

METANOLBUSS I STOCKHOLM
**Förutsättningar för tester med
en metanoldriven stadsbuss**

En rapport för SL

Ecotrafic ERD³ AB

Peter Ahlvik

Juli 2003

Ecotrafic

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sida

SAMMANFATTNING

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	6
2	ALTERNATIVA DRIVMEDEL FÖR STADSBUSSAR.....	8
2.1	Råvarupotential.....	8
2.1.1	Tillgång på fossil energi	8
2.1.2	Hur länge räcker oljan och gasen?	10
2.1.3	Tillgång på förnybara råvaror	11
2.2	Alternativa drivmedel på kort sikt	13
2.2.1	Natur- och biogas.....	14
2.2.2	LPG (motorgas)	14
2.2.3	RME och andra vegetabiliska oljor	14
2.2.4	Etanol.....	14
2.2.5	Slutsatser om alternativ i dag.....	15
2.3	Alternativa drivmedel på medellång och lång sikt.....	15
2.3.1	Drivmedel från förnybara råvaror	15
2.3.2	Naturgas eller drivmedel med naturgas som råvara.....	18
2.3.3	Drivmedel framställda via syntesgas	18
3	ANVÄNDNING AV METANOL I FORDON.....	20
3.1	Användning av metanol i personbilar	20
3.2	Motorer med glödstift i stadsbussar i USA.....	20
3.3	Metanol med tändförbättrare	21
3.4	Konvertering till ottomotor	21
3.4.1	Förutsättningar för konvertering	21
3.4.2	Zero-m:s koncept.....	22
4	FÖRSLAG TILL FLOTTPROV	24
4.1	Zero-m:s verksamhet	24
4.2	Utkast till projektupplägg	24
4.3	Behov av stöd.....	27
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	28
6	REFERENSER.....	29

TABELLFÖRTECKNING

Sida

Tabell 1. Potential för fossila bränslen i världen (källa: H. H. Rogner [2])----- 8

FIGURFÖRTECKNING

Sida

Figur 1. Prognos för alla typer av kolväten baserat på uppskattad tillgång och utvinningstakt (figur anpassad från ASPO). Resurserna av gas har konverterats till oljeekvivalenter ----- 10

Figur 2. Relativ systemverkningsgrad för den bästa kombination av motor och drivsystem för respektive drivmedel. Drivmedel med biomassa som råvara.-- 16

Figur 3. Energianvändning för flytande biodrivmedel----- 17

Figur 4. Förnybara drivmedel producerade via syntesgas ----- 19

SAMMANFATTNING

Under de senaste åren har intresset för alternativa drivmedel ökat. EU:s åtaganden med anledning av Kyotoprotokollet har manifesterats i ett direktiv för introduktion av alternativa drivmedel i allmänhet och biobaserade alternativa drivmedel i synnerhet. Detta direktiv kommer sannolikt att kompletteras av ett direktiv om beskattning av alternativa drivmedel. Förvisso är det förstnämnda direktivet inte direkt bindande men om dess intentioner ej följs förväntas medlemsländerna vidta åtgärder.

Innan aktiviteter dras igång för att introducera ett nytt drivmedel på marknaden måste ett trovärdigt underlag finnas. De tänkbara framtida drivmedelsalternativen är många men bara något enstaka av dessa alternativ har någon rimlig möjlighet att nå ett stort genomslag. En process för att sälla fram lämpliga kandidater för nya satsningar måste göras. Ett sådant underlag har ställts samman i denna rapport. Underlaget baseras i sin tur till stor del på tidigare utförda studier.

Etanol och naturgas/biogas har under det senaste decenniet varit de två dominerande alternativa drivmedlen för stadsbussar i Sverige. Under 2002 meddelade dock Scania att satsningen på etanolbussar skulle upphöra. Detta innebär att det i stort sett bara finns biogas kvar bland biodrivmedlen som alternativ för Stockholm på kort sikt. Då potentialen för biogas trots allt är ganska begränsat måste andra alternativ hittas på längre sikt. Dimetyleter (DME), metanol och vägas har konstaterats vara drivmedel som har potential till en hög systemverkningsgrad i ett livscykelperspektiv. Vätgas i kombination med bränsleceller är ett mycket intressant alternativ men ligger dock tidsmässigt långt borta. DME är ett intressant drivmedel som har stor potential till hög verkningsgrad och låga emissioner. Ett problem är dock att DME är gasformigt vid normalt tryck och temperatur. Metanol är det enda av de tre nämnda drivmedlen som är flytande och är därför enkelt att distribuera och tanka.

Av strategiska skäl bör man initiera aktiviteter inom detta område när så är tidsmässigt lämpligast. Sannolikt börjar denna tidpunkt närma sig så småningom. Enär de stora fordonstillverkarna i dag inte ser en tillräckligt stor marknad för metanol för att vilja engagera sig, torde konverteringar av befintliga fordon vara den enda möjligheten inom en nära framtid. Zero-m i Storbritannien är ett företag med just denna inriktning på sin verksamhet.

En sammanfattning av slutsatserna från det projekt som redovisas här är följande:

- I och med det nya EU-direktivet för främjande av biodrivmedel kommer intresset för sådana drivmedel att öka. Eftersom produktionskapaciteten för olja om ca 10 år inte kommer att klara efterfrågan uppstår på sikt även ett försörjningsproblem.
- I dag finns i Stockholm i stort sett bara biogas kvar som biodrivmedelsalternativ på kort sikt eftersom Scania inte längre kommer att satsa på etanol.
- Biodrivmedel som DME, metanol och vätagas verkar ha störst potential till en hög systemverkningsgrad i ett livscykelperspektiv. Satsningar för att på längre sikt utveckla dessa alternativ bör prioriteras högre än i dag. Gemensamt för alla dessa drivmedel är att samma teknik för framställning av syntesgas kan användas. Metanol är det enda av de nämnda alternativen som är ett flytande drivmedel.

- Olika möjligheter för användning av metanol i stadsbussar har identifierats. Gemensamt är att en potential till hög verkningsgrad i ett livscykelperspektiv finns för metanol såväl för bränsleceller som för otto- och dieselmotorer.
- Några kommersiella fordon för användning av metanol finns inte i dag. En konvertering av befintliga fordon är därför den enda möjligheten på kort sikt. Företaget Zero-m i Storbritannien har anammat denna inriktning på sin verksamhet. Diskussioner har förts med Zero-m och ett antal andra intressenter samt med två olika myndigheter (Energimyndigheten och Vägverket) om ett projekt inom området.
- En skiss till ett tänkbart projekt för praktisk drift av en metanolbuss i Stockholm har gjorts. Några myndighetsprogram där stöd skulle kunna erhållas för projektet har identifierats.

1 INLEDNING OCH BAKGRUND

Under de senaste åren har intresset för alternativa drivmedel ökat. EU:s åtaganden med anledning av Kyotoprotokollet har manifesterats i ett direktiv för introduktion av alternativa drivmedel i allmänhet och biobaserade alternativa drivmedel i synnerhet [1]¹. Detta direktiv kommer sannolikt att kompletteras av ett direktiv om beskattning av alternativa drivmedel. Förvisso är det förstnämnda direktivet inte direkt bindande² men om dess intentioner ej följs förväntas medlemsländerna vidta åtgärder³. Det återstår att se på vilket sätt medlemsländerna kommer att försöka stimulera användningen av biodrivmedel. Kortsiktigt kommer sannolikt drivmedelsdirektivet att leda till en ökning av användningen av spannmålsetanol och rapsmetylester (RME).

Etanol och naturgas/biogas har under det senaste decenniet varit de två dominerande alternativa drivmedlen för stadsbussar i Sverige. Scania har varit den dominerande leverantören av stadsbussar för etanol drift. Under 2002 meddelade dock Scania att satsningen på etanolbussar skulle upphöra. En av orsakerna till det beslutet torde vara den förhållandevis ringa efterfrågan. Utanför Sverige har intresset för etanolbussar – eller kanhända marknadsföringen av konceptet från Scantias sida – varit ringa. En bidragande orsak till etanolalternativets dåliga konkurrenskraft är sannolikt också den – i förhållande till dieselolja – höga drivmedelskostnaden (räknat utan skatt i båda fallen).

Internationellt domineras satsningarna på alternativa drivmedel under de senaste åren av naturgas (CNG). I Sverige, där naturgasnätet täcker endast en liten del av marknaden, har biogas kommit att spela en större roll. Samma motor- och reningsteknik kan (numera) användas för både naturgas och biogas. Ett av de främsta skälen för att använda biogas är en minskning av utsläppen av växthusgaser i förhållande till naturgas och dieselolja⁴. För både naturgas och biogas gäller att det finns en potential till lägre nivåer av flertalet hälsofarliga emissioner. I vad mån denna potential kan realiseras beror på vilken avgasreningsteknik som används i naturgas/biogasbussarna och med vilken dieselt teknik som jämförelsen görs. Exempelvis kan ju låga partikelemissioner nås också med montering av partikelfilter på dieselbussar. På lång sikt (>10 år) kommer avgasemissionerna från alla typer av drivmedel att vara låga och då kvarstår utsläppen av klimatgaser som den största fördelen för biogas. På kort och medellång skikt är dock emissionerna av kväveoxider (NO_x) och vissa hälsofarliga flyktiga föreningar av störst betydelse. Det största problemet med biogas är att det är fråga om en ganska begränsad resurs. Visserligen kan råvarupotentialen ökas genom användning av andra råvaror än de traditionella men det för ofta också med sig ökade kostnader; något som svårigen kan accepteras för ett redan dyrt drivmedelsalternativ.

Samtidigt som den ovannämnda utvecklingen kan ses som ett positivt tecken med hänsyn till växthuseffekten har också insikten mognat om att alternativa drivmedel, och speciellt biodrivmedel, leder till avsevärt ökade samhällsekonomiska kostnader. Likaså är effekti-

¹ Siffror inom hakparentes avser en referens som listats i referenslistan i slutet av detta PM.

² Beteckningen "nationella vägledande mål" används i EU direktivet.

³ Sedan detta skrevs har en svensk statlig utredning med syfte att undersöka förutsättningarna för en introduktion av biodrivmedel tillsatts.

