

ABg

DME - DRIVMEDEL FÖR DIESELMOTORER
PRODUKTION, DISTRIBUTION OCH ANVÄNDNING

Rapport för KFB

av

Å. Brandberg, Ecotrafic R&D AB
B. Sävbark, ”
I. Landälv, Nykomb Synergetics AB
M. Lindblom, ”

DME - DRIVMEDEL FÖR DIESELMOTORER

PRODUKTION, DISTRIBUTION OCH ANVÄNDNING

INNEHÅLL

	Sida
0. SAMMANFATTNING	1
1. BAKGRUND	3
2. MILJÖ-, HÄLSOEGENSKAPER	3
3. TILLVERKNING AV ETRAR	5
3.1 Syntesgasframställning	5
3.2 Gasbehandling	7
3.3 DME - syntes	13
3.4 Produktrening	14
3.5 Energiutbyten, investerings- och produktionskostnader	15
4. INFRASTRUKTUR OCH DISTRIBUTION	17
5. DME SOM DRIVMEDEL I DIESELMOTORER	20
REFERENSER	27

Revis. KFB 5
Nylom 2
Tops 1
Megas 1
Göteborg 1
AM 1
BS 1
AB 1

DME - DRIVMEDEL FÖR DIESELMOTORER

PRODUKTION, DISTRIBUTION och ANVÄNDNING

0. SAMMANFATTNING

- DME, dimetyleter, är ett sotfritt brinnande drivmedel lämpligt för dieselmotorer men är en gas som måste hanteras under tryck (i likhet med Motorgas, propan) och är då en vätska.
- Ur miljö- och hälsosynpunkt är DME vid hantering under praktiska förhållanden som drivmedel ett harmlöst ämne, använt bl.a. som drivgas i sprayburkar.
- DME produceras via syntesgas och kan därigenom framställas från vilken råvara som helst, inklusive biomassor, genom förgasning. DME är den eter som kan tillverkas till lägsta kostnad och billigare än metanol.
- Produktionsprocessen är mycket snarlik den för metanol. I dag framställs DME från metanol men kan syntetiseras direkt från syntesgasen med teknik som måste betecknas som känd även om sådan produktion ej sker f.n.
- DME-syntes ger ca 5 % effektivare anläggning än metanol-syntes och behöver därigenom lika mycket mindre råvara. Med naturgas som råvara i självförsörjande anläggning är DME-utbytet i energitermer ca 70 % och med biomassa som råvara bedöms utbytet vara 55 - 60 %. Möjlig biprodukt är hetvatten för fjärrvärmeändamål.
- Kostnaden för DME med bioråvara beräknas vara ca 7 öre/liter lägre än för motsvarande mängd metanol, som antas kosta 2 kr/liter, för samma transportarbete.
- Distribution (lagring, transporter) av DME, som måste ske som vätska under tryck, är betydligt kostsammare än för dieselolja och bensin och beräknas innebära en merkostnad på minst 40 öre per liter DME vid jämförelse med dieselolja för samma transportarbete. Merkostnaden är också högre än om metanol skulle ha använts för samma uppgift.
- Merkostnaden för distribution av DME överstiger den lägre produktionskostnad DME har i jämförelse med metanol.

- DME är genom sin goda tändvillighet vid insprutning i motorns cylindrar ett utmärkt drivmedel för dieselmotorer, som anpassats för DME, och dessas höga verkningsgrad kan bibehållas. Då lägre insprutningstryck kan användas än med dieselolja finns t.o.m. viss möjlighet till förbättring.
- Av avgasmätningar finns ännu bara få utförda med flercylindriga motorer, men indikationerna för låga oönskade utsläpp är goda inte minst genom DMEs enkla kemiska uppbyggnad. Uppmätta utsläpp av kväveoxider är betydligt lägre än med dieselolja och i klass med alkoholorer. Genom sotfri förbränning kan avgasåterföring (EGR) problemfritt användas för ytterligare minskning av bildningen av kväveoxider.

1. BAKGRUND

Etrar kan vara av intresse som drivmedel av två skäl. Dels kan de vara självständiga drivmedel och produceras i stor skala från olika råvaror (från naturgas till biomassor), dels är de föreningar utan kol-kol-bindningar och har därigenom förutsättning för förbränning utan partikelbildning och mycket låga skadliga utsläpp.

För närvarande knyts intresset främst till DME, dimetyleter, på grund av dess låga självantändningstemperatur, ca 235°C, (= högt cetantal, 55-60) och därmed lämplighet som dieselmotorbränsle. En annan eter med liknande egenskaper är DMM, dimetoxymetan, även känd under namnet "Methylal". Både DME och DMM har tidigare provats som lättflyktiga tillsatser till metanol för att underlätta kallstart av ottomotorer för detta drivmedel (IEA 1986). Som självständigt drivmedel för ottomotorer lämpar sig DME inte då dess oktantal är så lågt som ca 70. En annan möjlig eter med etanol som ursprung är DEE, dietyleter, som dock innehåller kol-kol-bindningar.

DME är med säkerhet den av etrarna som kan framställas till lägsta kostnad.

DME är vid vanligt tryck och temperatur en gas (kokpunkt -25°C) men är under tryck (5-10 bar) en vätska, som kan hanteras som sker med Gasol (propan, butan, LPG) i dag. DMM är en vätska med kokpunkt på +42°C och DEE likaledes en vätska med kokpunkt på +35°C. Olika egenskaper för olika drivmedel återges i *tabell 1*. DME är som vätska färglös och vattenklar med en svag eterlukt. DEE är den som vanligen är känd som "eter" (tidigare använd som bedövningsmedel vid kirurgiska operationer) och har en kraftig lukt.

DME används i dag huvudsakligen som drivgas i spray-burkar (miljövänligare alternativ till freoner och propan) och som kemisk råvara.

2. MILJÖ-, HÄLSOEGENSKAPER

Då DME sedan länge använts inom farmaceutisk industri (drivgas) har DME grundligt undersökts och lett till slutsatsen att den *ur hälso- och miljösynvinkel är en under praktiska förhållanden harmlöst ämne* (TNO 1996). DME är inte klassat som vådligt ämne och har inte visat några irriterande effekter i luftvägar eller mutagena eller teratogena (påverkande fosterutveckling) egenskaper vid koncentrationer i luft under 40.000 ppm (4 vol-%). Narkotiska effekter har således noterats först vid mycket höga koncentrationer, över 80.000 ppm i luft. Nämda koncentrationer är inte tänkbara för allmänhetens exponering. Dödliga koncentrationer vid 15 - 30 min. exponering ligger för möss på flera hundra tusen ppm. DME finns inte på Arbetarskyddsstyrelsens lista över hygieniska gränsvärden, men i Tyskland anges 1000 ppm som gräns för personer som yrkesmässigt arbetar med DME.

I atmosfären är DME föga reaktivt (ozonpotential anges ungefär som för

Tabell 1. Egenskapsdata för DME, propan, dieselolja, metanol

	DME	Propan	Diesel- olja, MK1	Metanol
Kemisk sammansättning				
kol, % C	52,1	81,7	~86	49,9
väte, % H	13,1	18,3	~14	12,6
syre, % O	34,7	0	0	34,7
Molvikt	46,068	44,094		32,042
Densitet (l), 20°C, kg/m ³	668	501	810-820	795
Densitet (g), 20°C, 1 bar(a) kg/m ³	1,92	1,88		1,35
Gasdensitet rel. luft = 1(15°C)	1,59	1,55	3 - 4	1,11
Ångtryck, 20°C, bar(a)	5,1	8,3		0,12
RVP (37,8°C), bar(a)	8	13,5	0,0007	0,32
Ångtryck, 60°C, bar(a)	14	20,8		0,77
Kokpunkt (1 bara), °C	-24,9	-42,1	180-300	65
Fryspunkt (stelningspunkt), °C	-139	-190	-9 - -45	-94
Ångbildningsvärme vid kokpunkt, MJ/kg	0,41	0,43	0,25	1,17
Värmevärde (HHV), MJ/kg	31,8	50,3		22,65
" (HHV), MJ/lit.	21,2	25,6		18,0
" (LHV), MJ/kg	28,8*	46,4	43,2	19,9
" (LHV), MJ/lit.	19,2	23,5	35,2	15,8
CO ₂ -bildning, g/MJ (LHV)	67	64,6	72	68,9
Självantändningstemp., °C	235	460	~250	470
Brännbarhetsgränser i luft, vol-%	3,4-17	2,1-9,5	0,6-6,5	6,7-36
Flampunkt, °C	-41	-100	>50	11
Löslighet i vatten, 1 bar(a), 20°C mass-%	5,7	0,39		∞
Vattens löslighet i, 4,8 bara, 20°C mass-%	5,5			∞
Cetantal	>55	---	~50	~5
Oktantal (RON)	70	112	---	120

* Andra källor (AVL) anger 27,6 eller 28,4 MJ/kg.

MTBE 15,7

49,9 18,2 15,7

26,1 27,0

MTBE) och oxidationen uppges inte ge mer toxiska mellanprodukter (t.ex. aldehyder) utan ger koldioxid och vatten genom reaktion med hydroxylradikaler, som bildats genom solstrålning. Halveringstiden är beroende på solintensitet och temperatur från några timmar till några dagar. Nedbrytning genom mörkerreaktion kan ske via nitradikaler.

I vatten eller mark sker ingen kemisk eller biologisk nedbrytning, men någon anrikning i biologiskt material sker inte heller. Spilld DME-vätska förångas lätt liksom DME i ytvatten, men i vatten löst DME kan spridas med dettas vandringar i berggrunden. Detta synes dock inte kunna leda till hälso- eller miljöproblem.

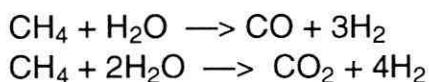
3. TILLVERKNING AV ETRAR

Tillverkningsvägen för aktuella etrar går vanligen över syntesgas, d.v.s. en blandning av huvudsakligen vätgas och koloxider, som erhålles genom förgasning av den gasformiga, flytande eller fasta råvaran. Undantaget är DEE, för vilken dehydratisering av i detta sammanhang enbart biokemiskt framställd etanol är av intresse. DMMs kända tillverkningsväg går via metanol och formaldehyd och är således en längre och kostsammare väg än för DME, som kan framställas direkt ur syntesgas som alternativ till metanol som huvudsaklig slutprodukt.

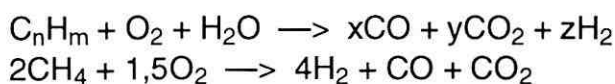
Tillverkningen i dag av DME (ca 150.000 t/år) sker genom dehydratisering (kemisk avskiljning av vatten) av redan framställd metanol. Vid produktion i större skala, som kan bli aktuell för drivmedel, utförs dehydratiseringen direkt i syntesreaktorn och DME blir huvudsaklig slutprodukt.

3.1 Syntesgasframställning

Framställning av syntesgas är mycket väl etablerad teknik med naturgas, nafta, tjocka restoljor och kol som råvara, medan den med torv och biomassor av olika slag ännu befinner sig på utvecklingsstadiet om än nära kommersiell demonstration. Metan och lätta kolväten kan katalytiskt omsättas med vattenånga ("steam reforming") vid ca 900°C till syntesgas i tuber med indirekt värmetillförsel (utvändig eldning av gas) enligt reaktionsformeln nedan.



Oljor och fasta råvaror förgasas med hjälp syrgas och vattenånga (partiell oxidation; kan göras även med metan) i en flamma vid hög temperatur (>1200°C) enligt summaformeln nedan.



I mycket stora anläggningar bedöms den tekniken vara den bästa även med

naturgas som råvara (autoterm reformering, ATR). Syrgasen framställs genom kryogen destillation av luft, som nedkylts till vätska, vilket är en väletablerad teknik.

Biomassor och i viss mån torv skiljer sig från de fossila råvarorna genom att vara mer reaktiva, d.v.s. kunna förgasas vid lägre temperatur och snabbare. Detta har lett till försök att använda indirekt värmning vid förgasningen (cirkulerande upphettad gas, överföring via värmeväxlare, cirkulerande fast värmebärare i direktkontakt) med värmetillförsel från ett förbränningssteg, i vilket luft användes. Tanken har varit att slippa ifrån energikrävande anläggning för syreseparation från luft.

Analys av sådana alternativ gjordes omkring 1980 i Sverige inför förestående utvecklingsarbeten över biomassaförgasning (Lindman 1980). Resultatet blev att direkt syreförgasning föredrogs ur energisynpunkt, då energianvändningen för syreutvinningen mer än uppvägdes av ökade förluster med rökgaser och kylförluster vid gasupparbetningen.

Den indirekta "förgasningen" är egentligen en pyrolysisprocess i ångatmosfär, och då denna genomförs vid måttlig temperatur, $\leq 900^\circ\text{C}$, kommer gasen att innehålla tjäror, kondenserbara kolväten och hög halt metan och fordrar långtgående upparbetning för att bli lämplig som syntesgas. Den direkta förgasningen med syrgas kan vanligen drivas vid högre temperatur och gasen får lägre halter av nämnda ämnen med följd att behovet av upparbetning minskar.

Förslag till förgasning av biomassa för metanolsyntes i USA har dock ställt den indirekta vägen (Battelle Columbus Lab., BCL-förgasaren) som gynnsammare ur både energi- och kostnadssynpunkt (Larson 1992), vilket är motsatt resultat till det som relaterats ovan. Detta måste ytterligare studeras, vilket f.n. sker i ett annat projekt.

Omfattande utvecklingsinsatser gjordes på flera håll (Sverige, Finland, Frankrike, USA, Kanada) under 80-talets första hälft men har sedan legat på låg nivå på grund av minskat intresse för alternativa drivmedel till följd av låga oljepriser. Utvecklingen skiftade inriktning mot förgasning med luft för kraft/värmegenerering i liten skala. Senare års fokusering på den förstärkta växthuseffekten genom den alltmer ökade förbränningen av fossila bränslen har i viss mån återväckt intresset för syntesgasgenerering från biomassa. Kolets ursprung, fossilt eller modernt, kan fastställas genom kol-14 datering (Nutek 1995).

Den svenska utvecklingen ledde fram till en pilotanläggning (12 t/d torr råvara) för förgasning i fluidiserad bädd med syre/ånga under tryck, vilket är önskvärt då den efterföljande syntesen måste utföras under tryck. Processutformningen kallades MINO (MINimum Oxygen), då särskild inriktning var att hålla syreförbrukningen så låg som möjligt. Minskning av tjärhalt i gasen gjordes i särskild kracker med dolomit som katalysator, och ev. metanreduktion kunde ske i efterföljande katalytisk reaktor. Dessa steg förutsatte att gasen befriades

2,5 MW

från stoft i filter vid hög temperatur. Dagens utformning (utvecklad för förgasning med luft vid atmosfärstryck) undviker stofffiltret och tjärkrackningen genomföres i cirkulerande fluidiserad dolomitbädd, CFB.

I Finland kom inriktningen att bli torv som råvara och användning av HTW-förgasaren (HögTemperatur-Winkler), som i Tyskland utvecklats för förgasning av brunkol (och där nu användes för syntesgas till kommersiell metanolproduktion). Efter försök i en stor pilotanläggning i Tyskland (med också svenskt deltagande; SDAB 1984) byggdes 1988 hos Kemira i Uleåborg en kommersiell förgasare för 25 t/hr torv-TS (Koljonen 1993). Syntesgasen användes i den befintliga fabriken för ammoniakframställning (tjockolje-baserad). Förgasaren hade tagit sig igenom "barnsjukdomsstadiet", då ammoniakfabriken 1990 lades ned, och förgasaren står nu i malpåse. Under kort period användes även träbiomassa som delråvara.

