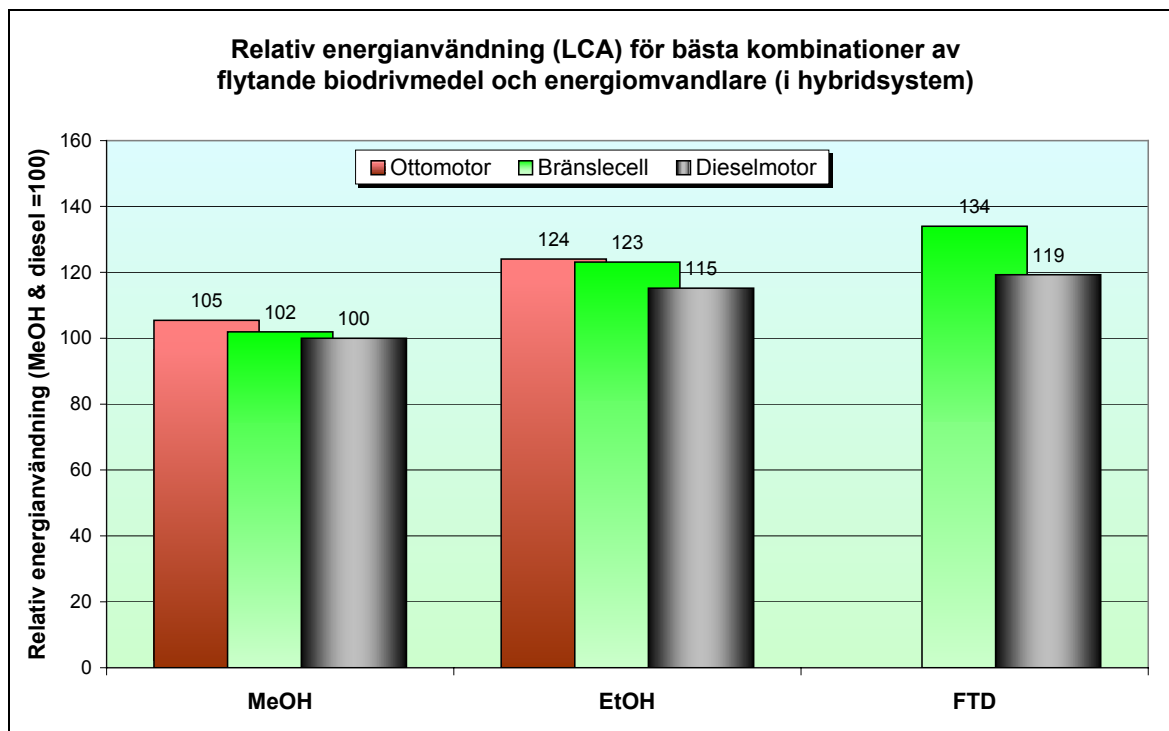
- Metanol
- Etanol
- FTD

Effektivitet

Det kan vara av intresse att närmare studera verkningsgraden för dessa drivmedel i olika energiomvandlare. Som tidigare framgått kan tre olika energiomvandlare användas, vilket skulle ge 9 olika kombinationer av drivmedel och energiomvandlare men en av dessa kombinationer bortfaller då den inte är tekniskt möjlig (FTD och ottomotor).

⁹ En ytterligare kommentar i sammanhanget är att LH₂ i tidigare avsnitt (**Figur 3**) klassats som ett huvudbränsle. Denna klassning har dock skett enbart med hänsyn till potentialen att distribuera drivmedlet i tillräckligt stora kvantiteter. Detta är ju möjligt även för kryogena drivmedel eftersom de är flytande. Om de höga kostnaderna för distributionen beaktas är det emellertid svårare att nå den breda användning som förutsetts av ett huvudbränsle.

I **Figur 5** visas den relativa energianvändningen i ett livscykelperspektiv för de nämnda kombinationerna. Diagrammet har normerats till index 100 för den bästa kombinationen (metanol och dieselmotor). Endast hybridsystem har beaktats då dessa generellt ger högst verkningsgrad. Underlaget har som i tidigare fall hämtats från studien om systemverkningsgrad [7, 8] och gäller därför endast för lätta fordon.



Figur 5. *Energianvändning för flytande biodrivmedel*

Som framgår av **Figur 5** ovan ger metanol genomgående högst verkningsgrad med alla tre energiomvandlarna. Något frapperande är de relativt små skillnaderna mellan de olika energiomvandlarna för detta drivmedel. För otto- och dieselmotorerna är skillnaden mindre än mellan bensin och dieselolja eftersom vi förutsätter att ottomotor (av DI-typ) är optimerad för metanol och därmed drar nytta av bränslets fördelar. Ett annat konstaterande man kan göra är att användningen av hybridsystem generellt minskar skillnaderna mellan bensin- och dieselmotorer. I hybridsystem förskjuts ju arbetsområdet mot högre laster och där är skillnaden mellan motortyperna mindre än på låga laster. Reformeringen av metanol ger förhållandevis låga förluster med metanol (jämfört med andra drivmedel) och därför är skillnaden liten mellan bränslecellen och dieselmotorn.

Etanol och FTD ger generellt en högre energianvändning än metanol oavsett energiomvandlare. En jämförelse som dock kan vara intressant att notera är att *FTD i en dieselmotor ger en lägre energianvändning än etanol i både bränslecell och ottomotor*. Till detta kommer att utbytet vid *framställningen* av FTD kan vara något högre än den som legat till grund för våra beräkningar (avsnitt 3.2.3). Det kan också vara värt att notera att energianvändningen i ottomotorer skulle vara högre om dessa inte vore optimerade för användning av alkoholer eller om alkoholerna används i form av låginblandning. Detta innebär dels att FTD inte vore fullt så ”dåligt” energimässigt sett på kort sikt som förefaller enligt de resultat som visas **Figur 5** ovan. I detta fall (bred användning) gäller dock resonemanget att det är fråga om drivmedel som förväntas få stort genomslag och därför eftersträvas också

så hög verkningsgrad som möjligt. Detta innebär att man på längre sikt även måste prioritera de energiomvandlare som har högst effektivitet och under dessa förutsättningar är resultatet i **Figur 5** relevanta.

I fallet med etanol vore det mest rationellt att resonera som om detta drivmedel är och kommer att förbli ett nischdrivmedel, då både energianvändning och kostnader torde bli högre än för metanol. Etanol kan på kort sikt vara lämpligt att använda i form av låginblandning¹⁰, till bränsleflexibla fordon (FFV) och i speciella fordonsflottor (t.ex. bussar). Råvarupotentialen räcker i och för sig till för att bränslet skall kunna bli ett huvudbränsle men andra faktorer kan begränsa genomslaget.

FTD och metanol är som nämnts ett drivmedel som är enkla att distribuera och som dessutom kan bli ett huvuddrivmedel. Etanol kan komplettera inom vissa användningsområden men det är svårt att motivera en lika hög prioritering som för de övriga två drivmedlen. *När de långsiktiga förutsättningarna ligger som bakgrund för ett mer kortsiktigt handlande föreslår författarna därför en koncentration av insatserna på metanol och FTD.* För metanol gäller att detta drivmedel kan fungera för låginblandning i bensin och motsvarande gäller för inblandning av FTD i konventionell dieselolja. Därmed uppvisar båda drivmedlen en slags bränsleflexibilitet. Syftet att införa biodrivmedel för *båda* kategorierna av energiomvandlare (otto och diesel) och för såväl lätta som för tunga fordon kan dessutom tillgodoses. Etanol uppvisar i vår analys en något högre verkningsgrad än FTD när dieselmotorer används i båda fallen men som påpekats tidigare måste kanske detta resultat omprövas med hänsyn till den potentiella förbättringen för FTD i framställningsledet. Därmed kan drivmedlen likställas ur effektivitetssynpunkt. Emellertid kan inte etanol användas i konventionella dieselmotorer utan en konvertering av dessa. Med etanoldrivna ottomotorer (lätta fordon) blir effektiviteten lägre än för FTD. Används dieselmotorer erhålls ingen bränsleflexibilitet på samma sätt som är fallet för FTD. Jämfört med metanol är verkningsgraden lägre för etanol och detta avgör prioriteringen för användning i lätta fordon (såväl låginblandning som FFV är tänkbart i båda fallen).

Potentiella problem

I detta avsnitt berörs kort några potentiella problem med de tre drivmedel som diskuterats ovan. Det kan vara på sin plats att nämna att det i det här fallet bara gäller storskalig användning av dessa drivmedel i "ren" form. För låginblandning och nischanvändning försvinner en del problem men nya tillkommer. Detta beskrivs separat i de avsnitt som behandlar vart och ett av de två användningsområdena.

Ett ofta påtalat problem med metanol är dess giftighet. Detta gäller förvisso också för föräring av bensin och dieselolja men i detta fall finns ett sekels erfarenhet av hantering av drivmedlen och antalet fall av förgiftning är få. Den akuta toxiciteten är något högre för metanol än för bensin och metanolen kan potentiellt förväxlas med drickbar sprit (etanol). Metanol används främst i små modellmotorer och för tävlingsfordon men detta kan knappast anses vara allmän användning. I Amerika används metanol som frysskydd i spolarvätska. Några rapporter om problem med denna hantering och användning finns inte. Vid en ev. storskalig introduktion av metanol som drivmedel måste dock försiktighetsåtgärder vidtas för att så långt det är möjligt förhindra oavsiktlig och helst också avsiktlig felanvändning av metanol. Systemet för tankning av metanol men även för påfyllningssystemet

¹⁰ I detta innefattas även möjligheten att använda etanol tillsammans med metanol för att minska risken för separation.

i fordonets tank måste förhindra felanvändning. Det svenska företaget Identic, som utvecklar och producerar tankningsutrustning, håller på att utveckla ett sådant system för ett bränslecellkonsortium bestående av fordons- och drivmedelsindustri. Som kontrast till den akuta giftigheten torde hälso- och miljöeffekterna vid spill av drivmedel vara väsentligt lägre för metanol än för de konventionella drivmedlen. Metanol förekommer i naturligt i låga koncentrationer i växter, djur och olika mikroorganismer. Följaktligen är metanol inte giftigt i låga koncentrationer och bryts ned snabbare än bensin och dieselolja.

Det finns ett antal olika tänkbara additiv till metanol som skulle kunna användas t.ex. som denaturering, färgning, för att ge en synlig flamma m.m. om det finns motiv för att använda dessa tillsatser. För användning av ren metanol i otto- och dieselmotorer kan additiv som är kompatibla med motorerna hittas. Den reformer som används för bränslecellerna och även bränslecellstapeln i sig kan "förgiftas" av dessa additiv. En viktig fråga är således huruvida additiv av nämnt slag är nödvändiga. Viss experter hävdar att additiv inte behövs medan andra har motsatt åsikt. Man kan bara konstatera att det inom detta område behövs mer forskning och utveckling.

Metanol kan produceras från såväl fossil som icke fossil råvara. Någon skillnad mellan dessa drivmedel ur användningssynpunkt finns inte, snarare är det en fördel initialt eftersom råvarubasen ökar. Eftersom biodrivmedel föreslås beskattas lägre än fossila drivmedel måste dock ett system för kontroll och övervakning av distribuerad metanol utarbetas. En "certifiering" av distributörer och tillverkare/importer av drivmedel kan vara ett komplement.

Etanolens akuta giftighet är väsentligt lägre än metanolens och etanol används också i berusningssyfte. För att förhindra att drivmedelsetanol i "ren" form används i detta syfte måste någon form av denaturering användas. En inblandning av bensin är möjlig men helst skulle man vilja ha en bränslespecifikation som kan användas såväl för otto- som för dieselmotorer och helst också för bränsleceller om det behovet skulle uppstå. För bränslecellerna är problemet detsamma för etanol som för metanol. Eftersom etanol dock är drickbar, till skillnad från metanol som är giftig, blir behovet av denaturering i etanolens fall uppenbart och oundvikligt. Problemet ligger i att hitta additiv som är kompatibla med bränsleceller och detta kommer sannolikt att kräva en stor arbetsinsats.

Tänkbara problem med FTD är få. Den bästa användningen av FTD är initialt i form av låginblandning och i detta fall torde inga väsentliga problem förekomma. Vissa problem materialkompatibilitet ("förlust" av mjukgörare i polymerer och elastomerer) kan tänkas förekomma vid användning av "ren" FTD, speciellt om man byter drivmedel i befintliga fordon och distributionsutrustning. Detta problem kan i alla fall hanteras på nya fordon och ny tankningsutrustning eftersom kompatibla material finns. Det kvarstår att utreda vilken effekten kan bli på gamla fordon. Effektförlust, alternativt problem med köldtåligheten för drivmedlet, är andra problem. En kompromiss måste göras i detta fall och fortfarande kvarstår en del arbete med att hitta den optimala specifikationen för drivmedlet. En sådan specifikation måste också antas av EU, och på samma sätt måste även skattefrågorna hanteras. Eftersom FTD liksom metanol kan produceras från fossil råvara¹¹ gäller samma resonemang som för metanol även i FTD fallet.

¹¹ Detta gäller förvisso även för etanol men det förekommer mer sällan.

3.5 Nischprogram för förbättrad lokal luftkvalitet

3.5.1 Förutsättningar

Motivet med dessa satsningar är att förbättra luftkvaliteten lokalt. Satsningarna är självfallet förenade med en sämre kostnadseffektivitet för CO₂ än högre prioriterade alternativ. Det måste således finnas andra motiv för användning av nischdrivmedel. I de fall ett sådant drivmedel skulle kunna användas så att säga ”på egna meriter” finns ingen anledning till någon form av incitament. Så är emellertid inte fallet för något känt drivmedel utan problemet är att merkostnaderna som regel är mycket höga och andra incitament än CO₂ måste identifieras för att kunna motivera satsningar på dessa drivmedel. Några (men långtifrån alla) av motiven

- Lokal luftkvalitet och (i vissa fall) minskat buller
- Del i en större introduktionsstrategi
- Forskning och utveckling
- Politiska motiv

Lokal luftkvalitet

Lokal luftkvalitet brukar ofta anföras som ett motiv för alternativa drivmedel. Utan tvekan förhöll det sig också så att drivmedlen förr ofta gav betydligt lägre emissioner än de konventionella drivmedlen bensin och dieselolja. Nu har emellertid utvecklingen även för dessa drivmedel nått så långt att, under förutsättning att bästa tillgängliga teknik används (BAT¹²), blir skillnaden jämfört med de bästa alternativa drivmedlen liten. Även om den relativa skillnaden består kommer naturligtvis en värdering av emissionsminskningen att resultera i ganska små belopp i ekonomiska termer. Exempelvis är den samhällsekonomiska kostnaden 96 kr för ett helt års utsläpp av kväveoxider på en nivå motsvarande Euro IV för personbilar (0,08 g/km). Detta beräknat utifrån en samhällsekonomisk kostnad på 80 kr per kg NO_x och en årlig körsträcka på 15 000 km. Framtida emissionsminskningar kommer förstås att ytterligare minska denna kostnad till en nästintill försumbar nivå¹³. Större skillnader kan föreligga för t.ex. tunga fordon men även i detta fall kommer kostnaderna att minska drastiskt i framtiden.

Buller

Vissa drivmedel kan minska bulleremissionerna och detta ses ofta som en stor fördel i tätorterna, något som tyvärr sällan tas hänsyn till vid upphandlingar. Bulleremissionerna kan emellertid också minskas för konventionella drivmedel om så är önskvärt och ofta är detta (t.ex. för personbilar) också en stark kundpreferens. I praktiken reduceras fördelen för alternativa drivmedel med avseende på bulleremissionerna ofta till en lägre kostnad för ljudisolering jämfört med det konventionella drivmedlet. I högre hastigheter (t.ex. ute på landsväg och motorväg) dominerar däcksbuller och skillnaden mellan olika drivmedel blir i detta fall marginell.

¹² BAT: Best Available Technology.

¹³ Om emissionsnivån för Euro V t.ex. skulle halveras jämfört med Euro IV blir motsvarande kostnad 48 kr.

Framtida introduktionsstrategi

Användning av nischfordon kan vara en del i en framtida introduktionsstrategi. Eftersom någon sådan strategi dock inte finns för landet är det svårt att identifiera satsningarna på nischlösningar utifrån denna utgångspunkt. Detta kan emellertid komma att ändras om en nationell introduktionsstrategi antas.

Forskning och utveckling

Det tredje motivet för att införa alternativa drivmedel i applikationer som inom den närmaste framtiden kan karakteriseras som nischanvändningar är att detta egentligen handlar om att sporra till forskning och utveckling för att se till att alternativen utvecklas i samma takt som bensin och dieselolja. Detta genererar i sin tur kunskaper som kan användas för framtida beslut om introduktion i större skala. Man kan kanske prata om en "livförsäkringspremie". Bieffekten är (förhoppningsvis) en bättre luftkvalitet än om de mest kostnadseffektiva lösningarna hade använts för konventionella (fossila) drivmedel.

Politiska motiv

Det går inte att undvika att en del så kallade "politiska" motiv kommer in i bilden när satsningar på alternativa drivmedel diskuteras. Olika politiska partier företräder skilda grupper i samhället (t.ex. jordbrukare) och därmed påverkas också politikernas ställningstaganden i frågor som denna. Populariteten hos olika drivmedel tenderar ofta till att växla lika snabbt som stödet för en viss politiker eller ett visst parti. Helst skulle man dock vilja att ensidiga fokuseringar på fenomen som "årets drivmedel" kunde undvikas till förmån för en lite mer långsiktig strategi även i detta fall. Industripolitiska överväganden finns alltid eftersom ett visst beslut antingen gynnar eller missgynnar en viss industri. Det behövs knappast nämnas att lobbying från alla möjliga intressegrupper även förekommer frekvent.

Strategi för nischbränslen

Av de olika motiven för satsningar på nischlösningar enligt listan ovan förespråkar författarna att de tre första motiven tas som huvudmotiv och att satsningarna måste kunna motiveras utifrån dessa ståndpunkter.

Några av de drivmedel som kan vara av intresse för nischprogram är följande:

- Biogas/naturgas
- Syntesgasbaserad FTD och DME
- Eldrivna fordon

När det gäller satsningarna på nischdrivmedel finns skäl att poängtera att en samsyn mellan samhällsintressen, fordonstillverkare och drivmedelsdistributörer är nödvändig. Det är viktigt att alla dessa aktörer kan enas om de prioriteringar som måste göras.

3.5.2 Biogas/naturgas

Huvudmotivet för biogas och naturgas torde vara lokala emissioner. Visserligen är biogasen ett biobränsle men som sådant kan det enklare användas i andra sektorer än transportsektorn och med högre verkningsgrad och därmed också mindre emissioner av klimatgaser än i fallet med transporter. Naturgasen ger i vissa fall (ottomotorer) lägre emissioner av klimatgaser (ca 20%) än fossila drivmedel (bensin) men även i detta fall kan man hävda att substitution inom andra sektorer är minst lika gynnsam ur klimatgassynpunkt. Som tidigare

konstaterats torde gasformiga drivmedel knappast vara lämpade för en storskalig introduktion inom överskådlig framtid och därför kan dessa drivmedel bara utgöra en liten del i en större introduktionsstrategi. I biogasfallet finns också begränsningar vad gäller tillgången på (kommersiellt intressant) råvara. Det kvarstående viktigaste motivet torde vara den lokala luftkvaliteten. För att motivera satsningar inom området krävs således att större krav ställs på emissioner från fordon drivna av biogas/naturgas jämfört med bensin och dieselolja. En lämplig utgångspunkt är att kraven måste ställas minst en nivå högre än gällande lagkrav. Exempelvis kan Euro IV (miljöklass 2005) användas i stället för baskravet i dag som är Euro III (miljöklass 2000). Ett viktigt bivillkor vore att även krav/mål avseende maximal merkostnad, främst för fordonen, definieras. Vad gäller merkostnaden för drivmedelsproduktion och distribution kan den hanteras skattemässigt.

3.5.3 Syntesgasbaserad FTD

FTD kan i dag blandas in i vanlig dieselolja men skulle också kunna användas som ett "rent" bränsle. Det lägre energiinnehållet per liter jämfört med konventionellt dieselolja medför att motoreffekten sjunker något (se också faktarutan). Önskas ett högt energiinnehåll måste en kompromiss göras mellan denna parameter och koldegenskaperna. För en dedikerad fordonsflotta innebär ett lägre energiinnehåll inget egentligt problem eftersom motorerna kan optimeras för det speciella drivmedlet. Vill man att fordonen även skall kunna använda vanlig dieselolja krävs en viss bränsleflexibilitet, alternativt att motoreffekten blir något lägre vid användning av FTD.