⁴ Detta fördel har nyligen ifrågasatts genom de utsläpp av metan som förekommer i produktionsledet. Några av de beräkningar som redovisats i pressen (Ny Teknik) är dock behäftade med felaktigheter, vilket lett till att inverkan på klimatet överskattats. Slutsatsen är att en väsentlig minskning av utsläppen av växthusgaser kan nås med god kontroll av utsläppen i produktionsledet.

viteten i ett livscykelperspektiv för flera av alternativen påfallande låg. Sammantaget innebär detta att alternativ måste hittas som *väsentligt reducerar kostnaderna* och som samtidigt ökar effektiviteten. Ett antal drivmedelsalternativ, som t.ex. vätgas, dimetyleter (DME) och metanol, med potential att möta dessa krav har identifierats. Problemet för flertalet av de "bästa" alternativen är att produktionstekniken för drivmedelsframställningen ännu inte är fullt utvecklad. Inga fordon finns heller kommersiellt tillgängliga, vilket är ett exempel på en klassisk moment 22 situation. Därför kan ej heller en storskalig introduktion initieras inom en nära framtid.

Emedan flera av de ovannämnda drivmedelskandidaterna tenderar att förbli nischalternativ inom överskådlig framtid måste man på längre sikt hitta alternativ som kan nå en allmän användning. En *bred råvarubas*, *låga framställningskostnader* och *hög effektivitet* i ett livscykelperspektiv är de tre viktigaste kriterierna som måste uppfyllas för sådana drivmedel. De ovannämnda alternativen vätgas, DME och metanol är tre sådana drivmedelskandidater.

Användningen av vätgas hänger intimt samman med utvecklingen av bränsleceller men är dessutom helt beroende på en uppbyggnad av en ny drivmedelsinfrastruktur. Vätgasproduktionen brukar ofta framhållas som ett problem men denna är i jämförelse med utvecklingen av bränslecellen och drivmedelsdistributionen av underordnad betydelse. Även om drivmedelsinfrastrukturen kan ordnas för definierade flottor av fordon (t.ex. bränslecellbussarna i Stockholm) är problemen med den höga kostnaden för detta inte triviala. Innan dessa problem lösts – vilket kan dröja flera decennier – kan inte vätgas ses som ett realistiskt alternativ för en bred introduktion.

DME är, liksom vätgas och naturgas/biogas, ett gasformigt bränsle vid normalt tryck och temperatur. Till skillnad mot dessa gasformiga bränslen kan dock DME förvätskas vid måttliga tryck (ca 5 bar). Detta förenklar avsevärt infrastrukturen för distributionen av detta drivmedel; den kan dock naturligtvis ej bli lika enkel och billig som för flytande drivmedel. DME är emellertid ett drivmedel som måste beaktas som mycket intressant för framtiden. Ett hinder i dag är att några fordon ännu inte finns kommersiellt tillgängliga för detta drivmedelsalternativ. Volvo håller dock på att utveckla sådana motorer och DME kan därför vara ett alternativ att beakta på medellång sikt (5-10 år).

2 ALTERNATIVA DRIVMEDEL FÖR STADSBUSSAR

Användningen av alternativa drivmedel i stadsbussar baseras kortsiktigt på de drivmedelsalternativ och de bussar som finns tillgängliga. Framförhållningen är i detta fall tämligen kort, dvs. något eller några år, och kan ibland vara svår att förutse. När uppskattningar av användning av alternativa drivmedel skall göras på längre sikt måste tillgången på energiresurser beaktas.

2.1 Råvarupotential

2.1.1 Tillgång på fossil energi

En diskussion om alternativa drivmedel kan knappast föras utan att tillgången på konventionella fossila drivmedel berörs. En grov uppskattning av de viktigaste fossila tillgångarna på energi har gjorts av bl.a. Rogner [2]. En sammanställning av resultaten visas i **Tabell 1**.

De största råvaruresurserna är metanhydrater och kol och därnäst kommer okonventionella oljekällor. I dag finns ännu ingen kommersiellt teknik för att utvinna metanhydrater ur havsdjupen, varför denna resurs inte är tillgänglig.

Kol

Det finns fortfarande stora tillgångar av kol men en omvandling till flytande drivmedel är inte trivial och kol används därför i dag mest som bränsle i fasta anläggningar. Under andra världskriget utvecklades och användes i Tyskland den så kallade Fischer-Tropsch processen för konvertering av brunkol till diesololja och bensin. Sedermera använde oljebolaget Sasol i Sydafrika en liknande teknik under det embargo som fanns mot apartheidregimen. Ingen av processerna är i dag kommersiellt lönsamma med kol som råvara förutsatt dagens råoljepriser, men situationen kan förstås komma att förändras i framtiden.

Okonventionella oljetillgångar

Teknik för okonventionella oljetillgångar håller på att utvecklas men det är tveksamt hur mycket av denna resurs som verkligen kan utvinnas, speciellt om miljöhänsyn skall tas. Mycket tunga oljor är en resurs som kan komma att användas men det sker i så fall till mycket högre kostnader vid raffinering (och med annan teknik) än för konventionella oljetillgångar. En stor andel av de okonventionella oljetillgångarna består av så kallad "tjärsand" (eng. tar sand) och en annan resurs benämns oljeskiffer⁵. Utvinningen av dessa resurser måste ofta ske i stora dagbrott med påtagliga miljökonsekvenser som följd och till

Tabell 1. Potential för fossila bränslen i världen (källa: H. H. Rogner [2])

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

⁵ Oljeskiffer finns även i Sverige i mindre kvantiteter.

höga kostnader. Även här är raffineringen till drivmedel mer besvärlig och kostsam än för konventionella oljetillgångar.

Naturgas

Naturgas är enligt Rogners sammanställning en stor resurs. Sannolikt kommer användningen av naturgas att öka i framtiden då oljetillgångarna sinar. Naturgas kan antingen användas i gasform i fordon eller konverteras till ett vätskeformigt bränsle. Problemet med användning av naturgas i gasform är de långa transportavstånden (se även diskussion nedan), vilket kräver investeringar i en dyr infrastruktur. Användning av naturgas i gasform kommer därför (sannolikt) att vara en nisch tillämpning under mycket lång tid framöver. Förvätskning av naturgas till kryogen vätska (LNG) är ett alternativ som används kommersiellt men är sannolikt för dyrt för en bredare distribution och användning.

Naturgas kan, liksom kol, också konverteras till vätskeformiga drivmedel medelst den ovannämnda Fischer-Tropsch processen på ett enklare sätt än med andra råvaror. Två anläggningar för framställning av Fischer-Tropsch dieselolja (FTD) finns i dag; en i Malaysia (Shell) och en i Sydafrika (Sasol). Flera nya fabriker planeras. Alternativet är inte riktigt kommersiellt konkurrenskraftigt än med dagens oljepriser men torde vara av strategiskt intresse för oljebolagen att utveckla. Förutsättningarna för kommersiell framgång bygger på *mycket låga* råpriser för avlägset belägen naturgas. Kvalitet och miljöegenskaper är väsentligt mer fördelaktiga för FTD än för konventionell dieselolja, vilket naturligtvis är en fördel. En nackdel är dock att bara ca 60-70% av slutprodukten utgörs av FTD. Avsättning för övriga produkter (tyngre och lättare fraktioner) måste finnas till rimliga priser. Marknaden för några av de mest lukrativa biprodukterna, som t.ex. råvara till kosmetikaindustrin, torde vara mättad redan i dag.

Naturgas kan även användas som råvara för produktion av metanol och/eller DME. Metanol från naturgas via syntesgas har i dag sin främsta användning för kemisk/tekniskt ändamål men utgör också råvara för framställning av bensinkomponenten MTBE. Denna process används i dag kommersiellt för att framställa (nästan all) metanol som produceras och en variant av tekniken för att framställa DME på liknande sätt har utvecklats. Metanol är ett flytande drivmedel som är mycket enklare att distribuera och hantera än naturgas. DME kan förvätskas vid ett ganska måttligt tryck på omkring 5 bar och kan därför sägas vara ett mellanting mellan gas och vätska ur hanteringssynpunkt. Tekniken för framställning av metanol från naturgas är kommersiell och en förbättrad teknik för framställning av DME är under utveckling. Naturgas används i dag också för produktion av vätgas. Dock är problemen vid distribution och lagring större för vätgas än för naturgas, vilket inte löser grundproblemet för något av dessa potentiella drivmedel.

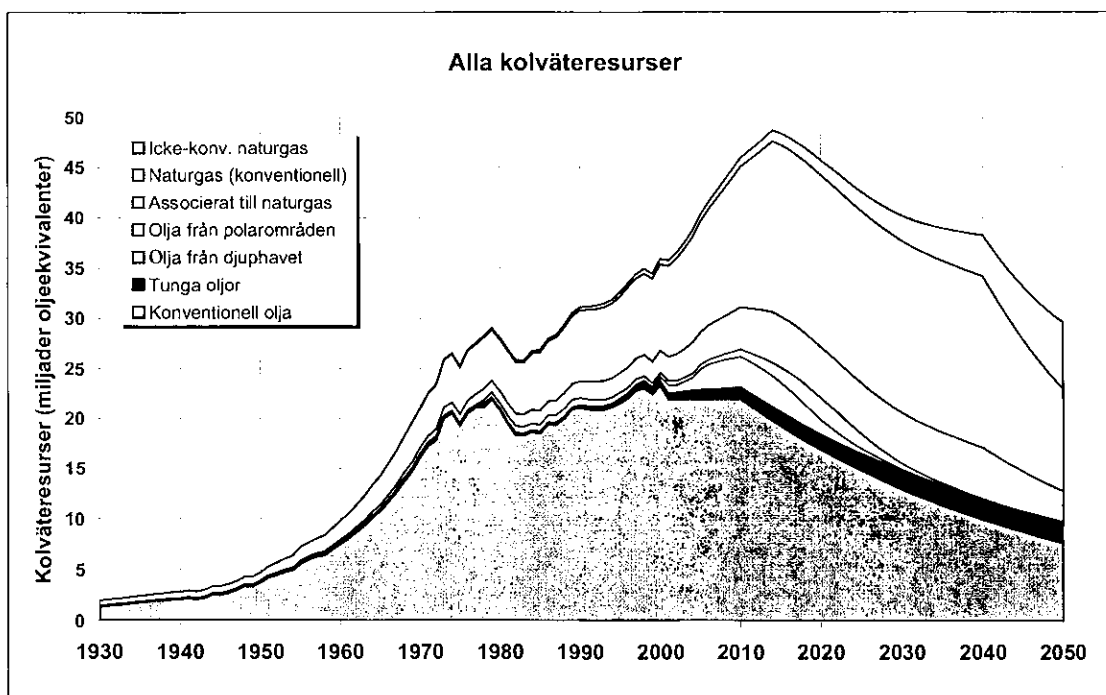
Naturgasen är *annorlunda geografiskt fördelad* över världen än oljetillgångarna, något som ofta brukar framhållas som en väsentlig fördel av naturgasförespråkarna. Tyvärr är ej heller naturgasen så fördelad att tillgång och förbrukning skulle stämma överens någorlunda väl. Politiskt sett är naturgasens fördelning "bättre" än för oljan, där i dag minst sagt instabila områden som Mellanöstern dominerar. Dock bör man notera att naturgasen är betydligt svårare att distribuera, vilket är en påtaglig nackdel jämfört med oljan som är jämförelsevis enkel att distribuera. Därtill kommer det faktum att det också finns många andra användningsområden för naturgas än som drivmedel i fordon. I flera fall konkurrerar naturgasen där med kol och olja. Det rörnätverk som redan existerar i många länder är i dag dimensionerat för den "traditionella" användningen av naturgas och en vidgning av basen även till

