



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Alternativa bränslen för värmepumpar

Lars Andersson

Lennart Dahl

Jan-Erik Nowacki

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	81-1282
Plac	<i>Ser</i>

R

Ser

R77:1981

ALTERNATIVA BRÄNSLEN FÖR VÄRMEPUMPAR

Lars Andersson
Lennart Dahl
Jan-Erik Nowacki

HUVUDINNEHÅLL

Undersökningen redovisar vilka alternativa bränslen som är lämpligast för värmepumpar. Tonvikten är lagd på inhemska bränslen.

Resultaten visar att:

- naturgas, som tyvärr måste importeras, framstår som det lämpligaste bränslet
- metanol och etanol förefaller vara våra bästa inhemska bränslen
- vid höga reala bränsleprisökningar kan träpulver i kombination med Stirlingmotorer bli aktuella
- lågvärdesgas kan förhållandevis snabbt introduceras men är miljömässigt oacceptabel i bebyggelse åtminstone i små anläggningar

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 791130-2 från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik Energiteknik AB, Nyköping.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R77:1981

ISBN 91-540-3534-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 153908

INNEHÅLL

1	GASFORMIGA BRÄNSLEN.....	5
1.1	Gengas (Lågvärdesgas LVG).....	5
1.1.1	Allmänt.....	5
1.1.2	Bränsle (råvara).....	6
1.1.3	Framställningsteknik.....	7
1.1.4	Systemutformning.....	10
1.1.5	Kostnader.....	11
1.1.6	Miljöfrågor.....	14
1.1.7	Gengas ur driftteknisk synvinkel.....	14
1.1.8	Status.....	17
1.2	Motala Pyrogas, IMBERT m fl (LGV).....	17
1.2.1	Allmänt.....	17
1.2.2	Framställningsteknik.....	19
1.2.3	Systemutformning.....	19
1.2.4	Kostnader.....	19
1.2.5	Motorreaktioner för LGV.....	20
1.2.6	Status.....	21
1.2.7	Miljö- och säkerhetsfrågor.....	21
1.3	Mellanvärdesgas (MGV).....	22
1.4	Naturgas (NG).....	23
1.5	Syntetisk naturgas (SNG).....	24
1.6	Rötgas.....	24
1.6.1	Teknik och ekonomi.....	24
1.6.2	Status.....	26
2	FLYTANDE BRÄNSLEN.....	27
2.1	Metanol.....	27
2.1.1	Allmänt.....	27
2.1.2	Råvara.....	27
2.1.3	Framställningsteknik.....	27
2.1.4	Systemutformning.....	28
2.1.5	Kostnader.....	29
2.1.6	Status.....	30
2.1.7	Miljöfrågor.....	30

2.2	Etanol.....	31
2.2.1	Allmänt.....	31
2.2.2	Råvaror, processteknik och kostnader.....	32
2.2.3	Status.....	33
2.2.4	Miljöfrågor.....	34
2.3	Motortekniska synpunkter vid alkohol- drift av dieselmotorer för värmepumpar.....	34
2.3.1	Centantalshöjande additiver.....	35
2.3.2	Emulsioner av alkohol och diesel.....	36
2.3.3	Separata insprutningssystem.....	37
2.3.4	Metanolspjälkning.....	38
2.3.5	Sammanfattning.....	39
3	FASTA BRÄNSLEN.....	41
3.1	Poppelpulver.....	41
3.2	Kol.....	42
3.3	Motortekniska synpunkter på fast bränsle....	42
3.3.1	Stirlingmotor	43
3.3.2	Ångturbinen.....	43
3.3.3	Gasturbinen.....	44
4	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER.....	45
4.1	Gas.....	45
4.2	Alkoholer.....	46
4.3	Fasta bränslen.....	46
4.4	Rekommendationer.....	46
	REFERENSFÖRTECKNING.....	49
	FIGURER.....	53

1. GASFORMIGA BRÄNSLEN

1.1 Gengas (1, 2, 3) (Lågvärdesgas LVG)

1.1.1 Allmänt

Utnyttjande av gengas för förbränningsmotorer är tekniskt sett ingen nyhet. Praktiskt användbara konstruktioner utvecklades så tidigt som vid sekelskiftet i Storbritannien, Tyskland och Frankrike.