Typiska rågas-sammansättningar med naturgas respektive trä som råvara visas i tabell 2 nedan

**Tabell 2. Typiska rågassammansättningar nedströms
förgasningssteget**

	<i>Uleå borg</i>	Träråvara	Naturgas¹⁾
H ₂ , vol-% av torr gas	<i>28,6</i>	30	68
CO, -"	<i>36,7</i>	33	20
CO ₂ , -"	<i>28,7</i>	30	11
CH ₄ + högre kolväten + inerter ²⁾ , vol-%	<i>6,7 0,2</i>	7	1

1) Primär och sekundär reformering nyttjande O₂ i sekundärsteget.

2) Inerter (kväve, argon) <1.

Med naturgas kan således en väterik syntesgas erhållas (väte/koloxid-kvot över 3), medan träråvaran ger vätefattig gas (kvot mindre än 1). Detta styr den fortsatta gasbehandlingen för att få önskad kvot för metanol/DME-syntes (nedan).

3.2 Gasbehandling

Rågasen innehåller utöver önskade koloxider och väte även stoft, kolväten och svavel- och kväveföreningar, som ej kan delta i eller stör den katalytiska syntesen. Dessutom behöver syntesen ett visst förhållande mellan vätgas och koloxider, som avviker från rågasens då annat än naturgas är råvara. Gasbehandlingen måste innehålla steg för att omvandla eller avlägsna kolväten,

avlägsna svavel- och kväveföreningar och justera (höja) väte/koloxid-förhållandet (skiftning = omsättning av kolmonoxid med vattenånga till vätgas och koldioxid), vilket också kan innebära avlägsnande av del av koldioxiden. Därvid kan också svavelföreningar avlägsnas och utvinnas som svavel eller svaveldioxid.

Så när som på krackning av tjäror till lägre kolväten innebär gasbehandlingen känd och väl etablerad teknik. Endast dimensioneringen av delstegen beror på den råvaruberoende rågasens sammansättning. Alltför mycket metan och andra lätta kolväten (och inerta gaser som kväve och argon) i gasen leder till anrikning av dessa i syntesgasen, då inte omsatt gas måste recirkuleras efter avskiljning av bildad metanol eller DME. Alltför hög anrikning går ut över syntessreaktorns prestanda.

Anrikningen över viss nivå kan förhindras genom avdrag (avblödning; "purge") av metananrikad gas (halter över ca 30 %), vilket sker i syntessteget, eller genom att kolvätena katalytiskt omvandlas till vätgas och kolmonoxid ("reforming"). Avdragen gas kan användas som bränslegas i anläggningen eller underkastas reformering. Ett litet avdrag måste alltid göras på grund av de inerta gaserna.

Blockschemat i *Figur 1* illustrerar de delsteg som ingår i ett DME-produktionskoncept för att utföra nödvändig gaskonditionering.

Efter kylning av gasen i torrt tillstånd genom högtrycks(HT)ångproduktion skrubbas gasen med vatten för att avskilja vattenlösliga föroreningar såsom ammoniak och kvarvarande spår av fint stoft. Gasen blir samtidigt uppfuktad, vilket är behövligt för det nedströms liggande katalytiska skiftsteget.

CO-skift

Det är nödvändigt att justera rågasens H_2/CO förhållande för att erhålla optimala syntesbetingelser i DME-steget. Detta görs med känd konverteringsteknik över en svaveltolerant CO-skiftkatalysator vid ca 250°C. Skiftreaktionen



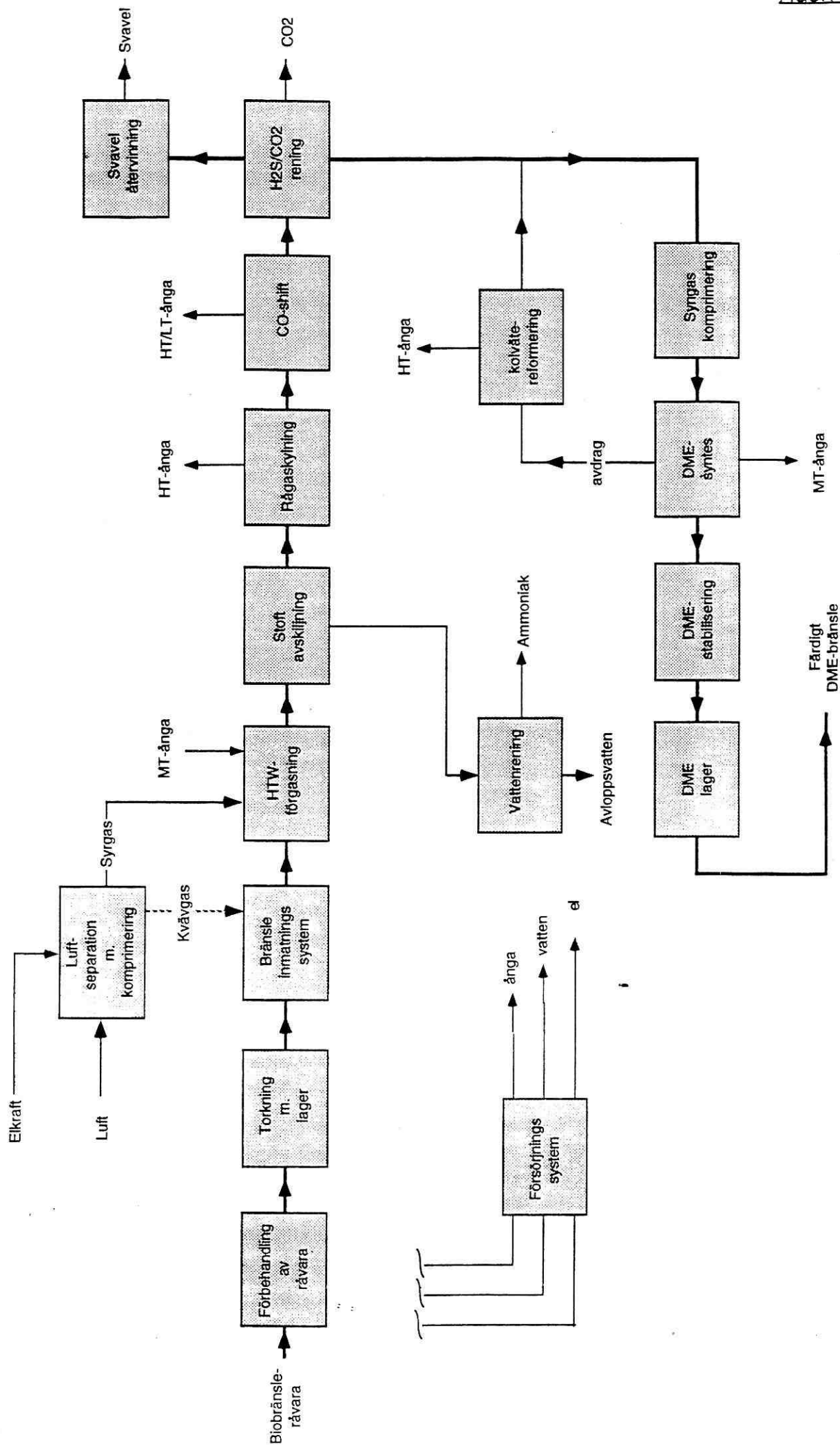
är exoterm och den skapade processvärmen möjliggör ytterligare produktion av ånga både av högtrycks(HT)- och lågtrycks(LT)-kvalitet.

Rågasen med bioråvara i tabell 2 beräknas efter skiftning ha sammansättningen (förutom svavel- och kväveföreningar):

H_2	37,6 vol. %
CO	18,5 "
CO_2	37,6 "
CH_4	6,2 "

Den ligger till grund för den fortsatta gasreningen och DME-syntesen.

BLOCKSCHEMA: Från biomassa till DME (HTW förgasningsteknik)



FIGUR 1

Gasrening

Efter det att H_2/CO förhållandet justerats, behövs en minskning av CO_2 halten i gasen för att åstadkomma en s.k. stökiometrisk gas, som är optimalt anpassad för metanol och DME-syntes. Volymförhållandet mellan $H_2/CO/CO_2$ skall uppfylla följande krav:

$$(H_2 - CO_2) / (CO + CO_2) = 2,01 - 2,10$$

Dessutom måste svavelföreningar i gasen reduceras till mycket låg nivå (< 0.1 ppm), då de är giftiga för synteskatalysatorn. Då svavelhalten i rågasen är låg och behovet av CO_2 -reduktion stort, är en process med speciellt goda CO_2 -reduktionsegenskaper viktigast. För att nå ner till så låga halter av svavel måste i alla fall en efterföljande svavelabsorptionsbädd med zinkoxid inkluderas som svavelvakt före synteskatalysatorn.

Mängden svavel som avskiljs i gasreningssteget är under alla förhållanden mycket liten med biomassaråvara och svavelåtervinningssteget utgörs därför av en våt oxidationsprocess. En s.k. Claus-process, som normalt förekommer i svavelåtervinnings-sammanhang, är nämligen olämplig då svavelmängderna är så små som i detta fall. Lämpliga processer är exempelvis LO-CAT (ARI-Technologies) och SulFerox (Dow). Dessa processer producerar ett svavel som har något lägre kvalitet än normala (Claus) processer.

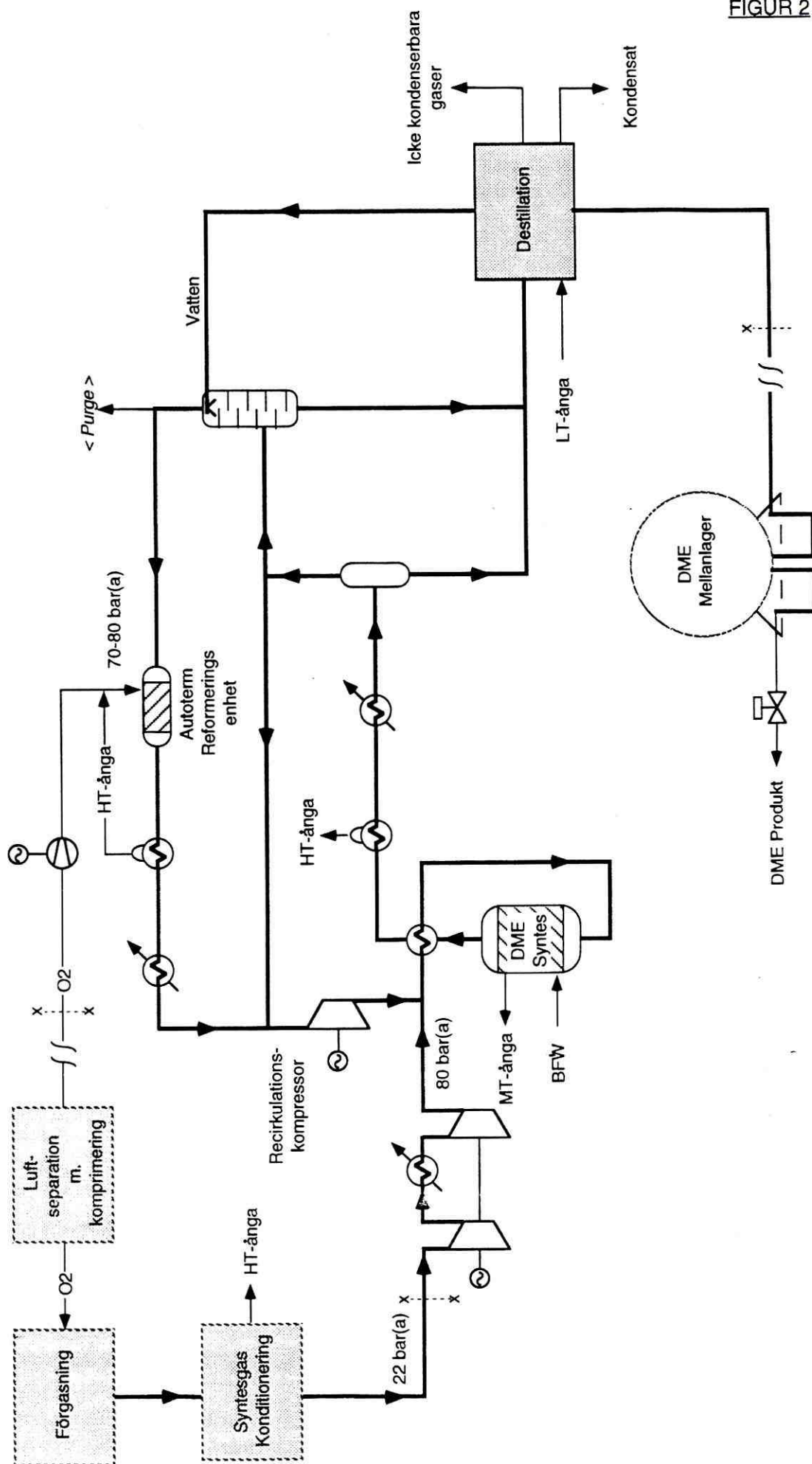
Metanreforming

För att erhålla maximalt utbyte av DME från en given mängd biomassa, som ger hög halt metan i rågasen (tabell 2), behöver det bildade metanet enligt gjorda beräkningar (Haldor Topsøe AS, HTAS) omvandlas till syntesgas. Detta kan göras genom att ett reformeringssteg placeras i huvudströmmen av rågas alternativt i utblödnings-strömmen från DME-loopen. Detta illustreras av blockschemat för DME-loopen i *Figur 2*.

Det först nämnda förfarandet förstör reformeringsanläggningen samtidigt som utbytet minskar. Det senare alternativet förstör DME-loopen något men minskar och effektiviserar reformeringssteget. Det senare alternativet har valts. Då förgasningen utföres genom förgasning med syrgas är det naturligt och minst kostsamt att också reformeringen sker autotermt med syrgas och vattenånga, ATR (3.1). Den utföres vid ca $1000^\circ C$ och ger restmetanhalt på ca 1 % eller lägre. *Figur 3* illustrerar reaktorutformningen.

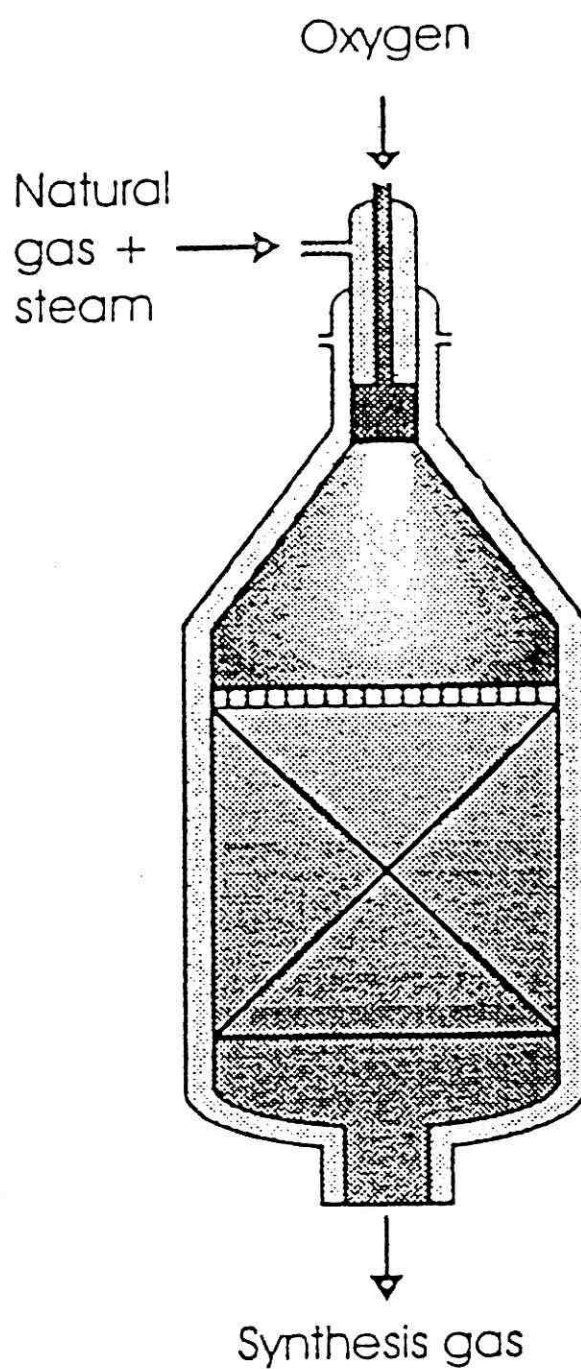
För en given DME-produktion blir den totala syrgasåtgången minst genom inläggandet av ett reformeringssteg. Utan reformering blir erforderlig syntesgasvolym och råvaruförbrukning större och ev. kan bränslegasöverskott uppstå i anläggningen. Reformeringen beräknas innebära ca 30 % lägre behov av rågas och därmed av råvara som följd av metanomvandlingen och mindre förluster av väte i avdraget till bränslegas.