transportsektorn skulle kräva enorma (mer)investeringar för att öka kapaciteten i distributionsnätet⁶.

2.1.2 Hur länge räcker oljan och gasen?

Tidigare ansåg man länge att oljeresurserna visserligen var ändliga men att det – genom att nya oljekällor hittas hela tiden – skulle dröja mycket lång tid innan en verklig oljekris inträffar. Med andra ord, ingenting för dagens generation att bekymra sig över. Under de senaste åren har dock insikten om att oljeutvinningstakten är så hög att en försörjningskris riskerar att inträffa långt tidigare vunnit allt större acceptans. Frågan har faktiskt varit aktuell i USA ganska länge, möjligen eftersom landet redan på 70-talet såg sina egna oljekällor börja ligga på produktionsmaximum och att produktionstakten sedan dess ständigt sjunkit. Kanske skall man se landets engagemang i Mellanöstern mot bakgrund av dessa insikter. En organisation för studier av när "toppen" i oljeproduktionen är nådd, ASPO (The association for the Study of Peak Oil&gas) har bildats på initiativ av den irländske forskaren Colin Campbell. I Sverige har problemet uppmärksamats av Uppsalaprofessorn Kjell Aleklett. Förra året hölls bl.a. det första internationella seminariet med detta tema i Uppsala.

I **Figur 1** visas en prognos från ASPO för hur länge resurserna av olja och gas kommer att räcka under antagande om en viss ökning av efterfrågan. Att döma av diagrammet har också en mindre del av de mer lättillgängliga okonventionella oljeresurserna beaktats.



Figur 1. Prognos för alla typer av kolväten baserat på uppskattad tillgång och utvinningstakt (figur anpassad från ASPO). Resurserna av gas har konverterats till oljeekvivalenter

⁶ Den förhållandevis ringa användningen av naturgas i dag i fordon påverkar ej nämnvärt den totala användningen och kan därför förekomma utan väsentlig inverkan på behovet av infrastruktur.

Ett uppenbart problem som framgår av **Figur 1** är att en topp för maximal produktionstakt nås inom en tämligen nära framtid. För oljan nås toppen ca 2010 och för gasen endast några få år senare (ca 2015). Man behöver knappast nämna att konsekvenserna för världspolitiken kan bli förödande när detta inträffar. För att återknyta till de stora resurser som listats i **Tabell 1** kan man nämna att många av dem är mycket svåra att utnyttja. Med ökande råolja- och gaspriser som blir följderna av en knapphet på energi kommer dock flera av dem att bli kommersiellt intressanta. Samma resonemang kan även tillämpas på de förnybara resurserna. *Eftersom ett skifte av nämnt slag av praktiska skäl tar ganska lång tid men då, som framgått av data enligt ovan, tiden är knapp, borde stora resurser börja satsas på en övergång till denna resursbas redan i dag.*

2.1.3 Tillgång på förnybara råvaror

Jämförbart med de fossila resurserna synes de förnybara vara försvinnande små. Till saken hör dock att de förnybara – per definition – är outtömliga⁷. På kort sikt finns inga praktiska möjligheter att ersätta all energianvändning av fossil energi med icke fossil energi. Dock är det onekligen eftersträvansvärt att inleda en övergång till ett sådant utnyttjande så fort som möjligt. Hursomhelst måste denna övergång ske med beaktande av rimliga krav på kostnadseffektivitet.

Av de icke fossila tillgångarna utgör biomassa en väsentlig del som, till skillnad från t.ex. solceller, kan börja utnyttjas inom en tämligen nära framtid med rimlig kostnadseffektivitet. En indelning av biomassan i följande grupper kan göras enligt (med exempel på drivmedel inom parentes):

- Oljeväxter och animaliska fetter (RME och liknande omförestrade oljor)
- Socker- eller stärkelsehaltiga växter (etanol)
- Röttningsbar biomassa (biogas)
- Cellulosahaltig biomassa (etanol och förgasningsdrivmedel som DME, metanol och vätgas)

Drivmedel från oljeväxter och animaliska fetter

I växtriket finns förhållandevis få plantor som kan karakteriseras som oljeväxter och inga av dessa har särdeles hög avkastning. Råvaran blir därför dyr. En fördel i sammanhanget är dock att omförestringen är en tämligen enkel process. En påtaglig nackdel är att produktionen måste ske genom intensivodling med förhållandevis hög energiomsättning i råvaruproduktionen. Dessutom används en hel del bekämpningsmedel i odlingen. Potentialen för RME är i Europa någon procentenhet av den totala förbrukningen av bensin och dieselolja.

Drivmedel från socker och stärkelse

Socker kan enkelt jäsas till etanol. Med sockerrör, som t.ex. används i Brasilien, erhålls en hög avkastning i produktionsledet och råvaruproduktionen kan klassas som "halvintensiv". Produktionskostnaden för sockerrörsetanol har kontinuerligt minskat sedan 80-talet. Tyvärr finns inga likvärdiga grödor som lämpar sig för odling i kallare klimat som i Europa och Sverige.

⁷ Detta förstås under förutsättning att användningen av de förnybara resurserna sker på ett hållbart sätt.

Produktionen av stärkelsehaltiga råvaror, som t.ex. spannmål, är ett alternativ för Europa (liksom majs i USA). Det handlar dock om intensivodling med dess ovannämnda konsekvenser för miljö och energianvändning. Omvandlingen till etanol är mer energikrävande och dyrare än i fallet med sockerrörsetanol. Kostnaden för spannmålsetanol måste i dag anses som *för hög* då total skattebefrielse (ev. stöd till odlingen ej beaktat) krävs för man skall nå kommersiell framgång för en ny anläggning. Viss förbättring genom teknikutveckling kan förväntas men det är tveksamt om man kan nå rimliga mål för kostnadseffektiviteten. Satsningar på spannmålsetanol kan betraktas som ett kortsiktigt sätt att nå EU:s mål för användning av biodrivmedel.

Drivmedel från rötningsbar biomassa

Biologiskt avfall kan rötas till biogas som sedan renas till fordonskvalitet. Synergier med behandling av avfall och biprodukter från jordbruket finns ofta. Dagens anläggningar bygger främst på att råvarupriset är ringa eller t.o.m. negativt (man får betalt för att ta emot det). Kostnaden för framställning, rening och distribution är hög. En total skattebefrielse krävs för att en kommersiell framgång för en anläggning skall uppnås. Biogasframställningen sker bäst lokalt för att undvika långa transporter av det avfall som oftast har mycket hög vattenhalt (>80%). Genom att en anläggning för uppgradering av biogas måste vara av en viss storlek för att vara kommersiellt intressant begränsas andelen biogas som kan uppgraderas.

Potentialen för biogas i Sverige med nämnda *billiga råvaror* torde kunna ökas omkring 10-falt jämfört med dagens användning men kan trots det knappast uppgå till mer än ca 1 – 2% av den totala bensin- och dieselanvändningen. Potentialen om andra (odlade) råvaror (t.ex. lucern) produceras för biogasframställning är mycket högre. Tyvärr skulle en sådan produktion innebära att man måste betala för råvaran, vilket i dag omöjliggör sådana satsningar av kostnadsskäl. Användningen av biogas kan utvecklas men den begränsade råvaruresursen innebär dock att detta alternativ måste betraktas som ett nischdrivmedel.

Drivmedel från cellulosaråvara

Alla växter innehåller cellulosa, vilket innebär att denna råvaruresurs på världsbasis är den i särklass största av alla de nämnda biomasseresurserna. Priset på råvaran är därför också förhållandevis lågt.

Cellulosa kan utgöra råvara för etanolframställning genom att cellulosan först omvandlas till socker, t.ex. via enzymatisk hydrolys. Processen är dock ännu inte tillräckligt utvecklad för att kunna kommersialiseras i större skala. Priset för cellulosabaserad etanol kan teoretiskt – trots en mer besvärlig framställning – bli lägre än för spannmålsbaserad etanol på grund av den lägre råvarukostnaden i cellulosafallet.

En annan väg att utnyttja cellulosabaserad råvara är att först förgasa biomassan. I praktiken kan också alla andra tidigare nämnda råvaror förgasas men det är förstås naturligt att utgå från de billigaste råvarorna. Via förgasning framställs först syntesgas och från syntesgasen kan drivmedel som DME, metanol, vätgas, FTD och metan (ofta kallad syntetisk naturgas, eller SNG) produceras. Processtegen fram till det sista steget är i princip identisk för alla drivmedel. Det sista steget är kommersiell teknik, utom möjligen för FTD, där – trots de nämnda kommersiella anläggningarna för FTD från naturgas – viss utveckling fortfarande behövs för att optimera processen. Mer forskning och utveckling behövs dock för förgasningssteget innan större kommersiella anläggningar skall byggas. Det kan vara värt att

nämnda att denna teknikutveckling i så fall gynnar alla nämnda syntesgasdrivmedel eftersom tekniken är gemensam.