I Sverige konstruerade bl a Axel Swedlund stationära gengasaggregat redan vid tiden för första världskriget. År 1945 uppgick antalet mobila gengasaggregat i Sverige till ca 75 000.

Den snabbt ökande motoriseringen och dieselmotorns allt mera vidgade användning har krävt nya forsknings- och utvecklingsinsatser inom gengasområdet. Sedan 1950-talet har Statens maskinprovningar arbetat med dessa problem.

1972 träffade ÖEF ett avtal med AB Volvo för att i samarbete med Statens maskinprovningar ta fram ett antal nya standardkonstruktioner, anpassade för serietillverkning. Även SAAB-SCANIA har medverkat i detta arbete.

Avtalet omfattar tre storlekstyper, gemensamma för traktorer, bussar och lastbilar och en typ för personbilar.

Pielstickgruppen i Tyskland har under senare tid en del utfört motorexperiment med gengas, och gengasframställning har studerats av firma Imbert (1).

Volvo Lastvagnar har tidigare arbetat med gengas, men av olika skäl prioriterar man nu metanol (4).

Gengasens sammansättning (volymprocent) kan beskrivas som följer (råvaran är ved med 12 - 20 % fukthalt):

Koloxid	CO	17 - 22
Vätgas	H ₂	16 - 20
Metan	CH ₄	2 - 3
Tunga kolväten	C _n H _m	0.2 - 0.4
Koldioxid*	CO ₂	10 - 15
Kväve*	N ₂	45 - 50

Effektiva värmeverdets för gengas framställd ur ved ligger mellan 5.0 och 5.9 MJ/Nm³ (3). Ett ofta förekommande realistiskt värde är 5.3 MJ/Nm³ (4).

1.1.2 Bränsle (råvara)

Flis rekommenderas, i en storlek av 5 x 10-40 x 10 - 40 mm varvid måttet 5 mm ej bör underskridas (4). Fukthalten bör vara max 25 - 28 %. Bränslet måste sållas så att stickor och spån tas bort.

Vid Statens maskinprovningar i Umeå har man dock använt standardiserad flis med så låg fukthalt som 12 %, i huvudsak från barrvedsmaterial som har torkats i varmluft från en eldriven så kallad aero-temper (2).

Vedkubb anses ej lika aktuellt som flis, men ger gengas med högre värmevärde relativt gas ur flis, men erfordrar en inre perforerad plåt i "gengasgrytan".

* Icke brännbara beståndsdelar

Torv kan komma att användas i framtiden, men kräver en annan konstruktion av härdzonen. Värtsilä (i Finland) uppges arbeta med torvmatade generatorer (1).

Sågsån är direkt olämpligt då det helt sätter igen gasgeneratorer avsedda för flis.

Träkol är inte aktuellt, dels saknas produktionsresurser i stor skala, dels kräver en kubikmeter träkol 2.5 m^3 ved och ger för mobila aggregat inte längre körsträcka än en kubikmeter ved!

1.1.3 Framställningsteknik

Avsnittet avser att belysa förekommande driftsvårigheter hos existerande aggregat och möjliga förbättringar, men särskilt de förbättringar, som måste till för att en rationell, stationär drift skall erhållas.

Beträffande teknikbeskrivningar av gengasprocessen och mobila aggregat hänvisas till (3).

Dagens mobila aggregat har relativt dålig verkningsgrad ca 60 - 67 %.

Möjligen kan verkningsgraden förbättras genom uppskalning av aggregaten, men det är osäkert, då de uppskalningseffekter som inträder vid övergång till större stationära anläggningar är relativt okända.

Enligt Rensfelt kan högre verkningsgrad uppnås och då bör man: (citrat från (5))

- "1: Isolera reaktorn för att minska värmeförlusterna
- 2: Värmeväxla den heta produktgasen med ingående luft

- 3: Åstadkomma god slutförbränning av askan samt god tjärsönderdelning genom att låta all gas och all aska passera en väldefinierad zon med hög temperatur. Viktigt är också att luften introduceras så väl fördelat över generatorns tvärsnitt som möjligt. Inga heta eller kalla stråk skall uppstå i generatoren.