DME Loop



FIGUR 2

FIGUR 3



Autothermal reformer (ATR)

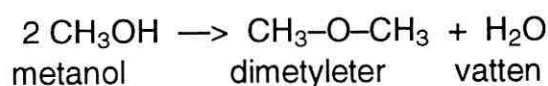
Källa: Topsøe

Slutlig optimering av syntesgasens sammansättning

De två gaskonditioneringsstegen beskrivna ovan (H_2/CO -justering och CO_2 -reduktion) måste anpassas så att syntesgassammansättningen nedströms återföringen av gas från reformeringsenheten på avdragsströmmen (Figur 1 och 2) uppfyller kvoten som redovisats ovan under "Gasrening". Graden av CO -skiftning liksom av CO_2 -reduktion måste således styras av gassammansättningsdata för den gasblandning, som tillförs DME-enhetens syntesgaskompressor.

3.3 DME-syntes

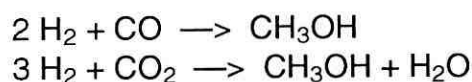
DME framställs i dag genom dehydratisering av redan producerad metanol enligt formeln



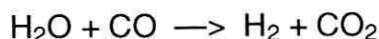
För produktion av DME i större skala som drivmedel kan dehydratiseringen ske direkt i samband med metanolsyntesen genom att katalysatorn modifieras för att också ha denna funktion (Bögild Hansen 1995).

DME- och metanolsyntesen har samma krav på syntesgasens sammansättning, som diskuterats ovan, och förändringen av en anläggning för metanol till huvudsakligen DME-produktion ligger mest i något modifierat syntessteg och i stegen för upparbetning till slutprodukt.

DME-produktion blir ur energisynpunkt något effektivare genom högre omsättning och genom att omsättningen av syntesgasen per passage genom reaktorn blir större och lägre optimal trycknivå kan väljas. Båda faktorerna bidrar till att minska kraftbehovet för trycksättning och för recirkulation av ej omsatt syntesgas. Metanolsyntesen sker enligt reaktionerna



varjämte också skiftreaktion alltid sker



Bildad metanol omsätts genast vidare till DME. Metanolsyntesen är jämviktsstyrd, d.v.s. mer än viss mängd metanol kan inte bildas och denna blir mindre ju högre temperaturen är. Denna måste väljas relativt hög, ca 260°C , för att reaktionen skall gå tillräckligt snabbt (dimensionerande för reaktorns storlek). Högt tryck (50 - 100 bar) måste då väljas då detta är gynnsamt för jämviktsläget och reaktionshastigheten. Optimalt brukar det vara upp mot 100 bar.

Reaktionerna är exoterma, d.v.s. sker under värmeutveckling, vilket gör att temperaturen stiger med försämrat jämviktsläge som följd. Det är därför nödvändigt att driva syntesen i steg med mellanliggande kylning eller använda kyld reaktor. Vanligen sker mellankylningen genom att kall syntesgas tillsätts mellan stegen eller utföres reaktorn som tuber, som kyles av kokande vatten under tryck och genom ånggenerering.

Det har även föreslagits (Westerterp 1992) att driva mellankylningen så långt att metanol kondenseras ut och kan avskiljas (jämviktshindret bortfaller) och syntesgasens omsättning kan fortsätta. Detta kan leda till så hög omsättning att recirkulation av ej omsatt gas ej längre behövs, men detta synes inte ha tillämpats praktiskt ännu.

Avlägsnas bildad metanol kontinuerligt, såsom sker genom reaktionen till DME, begränsas gasomsättningen till metanol inte längre av jämviktsrestriktionen utan omsättningen per passage genom reaktorn blir större. Detta kan utnyttjas för sänka arbetstrycket (= billigare reaktor, mindre energi för kompression). Sänkningen av trycknivån begränsas av att reaktionshastigheten avtar med sjunkande tryck. Utformningen av en anläggning är en optimeringsfråga. Kolomsättningen till DME/metanol är hög, upp mot 98 %.

Utvecklingsarbeten hos Topsøe (Bögild Hansen 1991) har visat att kondensering av metanol på katalysatorn kan ske under vissa betingelser och givet högre omsättning än väntat. Det är ännu oklart om detta kan utnyttjas kommersiellt för effektivisera syntesen ytterligare.

Beräkningarna som utförts av Topsøe för DME-loopen (Figur 2) visar att för en produktion av 1.000 ton/dygn behövs ca 110.000 Nm³/tim. av renad syntesgas, vilket innebär 81 % energiutbyte av DME i loopen, och kolomsättningen till DME är 98,2 % (utan metanreforming skulle denna ha blivit under 88%). Avdraget (purge) blir genom reformeringen endast ca 2.200 Nm³/tim. för bränsleanvändning på annat håll i anläggningen.

Det totala utbytet från fuktig råvara till DME kan inte bestämmas förrän integration gjorts med övriga delar i processkedjan och energianvändningen i de olika stegen itererats till slutlig balans med endast biomassa som enda råvara, d.v.s. erforderliga el- och värmebehov täcks genom intern produktion. De tidigare leden studeras som nämnts i annat projekt och integrationen kan inte göras förrän detta är klart. En preliminär bedömning är att utbytet kommer att ligga i intervallet 55 - 60 % (i HHV energitermer).

3.4 Produktrening

Från kondensorer efter syntesreaktorn kommer en blandning av DME, metanol, vatten, små mängder biprodukter och icke omsatt syntesgas. Vattenmängden är beroende av råvara och halt av rest-koldioxid i syntes-

Tabell 1. Egenskapsdata för DME, propan, dieselolja, metanol

	DME	Propan	Diesel- olja, MK1	Metanol	
Kemisk sammansättning					
kol, % C	52,1	81,7	~86	37,5	
väte, % H	13,1	18,3	~14	12,6	
syre, % O	34,7	0	0	49,9	
Molvikt	46,068	44,094		32,042	
Densitet (l), 20°C, kg/m ³	668	501	810-820	795	2
Densitet (g), 20°C, 1 bar(a) kg/m ³	1,92	1,88		1,35	
Gasdensitet rel. luft = 1(15°C)	1,59	1,55	3 - 4	1,11	
Ångtryck, 20°C, bar(a)	5,1	8,3		0,12	3
RVP (37,8°C), bar(a)	8	13,5	0,0007	0,32	
Ångtryck, 60°C, bar(a)	14	20,8		0,77	
Kokpunkt (1 bara), °C	-24,9	-42,1	180-300	65	64,5
Fryspunkt (stelningspunkt), °C	-139	-190	-9 - -45	-94	
Ångbildningsvärme vid kokpunkt, MJ/kg	0,41	0,43	0,25	1,17	
Värmevärde (HHV), MJ/kg	31,8	50,3		22,65	
" (HHV), MJ/lit.	21,2	25,6		18,0	
" (LHV), MJ/kg	28,8*	46,4	43,2	19,95	
" (LHV), MJ/lit.	19,2	23,5	35,2	15,8	
CO ₂ -bildning, g/MJ (LHV)	67	64,6	72	68,9	
Självantändningstemp., °C	235	460	~250	470	
Brännbarhetsgränser i luft, vol-%	3,4-17	2,1-9,5	0,6-6,5	6,7-36	
Flampunkt, °C	-41	-100	>50	11	
Löslighet i vatten, 1 bar(a), 20°C mass-%	5,7	0,39		∞	
Vattens löslighet i, 4,8 bara, 20°C mass-%	5,5			∞	
Cetantal	>55	---	~50	~5	
Oktantal (RON)	70	112	---	120	

* Andra källor (AVL) anger 27,6 eller 28,4 MJ/kg.

Tabell 1. Egenskapsdata för DME, propan, dieselolja, metanol

	DME	Propan	Diesel- olja, MK1	Metanol
Kemisk sammansättning				
kol, % C	52,1	81,7	~86	37,5
väte, % H	13,1	18,3	~14	12,6
syre, % O	34,7	0	0	49,9
Molvikt	46,068	44,094		32,042
Densitet (l), 20°C, kg/m ³	668	501	810-820	795
Densitet (g), 20°C, 1 bar(a) kg/m ³	1,92	1,88		1,35
Gasdensitet rel. luft = 1(15°C)	1,59	1,55	3 - 4	1,11
Ångtryck, 20°C, bar(a)	5,1	8,3		0,12
RVP (37,8°C), bar(a)	8	13,5	0,0007	0,32
Ångtryck, 60°C, bar(a)	14	20,8		0,77
Kokpunkt (1 bara), °C	-24,9	-42,1	180-300	65
Frys punkt (stelningspunkt), °C	-139	-190	-9 - -45	-94
Ångbildningsvärme vid kokpunkt, MJ/kg	0,41	0,43	0,25	1,17
Värmevärde (HHV), MJ/kg	31,8	50,3		22,65
" (HHV), MJ/lit.	21,2	25,6		18,0
" (LHV), MJ/kg	28,8*	46,4	43,2	19,9
" (LHV), MJ/lit.	19,2	23,5	35,2	15,8
CO ₂ -bildning, g/MJ (LHV)	67	64,6	72	68,9
Självantändningstemp., °C	235	460	~250	470
Brännbarhetsgränser i luft, vol-%	3,4-17	2,1-9,5	0,6-6,5	6,7-36
Flampunkt, °C	-41	-100	>50	11
Löslighet i vatten, 1 bar(a), 20°C mass-%	5,7	0,39		∞
Vattens löslighet i, 4,8 bara, 20°C mass-%	5,5			∞
Cetantal	>55	---	~50	~5
Oktantal (RON)	70	112	---	120

* Andra källor (AVL) anger 27,6 eller 28,4 MJ/kg.

gasen (högst, 20-25 %, för naturgas, lägst, några få %, för fasta råvaror). Reningen består av separationer genom destillation. Reningens omfattning bestäms av kraven på produktens renhet.

I en metanolfabrik för metanol som kemisk råvara finns två eller tre kolonner, en eller två för avdrivning (stabilisering) av lättare produkter och en för att få vattenfri produkt utan högre alkoholer. För bränslemetanol räcker en kolonn. Vid samtidig DME-produktion måste tillägg för tvättning av avdriven DME med vatten göras för att minska metanolhalten i DME-produkten, som sedan komprimeras och kyls till flytande produkt. Likaledes måste DME tvättas ut från avdraget av icke omsatt syntesgas för att undvika förluster av DME. *Figur 4* illustrerar stegen.

DME för drivmedelsändamål kan innehålla mindre mängder av både metanol (<ca 10 %) och vatten (< 5 %) och reningen förenklas då till avskiljning av icke omsatt syntesgas och lösta gaser och ev. viss vattenavskiljning. Gränserna sätts av DME-produktens tändegenskaper i motorn (se nedan).

3.5 Energiutbyten - investeringskostnader

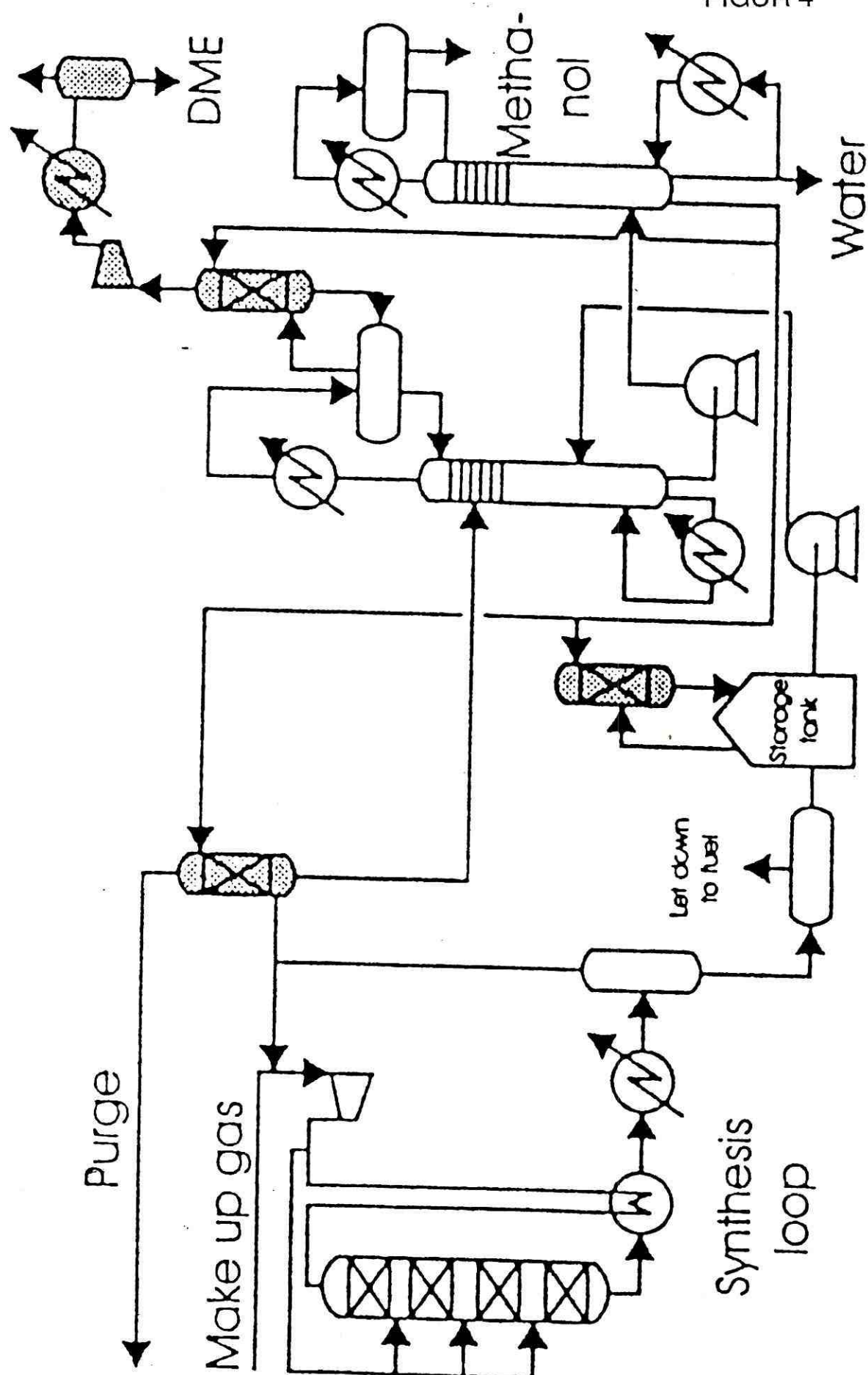
Hittills har endast **naturgas**baserade anläggningar närmare studerats (Bögild Hansen 1995). DME-framställningen är i energitermer ca 5 % effektivare än motsvarande metanolanläggning, främst beroende på effektivare syntessteg. Detta betyder 5 % lägre råvaruåtgång. Som självförsörjande anläggningar (bara naturgasråvara tas in, intern elgenerering) ger båda ger ett litet el-överskott för utleverans. Med drygt 65 % termisk verkningsgrad vid metanoltillverkningen, kan knappt 70 % förväntas för DME-produktionen.