Som tidigare nämnts har FTD emissionsfördelar, genom bl.a. lägre NO_x och partikelemissioner. Vid användning av EGR torde denna fördel relativt sett öka eftersom partikelbildningen minskar och detta kan utnyttjas för att minska NO_x emissionerna genom ökad EGR. Om riktigt låga emissioner är målet krävs dock en efterbehandling för både NO_x (NO_x-reducerande katalysator) och partiklar (partikelfilter). Ifall sådan utrustning används minskar emellertid den relativa emissionsfördelen jämfört med dieselolja. Frågan är om FTD har några egenskaper som underlättar användningen av sådan reningsutrustning. En viktig aspekt är att bränslet skall vara svavelfritt men detta krav uppfyller även dieselolja av miljöklass 1 redan i dag då svavelhalten normalt ligger långt under gränsen på 10 ppm. I EU kommer dieselolja med liknande egenskaper att införas under perioden 2005 till 2008/2009. För vissa typer av NO_x katalysatorer (s.k. deNO_x katalysatorer och NO_x "fälla") krävs att bränslet används som reduktionsmedel. Möjligen har FTD bättre egenskaper än miljöklass 1 dieselbränsle i detta avseende men skillnaden torde inte vara stor. När det gäller icke reglerade hälsofarliga emissioner

Ecotraffics kommentarer

Minskad motoreffekt med FTD

Många av de bränslekvaliteter av FTD som hittills testats har haft lågt energiinnehåll, alternativt dåliga koldegenskaper. Utvecklingsföretaget Oroboros anger i sin specifikation ett tämligen brett spann för densiteten som tillåts variera mellan 760 och 820 kg/m³. Ett typiskt värde för Mk1 är 815 kg/m³. För energiinnehållet anges ett minimivärde på 32 MJ/liter och i detta fall är typvärdet för Mk1 drygt 35 MJ/liter. Med oförändrad insprutningsmängd skulle en maximal effektförlust i det senare fallet (energi) uppgå till ca 9% jämfört med Mk1 och ytterligare någon procentenhet om jämförelsen görs med dieselolja enligt EU:s specifikation. Sannolikt kan effektförlusten minskas något i framtiden med vidareutveckling av produktionsprocesser och specifikation för FTD. För dedikerade motorer eller motorer med viss bränsleflexibilitet kan effektförlusten minimeras. Vid låginblandning är problemet med en minskad effekt försumbart.

torde FTD vara bättre än Mk1 men i detta fall kan partikelfilter och katalysator ge så låga emissioner även med Mk1 att de knappt är mätbara.

Slutsatsen är att FTD har en hel del emissionsmässiga fördelar men att detta inte leder till någon revolutionerande förbättring jämfört med Mk1. Trots det föreslås att förutsättningarna för satsningar på flottor med FTD som drivmedel undersöks. Den främsta orsaken är att det i dag finns förhållandevis få erfarenheter från detta drivmedel. Dessutom är drivmedlet tillgängligt på marknaden, även om det för närvarande produceras från fossil råvara. Rimligt är dock att användningen av FTD även kombineras med ny reningsteknik för att erhålla lägre emissioner av framförallt NO_x än med Mk1.

3.5.4 Syntesgasbaserad DME

DME har en klart större emissionspotential än FTD och ger dessutom högre total systemverkningsgrad. DME är billigare att producera men är dyrare att distribuera och ger en merkostnad för fordonet. Det finns i dag inga erfarenheter av fordon drivna med DME och detta tillsammans med de nämnda fördelarna är ett av de främsta skälen för satsningar på nischfordon drivna med detta bränsle. Kostnaden för att bygga upp infrastruktur för distribution av DME torde vara mycket hög och genom att drivmedlet inte ger möjlighet till bränsleflexibilitet är en allmän användning utesluten under den närmaste framtiden. Det är dock enklare att hantera distributionen för speciella fordonsflottor och därför bör satsningarna koncentreras inom detta område. Eftersom DME var det drivmedel som i vår analys gav den högsta verkningsgraden är detta tillräckligt motiv för vidare undersökningar. Det är dock viktigt att poängtera att industriella aktörer (som t.ex. fordons- och drivmedelsleverantörer) måste involveras i planeringen av framtida satsningar.

DME är liksom FTD tillgängligt på marknaden, dock icke producerat från bioråvara. I ett senare skede kan den fossila DME:n ersättas av icke-fossil DME.

3.5.5 RME

RME har vissa fördelar och nackdelar ur emissionssynpunkt. En närmare analys av förutsättningarna och kommentarer till publicerade resultat från bl.a. Österrike [11] görs i bilaga 3. CO och partikelemissionerna är lägre blir som regel lägre för dieselolja även om en oxiderande katalysator ibland är en förutsättning för att detta skall gälla i partikelfallet. Minskningen av partikelemissionerna är dock utan betydelse om partikelfilter används. Även HC emissionerna bli lägre med RME men detta är snarare fråga om ett mättekniskt fenomen snarare än om en reell effekt eftersom RME är så högkokande att alla föreningar inte kommer att mätas utan en del ”fastnar” i provtagningsutrustningen. NO_x emissionerna är som regel högre än för dieselolja men en del av denna effekt beror på hydrauliska fenomen i insprutningsutrustningen. Även när en kompensation görs för dessa effekter, vilket görs per automatik i nya motorer med återkopplad elektronisk reglering, kvarstår ofta en liten NO_x ökning. I framtiden torde däremot NO_x emissionerna kunna minska om möjligheten till en ökning av EGR mängden, som kan tillåtas på grund av de minskade partikelemissionerna, används¹⁴. Det krävs dock en viss utveckling innan denna potential kan utnyttjas fullt ut.

¹⁴ Notera att det i detta fall handlar om partiklar från motorn och före ett eventuellt partikelfilter. Det är dels fråga om motorns kondition och livslängd eftersom alltför höga partikelnivåer inne i motorn inte kan tolereras, dels kan inte partikelnivåerna före ett partikelfilter vara för höga heller för att inte filtrets funktion skall äventyras. När partikelfilter används kommer naturligtvis nivåerna efter partikelfiltret att vara låga.

Det används mindre fossil energi vid framställningen av RME jämfört med den (icke fossila) energin i slutprodukten. Faktorn för ”utväxlingen” brukar oftast ligga mellan 2 och 4, beroende på om kreditering görs för biprodukter och om icke fossil energi används i produktionsledet. Klimatgaserna minskar i ungefär samma omfattning som utväxlingen av fossil energi.

RME är biologiskt nedbrytbart och har en mycket låg toxicitet i förhållande till bensin och dieselolja. Spill på mark och i vattendrag ger därför mycket mindre skada i RME fallet än för de konventionella drivmedlen. Kanske borde man identifiera sådana sektorer där detta är en väsentlig fördel och prioritera användningen av RME i dessa.

De trots allt begränsade emissionsfördelarna med RME samt den i förhållande till cellulosa-baserade drivmedel lägre utväxlingen av fossil energi leder till slutsatsen att detta drivmedel inte kan prioriteras lika högt som de bästa alternativen. Dessutom tillkommer den viktiga aspekten att miljöpåverkan vid intensivodling är väsentligt större än för extensivodling.

3.5.6 Alkohol

Den i dag enligt författarnas åsikt bästa användningen av alkoholer torde vara i form av låginblandning i bensin och i bränsleflexibla fordon (som ju strängt taget också är en form av inblandning).

Industrins intresse för användning av alkoholer i tunga fordon har varit liten och strängt taget är det bara Scania som levererat något större antal fordon under den senaste 10-års perioden. Intresset för naturgas verkar för närvarande vara mycket större internationellt. De väsentligt förbättrade emissionerna med efterbehandling (partikelfilter) och EGR för motorer drivna med dieselolja torde också bidra till att intresset hos kunderna för etanol nu också verkar minska. Metanol har sedan den senaste användningen i bussar i Kalifornien inte varit aktuellt på flera år.

Samma förhållande som för tunga fordon föreligger i princip för lätta fordon med Ford (Focus FFV) som största undantag från den regeln. I USA finns ytterligare några fordons-typer tillgängliga men europeiska tillverkare av lätta fordon har varit kallsinniga till detta drivmedel. Etanol har varit den av alkoholerna som rönt störst intresse för användning i lätta fordon de senaste åren. Några tillverkare förespråkar dock metanol för användning i fordon med bränsleceller. Det kommer emellertid att dröja många år innan storskalig produktion av bränsleceller kan initieras. Den alkohol som skall användas i bränsleceller måste dock vara av en annan kvalitet än den som används för bränsleflexibla fordon där en inblandning av 15% bensin är nödvändig. Det största forsknings- och utvecklingsbehovet avseende användning av ”rena” alkoholer i fordon torde vara att ta fram nya motorer. Såväl ottomotorer med direktinsprutning (i bränsleflexibelt utförande) som dieselmotorer bör prioriteras högt. En sådan strategi skulle också kunna bädda för en introduktion av bränsleceller. Ifall dessa inte lyckas uppfylla alla utvecklingsmålen finns ändå alternativet med en alkoholdriven dieselmotor och elhybrid-drivsystem kvar som ett av de system som ger högst verkningsgrad. Det vore besynnerligt om man i framtiden inte skulle vara beredd att satsa på detta alternativ.

Sammanfattningsvis är intresset för användning av alkoholer är, bortsett från de bränsleflexibla fordonen, litet. Några väsentliga satsningar på introduktion av fordon avsedda för renalkoholdrift kan inte rekommenderas i nuläget. I stället bör resurserna koncentreras på

forskning och utveckling för att få fram nya motorer som är speciellt anpassade för dessa drivmedel.

När det gäller produktion av etanol måste också tilläggas att några större satsningar på etanol som nischbränsle inte rekommenderas i de fall där satsningarna bygger på att etanolen produceras från spannmål. Det låga utbytet vid odlingen och den begränsade uppväxlingen av fossil energi för denna etanol som föreligger innebär att det finns bättre alternativ som måste prioriteras högre.

3.5.7 Elfordon

Elen är som drivmedel lågt beskattad i dag jämfört med konventionella fossila drivmedel och detsamma gäller även jämfört med det förslag till (långsiktig) beskattning för alternativa drivmedel som EU kommit med. Därför är det svårt att motivera ytterligare ekonomiska incitament för elbilar. Försök med elbilar har bedrivits under den senaste 10-års perioden såväl i Sverige som internationellt. Kostnaderna för elbilar är fortfarande höga och problemen med kort räckvidd och långsam laddning är långt ifrån lösta. Därtill kommer att emissionsfördelen krymper avsevärt i framtiden. Tas hänsyn till förluster vid elproduktionen blir inte verkningsgraden i hela kedjan från produktion till slutanvändning väsentligt högre än för de bästa alternativen med förbränningsmotor. I vissa nischapplikationer kan dock satsningar på elfordon ha ett berättigande. Det gäller att kunna identifiera dessa områden. Mot den beskrivna bakgrunden kan ändock eldrivna fordon inte helt avskrivs men det föreslås att dessa dock så att säga får klara sig på sina egna meriter i fortsättningen.

3.6 Kostnader

Till skillnad från bensin och dieselolja är underlaget för att bedöma kostnaderna för de alternativa drivmedlen mycket mindre. Exempelvis är verifierade kostnader för biodrivmedel från lignocellulosa-råvara – den bioråvara som anses ha den största potentialen – okända då ingen sådan produktion förekommer utan kan bara uppskattas utifrån gjorda ingenjörstudier.

3.6.1 Etanol

Spannmålsbaserad etanol

För spannmålsbaserad tillverkning av etanol anges fullständig skattereduktion, 4,62 kr/liter plus moms, behövlig för att kunna säljas för att låginblandas i bensin, vilket indikerar ett pris på över 6 kr/liter. Främsta skälet härtill är hög råvarukostnad (upp mot 30 ö/kWh), som, om inte hög kreditering för foderbiprodukt kan erhållas, ger mycket hög etanolkostnad. Därtill kommer relativt liten skala på anläggningen.

Cellulosabaserad etanol

Baff anger för cellulosabaserad etanol år 2000 resp. 2010 en beräknad kostnad i intervallet 3,8 – 3,1 kr/liter (5,8 - 4,7 kr/liter bensinekvivalent) vid 8 öre/kWh råvarukostnad (TS), 9,5% annuitet och kreditering för fastbränslebiprodukt (vid samma råvarukostnad och annuitet, som använts för bio-metanol nedan, blir intervallet 4,6 – 3,8 kr/liter etanol (6,9 – 5,7 kr/liter bensinekvivalent). Anläggningen är utformad som ett kombinat av etanolanläggning (med fastbränsle som största produkt) och kraftvärmeverk med etanol, el och fjärrvärme som produkter och internhandel av fastbränsle och hjälpmedia mellan anläggningsdelarna (ett tveksamt tillvägagångssätt för att bedöma framtida storskalig produk-

tionskostnad för etanol). Utbytet av etanol är i energitermer (TS-LHV) endast 19% av insatt råvara.

NREL, tillhörig det amerikanska energidepartementet, anger enligt Baff kostnaden år 2000 till 2,70 kr/liter etanol (vid växelkurs 1 USD = 8,5 SEK) baserat på mycket lägre råvarukostnad och flera gånger större anläggning med högre utbyten men bara mycken liten kreditering för biprodukt (el). Vidare förutspås till år 2010 kraftiga kostnadsreduktioner, vilka skulle ge kostnad på 1,6 kr/liter, genom process- och anläggningutveckling, vilka förefaller helt orealistiska för europeiska förhållanden. (Ecotraffics sammanfattning och analys av NREL-rapporten NREL/TP-580-26157, July 1999 är bifogad som bilaga 1. I självförsörjande och utvecklad anläggning är etanolutbytet ca 43% (LHV-bas) och ca 45% inkl. överskott av el. Baff har använt samma rapport för sina kostnadsangivelser.)

Liknande uppgifter (samma kostnad per energienhet) som för etanol har angivits för metanol producerad via förgasning av biomassa men, enligt vår uppfattning, med helt orealistisk teknik (se bilaga 1).

3.6.2 Biometanol

Biometanol via förgasning har i de svenska ingenjörstudier landat på en kostnad av upp mot 2,50 kr/liter (5 kr/liter bensin ekvivalent) vid råvarukostnad på 10 öre/kWh och 12% annuitet men utan kreditering för biprodukter (fjärrvärme, ev. torkat fastbränsle). Hur långt krediteringar och ev. framtida kostnadsreduktion genom "learning" kan minska produktionskostnaden har inte närmare diskuterats. Kanske kan ca 2 kr/liter metanol nås på lite längre sikt.

Som jämförelse kan nämnas att naturgasbaserad metanol på marknaden har typiskt genomsnittspris på ca USD 140/ton (drygt 1 kr/liter eller ca 2,3 kr/liter bensinekvivalent) med variationer beroende på tillgång och efterfrågan på vanligen 100 – 200 USD/ton, listpris är för 1.a kvartalet 2002 112 USD/ton. EU tillämpar 13% importtull på metanol (till skillnad mot bensin som inte har någon tull!).

3.6.3 Biobaserad DME

Kostnaden för DME producerad från naturgas bör enligt teknikutvecklingsföretaget Haldor Topsø i Danmark ligga 5% *lägre* än kostnaden för naturgasbaserad metanol (ca 2,19 kr/liter i bensinekvivalent). Skillnaden i kostnad ligger främst i syntessteget. Eftersom kostnaden generellt blir högre för både DME och metanol från biomassa och processtegen före syntessteget är desamma kommer kostnadsdifferensen i relativa tal att bli någon procentenhet mindre för bio-DME än för biometanol. Denna prisdifferens gäller vid raffinerigrind. Kostnadsfördelen för DME vänds dock till en kostnadsökning om hänsyn tas till distribution, där merkostnaden är ca 3 ggr högre för DME än skillnaden i produktionskostnad.

3.6.4 Vätgas från biomassa

Det är svårt att uppskatta produktionskostnaden för vätgas från biomassa genom att ett lika stort underlag vad gäller ingenjörstudier och kostnadsunderlag inte föreligger som för DME, metanol och etanol. Baserat på det förhållande att utbytet ligger mellan metanol och DME bör också kostnaden för vätgas vara av samma storleksordning som för de båda övriga nämnda drivmedlen. Merkostnaderna för distributionen av vätgas torde dock bli så betydande att kostnaden vid pump blir avsevärt högre.

3.6.5 FTD

Några väl underbyggda uppskattningar av produktionskostnaden för FTD från biomassa finns inte. Rent resonemangsmässigt kan man konstatera att ett lägre utbyte än för övriga drivmedel från syntesgas också bör medföra en ökning av kostnaden. Vidare är syntessteget mer komplicerat samtidigt som ytterligare processteg tillkommer för att ”upparbeta” produkten. Intressant är hur kostnaden för FTD förhåller sig till kostnaden för etanol från cellulosaråvara.

3.6.6 RME

Det är svårt att beräkna kostnaden för produktion av RME. EU uppskattar merkostnaden till ca 300 € per m³ ersatt dieselolja, vilket ungefärligen motsvarar knappt 3 kr/liter (beroende av växlingskursen). Medelpriset för dieselolja vid pump låg under 2000 enligt SPI:s statistik på 8,43 kr/liter, varav produktpriset stod för 3,82 kr/liter. Resten är kostnader för distribution, samt skatt och moms. Statistiken gäller emellertid utan rabatter och dessutom ligger priset för storkunder vid pump och för storkunder med egen tankningsanläggning betydligt lägre (men där tillkommer ju också kostnaden för denna). Som jämförelse kan nämnas att medelpriset i Rotterdam under 2001 låg på ca 2 kr/liter. En merkostnad på 3 kr/liter för RME skulle även med hänsyn taget till rabatter ge en produktionskostnad på över 6 kr/liter. Vid en storskalig distribution skulle knappast distributionskostnaden bli högre än för dieselolja. En svårighet i uppskattningen av produktionspriset för RME är att ta hänsyn till subventioner men också diverse skatter i jordbruket. Omförestning av rapsolja till RME är en tämligen enkel process som följaktligen är ganska billig och därför ligger en stor andel av kostnaden i produktionen av rapsen. Denna omständighet tillsammans med svårigheten att rensa produktionen från subventioner och skatter försvårar uppskattningen av kostnaden. Sannolikt är den verkliga kostnaden betydligt högre än den ovan uppskattade. Detta skulle innebära att RME är ett av de dyrare biodrivmedlen. Man kan dock konstatera att en ingående analys av de verkliga kostnaderna för framställning av RME borde utredas i detalj innan stora satsningar görs på detta drivmedel.

3.6.7 Jämförelse med konventionella fossila drivmedel

Bensinekvivalenssiffrorna för biometanol resp. –etanol skall jämföras med typiska data för bensin vid raffinaderigrind eller importhamn (Rotterdam-pris) på ca 2 kr/liter i genomsnitt under 2001 men med stora variationer, högst månadsgenomsnitt på 2,73 i maj och lägst på 1,37 kr/liter exkl. moms i december. Motsvarande siffror för dieselolja var 1,99 kr/liter där variationen mellan 1,61 och 2,23 kr/liter var mindre än för bensin. (Räknat per energienhet är dieseloljan således billigare än bensin.) Bruttomarginal (före rabatter) i distributionsledet är ca 1,15 kr/liter för bensin. Även för dieselolja borde sannolikt bruttomarginalen vara av samma storleksordning men kostnaden för privatkunder påverkas i detta fall sannolikt av den förhållandevis låga penetrationen av dieslbilar. Skatterna var för bensin (Mk1) i december energiskatt 3,61 och koldioxidskatt 0,86 kr/liter plus moms på dessa belopp men ändrades 1 januari 2002 till 3,16 resp. 1,46 kr/liter plus moms. För Mk1 dieselolja ligger energiskatten sedan 1 januari 2002 på 1,323 och är således väsentligt lägre än för bensin medan koldioxidskatten är 1,798 kr/liter. Skatterna (exkl. moms) är 4,62 för bensin respektive 3,121 kr/liter för dieselolja, vilket motsvarar ca 14,4 öre/MJ för bensin och ca 8,9 öre/MJ för dieselolja. För en privat slutanvändare blir skatterna 5,78 kr/liter (bensin) respektive 3,90 kr/liter (dieselolja) p.g.a. att momsen även läggs på skatten.