En mycket intressant cellulosebaserad råvaruresurs i Sverige är svartlut; en biprodukt från pappers- och massatillverkning. Preliminära beräkningar visar att tillverkningskostnaden för metanol eller DME från svartlut skulle kunna bli lika låg som för metanol framställd från naturgas. *Detta skulle i så fall innebära väsentligt lägre kostnader än för något annat biodrivmedel.* Uppskattningar visar en stor potential; ca 25% av dagens användning av bensin och dieselolja skulle kunna ersättas med drivmedel från svartlut.

Andra alternativ

Förutom användning av biomassa som resurs kan det också nämnas att förnybara drivmedel också kan framställas från (förnybar) el. El för eldrivna fordon är ett sådant givet alternativ men även elektrolys av vatten till vätgas är ett känt alternativ. Begränsningen i dag är att framställningen av förnybar el ännu är ringa. Genom den förhållandevis stora elanvändningen i dag krävs en mycket stor utbyggnad av förnybar el innan något väsentligt överskott blir tillgängligt för drivmedelsframställning.

Andra möjligheter att använda förnybar vätgas vore att använda den i processen för framställning av syntesgasdrivmedel från biomassa. Biomassa är normalt fattig på väte och om vätgas finns tillgängligt behöver ej en vatten/skift reaktion för att åstadkomma rätt förhållande mellan CO och H₂ göras (eller drivas så långt som normalt är fallet). Om tillgång till CO₂ också finns kan även en syntes av vätgas och CO₂ till övriga nämnda syntesgasdrivmedel, t.ex. DME och metanol vara teoretiskt möjlig. Den CO₂ som behövs kan komma från andra förbränningsanläggningar eller möjligen också från luften, men i det senaste fallet måste medges att tekniken för detta inte är fullt utvecklad. Ett annat användningsområde för vätgas vore att använda den i oljeraffinaderier. Tidigare var raffinaderier ofta *nettoproducenter* av vätgas men nya krav på renare drivmedel och en ökad andel dieselolja/flygbränsle (jämfört med bensin) innebär att ett *nettobehov* av väte föreligger.

Fördelen med att "binda" väte i ett flytande drivmedel jämfört med att använda vätgasen direkt är att distribution och användning väsentligen förenklas. Liksom för användning av "ren" vätgas är den påtagliga begränsningen tillgången på förnybar el.

2.2 Alternativa drivmedel på kort sikt

För stadsbussar finns inte särdeles många alternativa drivmedel tillgängliga på kort sikt. Med kort sikt avses här 2-3 år, dvs. fordons- och drivmedelsalternativ som kan upphandlas i dag eller inom en nära framtid. Några av de tänkbara alternativen på kort sikt är:

- Naturgas
- Biogas
- LPG (motorgas)
- RME eller liknande estrar
- Etanol

2.2.1 Natur- och biogas.

Natur- och biogas är praktiskt taget likvärdiga ut emissionssynpunkt eftersom båda drivmedlen i huvudsak består av metan. Emissionsfördelar föreligger framför dieselolja främst för NO_x och partikelemissioner. Ny teknik för avgasrening av dieselmotorer har dock minskat dessa fördelar under de senaste åren. När det gäller partikelemissioner kan lika låga – eller lägre – emissioner nås med partikelfilter på dieselmotorer. För NO_x emissionerna synes dock natur- och biogas fortfarande ha ett visst försprång.

I och med att naturgas i dag inte finns tillgängligt i Stockholmsregionen kvarstår biogas som det enda kvarvarande alternativet av de två. Biogasens fördel jämfört med naturgasen när det gäller utsläpp av växthusgaser behöver knappast nämnas.

Utsläpp av klimatgaser vid produktion och rening av biogas?

Det har i svensk tidningspress framskymtat att klimatpåverkan skulle vara större för biogas jämfört med fossila drivmedel på grund av höga utsläpp av metan i produktionsledet (se bl.a. artikel i Ny Teknik). Metan har som bekant en faktor 20-25 högre potens än CO₂ när det gäller klimatpåverkan. De resultat som redovisades i pressen baserades dock på en felaktig beräkning. Underlaget för sådana beräkningar är emellertid också litet. Det är dock viktigt att uppmärksamma problemet eftersom åtgärder kan vidtas för att minimera det.

2.2.2 LPG (motorgas)

Ett distributionsnät för LPG byggdes upp i Sverige på 80-talet. Motivationen för att använda LPG var att drivmedlet skattades lägre än bensin samt att emissionerna då ansågs vara lägre än för bensin. Sedermera infördes katalytisk avgasrening för bensinbilarna, vilket minskade emissionsfördelen. Då emellertid skatten på LPG höjdes något – dock ej till samma nivå som för bensin – försvann det ekonomiska incitamentet och användningen sjönk successivt. I Sundsvall introducerades 1991 två ombyggda bussar för drift med LPG. Bussarna kördes i trafik under några år men lades till slut i malpåse då kostnaderna för service och underhåll blev för stora.

Någon distribution av LPG för fordonsdrift finns knappt längre i Sverige. Utbudet av bussmotorer för drift med LPG är i Europa närmast obefintligt. Teoretiskt skulle mycket väl bussmotorer utvecklade för drift med naturgas/biogas kunna anpassas till LPG med en ganska ringa insats rent tekniskt sett. Avsaknaden av intresse för detta drivmedel från fordonsindustrin medför att detta knappast är något alternativ att beakta. LPG, eller propan kan inte produceras från förnybara resurser på något enkelt sätt och därmed försvinner också möjligheten till en substitution av fossil LPG i ett senare skede.

2.2.3 RME och andra vegetabiliska oljor

RME finns tillgängligt på marknaden i dag med nämnda begränsningar i form av råvaruresurser. Emissionsegenskaperna är ungefärligen likvärdiga med dieselolja av miljöklass 1; ibland något högre respektive lägre. Det är dock svårt att motivera användning av RME utifrån aspekten att sträva efter en förbättring av luftkvaliteten.

2.2.4 Etanol

Etanol kan användas i anpassade dieselmotorer genom tillsats av tändförbättrare i drivmedlet och har jämfört med dieselolja vissa miljöfördelar med avseende på NO_x och parti-

kelemissioner. I det senare fallet finns förstås ingen fördel om partikelfilter används till bussar drivna med dieselloolja.

Scania har varit en av de få tillverkare som utvecklat motorer för etanol. Den helt dominerande andelen etanoldrivna bussar i trafik världen över finns för närvarande i Sverige. Tyvärr konstaterade Scania under fjolåret att marknaden är för liten och de har därför bestämt sig för att lägga ned tillverkningen. Nuvarande motor uppfyller Euro III direktivet och följaktligen kan man konstatera att någon motor som uppfyller Euro IV och senare inte kommer att finnas på marknaden såvida inte någon annan tillverkare intresserar sig för detta alternativ.

2.2.5 Slutsatser om alternativ i dag

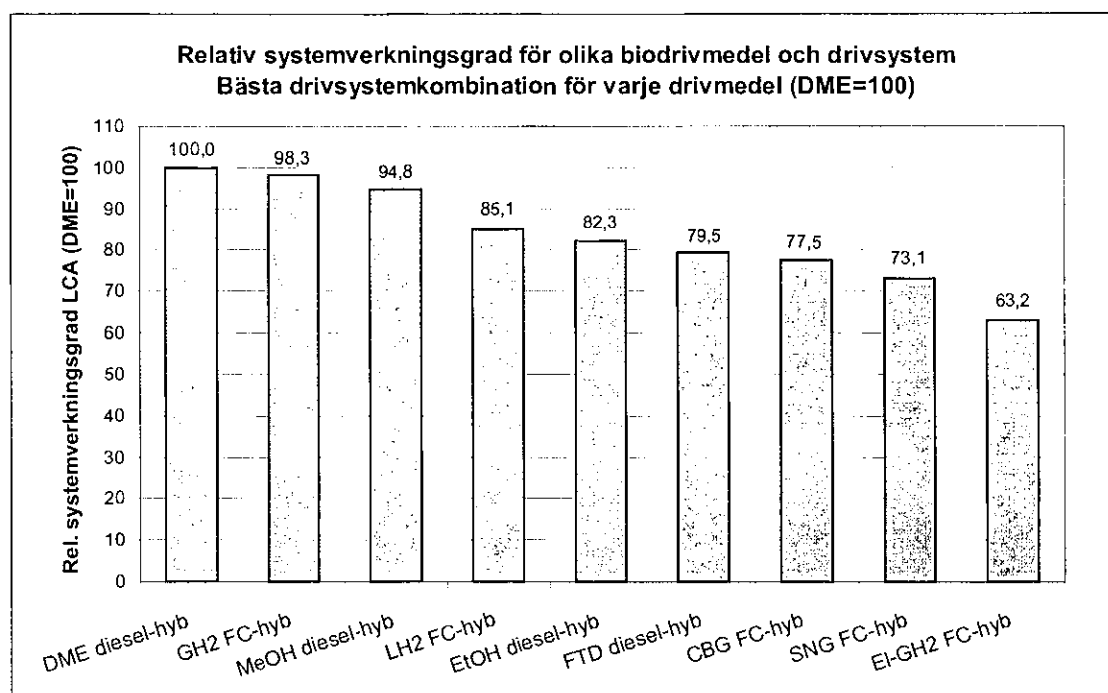
Den korta översikten enligt ovan visar att det i dag och på kort sikt egentligen bara finns ett enda biodrivmedelsalternativ till dieselloolja för SL, nämligen biogas. Drivmedlet kan genom den relativt begränsade tillgången karakteriseras som ett nischdrivmedel. De kända nackdelarna avseende distribution och tankning är mindre påtagliga för fordonsflottor som stadsbussar. Detta är därför en typisk nisch som passar biogas. På längre sikt måste dock andra alternativ undersökas och denna utgångspunkt är den egentliga upprinnelsen till det arbete som redovisas här.