Investeringskostnaden beräknas ca 4 % lägre för DME jämfört med metanol i energiekvivalent mängd och lika stor minskning beräknas om drivmedelskvalitet framställs i stället för ren DME resp. metanol. Syntessteg och destillation för upparbetning till färdig produkt svarar för ca 25 % av investeringen.

Skaleffekten är betydande då linjestorleken för gasbehandlings-, syntes- och reningsstegen kan vara mycket stor. Jämfört med dagens linjestorlekar för naturgasbaserade anläggningar på ca 2.500 t/d metanol (DME) blir kostnaden ca 13 % lägre om den i stället är 6.000 t/d. Maximal linjestorlek bedöms vara ca 10.000 t/d.

Med **biomassa** som råvara är syntes- och upparbetningsstegen identiska med de med naturgas som råvara och samma kostnadsreduktioner uppnås i dessa steg vid DME-produktion i stället för metanol. Den relativa besparingen för hela anläggningen blir likartad i biomassafallet (ca 4 %), eftersom även frontdelen krymper genom lägre syntesgasbehov. Hela anläggningen är

FIGUR 4



Källa: Topsøe

emellertid betydligt dyrare genom att förgasningssteget med tillhörande syrgasproduktion och gasbehandlingen är mer omfattande. En på fasta råvaror baserad anläggning är ungefär dubbelt så dyr som en lika stor naturgasbaserad och har högre fasta driftskostnader (personal, underhåll, etc).

Produktionskostnaderna domineras av råvaru- och kapitalkostnader för både naturgas- och biomassabaserade anläggningar (råvaran överväger betydligt för gasen och kapitalkostnaden för biomassa). Tabellen nedan ger ungefärlig fördelning mellan olika kostnadsslag vid rimliga råvarukostnader.

Kostnadsslag	%andel av produktionskostnad	
	Naturgas	Biomassa
Råvara o.a. andra rörliga kostnader	55	30
Fasta driftskostnader	15	25
Kapitalkostnad	30	45

DMEs kostnad blir ca 4 % lägre i naturgasfallet och knappt 3 % med biomassa som råvara än energiekvivalent metanol. **Om biometanol kostar 2 kr per liter enligt senaste svenska bedömningar (jämfört med ca 0,7 kr per liter för naturgasbaserad) blir kostnaden för DME ca 7 öre per liter DME lägre jämfört med ekvivalent mängd metanol.**

4. INFRASTRUKTUR OCH DISTRIBUTION

Frågor om teknik, säkerhet och kostnader infrastruktur och distribution av DME har diskuterats av särskild expert (K. Lähdemäki), vars rapport i sin helhet återges i bilaga.

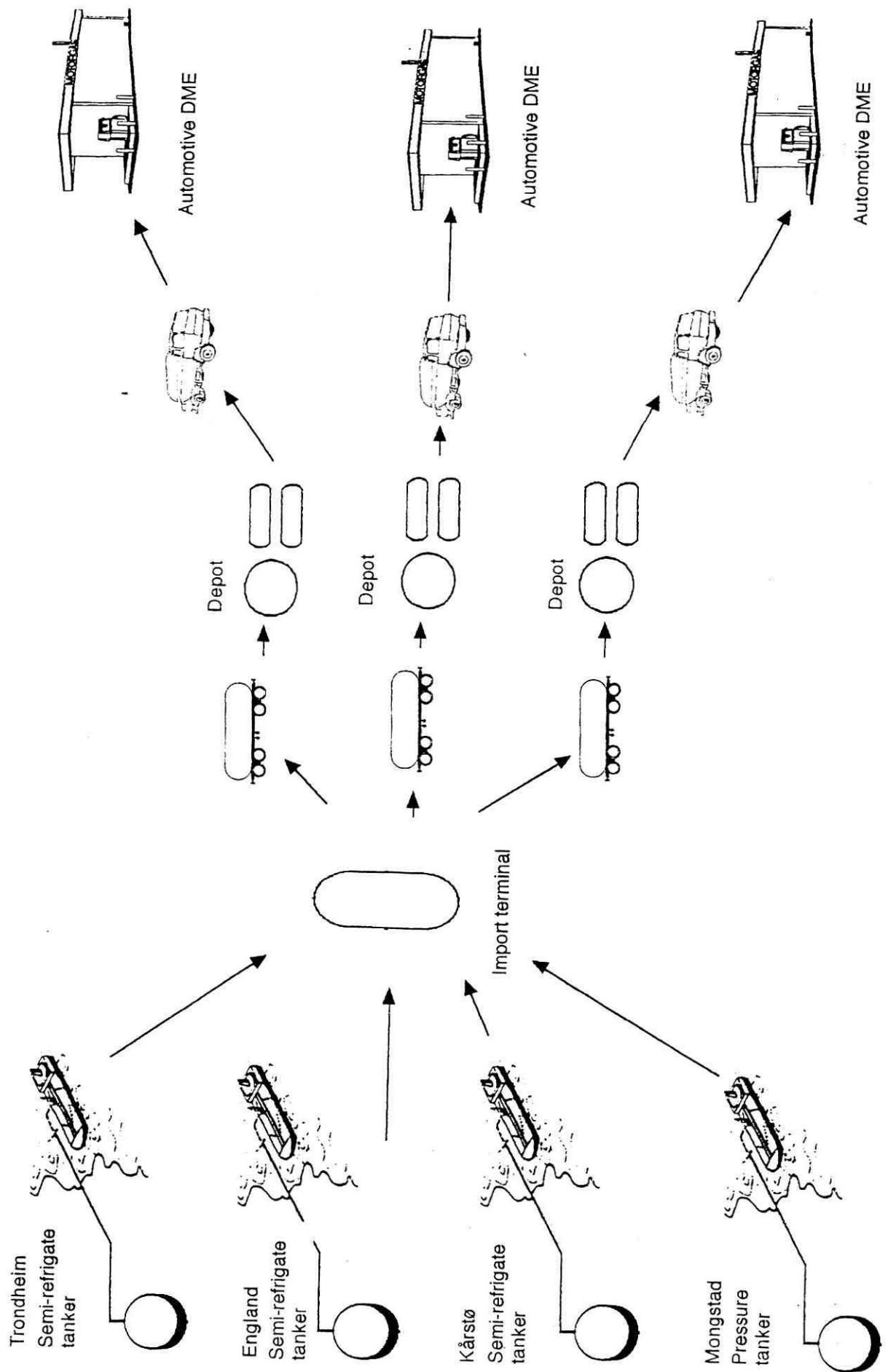
Likheterna i egenskaper mellan DME och LPG, särskilt propan, gör att hanteringen kan göras på mycket likartat sätt och alla för propan lämpliga lagringssätt och transportmedel kan användas. Samma lagföreskrifter som gäller för propan skall tillämpas för DME. Små skillnader finns i yrkes-hygieniska gränsvärden till DMEs nackdel, och andra material i plast- och gummipackningar och tätningar behöver väljas jämfört med propan.

Kedjan från produktionsställe, som med naturgas som råvara kan vara kring Nordsjön, till tankningsstation illustreras i *figur 5* och innefattar sjötransport, hamnterminaler med lagring av stora volymer, järnvägs- och eller landsvägs-transport till inlandsdepå och tankningstationer för fordon.

Likheterna med och användbarheten av samma system som för propan

FIGUR 5

18



(Motorgas vid fordonsanvändning) är slående. Underjordslagring måste ske i täta trycksatta eller kylda bergrum, då DMEs relativt höga löslighet i vatten (och vatten i DME; tabell 1) inte tillåter lagring i kontakt med fritt vatten. Riskanalys för DME görs på samma sätt och efter samma kriterier som för propan.

DME kräver ett från bensin och dieseloljedistribution helt skilt system, vilket leder till behov av nyinvesteringar.

Lager för DME kostar 2-3 gånger mer än för dieselolja och tankningsstation är minst 3 gånger så dyr. Tankbilstransporter kostar närmare 3 gånger så mycket per energienhet. Distributionskostnaden för DME blir avsevärt högre än för dieselolja då dels volymen är ca 1,8 gånger större och lagerutrymmen minst dubbelt så stora, dels utrustning för lager och transporter i sig dyrare per kubikmeter.

Sammantaget bedöms distributionskostnaden från importhamn till slutanvändaren vid tankningsstation (tabell 3 nedan; baserad på Ecotraffic 1996) kosta drygt 1,5 kr per liter ersatt dieselolja vid storskalig hantering under samma villkor som för bensin/dieselolja, d.v.s. ca 0,7 kr per liter mer än vid dieselolje användning.

Denna merkostnad, som motsvarar ca 40 öre per liter DME, överstiger kraftigt merkostnaden för ett vid omgivningsbetingelser flytande alternativdrivmedel (såsom alkoholer). Merkostnaden i distributionen är också betydligt högre än den lägre produktionskostnad som DME kan ha i jämförelse med dessa.

Vid bulkleverans direkt till kund med egen tankning bortfaller stationspålägget och stationslagringen får bäras av kunden.

Tabell 3. Distributionskostnader i kr/m³ dieselolja resp. DME-ekvivalent ersatt olja (1,8 m³ DME)

	Dieselolja	DME
Volymberoende		
Sjötransport	60	180
Tankbil	70	220
Delvis volymberoende		
Depålagring, hantering	70 (30)*	160 (50)*
Stationslagring	200	550
Icke volymberoende pålägg		
Distributörens	200	200
Stationens	<u>250</u>	<u>250</u>
TOTAL	850	1560

* (avser kapitalkostnad för lagervärde)

5. DME SOM DRIVMEDEL I DIESELMOTORER

Då DME som drivmedel i dieselmotorer är föremål för särskild studie (Volvo/KFB) ges här endast en kort sammanställning.

MOTORTEKNIK - BRÄNSLESYSTEM

Förutsättning för att bibehålla dieselmotorns effekt och höga verkningsgrad är att bränslet i *vätskeform* kan sprutas direkt in i cylindrarna och insprutningen styras avseende tider och flöden. Någon effektbegränsande rökgräns som vid dieseloljedrift finns inte. Frånvaro av sotbildning vid förbränningen medger problemfritt användande av avgasåterföring (EGR) för att hålla tillbaka NOx-bildningen.

DME förångas lätt i cylindern efter insprutning. Därigenom behövs inte de höga insprutningstryck, som nu används för moderna dieseloljedrivna motorer (upp till 1800 bar), för att åstadkomma önskvärd finfördelning av dieselolja för fullständigare förbränning och minskade utsläpp av partiklar och oförbränt bränsle. Den utveckling, som bedrivs av AVL i Österrike och USA, siktar på <250 bar tryck vid spridarna (Fleisch 1995, McCandless 1996). *Figur 6* visar schema för bränsletillförseln.

DMEs goda tändvillighet (høgt cetantal ~60, kort tändfördröjning) medför att förbränningsförloppet kan noggrant styras ("rate shaping") för få låg NOx-bildning genom undvikande av okontrollerade övertemperaturer och lägre "förbränningsbullen".

Specifikation för DME finns inte fastlagd. Mycket ren DME kan visserligen lätt framställas, men som nämnts under produktionsavsnittet kan viss kostnadsvinst göras om små mängder metanol och vatten tillåts i "drivmedels-DME". Begränsande (förutom ev. materialproblem) är tändvilligheten, som försämras vid högre halter såsom visas i *Figur 7* (Bögild Hansen 1995).

DME måste förvaras i cylindriska tryckkärl (som för propan), som får fyllas till högst 80 % av volymen. De mer volymkrävande trycktankarna torde dock inte bereda något utrymmesproblem på tunga fordon men innebär marginellt ökad vikt. Ett för DME speciellt problem är dock att förhindra temperaturhöjning och tryckstegring i fordonets bränslesystem genom det uppvärmda returflödet av överskottsbränsle från insprutningspumpen. Hur detta skall lösas är ännu inte klart (bränslekylare?). Trycket i bränslesystemet före insprutningspumpen måste hållas över 30 bar för att undgå ångbildning och kavitation i ledningar.

SMÖRJNING

DME har låg smörjande förmåga och vid provningar har tillsatser av smörjande additiv använts. Det är ännu oklart hur slitage/smörjningsproblem skall lösas.

MATERIAL

DME kräver utbyte av vissa material i packningar och tätningar, som är valda för dieselolja som medium, för att förhindra läckage. Nuvarande metalliska material i bränslesystemen synes dock vara resistenta mot ren DME.

MOTORPRESTANDA OCH UTSLÄPP

Hittills finns endast få provresultat från praktisk körning av DME-drivna dieselmotorer för bedömning av prestanda och utsläpp. Enda mer omfattande prover med flercylindrig motor synes vara de som utförts med en Navistar 7,3 lit. V-8 motor hos AVL.

Vid körning enligt deras 8-mode cykel (korrelerar med den amerikanska transienta cykeln) bekräftas DMEs potential till sotfri förbränning (uppmätta 0,04 g/kWh partiklar har smörjoljeursprung) och låg NO_x-bildning, ≤ 3 g/kWh, med oförändrad eller högre verkningsgrad jämfört med dieseloljedrift. DME visar potential att redan nu uppfylla förmodade Euro IV-krav och kaliforniska ULEV-krav. Detta illustreras i *Figur 8*.

EGR bedöms invändningsfritt kunna användas för än lägre NO_x-utsläpp (< 2 g/kWh). Betydligt lägre motorbuller (> 10 dB(A) skillnad) har också registrerats och likställs med bensinmotorerna (Volvo uppger halverat buller, d.v.s. 3 dB lägre).