EU:s nuvarande minimiskatter för bensin är 28,7 och för dieselolja 19,5 €¹⁵/liter och gäller även för andra drivmedel för bensin- resp. dieselmotorer, vilket är klart diskriminerande för drivmedel med lägre energiinnehåll per liter. Den enda rimliga grunden för beskattning är att den beräknas per energienhet, och skillnader mellan bränslen måste grundas på olika egenskaper ur hälso/miljösynpunkt och ursprung (fossil/förnybar), inget annat, för att inte godtyckligt snedvrida jämförelser. Enligt liggande direktivförslag (Council Directive COM(2001)547 att gälla från 2002-01-01) skall skattesatsen för biodrivmedel få nedsättas men som mest till 50% av den totala skattesats (exkl. moms) som gäller i landet för det drivmedel de ersätter. Av underlaget i det nämnda underlaget framgår inte klart att skattebefrielsen räknas på energibas men vi förutsätter att detta är fallet. Om inte detta gäller utan skattebefrielsen avser volymbas skulle diskrimineringen av bränslen med lägre energiinnehåll per volym, t.ex. alkoholer, fortsätta, och osäkerheten om framtiden bestå för de involverade aktörerna.

Med halverad beskattning på energibas (7,2 öre/MJ) för biometanol skulle en skatt för denna vara 1,14 kr/liter plus moms. Denna kan bäras om produktpriset är högst än ca 1,85 kr/liter för metanol vid lika pumppris för energi som för skattad bensin (ca 9,5 kr/liter). Bruttomarginalen har då justerats för att täcka ökade transport och lagringskostnader vid distribution (+30% per liter bensin ekvivalent). Motsvarande räkning ger (vid + 20% marginaljustering) högst 2,6 kr/liter bioetanol. Det synes tveksamt om produktionskostnaden kan minskas till nämnda belopp, och enbart borttagande av CO₂-skatten är än mer otillräcklig för att ge incitament för aktörer att starta produktion.

Vid krav på att merkostnaden för ett biodrivmedel inte får vara mer än t. ex 1,5 kr/liter bensinekvivalent skulle bensinkostnaden (Rotterdam) behöva vara ca 2,5 kr/liter vid en till 2 kr/liter bio-metanol sänkt produktionskostnad. Det gäller bara att en viss relation mellan resp. bränsles totala skatt, oavsett vad den kallas, måste finnas för att ge incitament.

Jämförelser vid den subventionerade dieseloljan med lägre skatt (8,9 öre/MJ) jämfört med bensin ger mycket sämre utfall, d.v.s. lägre högstpris.

Slutsatsen av vad som sagts ovan är att inte något biodrivmedel har utsikter att kunna marknadsföras med det av EU föreslagna skattedirektivet (högst 50% reduktion och uttag på energibas). Undantag är nischerna lokal kollektivtrafik, taxi och offentliga fordonsflottor, som skulle kunna få fullständig skattefrihet. Dagens användning av biodrivmedel i Sverige och Västeuropa baseras på hel eller nästan hel befrielse från bränsleskatt (denna möjlighet föreslås bli minskad och försvinna 2003-12-31). En icke-diskriminerande bränsleskatt måste tas ut på energibas och incitament för biodrivmedel räknas per energienhet.

3.6.8 Kostnader för distribution av drivmedel

Ovan har kostnaderna för produktionen av drivmedel diskuterats. Kostnaderna för distribution av drivmedel är också en mycket viktig faktor. I två rapporter för KFB har distributionen av motoralkoholer [12] och DME [13] undersökts av Ecotrafic. Bensin och dieselolja ingick i båda dessa studier. Bensin utgjorde referensen för metanol och etanol medan dieselolja och DME jämfördes i det andra fallet. För att alla nämnda drivmedel skall kunna undersökas har en omräkning av kostnaderna för dieselolja och DME gjorts för att motsvara ersättning av bensin (dvs. kostnad per liter ersatt bensin). En korrektion som dock inte

¹⁵ €c: Eurocent.

gjorts gäller de icke volymberoende påslagen. Dessa har lämnats oförändrade, dvs. samma värden som för bensin har använts. Resultaten från denna sammanställning visas i **Tabell 5**. Det bör också nämnas att eftersom de båda citerade rapporterna sammanställdes under 1996 respektive 1997 torde kostnaderna ha ökat något sedan dess som följd av inflationen.

Tabell 5. *Distributionskostnad för några olika drivmedel, omräknat till ersättning för bensin (kr per liter ersatt bensin)*

Distributionssteg	Bensin	Dieselolja	Metanol	Etanol	DME
Volymberoende					
Sjötransport	0,060	0,055	0,110	0,850	0,164
Landtransport	0,070	0,064	0,130	0,100	0,200
Delvis volymberoende					
Depålagring, hantering	0,070 ^a	0,064 ^a	0,170	0,160	0,146 ^b
Stationslagring	0,200	0,182	0,270	0,235	0,500
Icke volymberoende pålägg					
Distributörens	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Stationens	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
Totalt	0,850	0,814	1,130	1,030	1,460

Anmärkningar:

^a Varav 0,030 kr per liter är kapitalkostnad för lagervärde.

^b Varav 0,050 kr per liter är kapitalkostnad för lagervärde.

Det är ej speciellt förvånande att distributionskostnaderna är lägst för bensin och dieselolja. Alkoholerna följer därefter och högst är kostnaden för DME. Skillnaden på 61 öre mellan DME och bensin illustrerar merkostnaden för att hantera ett drivmedel under (måttligt) tryck. Merkostnaden för etanol och metanol på ca 20-30 öre är väsentligt lägre.

Flytande drivmedel som RME och FTD torde inte kosta mycket mer att distribuera jämfört med bensin och dieselolja, förutsatt att volymerna är stora. En viss brasklapp måste dock lämnas för RME som har en begränsad lagringsbarhet, vilket sannolikt leder till något högre kostnader. Några speciella orsaker till en merkostnad för FTD finns inte utöver inverkan av den något lägre densiteten.

Några säkra uppgifter på vad distribution av gasformiga drivmedel som metan och vätgas kostar finns inte. Det är också svårt att få fram sådana siffror eftersom distribution av naturgas ofta sker integrerat med distribution för annan användning av naturgas. Eftersom hanteringen måste ske i gasform torde merkostnaden dock vara väsentligt högre än för DME.

Kryogena drivmedel torde bli minst lika dyra att distribuera som gasformiga drivmedel men i detta fall är underlaget för bedömningar ännu mindre än i det sistnämnda fallet.

3.6.9 Totala kostnader för produktion och distribution av drivmedel

Med hjälp av produktions- och distributionskostnader enligt avsnitten ovan kan den totala kostnaden för drivmedlen fram till tankningsstationen beräknas. Man bör notera att underlaget för uppskattningarna är varierande och därför föreligger i flera fall ganska stora osäkerheter i bedömningarna. Vissa drivmedel framställs i dag vilket gör att kunskapen om kostnaderna är relativt goda. Kostnaderna för andra drivmedel eller beräknande framtida kostnader innehåller större eller mindre osäkerheter beroende på vilket underlag som finns tillgängligt. Uppskattningarna i **Tabell 6** nedan är därför markerad med vilket underlag som föreligger (faktisk kostnad, ingenjörberäkningar eller grova uppskattningar).

Tabell 6. Kostnadsuppskattningar

Kostnader för biodrivmedel (inkl. distribution exkl. skatt)	Tids- ram	Prod. pris kr/l	Pris, distribuerad produkt ^a		Anmärkningar
			kr/l bensinekv.	kr/l dieselevk.	
Bensin	2001	2	2,85		Medelpris 2001
Dieselolja	2001	2		2,84 ^a	Medelpris 2001
Etanol, spannmål	2000	6	10,0		Faktisk kostnad
Etanol, cellulosa	2010	4,6	7,9		Ingenjörber.
	2020	3,8	6,7		Ingenjörber
Metanol, naturgas	2000	1,1	3,4		Faktisk kostnad
Metanol, bio-syn	2010	2,5	6,2		Ingenjörber.
	2020	2	5,2		Ingenjörber.
F-T-diesel, bio-syn	2010			7,6	Grov skattning
	2020			6,3	Grov skattning
DME, naturgas	2000			4,2	Ingenjörber.
DME, bio-syn	2010			6,9	Ingenjörber.
	2020			5,8	Ingenjörber.
RME	2000	6,5		7,4	Faktisk kostnad
Vätgas ^c		?			Svårt att uppsk.

Anmärkningar:

- ^c Prisjämförelser görs i två fall, jämfört med bensin respektive dieselolja. Eftersom energiinnehållet per liter är olika för bensin och diesel kan inte de båda kolumnerna jämföras direkt.
- ^d Priset för dieselolja har beräknats för en tänkt distribution till privatkund i stor skala (vilket inte är fallet i dag där den största andelen av dieseloljan distribueras till storkunder).
- ^e Någon kostnad för vätgas har inte uppskattats. Främst beror det på svårigheten att bedöma kostnaderna för distribution och lagring.

Kostnadsuppskattningarna för biodrivmedlen i tabellen ovan tar inte hänsyn till ev. användning av spillvärme. Om detta beaktas – och om värmesänkor finns tillgängliga – kan kostnaden för dessa alternativ minska något. Man kan också notera att verkningsgraden i flera fall ökar vid användning av alternativa drivmedel jämfört med konventionella drivmedel (t.ex. alkoholer i. st. för bensin i ottomotor). Kostnaden för kunden skulle minska något om man tog hänsyn till detta.

Underlaget för uppskattning av produktionskostnaden för FTD är litet, varför en kostnad i proportion till det lägre utbytet i förhållande till metanol har antagits. En uppskattning på samma sätt men baserat på beräknad kostnad för DME ger liknande siffror.

Trots den högre distributionskostnaden för DME jämfört med flytande drivmedel ligger ändå kostnaden något lägre än för FTD. Detta kan tyckas anmärkningsvärt men beror på att produktionskostnaden för DME torde bli väsentligt lägre än för FTD.

Produktionskostnaden för RME är svår att uppskatta på grund av omfattande subventioner i odlingsledet. En distributionskostnad motsvarande den för dieselolja men med hänsyn taget till något lägre energiinnehåll har förutsatts. Detta skulle kräva en storskalig distribution. Som följd av nämnda förbehåll kan den i tabellen angivna kostnaden anses som osäker.

3.7 Förslag till strategi

3.7.1 Dagens användning av biodrivmedel

För att kunna uppskatta behovet av nya produktionsanläggningar för biodrivmedel alternativt import kan det vara lämpligt att göra en uppskattning av dagens användning av biodrivmedel ställt i relation till användningen av fossila drivmedel. Tyvärr förs ännu ingen officiell statistik på detta område i Sverige. Energimyndigheten sammanställer numera årligen, enligt det regleringsbrev som finns för myndigheten, de dispenser för skattereduktioner som söks för biodrivmedel. Den senaste sammanställningen gäller för 2000. En ny sammanställning för 2001 skall vara färdigställd till slutet av maj.

Sammanställningen var tämligen enkel för etanol och RME emedan dessa drivmedel hanteras av få företag. Användningen av RME beräknas enligt kontakter med Ecobränsle som författarna haft att öka något under 2002. En etanolanvändning motsvarande den dispens som finns för anläggningen i Norrköping har förutsatts. Uppgifter för biogasanvändning i fordon under 2001 från Svenska biogasföreningen (SBGF) har extrapolerats med 25% [14]. Det kan vara viktigt att nämna att en viss andel av biodrivmedlen importeras. Det behöver väl heller knappast påpekas att uppskattningarna är tämligen grova. Resultaten från överslagsberäkningarna enligt beskrivningen ovan har sammanställts i **Tabell 7**.

Användningen av biodrivmedel är

Tabell 7. Uppskattad användning av biodrivmedel i Sverige för 2002

Drivmedel	Förbrukning	
	m ³	TWh
Etanol, låginblandning	50 000 ^a	0,298
Etanol, övrig användning	25 000 ^b	0,149
Biogas (fordon)	-	0,05 ^c
RME	9 000 ^d	0,083
Totalt	-	0,589

Anmärkningar:

^a Dispens för spannmålsetanol från Norrköping, 2002

^b Dispens för etanol 2000. Källa: Energimyndigheten

^c Användningen av biogas låg under 2001 på ca 0,04 TWh enligt Bjurling, Svenska biogasföreningen (SBGF). Vi har uppskattat en användningen till 0,05 TWh för 2002.

^d Uppskattad RME användning 2002. Källa: Sven Norup Ecobränsle, personligt meddelande, 2002.

enligt **Tabell 7** fortfarande låg i Sverige. Som jämförelse kan nämnas att 2001 var användningen av bensin och dieselbrännolja 83 TWh i Sverige enligt statistik från SPI (större oljehandelsföretag). Den skattade totala användningen av biodrivmedel på 0,59 TWh enligt **Tabell 7** utgör således 0,7% av den totala användningen. Det skulle följaktligen erfordras en kraftig ökning av produktion alternativt import för att nå det av EU föreslagna målet för 2005 som innebär en substitution av bensin och diesel motsvarande 2% av förbrukningen.

3.7.2 Värderingsmatriser

Ett försök att på ett enklare sätt åskådliggöra resultaten och de rekommendationer som härrör från diskussionen i ovanstående avsnitt är att göra en sammanfattning i form av en värderingsmatris. En viktig förutsättning är att den strategi som utarbetas skall vara långsiktig men även föreslå ett handlingsprogram på kort sikt som stämmer överens med det förstnämnda kriteriet. Tre viktiga faktorer att beakta är följande: Möjligheterna till låginblandning, vilket kan ge stora volymer på kort sikt till ringa merkostnad utöver merkostnaden för drivmedelsproduktionen. Det långsiktiga målet att introducera nya biobaserade huvudbränslen är trots allt det viktigaste kriteriet. I miljöer med dålig luftkvalitet kan nischprogram vara av intresse på kort och medellång sikt. Sådana satsningar kan också vara ett sätt att skaffa erfarenheter för nya drivmedel (t.ex. DME) som inte testats tidigare.

Två matriser av nämnda slag har gjorts; en för bensinersättning och en som avser dieseltersättning. Matriserna visas i **Tabell 8** (bensinersättning) och **Tabell 9** (dieseltersättning). Det kan nämnas att de flesta värderingar avser de biobaserade varianterna av respektive drivmedel. Dock ses möjligheten att använda både fossil och icke fossil råvarubas som ett plus. Som referens i respektive fall visas också bensin och dieselolja. Betygsskalan är från 0 (i princip omöjligt) till 5 (bästa). De kolumner som finns längst till höger avser svavelfria kvaliteter av bensin och dieselolja.

När alla faktorer beaktas för de drivmedel som lämpar sig som bensinersättning (**Tabell 8**) framstår etanol och metanol som de främsta kandidaterna, med ett litet försteg för metanol. Alkoholerna kan användas i form av låginblandning, vilket snabbt kan ge tämligen stora volymer. Bränsleflexibla bilar kan utvecklas för alkoholer till en mycket ringa merkostnad. Även merkostnaderna för distribution är hanterbara. De gasformiga drivmedlen har alltför många nackdelar för att kunna vara kandidater till huvudbränslen. I nisch tillämpningar kan de däremot passa bättre och det gäller att identifiera dessa nischer.

DME och FTD lämpar sig väl för dieselmotorer och är därför två av huvudkandidaterna till dieseltersättning. DME är det "bättre" drivmedlet av de båda men kan inte användas i form av låginblandning, är besvärligare att distribuera och kan inte användas i form av låginblandning. Trots övriga fördelar torde därför DME under lång tid framöver bli hänvisad till vissa nischer. Alkoholerna kan principiellt användas som dieseltersättning under förutsättning att motorerna utvecklas speciellt för detta. Nackdelar bl.a. i form av svårigheter vid låginblandning, och avsaknad av bränsleflexibilitet medför att dessa drivmedel i alla fall inom en nära framtid kommer att ha svårt att konkurrera med de övriga nämnda kandidaterna. Eftersom intresset för att utveckla speciella dieselmotorer som kan köras på alkoholer internationellt varit lågt är inte alkoholer aktuella på kort sikt för en storskalig introduktion som dieseltersättning. RME och de gasformiga bränslena torde bli hänvisade till nisch tillämpningar.

Tabell 8. Värderingsmatris för biodrivmedel som bensinersättning

	Bensinersättning	Etanol	Metanol	Metan	Vätgas	Bensin
Introducerbarhet	Både bio och fossil	Nej	Ja	Ja	Ja	-
	Passar i infrastruktur	4	4	2	0	5
	Låginblandning otto	5	3	4		
Framtid	Dedicerad ottomotor	5	5	5	4	4
	Emissioner	3	3	4	-	2
	Systemverkningsgrad	3	4	4	3	5
	FC-bränsle	2	3	1	5	1
Ekonomi	Möjliga volymer 2005	1	0	1	0	5
	Möjliga volymer 2020	2	3	1	2	5
	Pris 2005	1	0	1		5
	Pris 2020	2	3	1	1-2	4
Kritisk faktor		Cellulosaprocess	Syntesgas	Begr. biotillgång	Vätgasprod. Distribution	Ändlig tillgång
Bedömning		Utv. cellulosa-process Huvudbränsle (FFV)	Utveckla biosyngas Huvudbränsle (FFV)	Nisch DFV ^c	Möjligt framtidsbränsle DFV ^c svårt	Dominerar under lång tid framöver

Anmärkningar:

- ^a En linjerad ruta visar något som i princip är omöjligt.
^b Emissionerna för vätgas är noll (vilket skulle rendera 5 i betyg) för bränsleceller men NO_x bildning i ottomotorer är ett problem som ej analyserats närmare.
^c DFV: Dual Fuel Vehicle, eller tvåbränslemotor.

Tabell 9. Värderingsmatris för biodrivmedel som dieselsätsning

	Dieselsätsning	Etanol	Metanol	DME	FTD	RME	Vätgas	Metan	Mk1 diesel
Introducerbarhet	Både bio och fossil	Nej	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja	-
	Passar i infrastruktur	4	4	2	5(4)	5	0	0	5
	Låginblandning diesel	1	1	1	5	5			
Framtid	Dedicerad dieselmotor	2-4 ^b	2-5 ^b	5	4	3	1-2	2	3
	Emissioner	4	4-5	5	4	3	?	4-5	3
	Systemverkningsgrad	3	4	4	3	2	?	4	5
	FC-bränsle	2	3	3	1	0-1	5	0-1	0-1
	Möjliga volymer 2005	1	0	1	1	1	0	0	1
Ekonomi	Möjliga volymer 2020	2	3	2	3	1	2	1	5
	Pris 2005	1	0			1		1	5
	Pris 2020	2	3	3	2	1	3	1	4
		Cellulosa-process	Syntesgas	Syntesgas	Syntesgas	Syntesgas	Begr. tillgång	Vätgasprod. Distribution	Begr, biotillgång
Bedömning	Utveckla cellulosa-process	Utveckla bio-syngas	Utveckla bio-syngas	Utveckla bio-syngas	Huvudbränsle	Inga satsningar	Framtidsbränsle	Nisch	Dominerar under lång tid framöver

Anmärkningar:

^a En linjerad ruta visar något som i princip är omöjligt.

^b Det stora spannet för alkoholer illustrerar det faktum att en speciellt konverterad dieselmotor behövs. Samtidigt har alkoholema bättre egenskaper än dieselojla – t.ex. mindre sotbildning och NO_x – vilket renderar ett högre betyg. Etanol har dock uppvisat så pass höga partikelemissioner vid användning av EGR att partikelfilter i framtiden knappast kan undvikas. Eftersom metanol är bättre i detta avseende har det övre intervallet satts så högt som 5.

3.7.3 Syntesgasprogram

För att kunna utveckla användningen av nya komponenter för bensin och dieselolja och nya självständiga drivmedel från andra råvaror än råolja synes det uppenbart att förgasningsvägen är den som måste färdigutvecklas med biomassor som råvara. Med den kunskapsbakgrund som finns och tidigare forskning och försöksverksamheter som bedrivits i Norden bör färdigutveckling och demonstration av förgasningssteget i relativt stor skala snarast startas. Skälet för en sådan kraftfull satsning är förstas att siffrorna i effektivitetsstudier visar denna som gynnsammaste väg och användbarheten av produkterna, främst flytande drivmedel som metanol, i alla diskuterade framtida drivsystem.