Min bedömning är att nivån 70 - 80 % verkningsgrad relativt lätt kan uppnås i stationära anläggningar. Med god värmeväxling, produktgas - luft och god isolering bör även nivån 80 - 85 % kunna uppnås."

Enligt Nelson (4) kan gasens kvalitet förbättras genom att införa nickelhaltiga material i behållaren, vilka katalytiskt påverkar gasens sammansättning så att större procenthalt metan erhålls än normala 2 %. Förutom att gasens specifika energiinnehåll ökas, fås också bättre oktantal, då CH_4 har bättre oktantal än CO .

De tekniska problem, som är förknippade med en gengasdriven dieselmotor kan främst hänföras till gasgeneratoren, filterna eller motorn själv.

Följande uppställning ger en uppfattning av problemen:

<u>Del</u>	<u>Problem</u>	<u>Möjliga åtgärder</u>
Gasgenerator	korrosionsskador	Bättre material, särskilt i härdring och bärplatta
	"Hängning" av flisen	Omrörarstänger, vertikalt placerade i aggregatet
		Rörlig rost (finns redan)
		Hela behållaren rörlig (pneumatisk styrd påverkan med vissa tidsintervall)
	"Kakbildning"	Finare partiklar undvikes

<u>Del</u>	<u>Problem</u>	<u>Möjliga åtgärder</u>
	Manuell in- och utmatning (av aska)	Automatisering*
	Manuell tändning	"-
<u>Filter</u>	Eld i filter vid luftläckage ($t > 700^{\circ}\text{C}$)	Filter, som tål temp $> 1300^{\circ}\text{C}$ användes (Av keramiskt material i st f glasfiber)
	Problem med manuell rengöring (detta är framförallt ett smutsigt jobb)	Automatisk rengöring
	Igensättning av filtret	Större filter (vilket är möjligt vid stationära aggregat) eller radikalare: Helt annan filterkonstruktion (påfilter, elektrofilter, filterpatron)
<u>Motor</u>	Oren gas på grund av	
	a) fel på filtret gör att insugsventilen fylles med sotpartiklar (och motorn skär.)	Förbättrad filterteknik (se ovan)
	b) för låg temperatur ($< 40^{\circ}\text{C}$) på utgående gas gör att ammoniak och A-tjära utskiljes vilket ger beläggningar i motorn	Bör särskilt undvikas vid start av nytt filter, då "kolpartiklar" som successivt tillföres filtret tar upp tjäran
	När det gäller utvecklingsarbete, som inriktas på ovanstående förbättringar har vissa insatser gjorts. Vid Statens maskinprovningar (2) har man sålunda studerat ett större aggregat, vars behållare är rörlig. Att så kallad "hängning" uppkommer i stationära aggregat bedömes som ett stort problem.	
	Betydelsen av automatisering betonas även starkt (2, 4).	
	* I Kalifornien har man skalat upp ett svenskt aggregat, och försett det med kontinuerlig in- och utmatning (6).	

1.1.4 Systemutformning

I en krissituation räknar man med att vid flis-tillverkningen utgå från ved, som först sågats och sedan torkats. För den tänkta värmepump-tillämpningen i fredstid bedömes en sådan hantering inte vara möjlig, då konkurrens skulle uppstå med sågade trävaror. Dessutom är det lättare att sönderdela färskt trä i flishugg, även om betydande insatser pågår för att utveckla flishuggar för torrt trä.

Skogsavfall av billigare slag utgör lämplig råvara, t ex hyggesavfall (11.7 kr/GJ) och lövved (13.6 kr/GJ) (7).

Det är tveksamt om man med naturlig torkning kommer ned till önskad fukthalt under 25 % (för att vara på den säkra sidan). 30 % fukthalt uppges däremot klaras med naturlig torkning (9).

Naturlig torkning i stack har flera nackdelar: luftcirkulationen blir dålig, fukt och värme blir kvar i stacken, risk för självantändning föreligger och torrsubstansförlusterna kan bli stora (~ 6 %) (8).

Aktiv torkning med kallluft, hetluft eller ånga är möjliga alternativ. Kallluftstorkning kan tillämpas då luftens relativa fuktighet är lägre än vad som motsvarar den hygroskopiska jämvikten som varierar med träets fukthalt. Med kallluft av 90 % relativ fuktighet är det möjligt att komma ner till en fukthalt i träet av ca 23 %. Kallluftstorkningen kan i allmänt endast utföras under den varmare delen av året (jfr (8)).