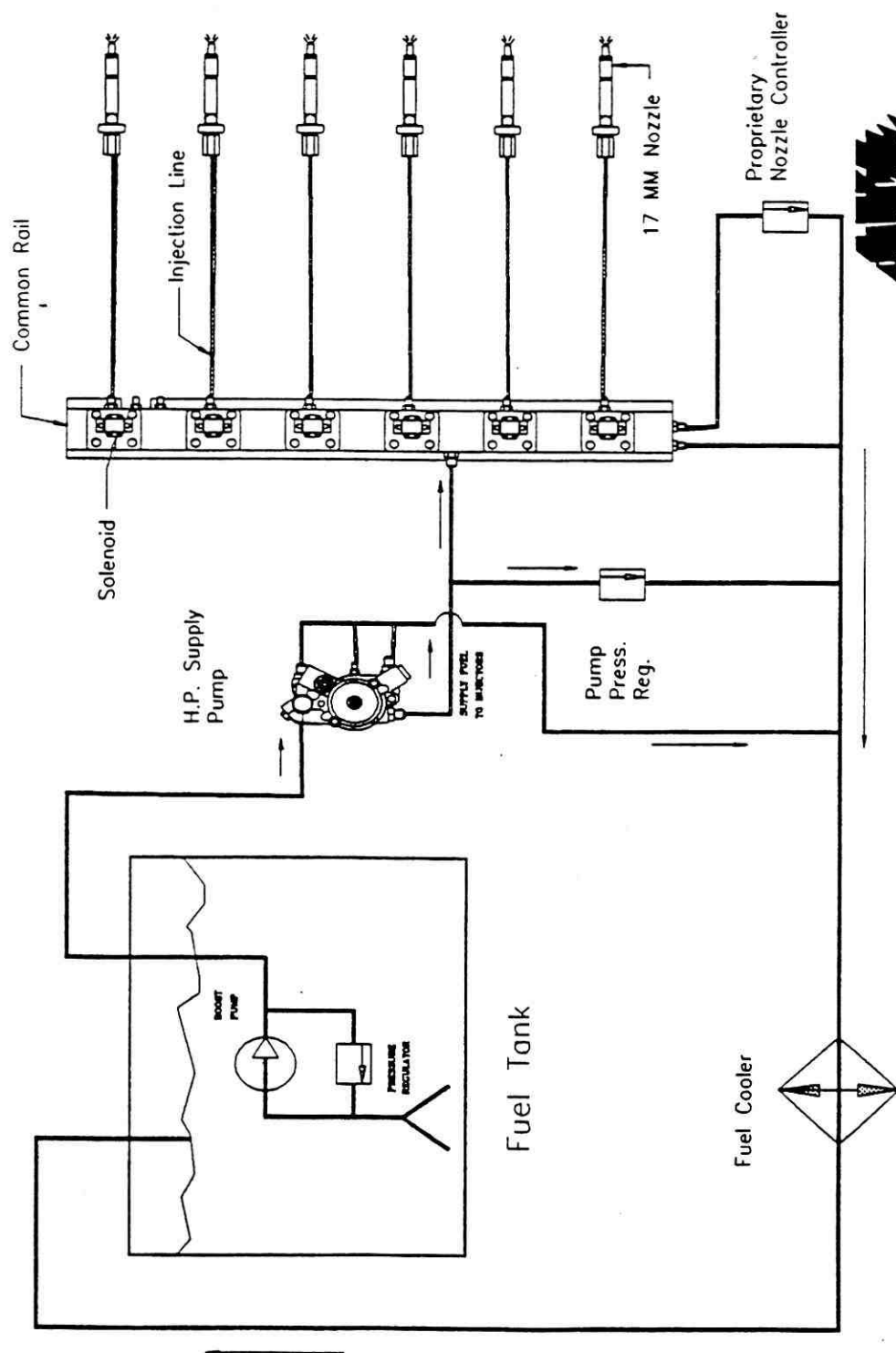
Preliminära prov hos AVL med en 4-cylindrig 2 lit. dieselmotor med EGR och oxidationskatalysator indikerar (simuleringar baserade steady state-mätningar) att NO_x-, "HC"- och partikelkrav kan möta framtida europeiska krav och kaliforniska ULEV-krav för lätta fordon (bensinbilar). *Figur 9* ger data (Fleisch 1995).

I prov med en liten 1-cylindrig laboratoriemotor vid Köpenhamns tekniska universitet (Sörensen 1996) den stora effekt EGR kan ha för NO_x-reduktion (75 %) visats. Prover med "rå-DME" innehållande metanol och vatten har visat att sådan kan användas. Vidare har avgassammansättningen kartlagts och visar att förutom oförbränd DME fanns mest metan och C₂-kolväten (etan och eten), medan formaldehydhalten var mycket låg. AVL uppger att utsläpp av formaldehyd utgör 10 % av icke-metankolväten (NMHC).

Utvecklingsarbeten med encylindrig 2 lit. laboratoriemotor görs för optimering av förbränningsrum och bränsletillförsel, vilket ger bas för studier genom datorsimuleringar. Ur dessa, *figur 10*, dras slutsatsen att med DME som drivmedel kan 1998 federala USA-krav (NO_x max. 5,4 g/kWh) klaras vid transient körcykel för alla motorer, vilket med dieselolja som bränsle bara klaras för de tyngsta men inte för de medeltunga motorerna.

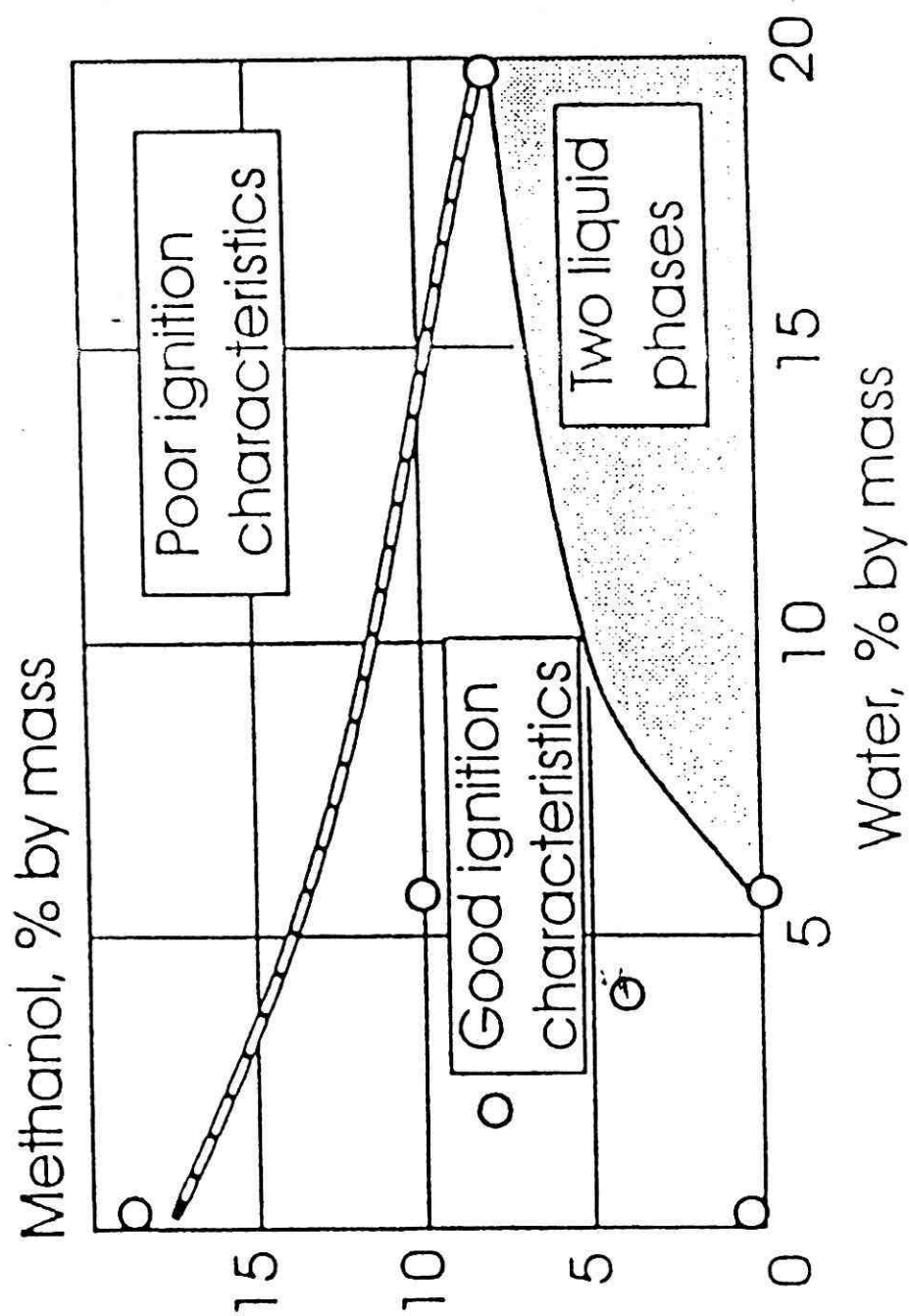
FIGURE 6

DME Common Rail Injection System



Powertrain Engineering

FIGUR 7

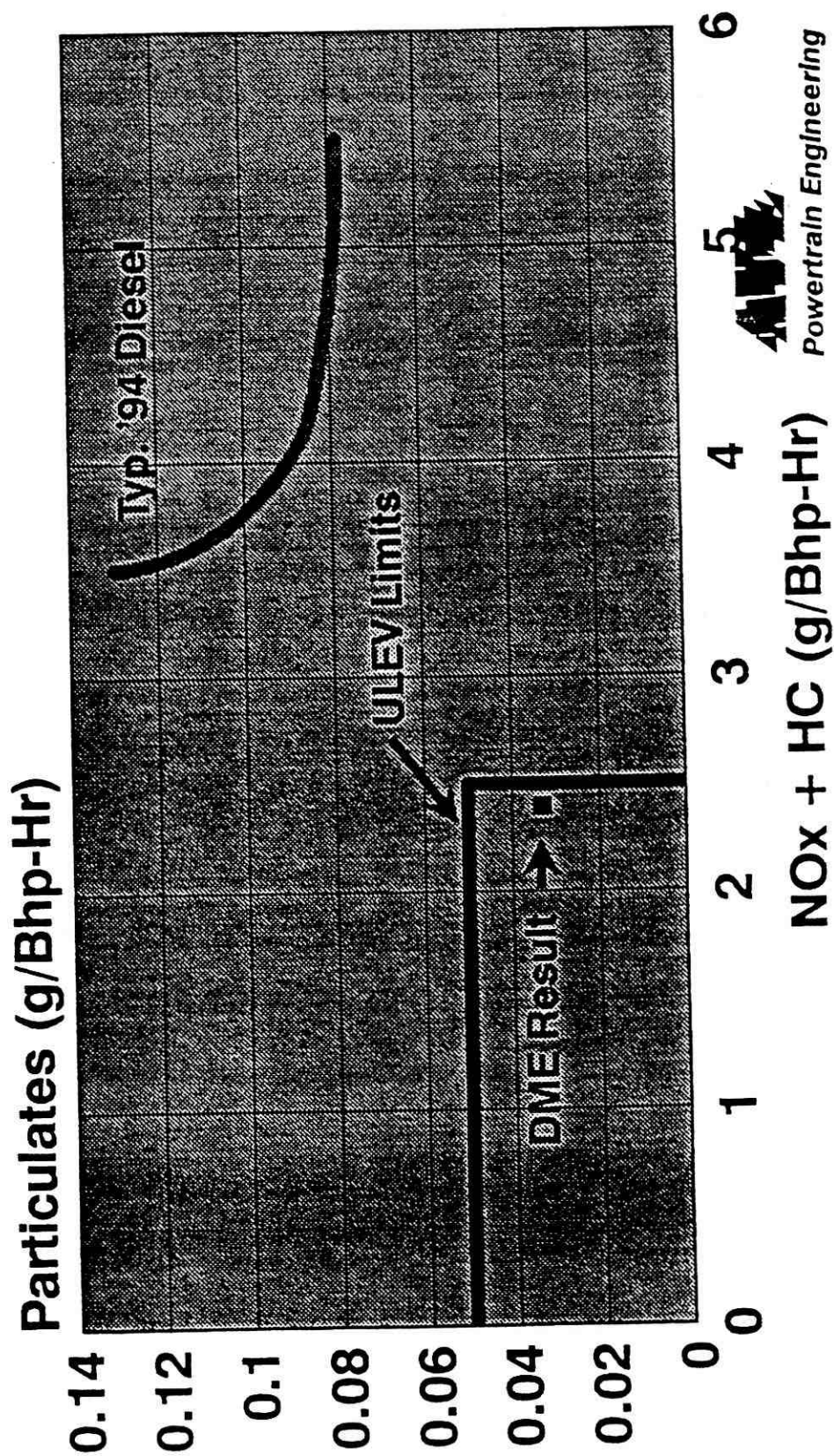


Blending and ignition characteristics of
various DME-methanol-water mixtures

Källa: Topsøe

HDD Transient Cycle Emissions Simulation

...AVL 8 mode Test With DME...



FIGUR 8

FIGUR 9

AVL Leader HSDI Diesel Operated on DME	
2 Liter, 4 Cyl., Turbocharged, Intercooled, EGR, Oxicat	
Rated Power	94.0 kW at 4200 rpm
Peak Torque	16.5 bar at 2000 rpm
MVEG Test Cycle	
1360 kg ITW Pass. Car	
- NOx + HC	0.15 g / km
- Total Particulates	0.005 g / km (from lube oil)
Combustion Noise	80.0 dB(A)
2000 rpm, 50% load	
Fuel Economy (Energy Basis)	50840 Similar to Diesels of Today

*HSDI Diesel converted to DME fuel.
Emissions data projected from
steady state tests*

Källa: AVL

FIGUR 10

Heavy Duty Truck Diesel Turbocharged, Intercooled, Without Exhaust Gas Aftertreatment or EGR			
Fuel		Diesel	DME
Rated power / torque		equal	
Fuel economy (energy basis)		equal	
Transient cycle emissions			
NOx	g /bhp-hr	3.8	1.6
THC	g /bhp-hr	0.3	0.3
Total Particulates	g /bhp-hr	0.08	0.02 (from lube oil)
Peak accel. smoke	% opacity	5%	0%
Max. combustion noise	dB(A)	88	78

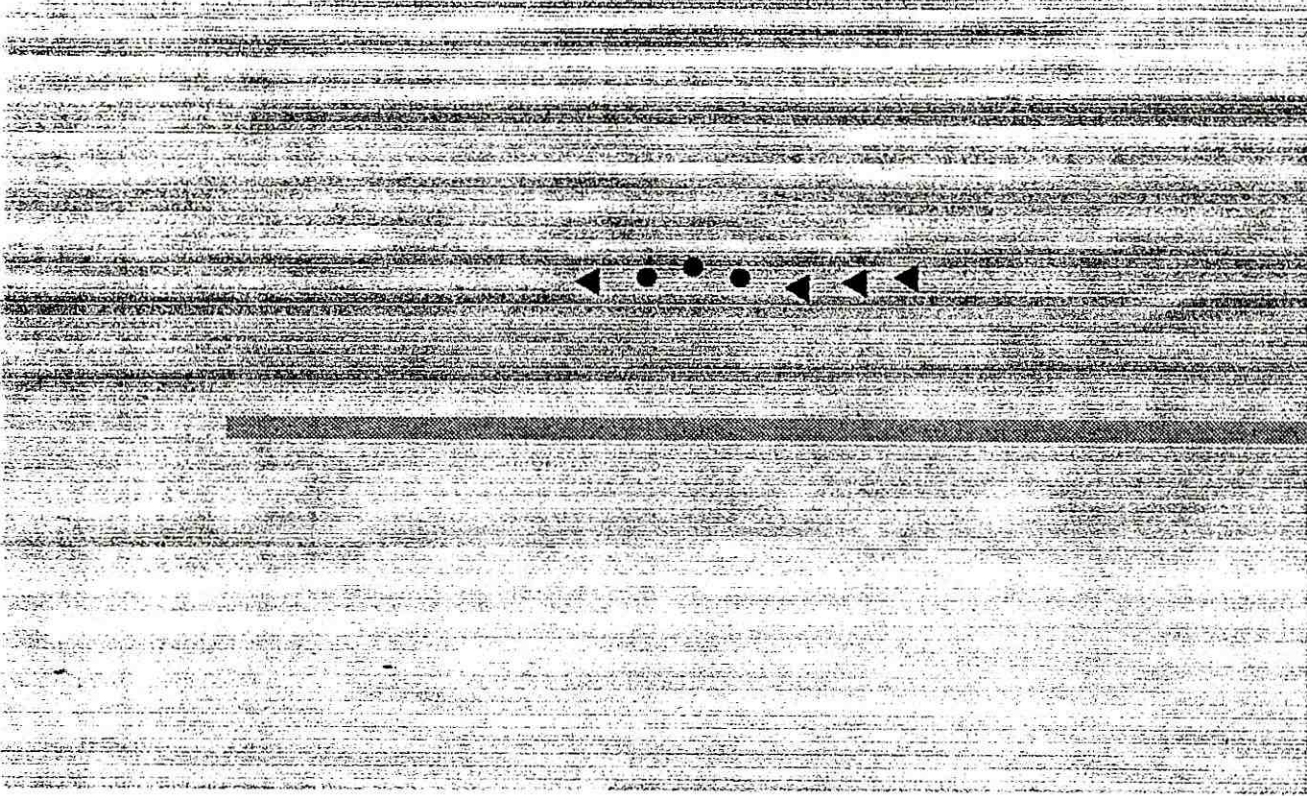
Comparison Diesels vs. DME - truck / bus diesel. DME data projected from steady state tests