2.3 Alternativa drivmedel på medellång och lång sikt

På längre sikt kan man utgå ifrån att utsläppen av alla emissionskomponenter kommer att bli mycket låga – oavsett drivmedel. Detta konstaterande kan tyckas något märkligt men det baseras på uppmätta emissionsvärden som har genererats i laboratorier i dag. Kommerialiseringen av ny tekniken som kan åstadkomma nära nollemissioner kommer förstås att dröja många år än.

2.3.1 Drivmedel från förnybara råvaror

Förutsatt att emissionsproblematiken kan lösas på längre sikt kommer – som diskuterats tidigare – problem som utsläpp av klimatgaser och energiförsörjning att få en större betydelse. I detta scenario kommer biodrivmedel och energieffektivisering att prioriteras högt. I en studie för Vägverket 2001 genomförde Ecotrafic en utvärdering av verkningsgraden i ett livscykelperspektiv för 98 olika kombinationer av drivmedel och drivsystem på en tids horisont omkring 2010 – 2015 [4, 5]. Studien gjordes för personbilar men resultaten torde bli snarlika även för stadsbussar. En sammanställning av totalverkningsgraden (från källa till slutanvändning) för bästa kombination av motor och drivsystem för varje drivmedel visas i **Figur 2**. För att förenkla tolkningen av resultaten har ett index 100 satts för det bästa drivmedlet och övriga drivmedel jämförs i relation till detta.



Figur 2. Relativ systemverkningsgrad för den bästa kombination av motor och drivsystem för respektive drivmedel. Drivmedel med biomassa som råvara.

Följande drivmedel framstår som de fem bästa kandidaterna (förklaringar till texten i figuren inom parentes):

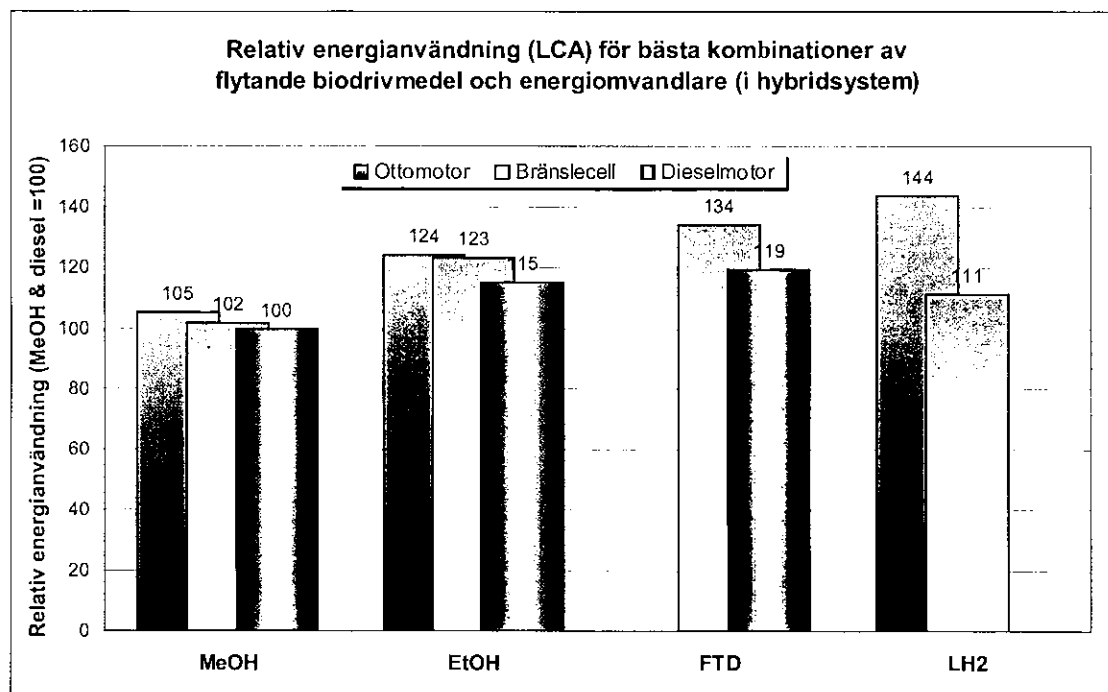
- DME (dimetyleter) i dieselmotorhybrid
- Vätgas (i gasform, GH₂ eller flytande form, LH₂) i bränslecellhybrid
- Metanol (MeOH) i dieselmotorhybrid
- Etanol (EtOH) i dieselmotorhybrid
- FTD (Fischer-Tropsch diesel) i dieselmotorhybrid

Om en ännu större fokusering på hög verkningsgrad görs kan listan reduceras till de tre alternativen DME, metanol och vätgas. Det kan också nämnas att skillnaden mellan de tre främsta alternativen och de nästkommande två är tämligen stor. Slutsatsen av resonemang-
et ovan är att framtida forsknings- och utvecklingsinsatser borde koncentreras på nämnda tre – eller möjligen fem – alternativ.

Några kommentarer om energiomvandlare ("motorer") och drivsystem kan också vara av intresse att inkludera. Föga förvånande är att hybridsystem alltid har högre verkningsgrad än konventionella drivsystem och följaktligen finns bara de förstnämnda representerade i figuren. Detsamma gäller också för energiomvandlarna ("motorerna") där dieselmotorer och bränsleceller har högre verkningsgrad än ottomotorer.

En viktig faktor för att ett drivmedel skall nå ett stort genomslag – och därigenom också en stor (positiv) miljöpåverkan – är att drivmedlet skall vara flytande. Distributionen av flytande drivmedel är väsentligt billigare än gasformiga och kryogena drivmedel. En speciell fördel under en introduktionsfas är också ifall drivmedlet kan användas i flera typer av

energiomvandlare. I **Figur 3** visas den *relativa* drivmedelsförbrukningen för några kombinationer av (flytande) drivmedel och energiomvandlare⁸. Alla drivsystemen i figuren är av hybridtyp.



Figur 3. *Energianvändning för flytande biodrivmedel*

Som synes är energianvändningen lägst för metanol i en dieselmotor och index för detta alternativ har därför satts till 100. Det kan för lekmannen tyckas något förvånande att skillnaden mellan de tre energiomvandlarna i metanolfallet är så liten som några procentenheter men det finns förklaringar till denna paradox. Bränsleceller har självfallet högre verkningsgrad än kolvmotorer men förlorar på att metanolen måste reformeras. Om metanolens unika egenskaper som ottomotorbränsle utnyttjas – vilket förutsatts i studien – blir skillnaden mellan otto- och dieselmotorer liten. Vidare är verkningsgradsökningen vid hybridisering större för otto- än för dieselmotorer och detta har också en viss betydelse.

Bränsleförbrukningen för etanol och FTD är väsentligt högre än för metanol. Den relativa skillnaden är för samma energiomvandlare grovt uttryckt ungefär lika stor som skillnaden mellan bensin- och dieselmotorer i dag. Faktum är att en metanoldriven ottomotor har väsentligt högre systemverkningsgrad än en dieselmotor driven med FTD. Något som brukar framhållas av förespråkarna för FTD är möjligheten att med detta drivmedel använda en dieselmotor med dess höga verkningsgrad. I ett livscykelperspektiv är dock metanol i ottomotor betydligt bättre. Den stora fördelen med FTD är i stället den obegränsade blandbarheten med dieselloja – något som man kan kalla "bränsleflexibilitet". Visserligen kan även metanol blandas i bensin men den bränsleflexibla ottomotorn (FFV) är en kompromiss som inte har lika hög verkningsgrad som en dedikerad motor då den måste kunna köras på såväl ren bensin som M85 (eller M100) och godtyckliga blandningar däremellan.

⁸ Notera att vissa kombinationer är tekniskt omöjliga, t.ex. FTD i ottomotor och därför finns inte denna stapel med i figuren.

2.3.2 Naturgas eller drivmedel med naturgas som råvara

Denna sammanställning har koncentrerats på biodrivmedel men det bör också nämnas att det finns möjligheter att använda naturgas i större skala. En ev. utökad användning i Sverige beror emellertid i hög grad på om en rörledning för naturgas kommer att byggas i regionen. En annan möjlighet vore att importera kryogen flytande naturgas (LNG) via tankbåt. Leveranser av LNG med fartyg förekommer internationellt bl.a. i Japan och USA (Texas). I båda fallen finns inga eller otillräckliga kvantiteter av inhemsk naturgas. Förvätskningen till LNG löser som sagt var problemet med distribution av naturgas från avlägset belägna naturgaskällor men till en hög kostnad och med avsevärda energiförluster. I en del fall förångas LNG sedan inför distribution i befintligt rörnät. Vid långa transporter krävs då också mycket energi för distribution och vid komprimering för tankning av CNG. Teoretiskt skulle man kunna "vinna" en hel del i verkningsgrad vid tankning av CNG om tryckhöjningen kunde göras i den kryogena fasen (LNG) före förångningen. Volymflödet är ju väsentligt högre för en gas än för en vätska. Denna verkningsgradsförbättring hade förutsatts i den tidigare nämnda studien för Vägverket.

Intresset för att konvertera naturgas till ett flytande drivmedel synes ha varit ökande under de senaste åren. Som nämnts ovan byggs eller projekteras ett antal anläggningar för framställning av FTD från naturgas. Intresset för metanol till bränsleceller har hittills varit lågt till förmån för vätgas men torde öka om bränsleceller i fordon skall få en större spridning. Detta torde dock kunna ske först på ganska lång tidshorisont. Något förvånande är att intresset för användning av metanol i konventionella kolmotorer är så litet då detta skulle kunna vara en övergångslösning. DME har rönt stort intresse hos några fordonstillverkare, främst Volvo lastvagnar. DME erbjuder möjligheten till en något högre verkningsgrad än metanol. Emellertid är kostnaden för DME högre i distributionsledet, vilket – trots den högre verkningsgraden – leder till en högre totalkostnad för drivmedlet.