Förgasaren bör vara en syre/ångdriven, trycksatt förgasare av fluid-bed typ, och anläggningen också vara utrustad för förbehandling av råvara och primär rågasrening. Idealiskt skulle en sådan demoanläggning förläggas till en massaindustri med enkel tillgång till råvara, infrastruktur och möjlighet till avsättning av renad gas som bränsle. I ett senare skede kompletteras anläggningen med flera linjer och enheter för konditionering av gasen till syntesgas, syntessteg och slutrening av produkten. Eftersom inga förberedelser till en sådan utveckling tagits krävs att principbeslut om en sådan satsning tas innan årets slut för att ett förverkligande av första fasen skall kunna ske före 2006.

3.7.4 Etanol från lignocellulosa

Pågående utveckling av etanolframställning ur lignocellulosa fullföljs i beslutad pilotanläggning för att få slutligt underlag för att bedöma hydrolysvägens förutsättningar och möjlig plan för uppförande av kommersiell anläggning. För att en första kommersiell demoanläggning skall kunna bli förverkligad före 2008 (dvs. om 5 år) krävs dock att ett väsentligt forskningsgenombrott görs innan detta års utgång. Till detta kommer att nämnda genombrott också måste kunna följas upp av en snabb omsättning av forskningsresultaten i form av en teknisk tillämpning i pilotskala för att den första kommersiella anläggningen skall kunna bli klar till 2008.

3.7.5 Spannmålsetanol

Frågan om ytterligare anläggning(ar) med spannmål som råvara är närmast principiell, d.v.s. om ettårs energigrödor från jordbruksmark skall användas eller ej även om de ur CO₂-synpunkt ger så pass bra resultat som Norrköpingsfabriken visar (en energimässig utväxling för etanol till insatt fossil energi på över 4:1 i hela kedjan). Detta eftersom resultatet visar att utväxlingen av fossil energi är väsentligt högre för cellulosebaserade drivmedel (upp till 20). Ur ekonomisk synvinkel är förutsättningarna bäst så länge biprodukten proteinfoder har avsättning på marknaden som ersättare för importerat foder. Detta begränsar antalet ytterligare anläggningar till ca 2.

3.7.6 RME

Samma resonemang som för spannmålsetanol gäller också för RME.

3.7.7 Biogas

Möjligheter att öka biogasanvändningen i fordon finns. Om produktionen begränsas till de råvaror som har mycket låg (eller negativ) kostnad torde potentialen vara 1 – 2 TWh. Detta är 20 – 40 gånger högre än dagens uppskattade volym på 0,05 TWh men i många fall finns också alternativ användning av biogasen att ta hänsyn till. Mot bakgrund av detta kan sägas

att åtminstone en fördubbling av dagens användning bör vara möjlig inom något år. Denna volym är ändå försumbar i förhållande till den totala förbrukningen av bensin och dieselolja.

3.7.8 Strategi

För att klara målet på 2% substitution till 2005 skulle 3 – 4 anläggningar för produktion av spannmålsetanol behövas och/eller en utökning av produktion/import av RME. Användning av dessa båda drivmedel i form av låginblandning (ev. kompletterat med FFV bilar på etanol) är som tidigare konstaterat det enklaste alternativet på kort sikt. Spannmålsetanol och RME kan dock inte konkurrera med de bästa cellulosebaserade drivmedlen varken när det handlar om avkastning (per ha), effektivitet eller minskning av klimatgaser. Likaså är den miljömässiga påverkan vid (intensiv)odlingen större för de båda nämnda drivmedlen än för extensiv odling. Även de ekonomiska förutsättningarna verkar mindre gynnsamma trots att subventioner och andra stöd är svåra att ta hänsyn till vid beräkningen av kostnaderna. Spannmålsetanol och RME är två drivmedel som skulle kunna användas vid låginblandning. En substitution med biogas är också ett alternativ, men i detta fall krävs fordon som särskilt anpassats för drivmedlet. Emellertid finns nu ett tämligen stort utbud av fordon anpassade för naturgasdrift. Naturgas är ett drivmedel som rönt stort intresse i Europa och flertalet av fordonen som anpassats för naturgas kan även använda biogas. Det har förutsatts att nuvarande användning av biogas kan fördubblas (till 0,1 TWh) utan större problem. En utbyggnad i större skala skulle kunna ge mellan 1 och 2 TWh. För att denna utveckling skall komma till stånd måste dock, liksom i fallet för spannmålsetanol och RME, en stor satsning på uppbyggnad av produktionskapaciteten ske¹⁶. Alternativ användning av biogas (annan användning än i fordon) måste också beaktas.

Produktion av drivmedel från cellulosebaserad råvara via syntesgas verkar enligt tidigare resonemang vara det mest fördelaktiga alternativet på lite längre sikt. För att underlätta distribution och för att minimera kostnaderna förefaller metanol och FTD vara de alternativ som bör prioriteras högt på kort och medellång sikt. Förgasningssteget är det mest kritiska steget och det är också gemensamt för alla drivmedel som produceras från syntesgas. Övriga produktionssteg (skift och syntes) är i princip kommersiell teknik i dag. För att eventuella satsningar på syntesgasbränslen skall kunna manifesteras i produktionsanläggningar före decenniets slut krävs dels en ökad forskning och utveckling inom området, dels att principbeslut om sådana satsningar tas så snart som möjligt.

Med de förutsättningar som gäller verkar möjligheterna att initiera en produktion av drivmedel från cellulosaråvara före 2005 mycket små. Större satsningar på spannmålsetanol och RME rekommenderas inte och övriga drivmedelsalternativ har liten potential på denna tidshorisont. Den enda kvarstående möjligheten vore att importera drivmedel. Icke fossil etanol och RME finns tillgängligt både i Europa och på världsmarknaden men satsningar på dessa drivmedel kan ju sam sagt tidigare inte rekommenderas. En anläggning i Schwarze Pumpe i Tyskland producerar i dag metanol från avfall som delvis är biobaserad och metanolen är följaktligen till viss del biometanol. Stora kvantiteter av denna metanol säljs till världsmarknadspris. Problemet med import är, även om en ökad internationell handel med biodrivmedel generellt vore en önskvärd, att också andra länder i Europa kan

¹⁶ Import av biogas ses inte som ett realistiskt alternativ, något som dock vore möjligt för alkoholer och RME.

resonera på samma sätt för att klara det föreslagna direktivet och därmed kan priserna drivas upp.

Slutsatserna av resonemanget ovan är att det inga av de prioriterade alternativen som samtidigt kan användas för att klara det föreslagna direktivets krav till 2005 kvarstår av tidsmässiga skäl. Detta är naturligtvis allvarligt och frågan är om inte en modifiering av kravet vore att föredra framför satsningar som inte är långsiktigt ekonomiskt och miljömässigt hållbara. Mot bakgrund av det långsiktiga perspektivet att en väsentlig reduktion av klimatgaserna måste göras (~80%), samt att transportsektorns energianvändning torde öka kraftigt framgent, måste dock kraftfulla satsningar på forskning och utveckling inom detta område initieras redan nu. Kanske vore det bättre att prioritera sådana satsningar i stället för kortsiktiga lösningar.

3.7.9 Implementering

Det två förslagen till EU nya direktiv säger ingenting om hur tillämpningen skall ske i de enskilda medlemsländerna. Sannolikt kan på lång sikt de mest kostnadseffektiva lösningarna uppnås om en koncensus nås mellan staten, fordons- och oljeindustri gällande prioriteringen av drivmedel. På kort sikt vore en strategi för att nå den bäst kostnadseffektivitet att införa en slags motsvarighet till ”gröna certifikat” för biodrivmedel. Man kan sedan ställa som krav att drivmedelsdistributören skall klara kraven enligt EU direktivet men samtidigt kan man tillåta handel med de nämnda certifikaten. Fördelen med att låta de berörda branscherna själva prioritera lösningarna vore att detta skulle favorisera de kortsiktigt mest kostnadseffektiva lösningarna. Kvarstående frågeställningar är vilka regler som skall gälla för nämnda handel och hur övervakningen skall ske.

EU:s förslag till direktiv ställer inga krav på att uppväxlingsfaktorn enligt en livscykelanalys skall beaktas för biodrivmedel. Det är dock rimligt att även denna fråga diskuteras på längre sikt. Sannolikt är det så att det i vissa fall kan vara ekonomiskt *fördelaktigt* att använda fossil energi i framställningen av biodrivmedlen i stället för att använda icke fossil energi. Detta skulle i så fall kunna leda till att biodrivmedel med en *låg* faktor för uppväxlingen favoriseras ur kostnadssynpunkt framför dyrare biodrivmedel med en hög uppväxling, vilket vore felaktigt på lång sikt. Om livscykelperspektivet för biodrivmedlen också beaktades skulle man kunna komma ifrån sådana olägenheter. Man måste dock ha respekt för att det torde krävas en lång process av diskussioner innan en ändring av direktivet som även beaktar dessa aspekter kan komma till stånd.

4 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

4.1 Förutsättningar

Utgångspunkten för de överväganden som presenteras i detta kapitel är det underlag som sammanfattats i de föregående avsnitten och mål om långtgående reduktioner av fossila CO₂-utsläpp (>>50%) som enligt en alltmer enig vetenskap långsiktigt måste uppnås för att stabilisera atmosfärens CO₂-nivå. De största kategorierna av fordon är personbilar och tunga fordon avsedda för långväga godstransporter. Dessa målgrupper är därför viktigast att fokusera på i en strategi för hållbara transporter. Distribution av drivmedel i stora kvantiteter är en avgörande faktor för drivmedels totala kostnad.

4.2 Distribution

Ett vitt förgrenat distributionsnät torde kräva lätthanterliga flytande bränslen (som bensin och dieselolja i dag). Dubbling av sådant nät för att hantera under tryck förvätskade gaser eller kryogena vätskor är knappast rimligt om ej annat av kostnadsskäl. Distribution av gasformiga bränslen i rörsystem är av samma skäl helt orimliga och blir därför även de hänvisade till lokala nischer (orimligheten kan exemplifieras av en tidigare USDoE-studie, som, då 30% av drivmedelsförbrukningen skulle ersättas, visade nära dubbelt så stor kostnad för att anpassa 10% av stationerna för naturgas som att anpassa hälften av alla stationer för metanol). Distribution i stora centrala rörsystem har dessutom nackdel att behöva byggas för toppeffekt och vara sårbar för störningar. Distribution av enkelt lagringsbara, flytande bränslen från effektiva stora produktions- och depåanläggningar, byggda för medeleffekt, i form av diskreta laster har inte dessa nackdelar och merkostnader.

Alternativet lokal produktion i liten skala av gasbränslen (exempelvis väte från förnybar el) och tillhörande tankningsstationer skulle säkerligen vara alltför kostsam även om inte tillgänglig billig råvaruresurs skulle sätta gräns (som för biogas).

4.3 Strategi och prioriteringar

En strategi för biodrivmedel måste bygga på överblickbar teknisk utveckling och ekonomisk rimlighet. Tänkbara flytande drivmedel är alkoholer och syntetiska FT-kolväten. Båda kan användas som komponenter i befintliga bränslen (låginkblandning) för befintliga bilparker utan ändrade prestanda eller något förbättrade och kan med fördel bli huvudbränslen för framtida utvecklade drivsystem, inkl. bränsleceller.

Resultaten från studierna om systemeffektivitet och kostnader i biomassa-baserade system visar som slutsats att metanol producerad via förgasning och syntes har försteg framför FT-kolväten. Förgasningssteget är emellertid ännu inte helt färdigutvecklat och demonstrerat i kommersiell skala. Det är därför angeläget att med prioritet satsa på den utvecklingen (3.7.3), som är gemensam för metanol och FT-kolväten (liksom även DME och vätgas) som slutprodukt.

4.4 Energiomvandlare

Den sannolikt näst bästa användningen av bio-alkoholer (efter låginblandning) är som drivmedel i FFV, som inte kostar mer än vad bensinversionen av fordonet kostar och redan används, om än i ännu blygsam skala. Nischanvändning av FFV (t.ex. i form av personbilar som dagens Ford Focus) kan ses som parallell till låginblandning i bensin och också utgöra en i dag möjlig fortsatt infasning av större kvantiteter bio-alkoholer. Framtida FFV bör optimeras för alkoholbränslet för att dra nytta av möjligheten till högre verkningsgrad och göra dem attraktiva för användaren. FFV kommer att behövas under en många decennier lång övergångsperiod för stor flexibilitet i takten för en överfasning.

Fortsatt utveckling av ADI- och dieselmotor för alkohol bör prioriteras högt men kan knappast komma igång förrän omvärldsvillkoren för bio-alkoholanvändning beslutats (skatter som ger ekonomiskt incitament och/eller andra styrmedel). Tills dess mer omfattande produktion av bio-alkoholer kommit i gång kan både motorutveckling och produktion och anpassning av distributionsapparat ske med fossil metanol som bas. Merkostnaden för denna jämfört med bensin är liten.

4.5 Förutsättningar för att klara EU:s föreslagna mål

I dag finns bara begränsade kvantiteter bio-alkohol (nästan enbart etanol) tillgängliga, otillräckliga för att nå EU:s 2%-mål till 2005. Ytterligare kvantiteter kan på kort sikt bara produceras med spannmål som råvara ehuru fortfarande otillräckliga för den kommersiella potential som låginblandning i all bensin utgör. Närmast i utvecklingen är förmodligen en på svartlut baserad metanol-produktion, som dock ligger minst 4-5 år bort i tiden. Först mot slutet av decenniet kan produktion ur trädrest-biomassa (metanol och/eller etanol) kunna bli verklighet, vilket förutsätter att satsningar påbörjas inom områden där sådana satsningar i dag knappt alls är förberedda.

4.6 Kostnadskrav

Kostnaderna för bio-alkoholer är i dag minst de dubbla per energienhet jämfört med dagens nivå för bensin och dieselolja, och det synes osäkert om de kan pressas mycket under denna dubbla kostnad. För att kunna säljas till samma pris som skattad bensin per energienhet måste beskattningen vara reducerad till mindre än hälften av den för bensin eller att bensinpriset (Rotterdam) är väsentligt högre än i dag. Vid krav på högsta merkostnad för bio-metanol på 1,5 kr/liter bensinekvivalent måste bensinpriset för distribuerad bensin vara lägst 3,7 kr/liter vid ovan antydda kostnad på 5,2 kr/liter bensinekvivalent för distribuerad metanol (produktionskostnad för biometanol på ca 2 kr/liter). Dagens kostnad för distribuerad bensin ligger på ca 2,85 kr/liter och en ökning av den kostnaden i framtiden skulle således krävas för att merkostnadskravet på 1,5 kr/liter skall klaras. EU:s förslag till direktiv för skatt på biodrivmedel anger högst 50% reduktion av den skatt som nu skulle tas ut per volymenhet men som här förutsätts ske på energibas i framtiden. Om inte energibas används diskrimineras bränslen med lägre energiinnehåll än bensin. För dieselolja krävs motsvarande reduktioner i kr/liter, dvs. en väsentligt högre procentsiffra.

4.7 Konkurrens med användning av biomassa i andra sektorer

Biomassa kan användas som energiråvara även i andra sektorer än i transportsektorn. Ofta citeras argumentet att det är bättre att elda upp biomassan än att framställa biodrivmedel. Det kan vara värt att kort kommentera annan användning av biomassa.

Användning av drivmedel i fordon ställer i dag de högsta kraven på kvalitet som överhuvudtaget finns för någon slag storskalig användning av bränsle. Det verkar därför uppenbart att annan användning av biomassan än som råvara för drivmedel vore att föredra. Emellertid är resonemanget inte fullt så enkelt, vilket nedanstående kommentarer visar.

Ett av de mest effektiva sätten att använda biomassa är att direkt eller via fjärrvärme använda biomassan för uppvärmning. Emellertid används redan mycket biomassa för detta ändamål och potentialen i Sverige för en ökning är tämligen begränsad. Användning av biomassa för direktuppvärmning i mindre skala (egnahemshus) är också möjlig men måste begränsas av miljöskäl i tätorterna (trots framsteg med pellets pannor på senare tid). Dessutom finns andra alternativ till minskning av energianvändningen för uppvärmning – framför allt effektivisering (t.ex. isolering av hus) – som är realistiska alternativ och som dessutom är kostnadseffektiva. Den kvarstående stora potentialen vore att exportera biomassan till länder som t.ex. använder kol för uppvärmning.

El kan genereras från biomassa och liksom i det förra fallet är ett utbyte av kol fördelaktigt. Viktigt att notera är dock – vilket inte är allmänt känt – att verkningsgraden vid elgenerering faktiskt är *lägre* än för fullt utvecklade processer för framställning av biodrivmedel från biomassa¹⁷. Detta gäller om spillvärme *inte* tas tillvara i något av fallen. Om hänsyn till detta skall tas krävs en noggrann analys av förutsättningarna för användning av spillvärme men någon väsentlig förändring av skillnaden i verkningsgraden kan knappast förväntas i det fallet heller. Förlusterna är större vid elgenerering i kombi- eller HAT cykel än vid drivmedelsframställning via syntesgas, vilket i sig borde minska skillnaderna mellan alternativen vid användning av spillvärme. Värmet vid elgenerering avges dock vid en låg temperatur och detta är principiellt en stor nackdel då t.ex. fjärrvärme måste ha en viss temperaturnivå. Å andra sidan är förlusterna mer ”diffusa” vid drivmedelsframställningen och kan därför vara svårare att utnyttja. Sett utifrån verkningsgradssynpunkt torde inte elgenerering ha någon fördel jämfört med drivmedelsframställning, oberoende av om spillvärme tas tillvara eller ej¹⁸. Frågan borde dock undersökas noggrannare. Endast i enstaka fall när el kan användas med en ”uppväxling” – som t.ex. i värmepumpar – är elgenerering mer fördelaktig ur klimat- och verkningsgradssynpunkt än att framställa drivmedel. Även i detta fall är dock potentialen begränsad och mindre än tillgången på biomassa.

Vid generering av el från biomassa och vid framställning av drivmedel kommer en av ”biprodukterna” att vara värme. En del av denna värme kan användas för uppvärmning och

¹⁷ I den tidigare citerade studien för Vägverket [7, 8] förutsattes en mycket avancerad (framtida) teknik för elgenerering som bl.a. innebär en kombination av gasturbin- och ångcyklerna, en s.k. HAT-cykel. Verkningsgraden för denna antogs till 55%, vilket är väsentligt högre än de drygt 30% som kan nås med enbart ångturbin. Förluster i andra steg i livscykeln tillkommer dock, vilket minskar verkningsgraden. Med hänsyn taget även till distributionsförluster för elen erhålls en total verkningsgrad på 33% för distribuerad el från biomassa. Vid framställning av DME, det drivmedel som har högst verkningsgrad, kan en total verkningsgrad på 54% nås. Förhållandet mellan dessa siffror är 0,61 (eller omvänt 1,64), dvs. 39% högre effektivitet i drivmedelsfallet!

¹⁸ Tyvärr förekommer i många fall jämförelser där användning av spillvärme förutsätts vid elgenerering men där detta inte beaktas för drivmedelsframställningen.

denna användning minskar följaktligen potentialen för ytterligare användning av biomassa för (direkt) uppvärmning. Omvänt skulle stora satsningar på att direkt använda biomassan för uppvärmning minska potentialen för att utnyttja spillvärme från framtida el- och drivmedelsframställning.

Generellt sett är substitution av kol med biomassa (t.ex. för el och/eller värme) en mycket fördelaktig användning eftersom kol är det ”sämsta” drivmedlet ur klimatsynpunkt. Internationellt ses dock även naturgas som en stor ersättare för kol – en applikation som också passar väl för naturgasens infrastruktur.