Källa: AVL

REFERENSER

- Anon. Dimethyl ether offers diesels ULEV performance. CATF Review April, 1995. Issue No. 21.
- AVL. Liquid Direct Injection of Dimethylether (DME). FOCUS No. 11, 2/1995. R&D News from AVL LIST GmbH, Graz.
- Bögild Hansen, J. (Topsøe). Large Scale Manufacture of Dimethyl Ether - a New Alternative Diesel Fuel from Natural Gas. SAE paper 950063 (Febr. 1995).
- Bögild Hansen, J. et al (Topsøe). High Conversion of Synthesis Gas into Oxygenates. P. 457-467 in Natural Gas Conversion (A. Holmen et al, ed.), Elsevier, Amsterdam, 1991.
- Ecotrafic R&D AB. Distribution - Motoralkoholer. Rapport för KFB. Mars 1996.
- Fleisch, Th. et al (Amoco, AVL LIST). DME. The Diesel Fuel for the 21st Century. AVL Conf. Engine and Environment 1995, Graz.
- Fleisch, Th. et al (Amoco, Navistar, Topsøe, AVL). A New Clean Diesel Technology: Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether. SAE paper 950061 (Febr. 1995).
- Furnander, Å. Life Cycle Assessment of Dimethyl Ether as a Motor Fuel. Examensarbete 96:12 vid inst. för Transportteknik, Chalmers. July 1996.
- Haldor Topsøe A/S. Elproduktion kombinerat med kemisk produktion. Broschyr 199?.
- IEA (International Energy Agency). Alcohols and alcohol blends as motor fuels. State-of-the-Art report publicerad som STU Information no 580-1986. Vol. II A.
- Johansson, L., Svedberg, G. (KTH kemiteknik, Energiprocesser). Dimetyl-eter (DME) - ett framtida bränsle? Förstudie 1996-12-06. TRITA-KET R61
- Koljonen, J. et al (Kemira Oy, VTT). Peat-Based HTW-Plant at Oulu. Bioresource Technology 46(1993), p.95-101.
- Larson, E.D. et al (Princeton Univ.). Production of Hydrogen and Methanol via Biomass Gasification. Advances in Thermochemical Biomass Conversion. Elsevier, London, 1992.

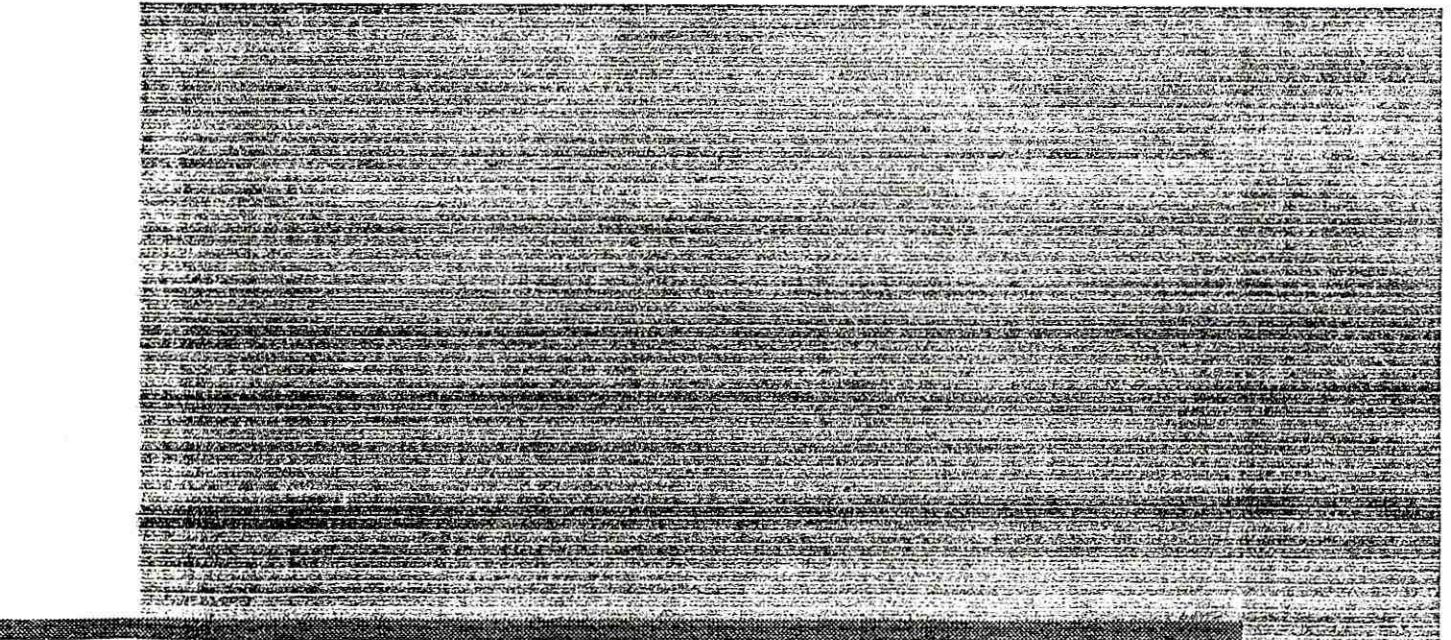
- Lindman, N., Rensfelt, E. et al (KTH; kemisk teknologi). Syntetiska drivmedel. Projekt PDU. Rapport NE/SYNT-80/1 (Statens energiverk 1980). Även i Symposium Papers "Energy from Biomass and Wastes V", Jan. 26-30, 1981. Lake Buena Vista, Florida.
- Lindman, N. (KTH, kemisk teknologi). Förgasning av biomassa och torv. Rapport NE-BF-81-3 (Statens energiverk 1980).
- McCandless, J.C. (AVL Powertrain ENG.). Design and Development of a Novel Fuel Injection System for Dimethyl Ether. Proc. 1996 Windsor Workshop on Alternative Fuels. June 3-5, 1996, Toronto. Ortech Corp.
- NUTEK. Ethers in Gasoline. Report for Nutek by Ecotrafic R&D July 1995. Nutek R 1995:41.
- SDAB (Svensk Drivmedelsteknik AB). Förgasning av torv enligt HTW-teknik i pilotanläggning i Tyskland. Rapport till Statens Energiverk m.fl. (Stev proj. 2660291) 1984-12-11.
- Sörensen, S. (Danm. Tekn. Universitet). Dieselmotorer med DME som bränsle. Föredrag vid SVEA seminarium 21 nov. 1996, Södertälje.
- TNO (R.P. Verbeek et al). Global assessment of Dimethyl-ether as an automotive fuel. TNO report 96.OR.VM.029.1/RV. 29 July 1996.
- Westerterp, K.R. (the Netherlands Twente University). New Methanol Processes Proc. EUROGAS '92. Trondheim, Norway, June 1 - 3, 1992.



DME

Infrastruktur och distribution

Teknik, säkerhet och kostnader



Karl Lähdemäki

Infrastruktur och distribution

Teknik, priser och säkerhet

Hantering

Allmänt

Sjötransport

Hamnterminaler och lagring

Distribution

Allmänt

Järnvägstransporter

Tankbilstransporter

Tankningsstationer

Säkerhet

Allmänt

Risikanalys

Risker vid hamnterminal

Risker vid mellanlager

Risker vid tankningsstationer

Figurer

Referenser

Intervjuer

Hantering

Allmänt

Likheterna mellan DME och LPG gör att den allmänna hantering av dessa produkter kan utföras på ett likartat sätt.

Kokpunkt, specifik vikt, ångtryck och förångningstemperatur är i praktiken de samma för DME och LPG. Följaktligen kan alla för LPG tillämpliga transportmedel även användas för DME.

(Fig 1)

Även vid lagring kan för LPG avsedd utrustning och material användas.

Lagringscisterner som är godkända för propan 95 bör, enligt förhandsbesked från Sprängämnesinspektion, även bli godkända för DME.

Vid övrigt materialval skall temperatur- och tryckklasserna vara enligt propan 95.

Detta innebär bl.a. att rör- och andra anläggningsdelar skall klara temperaturklassning - 40° C -- + 40°C samt att dessa skall vara godkända för ett övertryck på 16 bar vid + 20°C.

Vid hantering av DME skall följande skillnader mot LPG beaktas: DME kan vara skadligt vid inandning samt svagt giftigt, vilket LPG inte är. Således skall detta faktum inkluderas till de parametrar som styr konstruktionen av anläggningar.

Sjötransport

Innan inhemsk produktion av DME kommer tillstånd måste DME importeras till landet.

Produktion av DME sker för närvarande i samband med naturgasproduktion och de tänkbara importkällorna är belägna hos producenterna vid Nordsjön.

Beroende på importvolymen av DME kan två olika fartygstyper användas. Vid mindre importvolym kan mindre kusttankfartyg med trycktank användas. Dessa fartyg lastar i allmänhet mellan 400 till 5000 ton flytande produkt.

Begränsningen för dessa båtar är dock att de inte kan lasta från alla utskeppningsterminaler.

Tillgången till små kusttankbåtar i regionen är relativt god, dock måste lasterna normalt bokas ca 2 - 3 månader i förväg.

Kostnaderna för sjötransport med mindre fartyg har ökat under de senaste åren med ca 5% årligen, beroende på större efterfrågan för detta tonnage.

Vid större importvolymmer måste större fartyg med kyllda tankar användas. Tillgången till båtar från 10.000 ton och upp till 50.000 ton är god i Nordvästeuropa. Även för detta tonnage har ökande efterfrågan inneburit högre fraktkostnader under senaste året. Fördelen med fartyg utrustade med kyllda tankar är att de kan lasta från de flesta utskeppningshamnar.

Det totala antalet för DME tillämpliga fartyg i världen är ca 130 st.

Följande prisindikationer för båtfrakt kan vara handledande för fortsatt arbete:

Trondheim - Svenska västkusten

- last om 5.000 t ca 28 USD/t
- last om 20.000 t ca 14 USD/t

Trondheim - Svenska östkusten

- last om 5.000 t ca 35 USD/t
- last om 20.000 t ca 17 USD/t

Fraktpriserna är ungefär desamma från hela Nordsjöområdet tex St. Fergus på Engelska ostkusten.

Ett långsiktigt befraktningsavtal sänker fraktpriserna med ca 15-20%.

Hamnterminaler och lagring

Lagring av DME vid hamnterminal kan ske i ett underjordiskt bergrum eller sfäriska cisterner. Även jordtäckta cylindriska cisterner kan komma i fråga. Vid tilltänkta volymer ställer sig dock ovanjordslagring som ett olönsamt och utrymmeskrävande alternativ. Det är även tveksamt om myndighetstillstånd för så stora mängder av brandfarlig vara ovan jord skulle erhållas.

För att importera och lagra volymer över 100.000 ton årligen krävs ett bergrumslager om minst 50.000 m³.

Denna storlek erfordras för att frakter om minst 20.000 ton kan mottagas.

Den tekniska kompetensen i Sverige är hög för bergrumslager. Vi har för närvarande den största bergrumskapaciteten för LPG i världen, ca 1.1 milj. m³. (Fig 2 och 3)

Investeringskostnaden för ett bergrum om 50.000 m³ kan beräknas till ca 70 milj. kr i dagens kostnadsnivå.

Ökad bergrumsvolym innebär en relativt rimlig kostnadsökning eftersom den stora kostnaden vid bergrumsbyggandet utgörs av tillfartstunneln.

Ökning av volymen till tex 100.000 m³ innebär att den totala investeringskostnaden stiger med ca 30 milj kr till ca 100 milj. kr. (Fig 4)

Driftskostnaderna för hamnterminalen består av personalkostnad och en mindre del för övriga driftskostnader såsom el, snöröjning osv. Driftspersonalen bör uppgå till 3-4 personer, varav en ansvarig för lagerverksamheten enligt lagen om brandfarliga och explosiva varor.

De befintliga LPG- terminalerna är lokaliserade till:

- Stenungsund (Stenungsund) ca 800.000 m³
- Malmö hamn 2.500 m³ (cisternområde)
- Karlshamn ca 52.000 m³
- Sundsvall (Karlshamn) ca 55.000 m³
- Piteå ca 100.000 m³
- Beredskapslager "okändlokalitet" ca 100.000 m³ (2 x 50.000)

I princip kan en utbyggnation med ett ytterligare bergrum vara möjlig på de flesta befintliga lokaliteterna exklusive Malmö hamn och Stenungsund. Dessa områden har inte längre fysiskt utrymme för expansion.

Eventuellt kan ett nytt bergrum byggas i Stenungsund ca två km från hamn. Detta innebär dock högre investeringskostnader i form av långa inpumpnings- och utpumpningsledningar.

På tre orter har en undersökning gjorts för bergrumslokalisering, Gävlehamn, Hargshamn och Oxelösund.

Alla dessa orter uppfyller kravet om tillräckligt tät berggrund samt att de har en fungerande infrastruktur i form av djuphamn, järnväg och landsväg med tillräcklig bärighet för tung transport.

Tekniskt sett innebär redan befintliga och undersökta importterminaler att alla större tätorter är möjliga att nå från en terminal.

Med tanke på framtida inhemsk produktion av DME är det lämpligt att ett fysiskt utrymme finns i terminalens omedelbara närhet för en produktionsanläggning.

Distribution

Allmänt

Distribution från hamnterminalen förväntas att ske med järnvägstransport till ett mellanlager för vidare biltransport till tankningsstationer. (Fig 5)

Mellanlager består av ett antal cylindriska cisterner. Volymen bestäms utifrån förväntad förbrukning på tankningsstationer i området, men den minsta tänkbara volymen är ca 200 m³ för att fylla minst en järnvägsvagn och samtidigt ha en reserv för distribution.

Placering av mellanlager är beroende av att järnväg och landsväg finns i omedelbar närhet, max. 1 km.

Det fysiska utrymmet för ett mellanlager kan beräknas till ca 50 x 100 m. (Fig 6)

Järnvägstransporter

Järnvägstransport utnyttjas i huvudsak för transport från hamnterminaler till mellanlager och till stora enskilda förbrukningsställen, om tillräcklig cisternkapacitet är tillgängligt. Eftersom tankningsställen är belägna inom bebyggt område måste, om tillräcklig cisternkapacitet önskas, cisterner utföras i underjordiskt utförande för att uppnå godtagbar säkerhet.

Tillgången till järnvägsvagnar för transport av DME är mer eller mindre obegränsat.

Svenska SJ äger ett litet antal egna vagnar som är långtidskontrakterade.

Det normala är att järnvägsvagnar inhyres från Franska SATI eller från Tyska VTG, båda dessa företag har representant i Sverige för vagnsuthyrning.

Vagnar som normalt används har en lastkapacitet på 110 m³, motsvarande ca 50 t DME.

Hyrpriserna för en 110 m³ vagn är ca 6.500 kr/mån.

Omloppstiderna för järnvägstransporter varierar beroende på vilka bansträckor transporten sker.

Vidare skall beaktas att järnvägstransport av farligt gods är starkt begränsat under vissa bansträckor. Transport av farligt gods tex genom Stockholm central i praktiken är uteslutet.