Systemet kan utföras på följande sätt:

1. Skogsavfallet (kvistar, grenar etc) släpas till avlägg i anslutning till väg.
2. Materialet lastas på lastbilar och köres till terminal, där materialet flisas och kallluftstorkas
3. Lastbilstransporter sker sedan till de enskilda förbrukarna.

En väsentlig förutsättning för att systemet skall fungera är att ett handelsled inrättas mellan producenter och konsumenter.

1.1.5 Kostnader

Ett komplett gengasverk kostar i dag (1980) för en dieseldriven lastbil, ca 1/10 av bilens kostnad dvs 30 - 40 000 kr, säg 35 000 kr. Ett sådant aggregat ger 160 - 180 m³/h gas, dvs aggregatets effekt är 1 250 · 170 kcal/h = 212 500 kcal/h ⇒ 247 kW.

A. Kostnad för bränslet (skogsavfall)

Antag att man inför dieseldrivna värmepumpar i en region, är 1/20 av det i Sverige tillgängliga skogsavfallet finns, dvs

$$\frac{1}{20} \cdot 12 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{f/år} = 6 \cdot 10^5 \text{ m}^3 \text{f/år}$$

$$\text{om } 1 \text{ m}^3 \text{f} = 0.45 \text{ tTS fås } 2.7 \cdot 10^5 \text{ tTS/år}$$

Till varje aggregat behövs

$$\frac{247}{0.8} \cdot 8\,760 \cdot \frac{3.6}{19.18} 10^{-3} \text{ tTS/år} = 507.65 \text{ tTS/år}$$

förutsatt att energiverkningsgraden hos aggregatet = 80 % och att effektiva värmevärdet hos skogsavfall med 25 % fukt är 19.18 MJ/kgTS.

Antalet aggregat i regionen blir

$$\frac{2.7 \cdot 10^5}{507.65} \text{ st} \approx 532 \text{ st}$$

Årskostnaden för tillförselsystemet (bränsle, bränsletillförsel och torkning):

Kostnader för insamling av skogsavfall

12 kr/GJ \Rightarrow 192 kr/tTS	<u>Mkr</u>
dvs totalt $2.7 \cdot 10^5 \cdot 192 =$	51.8

Transporter, medeltransportsträcka = 30 km, för såväl av skogsavfallet som flisen

1.50* \cdot 2 kr/GJ = 3 kr/GJ \Rightarrow	15.6
---	------

Torkning, efter viss naturlig torkning från 50 % till ca 40 % fukt, skall vattenhalten sänkas till 25 %, dvs 15 % fukt skall tas bort, dvs

$0.15 \cdot 2 \cdot 2.7 \cdot 10^5 \text{ ton} = 0.81 \cdot 10^5 \text{ ton}$
 180 kWh erfordras per ton vatten (10) erfordras för kallluftstorkning dvs om elpriset är 0.16 kr/kWh är kostnaden

180 \cdot 81 000 \cdot 0.16 = $2.33 \cdot 10^6$ kr	2.3
--	-----

Flisning inkl lagerterminal

$$39 \text{ kr/m}^3 \text{ f} = \frac{39}{0.45} \text{ kr/tTS} = 86.67 \text{ kr/tTS}$$

86.67 \cdot $2.7 \cdot 10^5$ kr = $234 \cdot 10^5$	<u>23.4</u>
	93.1

B. Årskostnad för ett gengasaggregat

kr

Anläggningskostnad $4 \cdot 35\ 000 = 140\ 000$ kr
 (Faktor 4 på grund av förbättringar automatisering, bättre filter m m)

* Enl diagram i (7) 1.5 kr/GJ för en transportsträcka av 30 km.