Som framgår av resonemanget ovan finns exempel på användning av biomassa som torde vara mer fördelaktig när det gäller klimatpåverkan och energieffektivitet än framställning av biodrivmedel. Potentialen är utöver elgenerering dock begränsad till något tiotal TWh i bästa fall och är således mindre än tillgången på biomassa. Vill man använda mer av biomassepotentialen måste biomassan antingen exporteras eller också återstår elgenerering med ev. export av elen. Mot bakgrund av dessa förutsättningar ter sig en användning av biomassa för framställning av biodrivmedel som ett realistiskt alternativ som är värt att undersöka parallellt med de övriga alternativen. Det stora problemet är kostnaden för biodrivmedel och insatserna bör följaktligen koncentreras inom detta område.

4.8 Slutsatser

I tidigare studier av Ecotrafic har de mest effektiva biodrivmedlen ur verkningsgradssynpunkt kunnat identifieras. En hög verkningsgrad är ofta synonymt med en låg kostnad även om denna kostnad alltjämt är mycket högre än för konventionella fossila drivmedel. Drivmedel som DME, vätgas och metanol har framstått som de biodrivmedel som har högst systemverkningsgrad.

När även distribution av drivmedel beaktas tillkommer höga kostnader i detta led för drivmedel som är gasformiga vid normalt tryck och temperatur. Distribution av gasformiga och kryogena drivmedel ter sig inte realistiskt i större skala och för allmän användning. Inom överskådlig framtid kommer således dessa drivmedel att vara förpassade till vissa nischer. Det stora genomslag som krävs för att nå långsiktiga mål kan bara nås med lätthanterliga flytande drivmedel och genom en fokusering på den lätta fordonsparken och tunga långtra-dare.

För att mer storskaliga satsningar på biodrivmedel skall kunna komma till stånd måste man nå en koncensus mellan staten, jord/skogsbruks- fordons- och drivmedelsindustri. Vår bedömning är att en sådan koncensus på kort och medellång sikt (<10 år) bör gå att nå när det gäller låginblandning av bioalkoholer och FTD i bensin respektive dieselolja för befintliga fordonstyper och bred introduktion av FFV för flexibel ökad användning av bioalkoholer.

Metanol och FTD kan framställas från syntesgas och båda dessa processer är kommersiella med naturgas som råvara. När det gäller syntesgasframställningen krävs dock mera forskning och utveckling innan tekniken kan optimeras för kommersialisering. Ett kraftfullt program, som leder fram till en demoanläggning för produktion av syntesgas från biomassor, är därför angeläget omgående.

Parallellt med de ovan föreslagna satsningarna på framställning av drivmedel måste även en fortsatt utveckling av direktinsprutade ottomotorer för alkoholbränslen (ADI) med bränsleflexibilitet, samt på något längre sikt även alkoholdrivna dieselmotorer efterlysas.

Inom EU kommer sannolikt satsningarna på kortsiktiga (<10 år) lösningar för alternativa drivmedel som RME och etanol (från spannmål motsvarande grödor) av politiska och ekonomiska skäl att vara betydande. En fördel med denna strategi vore att den kan leda till en ökad politisk acceptans för ett accelererat införande av biodrivmedel rent generellt. En nackdel kan vara att en fokusering på dessa drivmedel splittrar resurserna och att detta i sin tur leder till att de ekonomiskt och miljömässigt långsiktigt bästa alternativen fördröjs. Helst bör därför både bränslen och drivsystem vara naturliga steg på vägen för den långsiktiga utvecklingen.

Biodrivmedel är av naturliga skäl (start från mer ursprunglig råvara) mer kostsamma än de som produceras från dagens fossila halvfabrikat (råolja, naturgas). En förutsättning för att industriella aktörer skall engagera sig för utvecklingen mot långsiktigt hållbara transporter är att omvärldsvillkoren (mål, skatter, administrativa styrmedel) blir långsiktigt fastställda och internationellt harmoniserade.

5 REFERENSER

- 1 Edited by the Commission of the European Communities: "Communication from the Commission on *alternative fuels for road transportation and on a set of measures to promote the use of biofuels.*" COM(2001) 547, 7 November 2001.
- 2 Birky A. (NREL), Greene D. (ORNL), Gross T. (DOE), Hamilton D. (DOE), Heitner K. (DOE), Johnson L. (ANL), Maples J. (Trancon Inc.), Moore J. (TA Engineering, Inc.), Patterson P. (DOE), Plotkin S. (ANL) and Stodolsky F. (ANL): "Future US Highway Energy Use." DOE, draft May 3, 2001.
- 3 Rogner H. H.: "An Assessment of World Hydrocarbon Resources." Annual Review of Energy and the Environment, 22:217-262, 1997.
- 4 Edited by GM, ANL; BP, Exxon/Mobil and Shell: "Well-to-Wheel energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – *North American Analysis* – ". GM, ANL, BP, Exxon/Mobil and Shell, available at the Internet site of ANL: www.transportation.anl.gov/ttrdc/publications/, 2001.
- 5 Wang M. (ANL), personal communication, 2001.
- 6 Louis J. J. J.: "Well-To-Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions for Various Vehicle Technologies" SAE Paper 2001-01-1343, 2001.
- 7 Ahlvik P. och Brandberg Å. (Ecotrafic): "Systemeffektivitet för alternativa drivmedel – *Olika drivmedel och drivsystem/motorer i ett livscykelerspektiv 2012*" Vägverket Publikation 2001:39, tillgänglig på www.vv.se, 2001.
- 8 Ahlvik P. and Brandberg Å. (Ecotrafic): "Well-to-wheel efficiency for alternative fuels from natural gas or biomass" Swedish National Road Administration, Publikation 2001:39, available at the Internet site of SNRA at www.vv.se, 2001.
- 9 Prepared by SDAB: "Alcohols and alcohol blends a motor fuels", STU:s information 580-1986 (part of the IEA co-operation), 1986.
- 10 Edited by ACEA, AAM, EMA and JAMA: "World-Wide Fuel Charter." Available at the Internet site of ACEA: www.acea.be, 2000.
- 11 Edited by Austrian Biofuels Institute: "Biodiesel – a success story", 2002.
- 12 Brandberg Å. och Sävbarck B. (Ecotrafic): "Distribution av motoralkoholer." KFB-Meddelande 1996:23, 1996.
- 13 Brandberg Å. (Ecotrafic), Sävbarck B. (Ecotrafic), Landälv I. (Nykomb Synergetics), och Lindblom M. (Nykomb Synergetics): "DME – Drivmedel för dieselmotorer – Produktion, distribution och användning." KFB-Meddelande 1997:30, 1997.
- 14 Bjurling C., Svenska biogasföreningen (SBGF), personligt meddelande, 2001.

BILAGEFÖRTECKNING

Bilaga 1: Tillverkning av etanol från cellulosaråvara

Bilaga 2: Motorer och drivsystem

Bilaga 3: Rapsmetylester (RME)

TILLVERKNING AV ETANOL FRÅN CELLULOSARÅVARA

(Sammanfattning och några kommentarer över ingenjörstudie)

NREL teknisk rapport NREL/TP-580-26157, July 1999, "Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis Current and Futuristic Scenarios (Wooley, R. et al).

Sammanfattningsvis visar studien att de amerikanska beräkningarna, som ger låga och ofta citerade etanolkostnader (3,2 – 1,7 kr/liter absolut etanol vid dollarkurs på 8,5 kr), beror på billig råvara (4,4 öre/kWh) med högt cellulosa+hemicellulosa-innehåll (67%) från stora näraliggande energigrödeodlingar och produktion i stora anläggningar (250 000 m³/år). Framtida teknikutveckling har också intecknats maximalt. I energitermer nås dock inte mer än 45% av råvarans energiinnehåll (LHV) i slutprodukterna i energimässigt självförsörjande anläggning. Med normala svenska råvarukostnader och egenskaper torde man i optimerad anläggning på dagens tekniknivå inte kunna komma under 4 kr/liter etanol.

Råvaror

Som råvara diskuteras "switchgrass" och "corn stovers" från odlingar runt en anläggning i Alabama. Avkastning för switchgrass anges till ca 15 t/ha,år TS och en kostnad i området USD28-41/t. För ingenjörstudien används dock data för "yellow poplar" med innehåll av cellulosa på knappt 43%_m och hemicellulosa på ca 24%_m, summa ca 67%_m av TS. Fukthalt "as received" 47,9%_m. Teoretiskt etanolutbyte är 483 liter/t TS, motsvarande ett energiutbyte på 53% på LHV-bas innan anläggningens nettoenergibehov täckts. I ett futuristiskt fall för år 2015 antas en genetiskt modifierad råvara med halverad ligninhalt och innehåll av cellulosa på 51%_m och hemicellulosa på nära 29%_m, totalt 80%_m, och med teoretiskt etanolutbyte på 575 liter/t TS.

Process - Anläggning

Anläggningsstorlek valdes för insats av 2000 t/d TS (83,3 t/h) eller ca 445 MW (råvarans LHV ges inte utan antas typiskt vara 19,2 MJ/kg eller 5,33 kWh/kg). Skalfördelar anges med en tiopotens överträffa ökade transportkostnader för råvarutillförsel. Råvarukostnad i intervallet USD 16,5 – 44,1/t TS studeras. En hälften så stor anläggning skulle i switchgrass-fallet få USD2/t lägre råvarukostnad och en dubbelt så stor USD3/t högre kostnad.

Genomräkning av mass- och energibalanser för ett antal olika fall i en energimässigt självförsörjande anläggning har gjorts. För täckande av energibehov (ånga, el) bränns i ångpanna mekaniskt avvattnad ligninrestprodukt, industriadslut och biogas från anaerob rening. I alla fall utom det med högst etanolutbyte (modifierad råvara) erhålls ett litet överskott som säljs som el. Enzymproduktionen sker internt ur råvaran.

Basfallet är dagens teknikstatus (slutet 1998) och därefter en näraliggande optimering av detta och sedan intecknas antagen utveckling till 2005, 2010 resp. 2015, vilket innebär

bättre mikroorganismer, effektivare enzymproduktion, ökade konverteringsutbyten, snabba konvertering och därigenom mindre och billigare utrustning, högre energieffektivitet, etc. I första steget förbättras basfallet genom högre konvertering i förhydrolysen och jäsnings även av alla pentoser. I nästa steg (2005) är enzymproduktionen effektivare, och mikroorganismer för högre arbetstemperatur har i huvudsteget införts med halverad konverteringstid (till 3,5 d) och lägre förluster som följd. I nästa steg (2010) har enzymproduktionen ytterligare effektiviserats, konverteringstiden minskats ytterligare till 2 dagar och konverteringsgraden förbättrats samtidigt som förluster i anläggningen minskats. I sista fallet (2015) används den modifierade råvaran, som ger högre teoretiskt etanolutbyte (ca 575 liter/t TS) men kräver extra bränsle (råvara) för att täcka anläggningens energibehov. Tabellen nedan sammanställer tekniska data. I årsproduktionen har antagits mycket långa drifttider, över 8400 hr/år eller 96-97 % av teoretiskt tillgänglig tid.

Tabell B1.1. Tekniska data för etanolframställning från cellulosaråvara

Fall	Base	Industry best	2005	2010	2015
Driftdata					
Förhydrolysgrad, %	75	85	85	85	85
Hydrolys/jäsnings-tid, dagar	7	7	3,5	2	2
” temp., °C	30	30	55	55	55
Konvert. Cellulosa t. glykos, %	80	80	80	90	90
Glykos t. EtOH, %	92	92	92	95	95
Xylos t. EtOH, %	85	85	85	95	95
Övr. C5 t. EtOH, %	0	85-90	85-90	95	95
Förluster, %	7	7	5	3	3
Drifttid, hr/år	8406	8406	8406	8406	8478
Tillförd råvara, t/år TS	700 500	700 500	700 500	700 500	706 500
” extra bränsle, t/år TS	--	--	--	--	97.140
Producerad EtOH (100%), m ³ /år	197 575	222 555	235 425	273 275	331 185
Överskott - såld el, GWh/år	92	156	174	88	---
Specifika data					
EtOH, liter/ t råvara	282	318	336	390	412
Elöverskott, kWh/kg råvara	0,13	0,22	0,25	0,13	---
EtOH, % av teoretisk	58	66	70	81	81,5
Energiutbyten, av insatt råvara					
EtOH, % på LHV-bas	31,0	34,9	36,9	42,9	45,3
Elöverskott, % ”	<u>2,5</u>	<u>4,2</u>	<u>4,7</u>	<u>2,4</u>	---
Totalt energiutbyte, %	33,5	39,1	41,6	45,2	45,3

Annan råvara i Fall 2015

Etanolproduktion (absolut) från 700 500 t/år råvaru-TS beräknas öka från knappt 200 000 m³/år till nära 275 000 m³/år genom teknikutvecklingen (och till drygt 330 000 genom bättre råvara) och utbytet av teoretisk mängd etanol från 58% till nära 81%. I det fallet med bättre råvara behövs dock extra råvara för energiförsörjningen, då restprodukterna inte räcker till, och utbytet på summa råvara stannar på 71% av teoretiskt. I energitermer ökar etanolutbytet från 31% till 43% av insatt råvara (på basis av antagen råvaru-LHV på 19,2 MJ/kg eller 5,33 kWh/kg) och till drygt 45% med den bättre råvaran. Elöverskottet ökar totalutbytestalet med 2,5 - 4,5% till 33,5 - 45% (med 6-11% som lignin till max 49%). I fallet med bättre råvara finns inget elöverskott.

Antagna konverteringsgrader i de olika stegen ledande till nära 81% av teoretiskt utbyte 2010 är nog praktiskt maximum. Det ger med vald råvara, som har rätt högt innehåll av cellulosa+hemicellulosa (67%_m), 390 liter etanol per ton TS. I energitermer blir utbytet drygt 45% (LHV), varav 43% som etanol och drygt 2% som el.

Ekonomi

Investeringskostnader är beräknade i 1997 års USD med noggrannhet, som uppskattas vara +25%/-10% och avser "the nth plant" d.v.s. inte en första anläggning utan efter det tekniken mognat. Rörliga driftkostnader (råvara, kemikalier, filter, avloppsrening, biproduktkreditering) och fasta (arbete, overhead, underhåll, försäkring, skatt) beräknas ur historiska data och indexuppräknas. Posterna används för att i nuvärdeskalkyl beräkna etanolkostnad (behövligt etanolpris) vid nuvärdet noll för projektet. Använd kalkylmodell är en som utarbetats av IRS i USA och parameter är bl.a. 10 % diskonteringsränta, 20 års ekonomisk livslängd och 7 års avskrivning av processanläggning. Resultatet innebär en kapitalkostnadsfaktor på 18,2 % av investeringen. Tabellen nedan sammanfattar kostnadsdata per liter producerad etanol vid kreditering av såld el för 4 cents/kWh (1995).

Tabell B1.2. Ekonomi för etanolframställning från cellulosaråvara

Fall	Base	Industry best	2005	2010	2015
Investering. USD (1997)	234	205	169	156	159
D:o per kW råvara	526	461	380	350	314
Produktionskostn. USct/liter					
Råvara à USD27,5/t TS	9,78	8,68	8,21	7,07	6,67
Rörliga (övriga)	4,83	4,83	3,7	3,0	2,6
Fasta	3,78	3,36	3,17	2,73	2,26
Kapital	21,5	16,7	13,0	10,4	8,72
Kreditering, el	<u>-1,89</u>	<u>-2,86</u>	<u>-3,00</u>	<u>-1,31</u>	<u>---</u>
Total	38,0	30,7	25,0	21,8	20,2

Anmärkningar:

- ^a Siffror i fetskrift är givna i rapporten (Internet), övriga beräknade av författaren.
^b Annan råvara i fall 2015.

Behövt etanolpris är således från 3,2 till 1,85 kr/liter (samma råvara) om dollarn kostar 8,5 kr. Råvarukostnaden är låg (motsvarar 4,4 öre/kWh) vilket gäller även vid högsta använd kostnad, USD44/t. Ofta använd svensk råvarukostnad är 10 öre/kWh motsvarande USD63/t vid nämnd valutakurs. Vid denna råvarukostnad blir behövt etanolpris från 4,3 till 2,6 kr/liter. Med den bättre råvaran beräknas kostnaden vara 15-20 ö/lit. lägre.

2000-05-25. ÅBg

2000-06-06, rev.

MOTORER OCH DRIVSYSTEM

Bakgrund och definitioner

Först kan en definition av några begrepp vara nödvändig. Med en *energiomvandlare* avses i detta sammanhang en ”motor” som omvandlar kemisk energi (bränsle) till någon annan form av energi, t.ex. mekanisk energi eller elektricitet som kan användas för fordonets framdrivning. De energiomvandlare som belysts här är de konventionella förbränningsmotorerna av otto- och dieseltyp samt bränslecellen. Beteckningen ”*drivsystem*” är något tvetydig då den ibland används för att beteckna energiöverföringen från motor till hjul och i vissa fall innefattas även energiomvandlaren i drivsystemet. En översikt av de olika energiomvandlarna ges nedan.

Även om syftet med denna bilaga har varit att beskriva förutsättningarna för att använda alternativa drivmedel i större skala, dvs. att i möjligaste mån utnyttja respektive drivmedels fördelar, måste man börja med att beskriva energiomvandlare och drivsystem. Av förståeliga skäl styrs utvecklingen inom detta område av att de konventionella drivmedlen bensin och dieselolja kommer att användas under överskådlig tid framöver. Även om såväl anpassningar som optimeringar kan vara möjliga att göra för alternativa drivmedel kommer ändå basen för utvecklingen att läggas utifrån de krav som ställs för att motorerna och drivsystemen skall ha optimal funktion för de konventionella drivmedlen. Därför måste även denna utveckling beskrivas som grund för den tänkta framtida utvecklingen för alternativa drivmedel.

Ottomotorn

Den konventionella ottomotorn

Ottomotorn kännetecknas av att den (som regel) använder i förblandning¹ av bränsle och luft och att denna blandning antänds av en gnista (tändstift). Luft-bränsle förhållandet är stökiometriskt, dvs. luft och bränsle tillförs i ”lagom” proportioner ($\lambda=1$) vid de flesta driftsfall. Äldre varianter av ottomotorn använde en förgasare för att förångas och förblanda bränsle-luft blandningen men numera används uteslutande någon form av insprutning i ottomotorer för personbilar. Normalt sker denna insprutning i inloppsröret eller i inloppskanalen och benämns därför ofta för ”indirekt” insprutning. Alla emissionskomponenter förutom partikelemissionerna är generellt höga för ottomotorer (före katalysatorn) men de minskas drastiskt genom användning av katalysator. Med hjälp av katalysatorn minskas alla de tre reglerade emissionskomponenterna CO, HC och NO_x med i storleksordningen en till två tiopotenser. En minskning av icke reglerade (ibland hälsofarliga) emissionskomponenter sker även i katalysatorn i ungefär samma omfattning som för HC emissionerna.

¹ Med förblandning avses att bränsle och luft blandats väl (dvs. i praktiken ned till molekylär nivå) innan den antänds. Man brukar säga att blandningen är homogen.

Ottomotor med direktinsprutning

En nyare variant av bränsle-luft preparering är att bränslet² sprutas in direkt i motorn, så kallad direktinsprutning. Med detta system kan en skiktning av bränsle-luft förhållandet i förbränningsrummet genereras, vilket i sin tur medför att en totalt sett magrare bränsle-luft blandning kan åstadkommas. Fördelen med detta koncept är en lägre bränsleförbrukning, ca 12% enligt Ecotraffics uppskattning med dagens tekniknivå, jämfört med den konventionella ottomotorn. Det största bidraget till denna reduktion är att de så kallade pumpförlusterna minskar. Detta åstadkoms genom att luftöverskottet ökas och därigenom kan luftspjället (trotteln) öppnas med ett väsentligt lägre tryckfall som följd. Jämfört med den konventionella ottomotorn minskar direktinsprutningen CO och NO_x emissionerna (före katalysatorn) medan HC och partikelemissioner (som i och för sig inte är reglerade för ottomotorer) tenderar att öka. Katalysatorn minskar CO och HC emissionerna, liksom i det förra fallet, men minskningen av NO_x emissioner har hittills inte varit lika hög på grund av syreöverskottet. Nya katalysatorer håller dock på att utvecklas och dessa har redan börjat introducerats i några få bilmodeller, vilka innebär att ”handikappet” jämfört med de konventionella ottomotorerna minskar. Utvecklingen inom de närmaste åren torde leda till att direktinsprutade bensinmotorer får ett mycket stort genomslag. Den främsta orsaken är den lägre bränsleförbrukningen och de möjligheter som finns att nå målen för CO₂ som satts upp till 2008 respektive 2012 (t.v. indikativt mål).