Transportkostnad för järnväg är en förhandlingsfråga, fasta transportpriser förekommer mycket sällan.

Priset är starkt beroende på transportvolym och sträcka.

Kostnaden för järnvägstransport har sjunkit under de senaste två åren, beroende på ökad konkurrens med bilfrakter.

Lastbilstransporter

Transport från mellanlager till tankningsstation utförs med tankbil. Konkurrensen med de billigare järnvägstransporter har inneburit att även kostnaden för tankbilsfrakt har sjunkit kraftigt under senaste året.

De flesta transportföretag som har lämpliga tankbilar för DME har någon koppling till oljebolagen.

Statoil och Terminalgas använder egna bilar.

De största bolagen med lämpliga bilar är POL - Transport och ODAB.

De flesta tankbilarna kan ta laster om ca 20 t DME.

Transportpriset kan beräknas enligt följande:

- inlastningsavgift ca 122 kr/inlastat ton
- transportkostnad ca 103 kr/mil
- utpumpningsavgift ca 200 kr

Exempel: Vid användning av en bil som lastar 20 t och transportavstånd 15 mil fås följande kostnad, inlastning 2440 kr + 15 mil x 103 kr = 1545 kr + 200 kr, totalt 4.185 kr vilket innebär en kostnad på ca 209 kr/t.

Som jämförelse kan nämnas att motsvarande tankbilstransport av dieselolja kostar ca 95 kr/t.

Ekonomiska transportavstånd med tankbil är ca 25 mil, därefter är järnvägstransporterna billigare.

Tankningsstationer

Det finns fyra olika principiella sätt att lagra och distribuera DME vid tankningsstationer. (Fig 7)

- Tankningsstation med friliggande cistern. Anläggningen består av en friliggande cistern för DME placerad i en inhägnad. Innanför inhägnaden finns cisternen och all armatur och pump samt säkerhetssystem. Endast mätaren är placerad utanför inhägnaden. För denna typ av anläggning ställs höga krav av myndigheten på avstånd till närliggande byggnader och till själva tankningsstället. Denna konstruktion är det billigaste alternativet, om fysiskt utrymme finns.

Kostnaden för hela anläggningen, utan mätarutrustning, kan beräknas till ca 250-300.000 kr.

- Tankningsstation med betonghus runt cisternen. För att minska säkerhets- och skyddsavstånd kan cisternen byggas med sk brandteknisk åtskillnad. Detta innebär att cisternen och dess armatur placeras i en betongkonstruktion som motstår eld i minst en timme.

Investeringskostnaden för denna typ av anläggning kan beräknas till 350-400.000 kr.

- Tankningsstation med underjordisk cistern. Denna konstruktion sparar tomtmark och är säker för sin omgivning samt för omgivningens påverkan på anläggningen. Stora krav ställs dock på rör och armatur samt korrosionsskydd.

Kostnaden för anläggningen är beroende på markförhållanden samt avståndet till tankningsställe men kan uppskattas till ca 500.000 kr.

- Tankningsstation med cryogen cistern. Den tekniskt sett mest avancerade anläggningen. Eftersom cisternen är isolerad mot brand och annan yttre åverkan kan anläggningen placeras i trånga utrymmen. Anläggningen är prefabricerad vilket innebär snabb installation.

Investeringskostnaden för anläggningen kan beräknas till ca 1.000.000 kr.

Säkerhet

Allmänt

För att bygga och driva anläggningar för brandfarlig vara måste gällande lagar och föreskrifter för verksamhet uppfyllas. De viktigaste i detta sammanhang är:

- Lagen om brandfarliga och explosiva varor, SFS 1988:868
- Förordningen om brandfarliga och explosiva varor, SFS 1988:1145
- Brandfarliga varor, SIND-FS 1981:2
- SÄI's föreskrifter om tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor, SÄIFS 1995:3
- Tryckkärl AFS 1994:39
- Plan- och bygglagen
- Kommunala byggnadsstadga

Lagen och förordningen om brandfarliga och explosiva varor anger under vilka omständigheter och villkor hantering av brandfarliga varor får ske.

Tillståndsmyndighet för brandfarliga varor är byggnadsnämnden till vilken ansökan om byggnadslov och tillstånd för hantering av brandfarlig vara sänds.

Tillsynsmyndigheten är kommunens räddningsnämnd och Sprängämnesinspektionen, vilka övervakar att hantering bedrivs enligt gällande föreskrifter och givet tillstånd.

Risikanalys

Lydelsen i 9 § i lagen om brandfarliga och explosiva varor, "Den som bedriver verksamhet, i vilken ingår yrkesmässig hantering av brandfarliga eller explosiva varor, skall se till att det finns tillfredsställande utredning om riskerna för brand eller explosion i verksamheten och om de skador som därvid kan uppkomma", innebär att myndigheten kräver upprättandet av en riskanalys för all verksamhet med brandfarlig vara.

Risk = Sannolikhet x Konsekvens

Grundläggande för en riskanalys är teoretiska metoder som är utformade för att indikera möjliga konsekvenser vid olycka eller tillbud. Problemen ställer krav på teoretiska bedömningar gjorda med fantasirikedom, där situationer förutses som är utan historiska föregångare men ligger inom det möjliga gränser.

Allmänt kan sägas att vid riskanalys måste antaganden göras utan tillgång till tillförlitliga data och bevisade teorier.

Riskanalys upprättas för varje hanteringsställe dvs hamnterminal, mellanlager och tankningsställe.

Riskanalysen skall fastställa vilket som är det dimensionerande skadefallet och vilka konsekvenser en olycka får.

Risker vid hamnterminal

Vid hamnterminaler finns två dimensionerande hanteringstillfällen. Lossning av fartyg och fyllning av järnvägsvagnar/tankbilar.

Lossning av fartyg

Om lastarmen eller slangen från båten brister eller läcker, kommer relativt stora mängder DME att rinna ut till hamnbassängen.

Eftersom hamnen är utformad för hantering av brandfarlig vara skall inga tändkällor förekomma på området, vilket innebär att utsläppet blir blandat med luft under low explosions limit inom 30 sekunder. Under tiden kan ett brännbart moln av DME och luft sprida sig till ett avstånd på 50 till 150 m från läckageplatsen.

Om molnet antänds kan skador på människor ske på ett avstånd av 100-200 m från antändningsplatsen.

Avstånden är grova uppskattningar och är beroende på hamnens utformning, fartygsstorlek, konstruktion av lossningsutrustning och liknande parametrar.

Påfyllning av järnvägsvagnar

Även vid detta arbetsmoment är slangbrott dimensionerande skadefall.

Om slangen bister eller läcker kommer inte läckaget bli omfattande, eftersom konstruktionen enligt lag är försedd med rörbrottsventiler och annan omfattande säkerhetsutrustning.

Det brännbara gasmolnet kan maximalt sprida sig ca 40 m från läckageplatsen.

Om molnet antänds kan skador på människor uppstå ca 50-80 m från antändningsplatsen.

Risker vid mellanlager

På ett cisternområde för mellanlagring finns två alternativa läckagemöjligheter, slangbrott vid lossning och lastning samt pumphaveri.

Vid fel på pumpar kommer en liten mängd DME att läcka ut under lång tid. Läckaget är tämligen harmlöst, om ingen tändkälla kommer i kontakt med läckaget.

Vid slangbrott kommer samma förutsättningar gälla som vid lastning av järnvägsvagnar i hamnterminalen.

Lagercisterner anses inte utgöra någon risk om de inte utsätts för yttre åverkan. Sabotage och liknande beräknas inte som dimensionerande.

Risker vid tankningsstationer

Vid tankningsstationer finns två möjliga utsläppsalternativ.

Påfyllning av anläggningens cistern och tankning av bilar.

Ett läckage vid tankning kommer att bli mycket kortvarigt, eftersom tankningen övervakas kontinuerligt och eftersom slangdimensionerna är små.

Vid påfyllning av anläggningens cistern kan större mängder av DME läcka ut vid ett eventuellt haveri på slangen eller slangkopplingen.

Vid slangbrott beräknas ca 30-50 kg DME rinna ut innan tankbilens pump stoppas.

Denna mängd beräknas att ge upphov till ett brännbart gasmoln som kan antändas ca 40-70 m från påfyllningsplatsen.

Fig 1
Physical Data

	Dimethylether	Propane	n-Butane
Rel. spec. wt at 15°C/100 kPa (air=1)	1,59	1,55	2,11
Liquid state			
Density at 20°C kg/l	0,667	0,501	0,579
Density at b.p. & 101,3 kPa. kg/l	0,732	0,582	0,602
Vapor pressure at 20°C, bar	5,09	8,33	2,08
Spec. heat kJ/(kg x °C)	2,43	2,22	2,35
Boiling point (101,3 kPa)			
Temperature °C	-24,9	-42,1	-0,05
Latent heat of vaporization kJ/kg	467	425,6	384,8
Gaseous state			
Density 15°C 100 kPa, kg/m ³	1,96	1,88	2,51
Spec. heat kJ/kg x °C	1,42	1,65	1,68
Critical point			
Critical temperature, °C	126,8	96,8	152
Critical pressure, bar	52,7	42,5	38
Critical density, kg/l	0,271	0,22	0,228
Solubility in water at P _{gas} = 100 kPa/kg	---	0,039	0,034
Energy, MJ/kg (H _u)	27,6	46,4	45,7
Autoignition temperature °C	235	493	287
Explosive limits in air, %	3,4-27	2,1-9,5	1,8-8,4

Fig 1
Physical Data

	Dimethylether	Propane	n-Butane
Rel. spec. wt at 15°C/100 kPa (air=1)	1,59	1,55	2,11
Liquid state			
Density at 20°C kg/l	0,667	0,501	0,579
Density at b.p. & 101,3 kPa. kg/l	0,732	0,582	0,602
Vapor pressure at 20°C, bar	5,09	8,33	2,08
Spec. heat kJ(kg x °C)	2,43	2,22	2,35
Boiling point (101,3 kPa)			
Temperature °C	-24,9	-42,1	-0,05
Latent heat of vaporization kJ/kg	467	425,6	384,8
Gaseous state			
Density 15°C 100 kPa, kg/m ³	1,96	1,88	2,51
Spec. heat kJ/kg x °C	1,42	1,65	1,68
Critical point			
Critical temperature, °C	126,8	96,8	152
Critical pressure, bar	52,7	42,5	38
Critical density, kg/l	0,271	0,22	0,228
Solubility in water at Pgas = 100 kPa/kg	----	0,039	0,034
Energy, MJ/kg (H _U)	27,6	46,4	45,7
Autoignition temperature °C	235	493	287
Explosive limits in air, %	3,4-27	2,1-9,5	1,8-8,4

Fig 2

Coast terminal and DME Storage

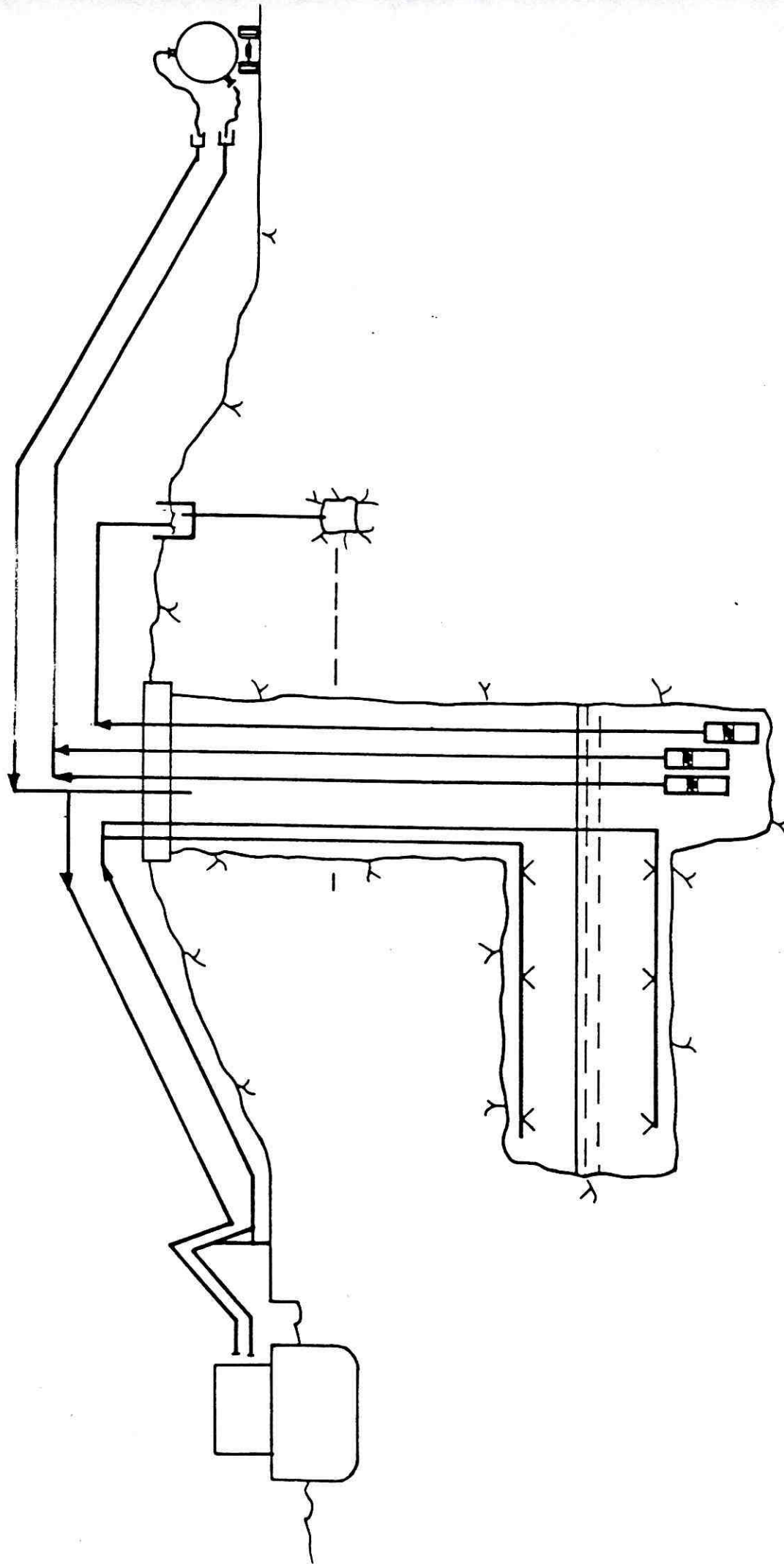
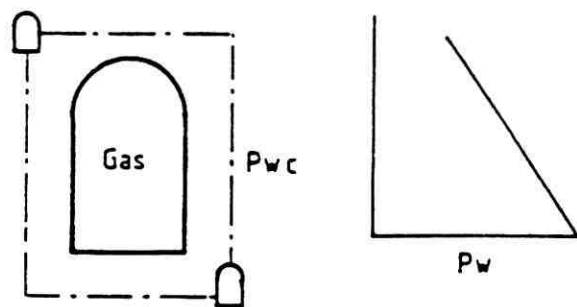