	<u>kr</u>
Annuitet (4 %, 17 år) = $0.082 \cdot 140\ 000$ kr	11 480
Personalkostnad 0.3 manår inkl adm $0.3 \cdot 100\ 000$	30 000
Underhåll: 2 % av anläggningskostnaden $0.02 \cdot 140\ 000$	2 800
Bränslekostnad $\frac{93.1 \cdot 10^6}{532}$	<u>175 000</u>
	219 280

C. Specifik årskostnad för ett gengas-
aggregat

$$= \frac{219\ 280}{8\ 760 \cdot 247 \cdot 3.6 \cdot 10^{-3}} = 28.15 \text{ kr/GJ gas}$$

D. Kostnader för torv

Under antagandet att processen kan utföras med torv och med samma gengasapparat och bibehållenverkningsgrad som för flis kan följande beräkning utföras:

Insamling till mosskant 9 kr/GJ

Mängd energi (torv) för resp anläggning

$$\frac{247 \cdot 8\ 760 \cdot 3.6}{0.8} \text{ MJ/år} = 9.737 \cdot 10^3 \text{ GJ torv för förgasning}$$

	<u>kkkr</u>
Insamlingskostnad	87.63
Transporter $2 \cdot 1.1 \cdot 9.739 \cdot 10^3$	21.42
Torkning (15 % av den totala mängd torv beräknas åtgå, vilket $\Rightarrow \frac{87.63 \cdot 0.15}{0.85}$ kkr	<u>15.46</u>
	S:a 124.51
Övriga kostnader (enl föregående)	<u>44.28</u>
	S:a 168.79
Specifik energikostnad = $\frac{168\ 790}{7\ 789.39}$ =	
= 21.67 kr/GJ	

1.1.6 Miljöfrågor och säkerhet

Förutom tjärvatten och aska, som måste tas om hand på ett ur miljösynpunkt betryggande sätt, erhålles förbränningsprodukter från gengasen. Analyser på dessa produkter saknas, men uppskattningsvis gäller CH_4 1 - 2 %, C_nH_m 0.5 %, CO låg, H_2 låg och NO_x är mindre än den koncentration, som fås vid förbränning av dieselbränsle. Relativt sett är emissionerna låga.

Med hänvisning till förgiftningsrisken (CO!) och brandfaran vid användning av gengas är det viktigt att tillverkning, montering och handhavande av gengasverk sker med största omsorg. Larmanordningar bör finnas. Riksförsäkringsanstalten har utfärdat särskilda anvisningar (nr 20, 28 okt 1940) betr stationära gasgeneratorer. Där föreskrives bl a, att aggregat skall vara uppställt utomhus eller i särskild för ändamålet väl ventilerad lokal, vilken inte får stå i direkt förbindelse med arbetslokal eller bostad.

1.1.7 Gengas ur driftteknisk synvinkel

Vid dieselgasdrift erhålls en effektminskning jämfört med ren dieseloljedrift av ca 20 - 30 %. Jämfört med turbomotorer är effektförlusten 45 - 55 %. Denna minskning blir inte så hög jämfört med bensinmotorer som konverteras till gengas, då dieselmotorn får ett effekttillskott genom den dieseloljemängd, som sprutas in för tändningen av gengasen.

Dagens och morgondagens höga krav på "rena" avgaser och god ekonomi ställer höga krav på motorernas olika funktioner men också på att bränslet har en mer specificerad sammansättning med åtföljande termodynamiska egenskaper.

De gengasaggregat som Sverige har utvecklat för beredskapsändamål uppfyller ej de krav på funktion och underhållsekonomi som man ställer under fredstid. Exempel på detta är den omfattande manuella insatsen som måste utföras. Den nedanstående redogörelse gäller för ett gengasaggregat framtaget för personbildrift (se Figur 1). Nedanstående tidsangivelser är beräknade vid en medelhastighet av ca 70 km/tim.

<u>Tid</u>	<u>Åtgärd</u>
Varje timme	Påfyllning av ved. Det tar ca 50 min att göra i ordning aggregatet.
var 7:e timme	Filtret rengöras. Det tar omkring 5 min
var 20:e timme	Askan tas bort. Det tar 15 min
var 30:e timme	Oljan skall bytas. Det tar 15 - 30 min
var 85:e timme	Gallerväggarna rensas.
var 170:e timme	Grytan delas och rengöres. Tar ca 1 dag

För att man skall kunna minska den manuella insatsen måste man givetvis förse gengasaggregatet med relativt omfattande styr- och reglerautomatik som avkänner temperaturer, tryckgas sammansättning m m.