Ottomotor med fullvariabel ventilstyrning

Ytterligare ett koncept för att minska bränsleförbrukningen har nyligen kommersialiserats av BMW. Detta koncept styr bränsle-luft tillförseln genom att en så kallad fullvariabel ventilstyrning (ventillyft, period och läge) används. Detta sker utan att luftöverskottet förändras ($\lambda=1$ kan behållas). Någon eller några efterföljare kan förväntas bland tillverkarna av lyxbilar inom en nära framtid. Vår bedömning är att bränsleförbrukningen kan minska med ca 8% med dagens koncept för ventilstyrning, dvs. något mindre än för direktinsprutning³. Framtida system kan sannolikt nå något större reduktion. Den stora fördelen med systemet jämfört med direktinsprutningen är att den konventionella avgasreningen kan behållas (dvs. höga emissioner före katalystorn men låga efter den).

Framtida utveckling av ottomotorer

För de analyser av framtida drivsystem har författarna förutsatt att de framtida ottomotorerna kommer att använda direktinsprutning och att penetrationen av fullvariabel ventilstyrning initialt blir liten. En kombination mellan direktinsprutning och fullvariabla ventiltider medför ej heller att potentialen kan adderas. Synergieffekten torde bara vara någon procentenhet och kan i dag inte förverkligas eftersom insprutningssystemen för direktinsprutning inte klarar bränsle-luft prepareringen med de förändringar i luftrörelserna som blir följden av den fullvariabla ventilstyrningen. Sannolikt kan detta problem klaras med framtida system för direktinsprutning men potentialen i form av ytterligare minskad bränsleförbrukning är tämligen liten.

² Bensin är det enda bränsle som hittills används i kommersiella direktinsprutade ottomotorer men principiellt skulle direktinsprutning även kunna fungera för andra drivmedel.

³ BMW anger i och för sig en minskning med 10% för den bilmodell (3-serien) som presenterats med den första av en hel serie motorer. I den totala förbättringen ligger dock också en del andra förbättringar (friktion, 4 ventiler, nedskalning av motorstorleken m.m.), vilket medför att den relativa förbättringen för konceptet är mindre i praktiken än den som anges för den nya bilen i förhållande till den gamla.

Alternativa drivmedel i ottomotorer

Alkoholer kan användas i konventionella ottomotorer och har vissa gynnsamma egenskaper men också vissa problem. Alkoholerna har högt oktantal och högt förångningsvärme, vilket leder till högre effekt och (något) högre verkningsgrad. Vidare kan en alkoholmotor också göras bränsleflexibel (FFV) om en viss kompromiss görs mellan användning av bensin och alkoholer. Ett problem för alkoholmotorer är dock de ökade emissioner vid kallstart och det rent generella problemet med att få motorn att starta. Emissionsökningen är relativt sett ännu större än för bensinmotorer och försämrar således den emissionsbild som generellt sett är mer positiv än för bensin vid högre temperaturer.

Författarna har förutsatt att de framtida ottomotorerna för alternativa drivmedel kommer att använda direktinsprutning precis som de framtida bensinmotorerna. Detta ger i vissa fall mycket gynnsamma egenskaper och skulle mer eller mindre kunna lösa problemet med kallstart av alkoholmotorer. I analogi med den allmänt förekommande benämningen "GDI", som i och för sig är ett varumärke för Mitsubishi, skulle motsvarande alkoholmotor kunna benämnas "ADI". Alkoholer har egenskaper som lämpar sig mycket väl för denna typ av motor. Även om denna lösning ter sig mycket tilltalande del fall finns också vissa problem som måste lösas med fortsatt utveckling. Det är t.ex. inte helt uppenbart att en lika bra kompromiss för en bränsleflexibel motor kan åstadkommas som för konventionella ottomotorer, även om de begränsade resultat som nu finns tillgängliga visar att detta kanske är möjligt.

Gasformiga drivmedel, som t.ex. metan och propan, har ett högt oktantal, vilket är gynnsamt för ottomotorer. Vidare finns en väsentlig fördel vid kallstart med gasformiga bränslen eftersom bränslet ju redan är i gasform vid insprutningstillfället. Därmed minskar kallstartemissionerna avsevärt jämfört med bensin. En nackdel är att gasformiga bränslen tar mer plats i cylindern och därmed minskar motoreffekten jämfört med bensin. Emissions tester antyder också att problem kan finnas vad gäller den långsiktiga stabiliteten för emissionsnivån. Mer data behövs dock för att utröna om detta är en generell egenskap som kan hänföras till bränslet eller om det är fråga om rena barnsjukdomar hos den första generationen bilar. När det gäller användning av gas i tunga fordon kan man notera att dessa motorer som regel konverterats från dieselmotorer till ottomotorer. Detta kan ge vissa emissionsmässiga fördelar men också lägre verkningsgrad än den ursprungliga dieselmotorn. Oftast använder dessa gasmotorer en så kallad mager förbränning (lean-burn) men trevägskatalysator (TWC) förekommer också. Fördelen för lean-burn är en högre verkningsgrad medan TWC ger lägre emissioner.

Även för gasformiga drivmedel finns möjligheter att använda direktinsprutning av bränslet men i detta fall är de tekniska problemen större än för alkoholer. Skall insprutningen ske i gasform (kryogen vätska vore en annan möjlighet) är det ju fråga om en större volym än för flytande drivmedel och därmed krävs större kompressionsarbete och mer plats för insprutare i cylinderhuvudet. Vidare är det svårt att tänka sig att en sådan insprutare skall kunna kombineras med direktinsprutning av bensin. Därmed försvåras möjligheterna att göra en tvåbränslemotor (bensin och gas).

Mer ingående beskrivningar av ottomotorer och förutsättningarna för användning av alternativa drivmedel i dem finns bl.a. i rapporter från en studie om systemeffektivitet som Ecotrafic tagit fram för Vägverket [1, 2]⁴.

⁴ Siffror inom hakparenteser avser referenser som listats i slutet av respektive bilaga.

Dieselmotorn

Dieselmotorns funktionsprincip

Dieselmotorn arbetar till skillnad från den konventionella ottomotorn med stort luftöverskott. Vidare sker insprutningen (i moderna dieselmotorer) direkt i cylindern och tändningen sker med hjälp av den höga kompressionstemperaturen och det höga trycket. Verkningsgraden är väsentligt högre för dieselmotorer än för ottomotorer. Detta beror främst på de låga pumpförlusterna (ingen strypning med spjäll) och det höga kompressionsförhållandet. Den ofullständiga blandning av bränslet och luften är principbetingad för den typ av insprutning som används i dag och ger upphov till sotbildning. Den sena insprutningen är en fördel genom att mindre mängd bränsle hamnar i spalter runt förbränningsrummet, vilket i sin tur ger fördelar när det gäller CO och HC emissioner.

Sammantaget ger förutsättningarna enligt ovan upphov till den emissionsbild som av tradition är förknippad med dieselmotorn. CO, HC och NO_x emissioner är som regel lägre från motorn jämfört med en ottomotor medan partikelemissionerna är högre. CO och HC kan oxideras i en oxidationskatalysator medan NO_x tillsvidare inte kunnat reduceras i katalysatorer. Inom något år (2003 har nämnts) kommer en liknande teknik för NO_x reduktion som för direktinsprutade ottomotorer enligt ovan att kunna tillämpas. Teknik för att minska partikelemissionerna genom användning av partikelfilter kommersialiserades för ca 1 år sedan av Peugeot och flera andra biltillverkare har aviserat att de också planerar att introducera partikelfilter. I och med användningen av partikelfilter och NO_x reducerande katalysator kommer emissionerna av dessa emissionskomponenter för dieselmotorer att i framtiden ligga på en liknande nivå som för ottomotorer.

Alternativa drivmedel i dieselmotorer

Dieselmotorer kan också köras på alternativa drivmedel. RME och F-T dieselolja (FTD) är "naturliga" dieselmotorbränslen med tillräckligt (eller mycket högt) cetantal som dessutom är blandningsbara med konventionell dieselolja. Energiinnehållet ligger endast något lägre än miljöklass 1 dieselolja. Drivmedlen erbjuder därför mer eller mindre en bränsleflexibilitet, vilket är särskilt viktigt under en introduktionsfas. NO_x emissionerna blir generellt något högre för RME och något lägre för FTD jämfört med Mk 1 dieselolja. För en dedikerad motor kan egenskapen att RME och FTD har en lägre sotbildning än dieselolja användas som en fördel genom att mängden recirkulerade avgaser, s.k. EGR (Exhaust Gas Recirculation) kan ökas. Detta minskar NO_x-bildningen.

DME är ett utmärkt dieselmotorbränsle med sannolikt bättre emissionsegenskaper än alla andra alternativa drivmedel för dieselmotorer. Sotbildningen upphör praktiskt taget med DME och även NO_x emissionerna minskar avsevärt jämfört med dieseloljan. Fördelen vid användning av EGR är större än för RME och FTD. DME torde på grund av sin enkla kemiska sammansättning ge mycket låga emissioner av hälsofarliga emissionskomponenter men detta är ännu bara nöjaktigt dokumenterat. Tyvärr är DME inte blandningsbart med dieselolja och kräver en anpassning av insprutningsutrustning, samt speciella tankar och tankningsutrustning. En hel del forskning och utveckling måste göras inom detta område. Några fordon för DME finns ännu inte kommersiellt tillgängliga. DME kan om några år introduceras i speciella fordonsflottor men måste under överskådlig framtid ses som ett nischdrivmedel.

Alkoholer kan användas i dieselmotorer men man måste då förlita sig på någon form av tändhjälp (t.ex. kemiskt tändtillsats i bränslet, glödstift, el. dyl.). Fördelar finns för alkoholerna genom lägre NO_x och partikelemissioner, där fördelarna är större än för RME och FTD men kanske dock inte fullt så stora som för DME. Emellertid man kan också konstatera att koncepten för att använda alternativa drivmedel ännu inte är fullt utvecklade. Internationellt görs tyvärr mycket lite på alkoholdrivna dieselmotorer och några motorer för personbilar med denna teknik finns överhuvudtaget inte kommersiella. Detta trots att ett par motorer utvecklades till prototypnivå med goda resultat för ca ett decennium sedan. En nackdel med alkoholer är att de inte är blandningsbara med dieselolja och därför kan knappast detta koncept bli aktuellt förrän efter en introduktionsfas.

Gasformiga drivmedel som metan och propan är typiska ottomotorbränslen genom sitt höga oktantal. Det finns dock teknik för att använda dieselprincip även för dessa drivmedel. Fördelen är en högre verkningsgrad än en ottomotor men det innebär också att de klassiska dieselmotorproblemen med NO_x och partikelemissioner uppträder (kanske något mindre accentuerat) även med gas som bränsle. Utvecklingen har dock inte hunnit speciellt långt än inom detta område och kommersiella motorer till tunga fordon finns ännu hittills bara i USA (t.ex. Caterpillar). För lätta fordon används ännu inte tekniken kommersiellt och det får väl också anses tveksamt om denna applikation är lika väl lämpad för tekniken som stationära motorer och motorer till tunga fordon.

Bränsleceller

Bränsleceller kan omvandla kemisk energi direkt till el och har på så sätt en potential till en högre verkningsgrad än förbränningsmotorer. Internt måste de bränsleceller som för närvarande är aktuella för framdrivning av fordon använda vätgas som bränsle. Möjligen kan så kallade direktmetanolbränsleceller bli aktuella på lite längre sikt om ett tekniskt genombrott görs i utvecklingen. Det "bästa" bränslet för bränslecellen är således vätgas; övriga bränslen måste omvandlas (reformerar) till vätgas för att kunna användas. Den reformering som krävs orsakar energiförluster och är förknippad med diverse tekniska problem. Enklast är metanol och DME att reformera och svårast är metan, bensin och dieselolja. Övriga drivmedel hamnar mellan de två nämnda kategorierna. För bensin och dieselolja krävs helt andra bränslespecifikationer än i dag för att dessa skall vara möjliga att använda i bränsleceller. För metanol finns åtminstone teoretiskt en möjlighet att använda internreforming i en så kallad DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) bränslecell. Tillsvidare är verkningsgraden lägre för en DMFC än för en PEMFC men förutsatt att de tekniska problemen kan lösas finns en potential till en verkningsgrad på ungefär samma nivå även för den förstnämnda. En avsevärd förenkling av systemet skulle kunna åstadkommas med en DMFC jämfört med en PEM med reformer.

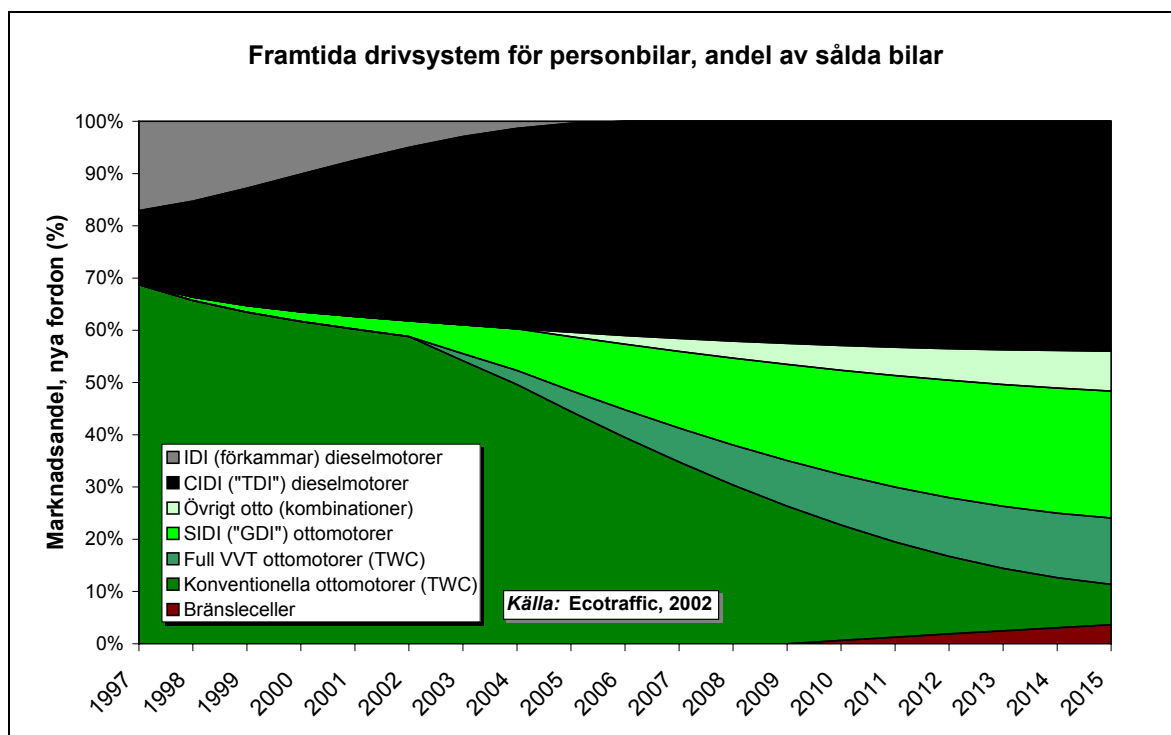
Verkningsgraden i bränslecellen är som nämnts hög och speciellt hög är den vid låga laster. Nödvändig hjälputrustning (pumpar, fläktar m.m.) minskar verkningsgraden, företrädesvis vid låga laster, vilket minskar den potentiella fördelen i detta driftsfall. Per definition behövs ett elektriskt drivsystem för att driva hjulen. Verkningsgraden i detta drivsystem är lägre än för mekaniska växellådor. Ett energilager kan också användas i de elektriska drivsystemen och det kan då karakteriseras som ett hybridsystem (mer därom nedan). Emissionerna från en vätgasdriven bränslecell och från en direktmetanolcell är praktiskt taget noll. Används en reformer tillkommer emissionerna från denna men förutsättningar verkar finnas för att dessa emissioner skall kunna hållas mycket låga. Det stora problemet

för bränslecellerna torde vara den höga kostnaden och att de drivmedel man föredrar (metanol och vätgas) inte finns allmänt tillgängliga i dag.

Helt klart är att bränsleceller kommer att favorisera drivmedel som antingen kan användas direkt (vätgas i PEMFC eller metanol i DMFC) eller som kan reformeras med hög verkningsgrad och på ett enkelt sätt (metanol och DME).

Marknadspenetration för olika energiomvandlare

Det kan vara av intresse att kort kommentera den möjliga marknadspenetrationen för de tre olika energiomvandlarna eftersom detta ju också påverkar den möjliga användningen av alternativa drivmedel. I enskilda länder i Europa styrs användningen av bensin och dieselolja, och därmed också valet av de två olika motortyperna, av en mängd nationella förutsättningar. Skillnaden mellan länderna är stor och en uppskattning för ett enskilt land är knappast möjligt då en mängd politiska beslut har stor inverkan. Något enklare är det att göra en uppskattning på europeisk basis. En sådan uppskattning har gjorts för personbilar av Ecotrafic och den visas i **Figur B1.1**. Underlaget till figuren är en tämligen enkel matematisk modell och indata har uppskattats av författarna utifrån några förutsättningar som kort beskrivs nedan. Modellen gör inget anspråk på att vara fullständigt korrekt för tidsperioden 1997 till 2002 och har således inte korrigerats för exakt överensstämmelse med historiska data.



Figur B1.1. Framtida drivsystem för personbilar

Prognosen i **Figur B1.1** visar generellt en ökande penetration av bilar med dieselmotorer. Det pågår nu också en övergång från motorer med indirekt (IDI) till direkt (DI) insprutning. Inom något år kommer denna övergång att vara fullbordad. De stora investeringar i teknik för dieselmotorer till lätta fordon som nu görs i Europa kommer sannolikt att leda

till en ökad acceptans för och efterfrågan av dieslbilar. Förutom den självklart nödvändiga minskningen av emissionerna kan också väsentliga förbättringar av andra viktiga egenskaper som buller och prestanda förväntas med ny teknik. Investeringarna i den nya tekniken måste också manifesteras i en ökad penetration för att kunna motiveras. Den ökade penetrationen av dieslbilar kommer enligt vår uppfattning dock att mattas något mot slutet av perioden och stabiliseras på ca 40% eller något däröver. Orsaken till denna avmattning är främst att andelen dieselolja vid raffinaderiet inte kan ökas till en godtyckligt hög nivå. Långsiktiga investeringar måste också avskrivas och detta leder till en "naturlig" maximal nivå för dieseloljan. Oljebolagens prissättning kommer sannolikt också att medverka till denna "självreglering" av andelen dieselolja. En ökad handel med länder som har en betydligt högre andel bensin (t.ex. USA⁵) vore möjlig men även denna handel kan vara begränsad. Sannolikt kommer dieseloljans pris (utan skatter) i förhållande till bensin att öka som följd av detta. Det är också troligt att skillnaden i skatt mellan bensin och dieselolja i de olika EU-länderna kommer att minska, vilket också minskar konkurrensfördelen för diesel.

Konventionella bensinmotorer kommer i framtiden att minska i popularitet till förmån för direktinsprutade motorer och motorer med fullvariabel ventilstyrning. Den förstnämnda tekniken introducerades redan för några år sedan av Mitsubishi. En större penetration av tekniken i en andra "våg" kan nu förväntas efter att ny avgasreningsteknik utvecklats. Fullvariabel ventilstyrning har introducerats av BMW och kommer säkert att få flera efterföljare, främst bland tillverkare av dyrare bilar. Kombinationer av de båda nämnda teknologierna har inordnats i den senare kategorin. Kategorin "övrigt" innebär kombinationer med annan teknik, t.ex. överladdning och variabel kompression. Slutsatsen är att ottomotorn under de närmaste 10 – 15 åren kommer att genomgå en metamorfos, i syfte att minska bränsleförbrukningen. Skillnaden i bränsleförbrukning mellan bensin och diesel kommer som följd av detta att minska även om bränsleförbrukningen i båda fallen kommer att ligga på en lägre nivå än i dag. Användningen av allt mer sofistikerad teknik för ottomotorerna kommer att leda till ökade kostnader, vilket kommer att minska denna fördel gentemot dieselmotorer. Rent generellt kan man också se att även de tekniska skillnaderna mellan dessa båda motortyper kommer att minska och att synergieffekterna när det gäller utvecklingen av ny teknik kommer att öka.