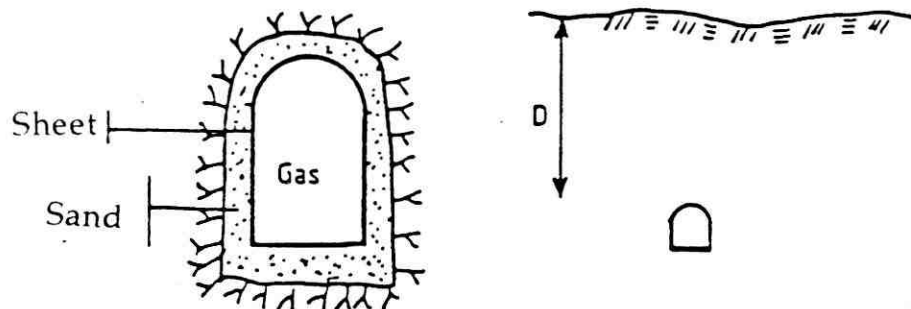
Fig 3

DME Storage

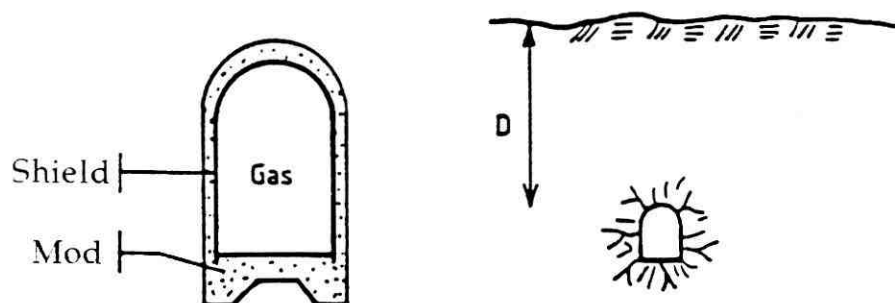
Rock Cavern



Rock Cavern with covering



Shield Cavern



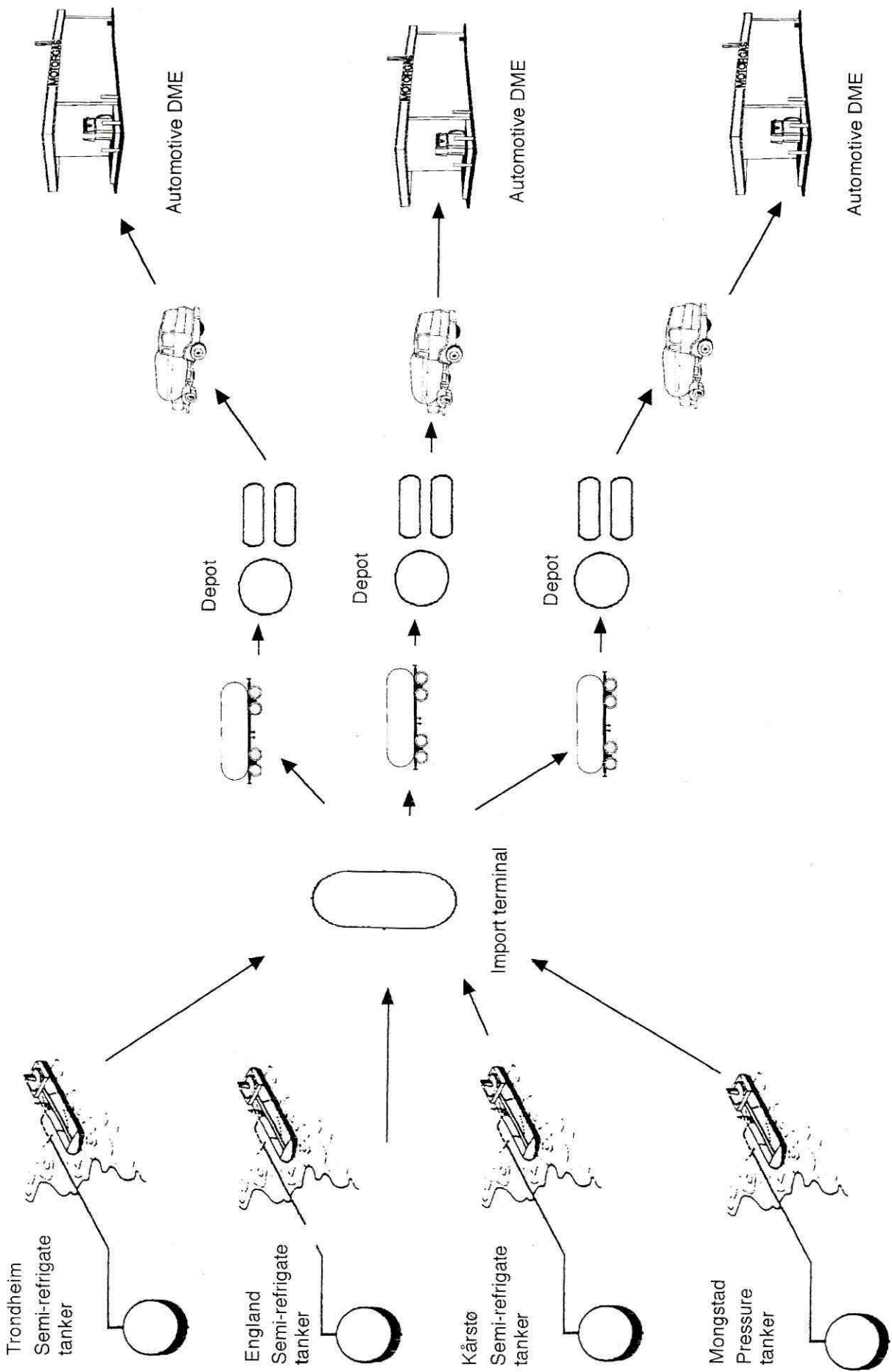


Fig 4

Investment cost. Coast terminal and storage (*per container*)

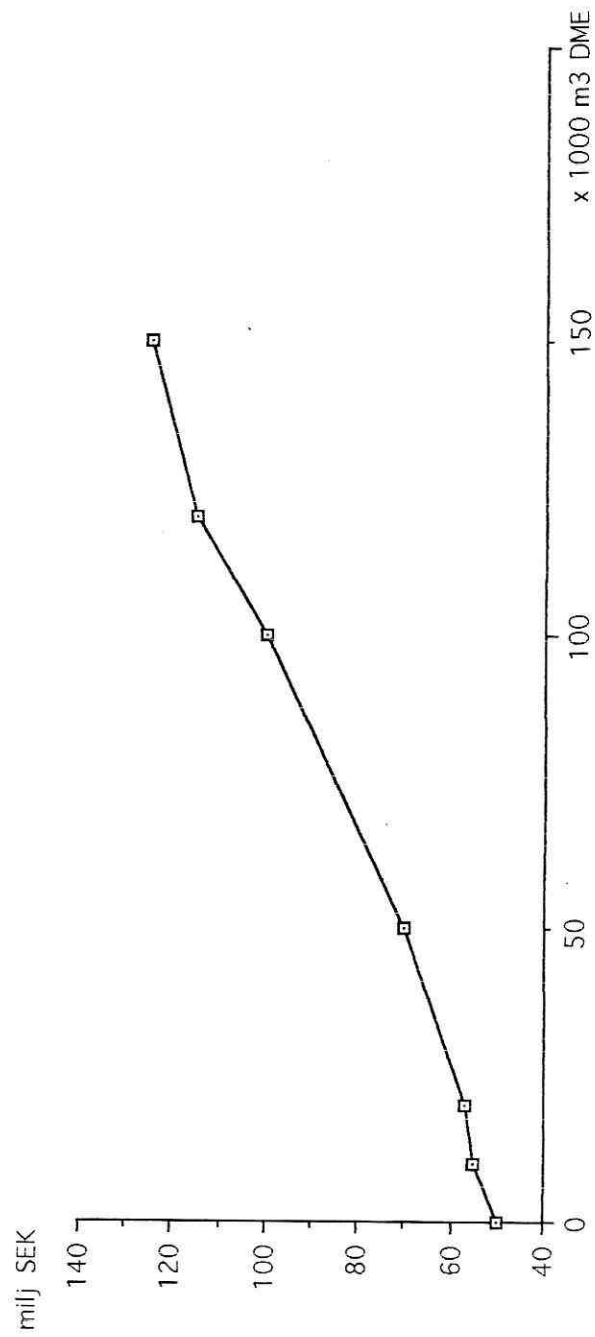
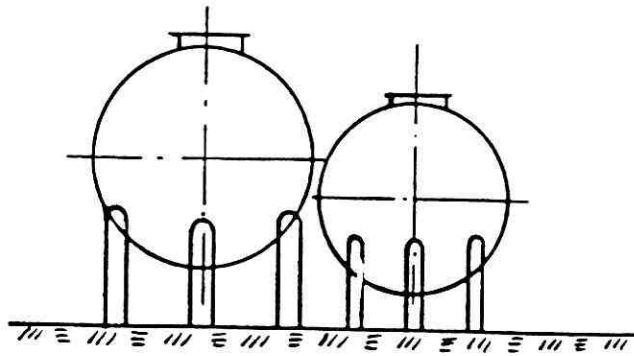
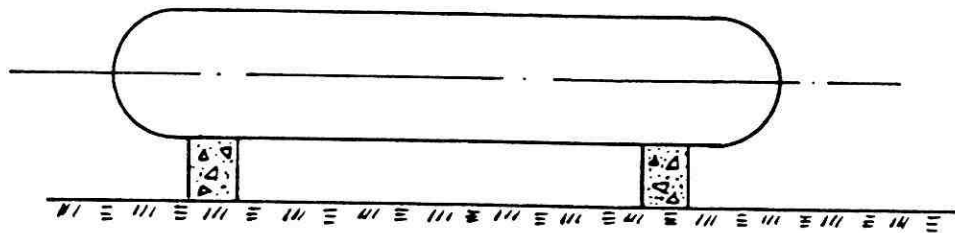


Fig 6

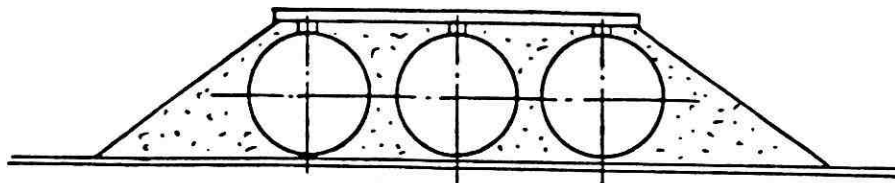
Methods for DME storage



Spherical tanks

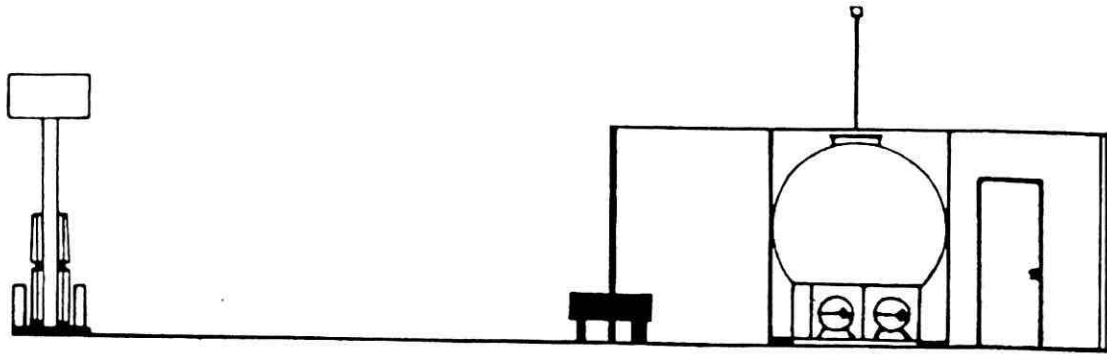


Cylindrical tanks

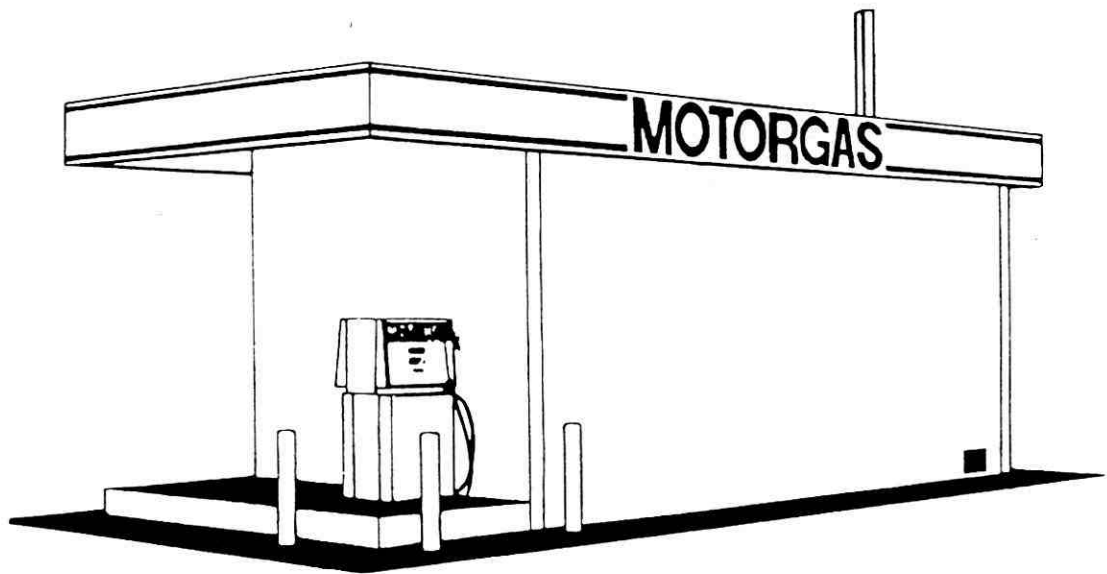


Mounded tanks

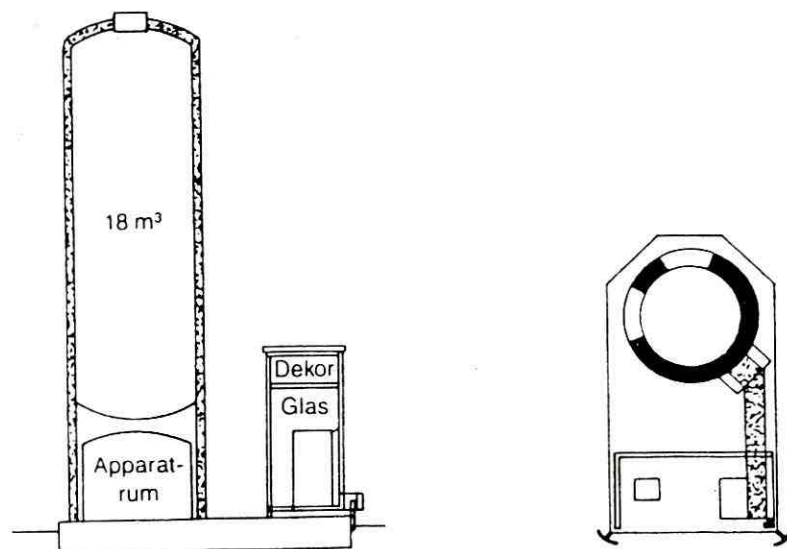
Fig 7



Automotive DME station with a separate tank



Automotive DME station surrounded by a concrete building



Automotive DME station with a cryogenic tank

Referenser

- Skydd mot fria gasmolnsexplosioner IVA medd. 238
- A first guide to Loss Prevention, Institution of chemical engineers
- Aga Gas Handbook
- Gases, physical data, AGA SpecialGas

Intervjuer

- Tomas Grut, Avd.dir. SÄI, Stockholm
- Öjvind Fredriksson, Pool Transport, Stockholm
- Mikael Björkman, SJ avd. farligt gods, Göteborg
- Synnøve Norland, Statoil a/s, Stavanger
- Sverre Herstad, Statoil a/s, Stavanger
- Lars Kvandal, Det Norske Veritas, Oslo
- Vereinigte Tanklager und Transportmittel GmbH, Hamburg