2.3.3 Drivmedel framställda via syntesgas

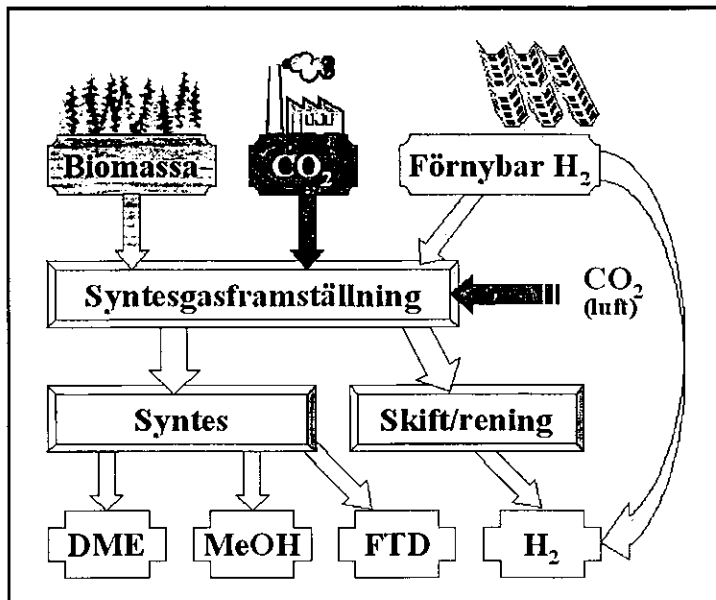
Som konstaterats ovan framställs *alla* tre biodrivmedel med högst systemverkningsgrad via syntesgas. I **Figur 4** visas schematiskt de olika vägarna för framställning av syntesgasdrivmedel från förnybara råvaror. Skulle förnybar vätgas finnas tillgänglig kan den också användas i processen och vid tillräckligt god tillgång möjliggörs också intag av (redan "förbrukad") CO₂ som kolkälla.

Även andra drivmedel än de i **Figur 4** nämnda är tänkbara – t.ex. bensin⁹ och metan¹⁰. Detta skulle i så fall ske med lägre systemverkningsgrad (bensin) eller till priset av en mer besvärlig distribution (metan). På kort sikt är det därför troligt att DME, metanol och FTD kommer att vara av störst intresse. På längre sikt kan förstas vätgas vara intressant men då måste först problemen med distribution och lagring lösas.

Den stora fördelen med att satsa på forskning och utveckling av syntesgasdrivmedel är att processen för framställning av syntesgasen är densamma för alla drivmedelsalternativen. Detta har bl.a. uppmärksammats av fyra svenska myndigheterna Energimyndigheten, Naturvårdsverket, Vinnova och Vägverket i en gemensam skrift [6]. Ännu har väl inte en nationell konsensus riktigt nåtts inom detta område men den nämnda skriften är ett initiativ i den riktningen.

⁹ En sådan bensin brukar ibland benämnas "bioalkylat".

¹⁰ Metan framställd via förgasning av biomassa eller annan fast råvara (t.ex. kol) benämns i USA ofta SNG, dvs. syntetisk naturgas.



Figur 4. Förnybara drivmedel producerade via syntesgas

3 ANVÄNDNING AV METANOL I FORDON

I detta kapitel görs en kort översikt av några erfarenheter av användning av metanol i fordon. Dessutom beskrivs kort de möjligheter som finns att använda tekniken i motorer till tunga fordon.

3.1 Användning av metanol i personbilar

Metanol är ett alternativt drivmedel som under en period på 90-talet kom att användas i tämligen stor omfattning i personbilar i USA¹¹. Det rörde sig då om bränsleflexibla bilar (M85) med liknande teknik som nu används för etanolbilar (E85). Av jordbrukspolitiska skäl och med hänvisning till försörjningstryggheten har man i USA på senare tid favoriserat etanol framför metanol. Etanolen framställs för närvarande inom landet av jordbruksprodukter (främst majs) medan metanol framställs från naturgas importerat. Att den metanol som använts var fossil och att etanolen framställs från bioråvara torde inte ha varit avgörande i USA – ett land där frågan om växthuseffekten inte tas på allvar av den nuvarande politiska ledningen. Metanol från bioråvara vore en möjlighet men förvånande nog har förhållandevis små resurser har allokerats för detta ändamål i USA.

En förklaring till "avvecklingen" av metanolanvändningen kan vara att drivmedelsdistributörerna inte i tillräcklig omfattning byggde upp en infrastruktur för distribution av metanol. Intresset från oljebolagen för detta var ringa då de själva inte producerade metanol till skillnad från fallet med oljeprodukter. De flesta bränsleflexibla bilarna avsedda för drift med M85 drevs faktiskt med bensin. Någon påtryckning i form av jordbruksintressen fanns ej heller som i etanolfallet. Metanolindustrin var inte inriktad på distribution av metanol för allmän användning, utan den helt avgörande delen av den produktionen var avsedd för kemisk/teknisk användning. Summan av nämnda faktorer – plus några till – medförde att intresset för metanol svalnade i USA i mitten av 90-talet.

3.2 Motorer med glödstift i stadsbussar i USA

I Kalifornien fanns under 90-talet ca 500 stadsbussar som kördes på ren metanol (M100). Dessa motorer var baserade på dieselmotorer av 2-takts typ (Detroit Diesel Co.) och använde glödstift som tändhjälp. Därigenom behövdes ingen fördröjande tändförbättrare i bränslet.

Man kan notera att driften av bussarna inte förlöpte helt utan bekymmer även om antalet seriösa publikationer inom området som denna slutsats kan baseras på är tämligen få. En del problem fanns initialt med beläggningar i insprutningssystemet som sedermera dock löstes med hjälp av en bränsletillsats. Tillförlitligheten var inte lika hög som för motsvarande motorer av samma typ för drift med dieselolja (dvs. 2-takts dieslar). Även slitaget sågs ha varit högre för de metanoldrivna motorerna. En del av dessa problem kan ha haft samband med motorernas arbetsprincip (2-takt) och den tämligen ålderdomliga konstruktionen.

¹¹ Man kan notera att det i Sverige och vissa andra länder i Europa förekom flottförsök med metanoldrivna bilar (M100) och inblandning av metanol i bensinen (M5, M15).

Under en period övergick man till etanoldrift¹² av bussarna för att sedan gå tillbaka till metanol och sedermera till dieselolja¹³. Konverteringen till etanoldrift sägs inte ha minskat de nämnda problemen. Under senare år har naturgas varit det alternativa drivmedel för stadsbussar som rönt störst intresse i USA.

Några få konverteringar av 4-takts motorer till etanoldrift med glödstift har gjorts. Tillräckliga erfarenheter från användning av dessa motorer har inte dokumenterats för att man skall kunna uttala sig om tillförlitlighet eller slitage för dessa motorer.

Sannolikt skulle de problem man haft med bl.a. glödstiften i metanolmotorerna kunna avhjälpas med nyare typer av glödstift. Exempelvis används i dag glödstift till personbilsdieselmotorer med en livslängd minst lika lång som för motorn i övrigt. Även om glödstift i metanolmotorer används mer frekvent än i det förra fallet¹⁴ torde det med användning av ny teknik finnas goda förutsättningar för en bättre tillförlitlighet inom detta område.

3.3 Metanol med tändförbättrare

I den etanol som används av bl.a. SL tillsätts en tändförbättrare. Denna tillsats fördyrar bränslet avsevärt. Liknande tillsatser skulle principiellt också kunna användas för etanoldrift men detta är ingen ekonomiskt hållbar långsiktig lösning av samma skäl som i etanolfallet. Genom att Scania – som varit den praktiskt taget enda leverantören av sådana motorer i Sverige – aviserat att de kommer att lägga ned sin tillverkning, kan man i dag inte rekommendera detta alternativ för användning av metanol. Om en annan tillverkare skulle visa intresse kommer förstås frågan upp till ny diskussion men med tanke på den avsevärda merkostnaden för tändförbättraren bör ändå andra alternativ föredras.

3.4 Konvertering till ottomotor

3.4.1 Förutsättningar för konvertering

Metanol har ett högt oktantal och är av detta skäl ett utmärkt ottomotorbränsle på samma sätt som naturgas/biogas. En konvertering av en dieselmotor till en ottomotor är således en fullt möjlig lösning. I ottomotorn används ett tändstift för att åstadkomma tändningen till skillnad från dieselmotorn som använder kompressionständning. Det höga förångningsvärmets för metanol minskar även de termiska problem som förknippas med användning av ottomotorer i tunga fordon (t.ex. naturgas/biogas).

Två principiellt olika vägar att kontrollera emissionerna från metanoldrivna ottomotorer finns. Dels kan en så kallad trevägskatalysator (TWC) av liknande typ som för bensindrivna motorer användas, dels finns möjligheter att tillämpa en mager förbränning av liknande slag som för tunga gasmotorer. Det förstnämnda konceptet har störst potential till låga emissioner. Problemen med de höga termiska påkänningarna har försvårat användningen av TWC konceptet på gasmotorer men med metanol som drivmedel ökar möjligheterna att tillämpa den tekniken. En nackdel för TWC gentemot mager förbränning, och en renodlad

¹² En övergång från metanol till etanol var möjlig genom en omprogrammering av motorns styrenhet.

¹³ Övergången till dieselolja innebar antingen motorbyte eller skrotning av bussen som då ersattes med en dieslbuss (eller naturgasbuss i vissa fall).

¹⁴ I personbilmotorer används glödstiftet bara vid kallstart och under uppvärmning medan en metanolmotor måste använda denna tändhjälp även med varm motor vid låglast.

dieselprincip i synnerhet, är en lägre effektivitet och därmed en högre bränsleförbrukning. Möjligheter att minska bränsleförbrukningen diskuteras dock (se nedan).

3.4.2 Zero-m:s koncept

Det brittiska företaget Zero-m¹⁵ konverterar såväl otto- som dieselmotorer till metanoldrift [2]. I båda fallen är den konverterade motorn en ottomotor. Zero-m har tagit fasta på de möjligheter till låga emissioner av framförallt NO_x och partiklar som TWC konceptet har. Med varm motor och katalysator kan nära nollemissioner nås (ang. kallstart, se nedan).