Bränsleceller kommer enligt vår syn inte att få något stort genombrott under överskådlig framtid. En del prototypfordon kommer att finnas tillgängliga för tester 2003/2004. En begränsad produktion kan kanske starta omkring 2010 men denna produktion kommer bli begränsad till vissa nischer genom en högre kostnad och en begränsad infrastruktur för drivmedelstillförseln. Sannolikt kan inte en storskalig introduktion ske förrän ca 2020.

Drivsystem beaktades inte i **Figur B1.1** ovan. Som tidigare nämnts är det sannolikt att elhybrider kan få ett stort genomslag i framtiden. Det som avgör penetrationen är sannolikt merkostnaden i förhållande till konventionella system. Någon uppskattning av denna penetration har inte gjorts.

⁵ Ett hinder för import av dieselolja från flera marknader, däribland USA, är kapaciteten för framställning av dieselolja med mycket låg svavelhalt. Enligt initierade bedömare kommer man i USA att ha svårt att bygga ut denna kapacitet till 2006 då denna drivmedelskvalitet skall introduceras och utrymmet för export torde därför vara litet.

Kombinationer av drivmedel och energiomvandlare

En översikt av möjliga kombinationer av drivmedel och energiomvandlare visas i **Tabell B2.2**. Ett antal drivmedel har uteslutits (se kommentarer nedan) eftersom de har en mycket liten potential och inte kan klara det 10-procentiga mål som kan anses som en rimlig nivå för prioriterade drivmedel (så kallade huvudbränslen). Någon skillnad på fossila och icke fossila drivmedel behöver inte göras i detta fall.

Tabell B2.2. Drivmedel och energiomvandlare

Drivmedel	Ottomotor	Dieselmotor	Bränslecell
Bensin	Ja	Ej beakt. ^a	Ja ^b
Dieselolja	Nej	Ja	Ej beakt. ^a
RME	Nej	Ja	Ej beakt. ^a
Syntetisk dieselolja (F-T diesel)	Nej	Ja	Ja
Etanol	Ja	Ja	Ja
Metanol	Ja	Ja	Ja
DME	Nej	Ja	Ja
Metan (CNG, CBG & SNG)	Ja	Enbart tunga fordon ^a	Ja
Vätgas (H ₂)	Ej beakt. ^a	Ej beakt. ^a	Ja

Anmärkningar:

- ^a Ej beaktat innebär att bränslet i fråga teoretiskt skulle kunna gå att använda i energiomvandlaren men att detta skulle nödvändiggöra en påtaglig förändring av bränslespecifikationen eller utveckling av energiomvandlaren.
- ^b Bensin i det här fallet skall inte tolkas som ”vanlig” bensin utan som en speciell bensinkvalitet med låg svavelhalt och låg halt av aromater. Således avses en helt ny bensinkvalitet jämfört med de bensinkvaliteter som används i dag.

Bensin är ett naturligt drivmedel för ottomotorer och har använts för detta ändamål i över 100 år. Bensin skulle teoretiskt också kunna användas i dieselmotorer men detta har inte förutsatts eftersom dieselolja har bättre egenskaper för denna motortyp och dessutom är billigare och energieffektivare att producera. Bensin för bränsleceller innebär en helt ny bensinkvalitet som är praktiskt taget fri från svavel och aromater (s.k. reformulerad bensin). En del processer i raffinaderiet behövs inte jämfört med vanlig bensin men några tillkommer, vilket medför att effektiviteten bör bli ungefär lika i båda fallen. Distributionen måste ske separat och under strikt kontroll eftersom vanlig bensin är ett ”gift” för bränsleprocessorn (reformern) och bränslecellen.

Dieselolja kan inte användas i konventionella ottomotorer eftersom oktantalet är för lågt. Teoretiska möjligheter att komma runt detta problem är tänkbara, men inte praktiskt tillämpbara, varför detta inte är något alternativ att beakta. Dieselolja måste reformuleras kraftigt för att kunna användas i bränsleceller, och om det ens vore möjligt, torde dock en reformulerad bensin vara ett bättre alternativ.

För FTD gäller samma som för vanlig dieselolja med den skillnaden att denna bränslekvalitet är tänkbar för bränsleceller. En lättare fraktion (nafta) än FTDn vore dock att föredra av samma skäl som ovan. Eftersom effektiviteten i framställningen är densamma för dessa båda kan de likställas. FTD är blandningsbar med vanlig dieselolja och kan distribueras på samma sätt. Den lägre densiteten innebär dock att motoreffekten minskar för dagens fordon men sannolikt skulle detta kunna tas hänsyn till i framtida motorer (alltså en viss bränsleflexibilitet). FTD torde ha bättre miljöegenskaper än Mk1 dieselolja men problemen med NO_x och partikelemissioner kvarstår.

Alkoholerna kan användas i alla tre typerna av energiomvandlare. Alkoholerna är naturliga ottomotor drivmedel genom det höga oktantalet. För att man skall kunna använda alkoholer i dieselmotorer krävs någon form av tändhjälp. Metanol är enklare att reformera än etanol för användning i bränsleceller.

DME är ett naturligt dieselmotorbränsle men kan svårligen användas i ottomotorer. DME är även ett utmärkt bränsle för bränsleceller genom att det är nästan lika enkelt att reformera som metanol.

Metan är ett naturligt ottomotor drivmedel. Svårigheterna att använda detta bränsle i motorer av dieseltyp har medfört att vi inte beaktat detta alternativ. Man kan notera att de gasmotorer som används i tunga fordon som regel konverterats till ottomotorer och detta alternativ är ju föga intressant för personbilar där ottomotorer redan finns tillgängliga. Tunga gasmotorer som arbetar enligt dieselpincipen utvecklas i och för sig bl.a. i USA men det är långsökt att tänka sig en tillämpning av den tekniken i lätta fordon på den tidshorisont som avses här. Metan är svårt att reformera i ett bränslecell drivet fordon men bör ändå beaktas likväl som bensin. För LPG gäller samma slutsatser som för metan men LPG har inte beaktats på grund av den begränsade potentialen, samt att det finns alternativ användning för LPG.

Vätgas är ett till synes utmärkt ottomotor drivmedel genom det extremt höga oktantalet men denna applikation är ingalunda trivial. BMW har demonstrerat en bil med denna typ av motor. Genom att en högre verkningsgrad kan erhållas i bränsleceller torde intresset för att använda vätgas i förbränningsmotorer framgent vara lågt. En användning i motorer av dieseltyp är teoretiskt möjlig men denna applikation skulle medföra vissa praktiska svårigheter, varför den uteslutits.

De övriga tänkbara drivmedlen (t.ex. RME, LPG och el) har inte beaktats för användning i större skala eftersom de tenderar att bli nischbränslen.

Drivsystem

Drivsystem används här som ett samlingsnamn för olika typer av växellådor och elektriska drivsystem. Även om dessa system är mer eller mindre allmänt bekanta kan det ändå vara av intresse att kort kommentera dem.

Mekaniska och automatiska växellådor

Konventionella mekaniska växellådor är effektivare än automatiska växellådor med momentomvandlare. Ifall den mekaniska växellådan förses med en växlingsautomatik minskar bränsleförbrukningen genom att växlingspunkterna väljs mer optimalt och ett bättre samspel mellan motor och växellåda. Vidareutveckling av detta system kan förutsättas genom

användning av dubbla kopplingar och en integration med ett parallellhybridsystem. Med något kraftigare startmotor och generator än normalt (sannolikt kan generatormotorn även ersätta startmotorn) kan också en start-stopp funktion åstadkommas, vilket också bidrar till en lägre bränsleförbrukning (exempelvis använder den bränslesnåla VW Lupo 3L redan en sådan teknik).

Automatiska växellådor ger generellt en högre bränsleförbrukning än mekaniska växellådor. Detsamma är ofta också fallet för avgasemissionerna. Skillnaden mellan de två växellådstyperna har emellertid successivt minskat under de två senaste decennierna. Detta har skett dels genom att de automatiska växellådorna fått fler växlar, dels för att momentomvandlaren används mindre och mindre genom att den "låses". Ytterligare möjligheter som utnyttjas för att minska bränsleförbrukningen är att utväxlingen i slutväxeln är (numeriskt) lägre och att växlings schemat kan vara mer optimalt (tidigare uppväxling) jämfört med mekaniska växellådor. Även om förbättringar således har skett torde det inte finnas någon möjlighet att nå samma verkningsgrad för automatlådor som för mekaniska växellådor. Om den mekaniska växellådan dessutom förses med växlingsautomatik blir skillnaden återigen större.

Steglös växellåda

En steglös automatisk växellåda (ofta kallad CVT⁶) baserar sig också på en mekanisk överföring av kraften. Olika varianter av tekniken finns och det senaste utvecklingssteget, som nyligen kommersialiserats av Audi, använder en stälkedja för att överföra kraften. CVT växellådan har något lägre verkningsgrad än den konventionella mekaniska växellådan men detta kompenseras av att motorn kan arbeta i ett gynnsammare område i varvtals- och lastområdet. Sannolikt kan även start och stopp funktion åstadkommas på ett tämligen enkelt sätt även med denna växellåda liksom indikerats ovan för den mekaniska växellådan med växlingsautomatik.

Elhybrid-drivsystem för lätta fordon

Ett elektriskt drivsystem kan vara av direkttyp eller hybridtyp. Det förstnämnda innebär i praktiken att inget energilager för mellanlagring av energi finns. El genereras i fordonet (med förbränningsmotor och generator eller bränslecell) och elen överförs sedan till en elmotor som driver hjulen. Sådana system används i fartyg och för (dieseldrivna) lokomotiv men har också funnits i liten skala till stadsbussar. För vägfordon har systemet annars diskuterats mest för bränsleceller drivna med vätgas. Om ingen lagring av energi används måste bränslecellen följa dynamiken i körcykeln. I ett hybridssystem används en mellanlagring av el, oftast i ett kemiskt batteri. Elhybridsystemen kan karakteriseras som seriehybrider eller parallellhybrider men även mellanvarianter förekommer. I seriehybrider ligger systemet i serie (t.ex. i kedjan energiomvandlare-generator-elmotor) och all kraft för framdrivningen kommer från elmotorn vid (eller nära) drivhjulen. I parallellhybriden överförs kraften dels mekaniskt (via växellåda) och dels elektriskt (via elmotor och ev. växellåda) till drivhjulen. Ett bränslecellfordon med energilager är att betrakta som ett hybridfordon. Per definition är endast seriehybridvarianten tänkbar i detta fall eftersom bränslecellen inte genererar något mekaniskt arbete.

Bränsleförbrukningen med förbränningsmotorer har generellt blivit lägre för hybridssystem än för konventionella drivsystem i de simuleringar som Ecotrafic utfört [1, 2]. Vidare blir

⁶ CVT: Continuously Variable Transmission.

bränsleförbrukningen något lägre med parallellhybridsystem än mer seriehybridsystem. Eftersom det förra systemet dessutom är billigare är det tydligt vilket system som kommer att få störst genomslag på sikt. En start-stopps funktion är given för framtida hybridsystem.

Toyota Prius som är den första serietillverkade hybridbilen använder ett system som kan karakteriseras som ett parallellhybridsystem men det är ändå på sätt och vis ett mellanting mellan de båda systemen. Effektiviteten är hög men kostnaden är också hög, vilket medför att det är tveksamt om denna form av hybrid kommer att få något större genomslag på marknaden. Mest troligt är det att enklare system (s.k. "mild hybrid") med elmotor/generator inbyggda i svänghjulet och ett mycket litet batteri blir det system som kommer att bli mest populärt det närmaste decenniet. I den tidigare nämnda rapporten för Vägverket förutsatte Ecotraffic att ett sådant system används för framtida hybrider med förbränningsmotorer.

Det hybridsystem som författarna anser ha störst potential till ett stort genomslag är ett tämligen enkelt parallellhybridsystem. I detta fall kan kostnaden hållas nere på en rimlig nivå. En seriehybrid eller ett hybridsystem av den typ som Toyota använder i modellen Prius torde i båda fallen innebära så stora merkostnader att de inte har någon möjlighet att konkurrera med de konventionella drivsystemen. Att introducera bilar med en så hög merkostnad som det är fråga om i detta fallet är självfallet ingen kostnadseffektiv åtgärd. Den stora positiva effekten ligger i en lägre bränsleförbrukning eftersom inverkan på avgasemissionerna inte nödvändigtvis är positiv. Ett lämpligt krav på minskning av CO₂ (och därmed också bränsleförbrukningen) för hybridfordon skulle kunna vara 20 – 25% lägre än en bil med samma prestanda som hybridfordonet.

Liksom för hybridsystem råder det heller ingen tvekan om att fordon med bränsleceller som energiomvandlare har stora fördelar när det gäller effektiviteten. Riktigt hur stor denna potential är och huruvida det går att realisera hela potentialen återstår att se. Den kanske viktigaste stötestenen är dock kostnaden för bränslecellerna. Helt klart är att en minskning av kostnaderna är nödvändig för att detta skall kunna bli ett kostnadseffektivt alternativ. Den prognos som författaren kan göra i detta fall är att bränsleceller i lätta fordon inte kommer att ta någon betydande marknadsandel före slutet av detta decennium.

Elhybrid-drivsystem för tunga fordon

Det mesta av det som sagts ovan gäller för personbilar och till viss del även för lätta distributionsfordon. För tunga fordon, och speciellt för tunga fordon som används i långväga godstransport, gäller helt andra slutsatser för hybriddrivsystem. Körmönstret är så speciellt för de tyngsta fordonen att ett hybridsystem av seriehybridtyp helt enkelt inte har några möjligheter att nå en lika låg bränsleförbrukning som ett konventionellt drivsystem med växellåda. Medelverkningsgraden för en motor kan i en körcykel motsvarande körning på landsväg bli så hög som 40% eller t.o.m. ännu högre. Medelverkningsgraden i växellådan är som regel över 95% för samma typ av körning. *Ett elektriskt drivsystem har en mycket lägre verkningsgrad än en mekanisk växellåda och eftersom "vinsten" av att motorns driftpunkt flyttas till ett område med högre verkningsgrad är liten, kan detta inte kompensera förlusten i det första fallet.*

Ett hybridsystem av parallelltyp har möjlighet till en viss förbättring av bränsleförbrukningen men för långväga transporter blir vinsten ändå liten. För körförhållanden i tätort, t.ex. för distributionstrafik är potentialen till en minskad bränsleförbrukning med hybridsystem större. I extrem stadstrafik kan den t.o.m. bli lika stor, eller större, som den som

indikerats ovan för personbilar. I detta fall skulle även ett elhybridsystem av serietyp kunna vara ett alternativ då dessa körförhållanden är mer gynnsamma för hybridsystemet vad gäller bränsleförbrukningen. Det som också vore attraktivt med ett sådant drivsystem är möjligheten att använda en ottomotor med trevägskatalysatorrening istället för en dieselmotor. Detta skulle kunna ge mycket låga emissioner förutsatt att systemet är väl optimerat. Den nedskalning av motorn som är möjlig för ett seriehybridsystem innebär att motorer i personbilsstorlek vore möjliga att använda. Det problem som kvarstår är dock ottomotorns lägre verkningsgrad i förhållande till dieselmotorn, vilket medför att det torde bli svårt att nå samma bränsleförbrukning för detta alternativ som det konventionella drivsystemet. Exempelvis har de stadsbussar med ottomotor och seriehybridsystem som SL använt i Stockholm haft betydligt högre bränsleförbrukning än konventionella bussar. Med dieselmotor skulle bränsleförbrukningen vara lägre än med ottomotor men å andra sidan skulle också emissionsfördelarna försvinna.

Hybrid drivsystem av parallelltyp vore en intressant möjlighet för tunga fordon i tätortstrafik och bl.a. i USA har en sådan utveckling startats. Det som ännu återstår att se är huruvida rimliga krav på merkostnad i förhållande till systemets fördelar kan klaras. Ett problem i sammanhanget är de trots allt små produktionsvolymerna det är fråga om ifall systemen bara kommer att användas i vissa applikationer. En möjlighet som skulle underlätta införandet av hybridsystem är ifall samma drivsystem som i personbilar kunde användas även i lätta lastbilar och bussar. Det kan också nämnas att man i USA håller på att utveckla hybridsystem för 4-hjulsdrivna bilar, populärt kallade "stadsjeepar" i Sverige. Att döma av de uppgifter som hittills kommit ut i motorpressen verkar det dock som om prioriteten (med några undantag) snarare verkar vara höga prestanda än låg bränsleförbrukning för dessa fordon. Därmed är bilarna också ointressanta för Sverige även om nuvarande miljöklasser skulle ge en skattereduktion (vilket i och för sig är absurt eftersom det trots allt gäller bränsleslukande fordon...).

Referenser

1. Ahlvik P. och Brandberg Å. (Ecotrafic): "Systemeffektivitet för alternativa drivmedel – Olika drivmedel och drivsystem/motorer i ett livscykelperspektiv 2012" Vägverket Publikation 2001:39, tillgänglig på www.vv.se, 2001.
2. Ahlvik P. and Brandberg Å. (Ecotrafic): "Well-to-wheel efficiency for alternative fuels from natural gas or biomass" Swedish National Road Administration, Publikation 2001:85, available at the Internet site of SNRA at www.vv.se, 2001.

RAPSMETYLESTER (RME)

Introduktion

Animaliska och vegetabiliska fetter i omförestrad form är tänkbara drivmedel för dieselmotorer. Samlingsnamn för några sådana drivmedel kan vara FAME (Fatty Acid Methyl Esters, allmänt accepterad svensk samlingsbenämning saknas) och VME (vegetabilie metylestrar). Detta gäller för oljor där metanol används vid omförestringen. Om etanol används vid istället för metanol (vilket är tänkbart men som sällan förekommer) kan M-et i förkortningen bytas ut mot ett E. Den i Europa vanligaste råvaran är rapsolja och följaktligen kallas den omförestrade produkten från rapsolja för RME (rapsmetylester). I USA och andra länder förekommer även sojabön- och solrosolja (SME) samt palmolja (PME). Andra växtoljor, animaliska fetter och använda frityroljor förekommer också som råvaror.

Redan på 80-talet gjordes försök att använda såväl ren rapsolja som RME i dieselmotorer. Dieselmotorer konverterade av utvecklingsföretaget Elsbett kunde använda ren rapsolja och var därför av intresse för en användning lokalt eftersom rapsolja kan produceras hos lantbrukaren. Sedermera kom man att erfaras att dels var inte omförestringen speciellt svår och dels kunde då konventionella dieselmotorer (med endast utbyte av vissa material i bränslesystemet) användas. Lämpligast visade det sig dock vara om omförestringen gjordes i större skala eftersom det då var lättare att åstadkomma en jämn kvalitet som uppfyllde de specifikationer som då ansågs vara nödvändiga. Under 90-talet och speciellt under dess senare hälft har ett antal större produktionsanläggningar för RME byggts upp och leveranserna har kommit igång i större skala. Specifikationer för RME har efter de första normerna som utvecklades i Österrike och Tyskland även anammats i andra länder och inom kort kommer även en EU-specifikation för drivmedlet att godkännas. Under senare hälften av 90-talet har intresset för att använda RME i form av låginblandning ökat. Även i Sverige distribueras nu dieselolja med inblandning av RME.

RME har det senaste decenniet varit föremål för en livlig debatt. Företrädarna hävdar alla fördelar som finns med RME, inte minst att det är ett biodrivmedel, vilket minskar utsläppen av CO₂. Belackarna har visat nackdelar i form av ökade NO_x emissioner samt hög energiomsättning och kemikalieanvändning (bekämpningsmedel) i odlingsledet. Det kan därför vara på sin plats att lite mer i detalj diskutera vilka förutsättningarna är för minskad miljöpåverkan med RME.

Råvaruproduktion och framställning

Raps odlas under förutsättningar som kan karakteriseras som intensivodling. Detta innebär i förhållande till extensivodling en högre energianvändning i produktionen av råvaran. Vidare är avkastningen per hektar för raps också förhållandevis lågt jämfört med andra intensivodlade grödor och extensivodlad cellulosa råvara. Utveckling pågår för att försöka öka avkastningen genom bl.a. genetiskt modifierad raps. Sjukdomar och användning av bekämpningsmedel är andra problem i odlingen som det återstår att komma tillrätta med.

En väsentlig fördel för RME är den låga energianvändningen vid framställningen jämfört med t.ex. biodrivmedel som framställs från cellulosa råvara där en mycket mer komplicerad omvandling av råvaran krävs. Processerna för framställning av RME inskränker sig till

pressning av oljan, ev. extraktion av kvarvarande olja samt omförestring av rapsoljan till RME.

Av intresse är vilken ”uppväxling” av insatt fossil energi som kan erhållas vid framställning av RME och hur detta drivmedel står sig i förhållande till andra drivmedel. Uppgifter har ibland förekommit om att den fossila energiinsatsen skulle vara större än i RME:n men nya undersökningar stöder inte denna tes. De flesta studier tyder på att faktorn är i storleksordningen 2 – 4. De stora skillnaderna brukar bero på hur man krediterat för biprodukter och vilken typ av processenergi (fossil eller icke fossil) som använts. I Ecotraffics studie ”Life of Fuels” erhöles en faktor på 3 i det fall att bioenergi användes i produktionsprocessen. Från en studie av det österrikiska institutet BLT har resultaten i **Tabell B3.1** hämtats [1].

Tabell B3.1 Energiutväxling och energivinst för några olika drivmedel [1]

Metod	Utväxling (ut:in)	Energivinst (GJ/ha)
Solrosolja, processenergi från strå	6,2	144
Rapsolja, användning av energi från strå	4,1	94
Solrosolja	2,8	43
Rapsolja	2,7	38
Etanol från sockerrör, anv. av sockerrörsrest	1,7	104
Etanol från majs, användning energi från strå	3,0	153

Som framgår av **Tabell B3.1** kan det högsta utväxlingstalet (6,2) erhållas med solrosolja om processenergin från stråna används. Rapsolja ger en utväxling med en faktor 4,1 om energin i stråna beaktas och en faktor 2,7 utan att beakta denna energi. Raps och solrosolja står sig också ganska bra i förhållande till etanol i den nämnda studien. Det man dock måste notera är att framställning av drivmedel från cellulosa, där råvaran odlats genom extensiv odling, kan ge en faktor på upp till 20 eller till och med däröver. Detta illustrerar den stora fördelen med extensiv odling av råvaran. En annan fördel med extensiv odling är en väsentligt mindre miljöpåverkan vid odlingen.

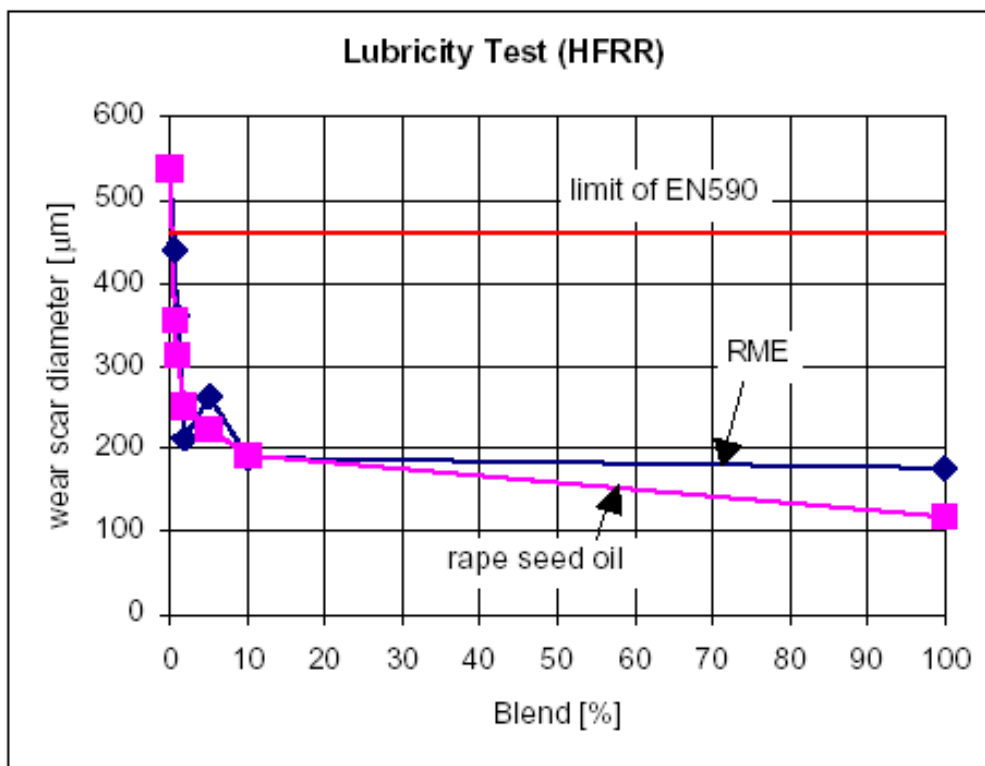
Allmänna egenskaper för RME

RME har ett cetantal av samma storleksordning som dieselolja och kan därför användas i sådana motorer utan speciella tillsatser av tändförbättrande medel. Densiteten är något högre än för dieselolja men energiinnehållet per liter är något lägre på grund av att RME innehåller syre. Det lägre energiinnehållet minskar motoreffekten men förändringen blir inte fullt så stor som förhållandet mellan energiinnehållet RME och dieselolja skulle antyda genom att den högre viskositeten ökar insprutningsmängden något. Den effektförlust på några procentenheter som blir följden verkar vara acceptabel. Vid låginblandning blir effektförlusten försumbar.

RME har inte bara en högre viskositet än dieselolja utan även sämre köldegenskaper. Detta gäller förstås om jämförelsen görs med vinterbränsle eller med Mk1 dieselolja som klarar vårt klimat. Det finns vissa tillsatser till RME som förbättrar filterbarheten men man kla-

rar ändå inte tillräckliga krav för de kallaste klimatzonerna i Sverige. Med RME är det svårt att klara en lägre temperatur än -25°C . Även i detta fall minskar problemen vid låginblandning av RME.

RME har goda smörjande egenskaper. Detta är av intresse för lågsavvliga dieseloljor (som t.ex. Mk1 dieselolja) som förlorat en del av smörjförmågan i de avsvavlingsprocesser som används vid framställningen. I **Figur B3.2** visas resultat från en österrikisk studie där inblandning av RME och rapsolja i lågsavvlig dieselolja undersökts [2].



Figur B3.2. Smörjförmåga med inblandning av RME och rapsolja [2]

Enligt BLT krävs en så låg inblandningshalt som 0,5% för att klara kraven på smörjande förmåga enligt EN590 direktivet. Som framgår av **Figur B3.2** ger en inblandning på ca 2% en väsentlig förbättring utöver kraven i EN590. En högre inblandningshalt än detta ger ingen nämnvärd ytterligare förbättring. I dag används additiv i Mk1 dieselolja för att förbättra smörjningen och även i dieselolja enligt EU:s specifikation för 2000 behövs en viss mängd additiv. När additiven används klaras kravet på smörjbarhet och de senaste 10 årens resultat visar att något problem med smörjförmågan inte längre finns. Med tillsats av RME skulle dessa additiv kunna undvikas. I och med att det dock redan finns en teknisk lösning på problemet reduceras fördelen för RME till en ev. ekonomisk vinst under förutsättning att en inblandning av RME blir billigare än de nämnda additiven.

RME har en mycket låg akut toxicitet och är biologiskt nedbrytbart. Nedbrytningen sker betydligt snabbare än för t.ex. dieselolja. Detta är en väsentlig fördel vid exempelvis spill på mark eller i vattendrag. Kanske borde man ta mer hänsyn till detta när man försöker hitta lämpliga nischer för RME.

Hälso- och miljöeffekter

Avgasemissioner

RME är ett dieselmotorbränsle och har därför i grund och botten samma emissionsproblematik som dieselmotorer som drivs med dieselolja. En mer ingående beskrivning av emissionsbildning och möjligheter att minska emissionerna finns i bilaga 2, ”Motorer och drivsystem”. Det kan dock nämnas att NO_x och partikelemissioner är de två emissionskomponenter som bereder mest problem.

En översikt av emissionerna med RME i jämförelse med dieselolja har sammanställts i en rapport från ABI i Wien [3]. I **Tabell B4** visas denna sammanställning.

Tabell B4.1 Emissioner med RME (tabell från ABI [3])

Type of emission	Change of emissions for Biodiesel compared to fossil Diesel approx. in %	Comments type of engine in test: modern EURO 2 with oxicat
SO _x Sulphur oxides	- 99	The new Council Directive for quality fuels has set a new limit of max. 350 mg/kg fossil Diesel. Biodiesel is meeting this requirement since the very beginning and has by nature only traces of sulphur of below 50 ppm.
CO Carbonmonoxide	- 20	
NO _x Nitrous oxides	+ 1	
NO _x <i>with optimised engine !</i>	- 23	Substantial reduction by a 5° delayed injection adjustment
PM Particulate matter	- 39	
HC Hydrocarbons	- 32	
Soot	- 50	Improvements up to three times under high load
Biodiesel has by nature an already „built-in“ oxygen content of approx. 10 % in the molecule which results in improved combustion and less emissions.		

Det kan vara av intresse att kort kommentera resultaten i **Tabell B4** samt i något fall även jämföra med andra resultat från litteraturen.

Emissionerna av svaveloxider (SO_x) uppges minska med 99%. Minskningen beror dock helt på med vilken dieseloljekvalitet jämförelsen görs med. I tabellen nämns den specifikation som gäller i EU från och med 2000 (350 ppm). RME sägs innehålla endast spår av svavel motsvarande en halt under 50 ppm. Författarens erfarenheter är att analyser av RME ofta visar svavelhalter på några få ppm, varför en reduktion med 99% under dessa förutsättningar är fullt möjlig. I Sverige är dock svavelhalten för Mk1 dieselolja maximerad till

10 ppm och typiska värden brukar ligga på 2 – 4 ppm. Samma gräns för svavel kommer att införas bensin och dieselloja i EU under perioden 2005 till 2008/2009 och i vissa länder har introduktionen redan startat med hjälp av ekonomiska incitament. I jämförelse med en i det närmaste svavelfri dieselloja av ovan beskrivet slag har RME ingen direkt fördel.

CO emissionerna minskar med 20%. Detta är inget ovanligt resultat och beror sannolikt på att RME innehåller syre till skillnad från dieselloja som är syrefri.

NO_x emissionerna anges minska med 23%, vilket är tvärtemot resultaten från de flesta andra tester som istället brukar uppvisa en ökning av NO_x. Orsaken till de fördelaktiga resultaten i detta fall är att insprutningsvinkeln senarelagts med 5 grader. Det kan vara av intresse att utreda denna fråga lite mer i detalj. RME har en högre viskositet än dieselloja, vilket generellt leder till en tidigareläggning av den *dynamiska* insprutningsvinkeln beroende på hydrauliska fenomen i insprutningsutrustningen. För äldre motorer med en hydrauliskt styrd insprutningsförställning (förekommer oftast på mindre motorer, t.ex. till personbilar) tillkommer ytterligare en tidigareläggning beroende på hydrauliken i denna anordning. En tidigare insprutning ger ökade NO_x emissioner. Moderna motorer använder oftast någon form av återkopplad elektronisk reglering av insprutningstidpunkten och för sådan insprutningsutrustning föreligger ingen nämnvärd skillnad i insprutningstidpunkt mellan RME och dieselloja. Trots det brukar RME ofta ge något högre NO_x emissioner än Mk1 dieselloja. Jämförelsen av NO_x emissionerna brukar oftast göras med dieselloja av europeisk kvalitet och detta bör beaktas eftersom Mk1 ger lägre NO_x emissioner än EU diesel, varierande från någon procentenhet till ca 10%. En senareläggning av den statiska insprutningsvinkeln med 5 grader enligt vad som beskrivits ovan innebär en serviceåtgärd på motorn ("manipulering"). Den förändring som gjorts är *större* än den dynamiska förändring (tidigareläggning) som den ökade viskositeten ger och följaktligen blir också NO_x emissionerna lägre än i referensfallet med dieselloja. Det man dock måste notera är att NO_x emissionerna med denna insprutningsvinkel om motorn kördes med dieselloja skulle bli *ännu lägre* än med RME. Nackdelen med en senare insprutning är en högre bränsleförbrukning (gäller självfallet både RME och dieselloja). Frågan är huruvida det finns några praktiska förutsättningar för att senarelägga insprutningen med RME jämfört med dieselloja. Gränsen för hur sent insprutningen kan läggas bestäms sist och slutligen av förmågan att tända bränslet, vilket både handlar om bränslets egenskaper och motorns konstruktiva parametrar. Misständningar kan ge mycket höga emissioner av CO, HC och partiklar, speciellt vid kallstart vid låg temperatur. En viss marginal till denna gräns måste också förutsättas. RME har *inte* högre cetantal än dieselloja – snarare tvärtom – och följaktligen finns inga förutsättningar för ytterligare ändringar av insprutningsvinkeln än en kompensation för de hydrauliska effekter som beskrivits ovan. Denna kompensation kan som framgår av tidigare resonemang inte göras på moderna motorer med återkopplad reglering. Det är också viktigt att jämförelser av detta slag görs på en teknikneutral nivå. Man kan inte tillskriva ett bränsle egenskaper som åstadkommit med förändringar på motorn. För övrigt är insprutningsvinkeln redan så sen på moderna motorer (p.g.a. NO_x kraven) att marginalerna för justeringar torde vara mycket små. *Slutsatsen är att RME inte har någon fördel när det gäller NO_x emissioner varken på gamla eller moderna motorer om jämförelsen görs på en teknikneutral nivå.*

Partikelemissionerna är enligt tabellen ovan lägre med RME än med dieselloja. Den reduktion som anges i tabellen är inte omöjlig att åstadkomma. I vissa studier kan partikelemissionerna ligga på en nivå snarlig den för dieselloja. Ett sådant exempel är en undersökning som utfördes av Grägg vid MTC under 1994 [4]. Eftersom rökemissioner och sot på

partikelprovtagningsfiltret var lägre än för dieselolja var följaktligen andelen flyktiga partiklar mycket högre än för dieselolja. Denna motor testades utan oxiderande katalysator. Man kan därför spekulera i att partikelemissionerna för RME hade blivit väsentligt lägre om motorn hade varit försedd med katalysator. Mot bakgrund av detta ter sig inte den ovan citerade nivån för RME som orimlig. Detsamma gäller den minskning av sotemissionerna med 50%. I rapporten från MTC uppmättes en kraftig reduktion av rök från motorn, och den lägre andelen fasta partiklar i partikelanalysen bekräftar också denna iakttagelse. När man i framtiden sannolikt måste använda partikelfilter på motorerna för att klara gränsvärdena på partiklar förefaller den fördel som RME har när det gäller partikelemissionerna att vara liten. Det finns dock en fördel till framtida utvecklingspotential i detta avseende som bör beaktas. Detta beskrivs i avsnittet nedan.

HC emissionerna är enligt tabellen 32% lägre än för dieselolja. I detta fall måste man dock notera att det föreligger ett stort mättekniskt problem eftersom RME kokar vid en högre temperatur än den som normalt används för provtagningsledning och förfilter före HC analysinstrumenten. De högkokande föreningarna ”fastnar” således på vägen till instrumentet och mäts följaktligen inte. En utveckling av mätmetoderna krävs för att utröna om RME egentligen har några fördelar framför dieselolja i detta avseende.

Förutsättningar för efterbehandling av avgaser

Under senare år har efterbehandling av avgaserna blivit allt viktigare. Oxiderande katalysatorer, partikelfilter och i framtiden också NO_x reducerande katalysatorer är några exempel på sådan utrustning. Frågan är om RME har några väsentliga fördelar framför dieselolja i detta avseende. Europeisk dieselolja innehåller svavel vilket försämrar en oxidationskatalysator och som kan ge upphov till ökade partikelemissioner genom sulfatbildning. Vissa partikelfilter och NO_x reducerande katalysatorer är också känsliga för svavelhalten. Bäst är således om svavelhalten kan hållas nå nära noll som det överhuvudtaget är praktiskt möjligt. Som konstaterats ovan har emellertid inte RME några fördelar framför Mk1 dieselolja i detta avseende. Detsamma gäller i framtiden även i Europa eftersom svavelhalten kommer att reduceras ned till samma nivå även i denna dieselolja.

Långtidseffekterna på efterbehandlingsutrustning från användning av RME är dåligt kända. Generellt är det en stor fördel men en låg svavelhalt men denna fördel har ju eliminerats genom den låga svavelhalten i Mk1 dieseloljan. RME kan innehålla spår av kalium och fosfor från rapsoljan och/eller från framställningen. Båda dessa ämnen är kända katalysatorgifter. Det vore önskvärt att undersöka vilka eventuella negativa effekter dessa ämnen kan ha på efterbehandlingsutrustningen. RME kan leda till utspädning av motoroljan. Även om en del resultat visar att utspädningen är liten i moderna motorer har oljebytesintervallerna förlängts så markant under de senaste åren att en viss risk för ökat motorslitage kan föreligga. Frågan är om detta slitage i sin tur kan leda till en ökning av emissionerna.

Potential för framtida emissionsminskningar

Som konstaterats ovan har RME fördelar genom lägre CO och partikelemissioner jämfört med dieselolja medan NO_x emissionerna blir högre vid en teknikneutral jämförelse. För de båda förstnämnda emissionskomponenterna beror minskningen sannolikt på det syre som bränslet innehåller. Frågan är om dessa egenskaper på något sätt kan utnyttjas till en fördel. I moderna dieselmotorer till personbilar används avgasåterföring (Exhaust Gas Recirculation, EGR) för att minska NO_x emissionerna. Liknande teknik håller nu också på att introduceras även i tunga fordon. En minskad sotbildning, som är fallet med RME, leder till att

en större mängd EGR kan användas. Detta oavsett om partikelfilter används eller ej eftersom en viss begränsning av partikelemissionerna från motorn (före partikelfiltret) måste göras även med partikelfilter för att inte slitaget i motorn skall öka. En ökad EGR tålighet leder till att en kända kompromissen mellan partiklar och NO_x kan påverkas på ett positivt sätt. Förutsättningen för att utnyttja detta i praktiken är dock att det finns någon form av sensor som känner av halten RME i bränslet och utnyttjar denna information reglermässigt. Således krävs en viss utveckling inom detta område för att utnyttja potentialen fullt ut.

Klimatgaser

Emissionerna av klimatgaser minskar med RME. Reduktionen är av ungefär samma storleksordning som förhållandet mellan fossil och icke fossil energi i produktionsledet, dvs. en faktor 2 – 4. En viss brasklapp föreligger dock för bidrag från N₂O och NO_x från kvävegödslingen. Osäkerheterna när det gäller sådana skattningar är dock stora.

Distribution

RME är biologiskt nedbrytbart och har en mycket låg toxicitet i förhållande till bensin och dieselolja. Spill på mark och i vattendrag ger därför mycket mindre skada i RME fallet än för de konventionella drivmedlen.

RME har en mycket låg flampunkt och är därför ett säkert drivmedel att distribuera och hantera.

Andra aspekter

Det finns förutom de aspekter som behandlat även en hel del andra faktorer att ta i beaktande. En sådan är sysselsättningen, men även jordbrukspolitiska och regionalpolitiska frågor torde tillmätas stor betydelse när beslut skall fattas. Sådana aspekter har emellertid inte beaktats i denna sammanställning.

Referenser

1. Wörgetter M., Lechner M. und Rathbauer J.: "Ökobilanz Biodiesel" BLT Wiesburg, Österreich, 1999.
2. Prankl H. and Wörgetter M.: "Introduction of Biodiesel as a Blending Component to Diesel Fuel in Austria – Final Report of NTB-net Phase IV." BLT Wiesburg Austria, 2000.
3. Körbiz W. (ABI): "Biodiesel – An Environmentally Friendly Form of Renewable Energy; A New Liquid Fuel for the Transport and the Heating Sector." Austrian Biofuels Institute, Vienna 1998.
4. Grägg K.: "Effects of Environmentally Classified Diesel Fuels, RME and Blends of Diesel Fuels and RME on the Exhaust Emissions." MTC 9209B, 1994.



781 87 Borlänge, Sweden. Telephone +46 243 750 00. Fax +46 243 758 25
e-mail: vagverket@vv.se / Internet: www.vv.se