Ett problem som man arbetar med är att minska kallstartemissionerna av oförbrända organiska föreningar (VOC) och generellt de med emissionerna sammanhängande problemen att starta motorerna vid låg temperatur. För stadsbussar är andelen kallstartemissioner mycket liten men likväl måste problemet beaktas; inte minst av arbetsmiljöskäl. Emissionerna av NO_x och partiklar är för denna motortyp inget kallstartproblem och bör därför kunna bli mycket låga. Dock bör del icke reglerade emissioner (tillhörande VOC gruppen) beaktas. Emissionerna av aldehyder är ett klassiskt problem för alkoholdrivna motorer och dessa emissioner bör begränsas av hälsoskäl. Etanolförbrukning ger främst upphov till acetaldehyd och mindre mängder formaldehyd medan metanol i stort sett enbart bildar formaldehyd. Lukten från etanolförbrukning i Stockholm beror på emissionerna av ättiksyra och acetaldehyd. En del av acetaldehyden oxideras ofullständigt vidare till ättiksyra i katalysatorn. Ett problem i sammanhanget är den låga avgastemperaturen som medför att oxidationen inte blir fullständig vid alla driftsfall. Avsikten är att emissionerna av aldehyder skall kontrolleras med metanolförbrukning. En katalysatorutvecklare utvecklar för närvarande en katalysator som optimerats för att minska emissionerna av aldehyder från Zero-m:s metanolförbrukning. En ottomotor ger som regel upphov till högre emissioner av oförbrända flyktiga ämnen i avgaserna (HC och VOC) före katalysatorn än en dieselmotor. En fördel för en motor med TWC konceptet är dock en väsentligt högre avgastemperatur än för en dieselmotor, vilket ökar omsättningen i katalysatorn. Förutsättningar finns således för att emissionerna av formaldehyd skall kunna hållas på en låg nivå. Likväl finns som nämnts skäl att uppmärksamma dessa emissioner redan från början.

Som nämnts ovan medför en "enkel" konvertering att verkningsgraden minskar jämfört med en dieselmotor. Åtgärder för att väsentligt kunna öka effektiviteten diskuteras för närvarande. Med hänsyn till sekretess och kommersiella hänsyn beskrivs inte dessa möjligheter här i detalj. På längre sikt finns potential att nå samma nivå för verkningsgraden – eller till och med högre – jämfört med dieseloljedrivna dieselmotorer. Därmed finns en möjlighet till en unik kombination av ottomotorns låga emissioner (TWC) och dieselmotorns höga verkningsgrad.

Den första motorn avsedd för användning i buss håller just nu på att testas i motorprovcell. Montering av motorn i en dubbeldäckad Routemaster buss (typisk buss i London) planeras ske efter semestern 2003. Tester av bussen i praktisk drift följer därefter under hösten 2003.

En motor av samma slag som den som används i bussen i London kan vara klar för flottprov i Stockholm under våren/sommaren 2004. Jämfört med den första prototypen som

¹⁵ Företagsnamnet Zero-m är en ordlek som står för "zero emissions". Konceptet erbjuder en möjlighet till nollemissioner av såväl vanliga föroreningskomponenter som CO₂. Det senare kan ske genom ett patenterat system för återföring av trycksatt och förvätskad CO₂ till tankningsstationen eller produktionsanläggningen där det sedan används som "råvara" för ny metanol.

testas i London kan ett antal förbättringar integreras i konverteringen. Den fullt optimerade lösningen är dock inte klar för drift under nämnda tidsperiod.

4 FÖRSLAG TILL FLOTTPROV

4.1 Zero-m:s verksamhet

Som bakgrund kan det vara på sin plats att nämna något om Zero-m:s verksamhet rent generellt. I Storbritannien är Zero-m:s affärsidé att kunna sälja (en på förhand definierad kvantitet av) metanol med skattebefrielse eller kraftigt reducerad skatt. Detta påminner om de garantier som beviljats i Sverige för bl.a. etanol, RME biogas m.m. och som resulterat i att produktionsanläggningar kunnat uppföras. Total skattebefrielse har beviljats för 15 000 ton metanol som skall säljas i Zero-m:s regi.

Eftersom inga fordon som kan gå på metanol finns tillgängliga på marknaden kommer Zero-m initialt att arbeta med konverteringar. Diskussioner förs med bussleverantörer (däribland svenska) men avsikten är för närvarande att utföra konverteringarna i egen regi. Dock lämnas möjligheten öppen för tillverkarna att senare aktivt engagera sig i projektet. Privata finansiärer står i dag för största delen av det kapital som bolaget behöver för att genomföra sin strategi under de närmaste åren. Några projekt för statliga myndigheter har också utförts eller pågår. Intäkterna skall sedan i huvudsak komma från försäljning av metanol. Zero-m är inte direkt beroende av någon fordonstillverkare eller drivmedelsdistributör.

4.2 Utkast till projektupplägg

Det finns i dag praktiskt taget inga fordon tillgängliga på marknaden som kan drivas på metanol. Man kan möjligen resonemangsmässigt hävda att man i detta läge främst borde koncentrera resurserna på forskning och utveckling. Tyvärr är det så att ett rationellt förhållningssätt inte alltid är det bästa. För att ett kommersiellt intresse från såväl leverantörer (fordon och drivmedel) som kunder skall kunna initieras krävs en demonstration av fordon, åtminstone i liten skala (hönan och ägget problemet). Utan nämnda intresse kan ej heller utvecklingen drivas framåt. Ovanstående resonemang gäller även för andra drivmedel där det i dag inte finns några fordon tillgängliga, som t.ex. DME.

Nedan presenteras ett förslag till ett antal aktiviteter som är nödvändiga för att ett flottprov skall kunna dras igång. Beteckningen "flottprov" används här även om det för tillfället bara är en buss som avses.

Ecotraffic har fört diskussioner med SL för att utröna deras intresse för ett projekt inom området. Intresset har varit positivt och SL har allokerat en del medel för att utföra denna förstudie som underlag för ett mer definitivt beslut i frågan. Det arbete som lagts ned i samband med att organisera och genomföra möten i Sverige med bl.a. Zero-m och andra intressenter var en del i detta arbete. Ecotraffic har självfallet också lagt ner en hel del eget arbete utöver detta, vilket också varit fallet för övriga intressenter, inte minst Zero-m.

En viktig del i det arbete som varit en del i att samla in underlag för denna rapport har varit kontakter med olika företag, intressenter och myndigheter. Diskussioner har förts med bl.a. följande:

- Zero-m

- Statoil (Norge och Sverige)
- Identic
- Akzo Nobel
- Chemrec och Nykomb Synergetics
- Energimyndigheten
- Vägverket

Utöver de ovannämnda har också diskussioner förts med teknikutvecklingsföretag i Sverige som besitter spetskompetens inom olika områden. Dess företag skulle ev. kunna medverka i en vidareutveckling av Zero-m:s koncept. Av sekretesskäl redovisas dock inte dessa kontakter än.

För att ett flottprov skall kunna dras igång krävs en hel del förberedelser och framtagning av underlag. Några av dessa aktiviteter är:

- Undersökning av icke-tekniska barriärer och hinder för introduktion av metanol för detta syfte (hur hantera giftighet, distribution, m.m.)
- Legala frågor: skattebefrielse, tillstånd, etc.
- Utveckling av metanolmotorn (utförs i Zero-m:s regi)
- Projektorganisation och färdigställande av ansökan till svenska myndigheter

I det tänkta projektet med flottprov av en buss i Stockholm kan följande projektaktiviteter bli aktuella:

- Projektledning
- Drivmedelstillförsel
- Motorkonvertering
- Motorinstallation
- Emissionsmätningar
- Flottprov, inkl. uppföljning, datainsamling, service och underhåll m.m.
- Rapportering och information

För varje område på listan enligt ovan förutsätts att en organisation blir huvudansvarig. SL är naturligt nog projektets huvudman och har huvudansvaret för hela projektet. För projektledningen kan Ecotrafic och SL ansvara.

Drivmedelstillförseln involverar företag som Zero-m (drivmedelsspecifikation), Statoil (drivmedelsdistribution), Akzo Nobel (drivmedelstillsatser) och Identic¹⁶ (tankningsutrustning). Den metanol som för närvarande diskuteras framställs från naturgas och är därmed fossil. Möjligheten till produktion av metanol från biogas i en mindre pilotanläggning utreds parallellt men det är ej säkert om detta går att genomföra inom projektets tidsramar. För större kvantiteter i ett senare delprojekt finns möjlighet att importera metanol från fö-

¹⁶ Identic är en svensk tillverkare av tankningsutrustning (www.identic.se). Företaget är känt för att ha utvecklat den första tankningsanläggningen för en ”spillfri” och säker tankning av metanol. En demoanläggning med denna teknik finns i Kalifornien och används för att tanka metanoldrivna bränslecellbilar.

retaget SVZ i östra Tyskland¹⁷. Denna metanol framställs från avfall som delvis är biobaserat och en del av metanolen är därför biobaserad. I analogi med "grön el" vore det således möjligt att köpa in biometanol från anläggningen. Denna metanol säljs till världsmarknadspris och är därmed väsentligt billigare än något annat biodrivmedel på den europeiska marknaden. Det förtjänar att poängteras att intentionerna är att biometanol, och helst då från inhemsk produktion, så småningom skall användas. Det kan vara värt att ta den merkostnad som är förknippad med att importera *små kvantiteter* biometanol men av praktiska skäl kan man också diskutera möjligheten att använda fossil metanol för den första bussen då det ju bara är fråga om en enda buss i det fallet.

Zero-m arbetar i dag med motorkonverteringarna i egen regi men med ett antal underkonsulter involverade i verksamheten. Diskussioner med motortillverkare har förts och en motor från en av dessa levererades för tester under våren 2003. Frågan om en mer aktiv medverkan från en tillverkare utreds. Diskussioner för också mellan Zero-m, Ecotraffic och andra potentiella samarbetspartners om att assistera Zero-m med motorutvecklingen. I och med att den buss som avses testas i Stockholm blir en av de första som konverteras kommer alla planerade förbättringar inte att kunna införas på motorn till denna buss. Utvecklingsarbetet kommer dock att fortlöpa parallellt. En fråga är också huruvida denna verksamhet skall vara helt fristående utanför flottprovet eller om den skall integreras med detta på något sätt.

En motorinstallation och anpassning måste göras för en buss som används i Stockholm. Detta arbete kan utföras i samarbete mellan Zero-m, en av SL utsedd bussoperatör och Identic. En ombyggnad av tanksystemet i bussen för att passa Identics tankningsutrustning krävs också. Den fordonstillverkare som levererat bussen kommer att inbjudas att delta i nämnda verksamheter.

Emissionerna från bussen är av stort intresse. Mätningar enligt såväl en transient som en stationär körcykel kommer att utföras i Zero-m:s regi i Storbritannien. De nya europeiska körcyklerna avsedda för motorprovbänk kommer att användas. Frågan är om detta är tillfyllt eller om man vill utföra mätningar på chassidynamometer i Sverige. Förslaget nu är att göra detta men detta är naturligtvis också en kostnadsfråga då sådana tester är dyra. Eventuellt kan man tänka sig att lägga denna aktivitet fristående från projektet genom att den t.ex. ingår i ett annat program (exempelvis EMFO). Ecotraffic kan vara ansvarig för ett delprojekt inom detta område och t.ex. AVL MTC i Jordbro är en tänkbar underleverantör av provningar.

Under flottprovet kommer data från driften att insamlas. Vidare kommer en del service och underhåll att utföras. Den av SL utsedda bussoperatören tillsammans med Zero-m kan ha ansvar för detta delprojekt, ev. med viss teknisk assistans av Ecotraffic.

Underlag för rapportering insamlas av den ansvariga organisationen för respektive delprojekt. Ecotraffic sammanställer med bistånd från övriga deltagare en rapport från projektet avsedd att publiceras i någon av de svenska myndigheternas rapportserier. Rapporten skrivs på engelska men med en utökad svensk sammanfattning. Inom projektet planeras en hel del informationsaktiviteter. Detta är viktigt eftersom metanol i dag måste klassas som ett "nytt" drivmedel på marknaden med de betänkligheter som alltid är förknippat med nya

¹⁷ I Tyskland finns också en pilotanläggning för produktion av Fischer-Tropsch dieselolja (kallad Biotrol) och metanol. Denna anläggning är ett samarbete mellan DaimlerChrysler, Volkswagen och utvecklingsföretaget Choren Industries. Anläggningen kan producera mindre kvantiteter av drivmedel och har som främsta syfte att föra forskningen och utvecklingen framåt inom området.

drivmedel. Metanol är också ungefär lika giftigt eller t.o.m. något giftigare än bensin vid inmundigande. Med drygt 100 års erfarenheter av bensin kan man i det fallet hantera detta problem. Vid den omfattande kemisk/tekniska användning av metanol finns heller inga problem då hanteringen sker av kvalificerad personal. I föreliggande fall med metanolbussen måste dock berörd personal informeras och utbildas. Information är också viktig som bas för en ev. fortsättning av projektet i form av ett större EU-projekt. Detta projekt måste inkludera flera länder och information är en viktig aktivitet för att sprida resultaten från flottförsöket i Stockholm som sedan kan leda till att kontakter kan knytas med tänkbara samarbetspartners.

4.3 Behov av stöd

Ecotrafic har som tidigare nämnts erhållit ett visst stöd från SL (motsvarande 7 dagars arbete) för att ta fram detta underlag för SL:s räkning. Ecotrafic har också satsat en hel del eget arbete utöver detta.

Avsikten är att söka stöd för flottprovet från någon svensk myndighet, t.ex. Energimyndigheten, Vägverket eller Vinnova. Under hösten kommer flera av myndigheterna att gå ut med inbjudningar för ett antal program. Energimyndigheten utlyser två program, "Energisystem i vägfordon" och "Alternativa drivmedel", av vilka det senare torde vara aktuellt i detta fall. Vägverket kommer under senhösten eller slutet av året att komma med en inbjudan till ett program kallat EMFO, som behandlar emissionsforskning. Alternativa drivmedel torde ingå i detta program men då programskrivningar ännu inte har offentliggjorts är det osäkert vad som egentligen ingår. En emissionsutvärdering skulle kunna vara en lämplig delfinansiering från detta program. Vinnova kommer att utlysa en inbjudan angående "Innovativa fordon" under hösten men det är troligt att detta projekt inte ligger inom ramarna för Vinnovas program.

Närmast finns behov av stöd för att organisera projektet och sammanställa ett projektförslag för att söka finansiering från något av ovan nämnda program. Projektet torde, som framgår av ovan beskrivna skiss, bli ganska omfattande trots den ringa omfattningen beträffande antalet fordon. Detta är naturligt då hela kedjan från drivmedelsförsörjning till slutanvändning måste beaktas för ett "nytt" drivmedel som det är fråga om i det här fallet. Företag och aktörer inom alla nämnda områden har dock redan kontaktats och är preliminärt intresserade av att delta. Ecotrafic försöker närmast utröna om det finns möjligheter att erhålla planeringsbidrag med syfte att färdigställa en ansökan till berörda myndigheter.

5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Att introducera ett nytt drivmedel på marknaden är komplicerat. Den berömda moment 22 situationen, dvs. hönan och ägget, uppstår gärna. Detta torde gälla även i det här fallet. Inom området drivmedelsframställning pågår för metanol en del aktiviteter men mer forskning och utveckling behövs inom området. Det kommer därför att dröja några år innan den första kommersiella anläggningen kan byggas. Någon marknad i form av fordon som drivs med detta drivmedel finns ännu inte. Så småningom måste dock denna marknad skapas. Några kommersiella fordon finns för närvarande inte. Av strategiska skäl bör man initiera aktiviteter inom detta område när så är tidsmässigt lämpligast. Sannolikt börjar denna tidpunkt närma sig så småningom. Enär de stora fordonstillverkarna i dag inte ser en tillräckligt stor marknad för att vilja engagera sig, torde konverteringar av befintliga fordon vara den enda möjligheten inom en nära framtid. Zero-m i Storbritannien är ett företag med just denna inriktning på sin verksamhet.

Innan aktiviteter dras igång för att introducera ett nytt drivmedel på marknaden måste ett trovärdigt underlag finnas. De tänkbara framtida drivmedelsalternativen är många men bara något enstaka av dessa alternativ har någon rimlig möjlighet att nå ett stort genomslag. En process för att sälla fram lämpliga kandidater för nya satsningar måste göras. Ett sådant underlag har ställts samman i denna rapport. Underlaget baseras i sin tur till stor del på tidigare utförda studier.

En sammanfattning av slutsatserna från det projekt som redovisas här är följande:

- I och med det nya EU-direktivet för främjande av biodrivmedel kommer intresset för sådana drivmedel att öka. Eftersom produktionskapaciteten för olja om ca 10 år inte kommer att klara efterfrågan uppstår på sikt även ett försörjningsproblem.
- I dag finns i Stockholm i stort sett bara biogas kvar som biodrivmedelsalternativ på kort sikt eftersom Scania inte längre kommer att satsa på etanol.
- Biodrivmedel som DME, metanol och vätgas verkar ha störst potential till en hög systemverkningsgrad i ett livscykelerspektiv. Satsningar för att på längre sikt utveckla dessa alternativ bör prioriteras högre än i dag. Gemensamt för alla dessa drivmedel är att samma teknik för framställning av syntesgas kan användas. Metanol är det enda av de nämnda alternativen som är ett flytande drivmedel.
- Olika möjligheter för användning av metanol i stadsbussar har identifierats. Gemensamt är att en potential till hög verkningsgrad i ett livscykelerspektiv finns för metanol såväl för bränsleceller som för otto- och dieselmotorer.
- Några kommersiella fordon för användning av metanol finns inte i dag. En konvertering av befintliga fordon är därför den enda möjligheten på kort sikt. Företaget Zero-m i Storbritannien har anammat denna inriktning på sin verksamhet. Diskussioner har förts med Zero-m och ett antal andra intressenter samt med två olika myndigheter (Energimyndigheten och Vägverket) om ett projekt inom området.
- En skiss till ett tänkbart projekt för praktisk drift av en metanolbuss i Stockholm har gjorts. Några myndighetsprogram där stöd skulle kunna erhållas för projektet har identifierats.

6 REFERENSER

1. EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2003/30/EG av den 8 maj 2003 om främjande av användningen av biodrivmedel eller andra förnybara drivmedel, tillgänglig på Internet på hemsidan: <http://www.europa.eu.int/eur-lex/sv/>, 2003.
2. Rogner H. H.: "An Assessment of World Hydrocarbon Resources." *Annual Review of Energy and the Environment*, 22:217-262, 1997.
3. Zero-m:s hemsida på Internet: <http://www.zero-m.com/index.html>, 2003.
4. Ahlvik P. och Brandberg Å. (Ecotraffic): "Systemeffektivitet för alternativa drivmedel – Olika drivsystem/motorer i ett livscykelperspektiv 2012." Vägverket Publikation 2001:39, Vägverket, www.vv.se, 2001.
5. Ahlvik P. and Brandberg Å. (Ecotraffic): "Well-to-wheel efficiency for alternative fuels from natural gas or biomass" Swedish National Road Administration, Publication 2001:85, available at the Internet site of SNRA at www.vv.se, 2001.
6. SEPA, Vinnova, STEM and Vägverket: "Introduction of biofuels on the market." The public administration reference group recommendations, 2003. En tidigare svensk utgåva av samma skrift finns också.



Ecotrafic AS

Huvudkontor / Head office
Karlavägen 18, Box 5671
S-114 86 STOCKHOLM
Tel +46 (0) 8-614 50 56
Fax +46 (0) 8-614 50 08
E-post: eco@ecotraffic.se

Ecotrafic Norge AS
Postboks 276
Skøyen, N-0213 OSLO
Tel +47- 22 54 92 54
Fax +47- 85 02 52 11
E-post: ecotraff@online.no

Ecotrafic Philadelphia
916 Washington Lane
Rydal PA 19046, USA
Tel +1-215-481-9753
Fax +1-215-784-6584
E-post: ecotraffic.usa@juno.com

www.ecotraffic.se