De befintliga gengasaggregaten måste även omkonstrueras på en rad punkter för att öka livslängden på aggregat och motor, samt för att man skall kunna ta tillvara på den värmemängd, som normalt kyls bort.

Generatoren har idag en livslängd på 3 - 4 år. Denna kan dock höjas om man konstruerar den i rostfri plåt vilket givetvis ökar priset.

Vid start måste den producerade gengasen brännas tillsammans med gasol i en särskild panna tills gasen har fått en acceptabel sammansättning. Detta tar relativt lång tid och man måste därför sträva efter långa driftcykler.

Bränsleinmatning måste ske kontinuerligt. Man måste dock vara mycket aktsam så att en eventuell "baktändning" i gengasaggregatet ej antänder bränsleförrådet via inmatningsanordningen. Detta kan orsaka säkerhetsproblem om anläggningen integreras med bostäder m m.

Gengasaggregatet måste även förses med någon skak- eller omrörningsfunktion så att bränslet inte klumpar ihop sig och man får driftavbrott.

Avfallsprodukterna, t ex aska, måste utmatas kontinuerligt.

Insugningsfiltret (Renaren) måste bytas till någon typ av industrifilter med automatisk utmatning av stoft.

Kylaren med kondensatbehållaren måste omkonstrueras från dagens gas- lufttyp till gas-vatten, Figur 2.

Luft- gasblandaren måste få någon typ av reglering vilket bl a styrs av avgassammansättningen (ev Lambda-sond), Figur 2. Detta för att minimera avgasutsläppen.

Ett exempel på motorns reaktorer för LVG istället för dieselolja finns i avsnitt 1.2.5.

1.1.8-----Status

Stationära gengasaggregat kan efter visst FoU-arbete tas fram på grundval av tidigare arbeten i Sverige med mobila aggregat. Tidshorisonten bedömes vara 2 - 5 år. Långt driven automatisering är önskvärd för att hålla personalkostnaderna nere.

Aggregaten bör också ha högre verkningsgrad, bättre fungerande filterutrustning och beständigare material för att få ökad livslängd, jämfört med existerande mobila d:o.

Att konvertera dieselmotorer till gengasdrift bedömes vara ett lösbart problem, då det finns mångårig erfarenhet på området.

1.2 Motala Pyrogas (R), IMBERT mfl (LVG)

1.2.1 Allmänt

Redan 1929 började Motala Verkstad (11) tillverka gasgeneratorer, vilka producerade gas och tjära ur fasta bränslen. Tekniken baseras på pyrolys med partiell förbränning.

1971 började Motala Verkstad projektera vad som i dag är Pyrogassystemet. 1972 - 1974 gjordes praktiska prov i en gasgenerator vid Oaxens Kalkbruk med hushållsavfall från Södertälje kommun.

1975 började man bygga en anläggning i anslutning till Gislaveds gummifabrik. För denna hade garanterats av kapacitet av 2.0 ton/h hushållsavfall, 0.2 ton/h gummiavfall och 0.55 ton/h kol (12), se Figur 5.

Under inkörningen dök flera problem upp och garantikapaciteten kunde inte innehållas, varför behov av ytterligare insatser var behövliga för att göra systemet operativt. Problemen kan i huvudsak hänföras till avfallets varierande och mycket besvärliga fysikaliska och kemiska sammansättning (13).

Utvecklingsverksamheten, som numera övertagits av KMW, inriktas nu på en förgasare som kan hantera såväl torv, flis, bark och gummi som hushållsavfall.

I en försöksanläggning har försök gjorts med kompakterad torv under en kort period. En prototyp för torv avses byggas.

Gasens sammansättning är en funktion av bränslet. Med hushållsavfall som bränsle erhålls följande ungefärliga sammansättning hos gasen (volymprocent)

Vätgas	H ₂	20
Metan	CH ₄	2
Koldioxid	CO ₂	8
Koloxid	CO	20
Syre	O ₂	1
Kväve	N ₂	50

Gasens värmevärde är 5.4 - 6.3 MJ/Nm³. Samtidigt erhålls en tjärmängd av 40 kg/ton hushållsavfall (tjärans värmevärde är 33.5 MfJ/kg) och ca 200 kg eller ca 0.2 m³ slagg per ton hushållsavfall.

Figur 4 visar ett system från IMBERT i Arnsberg, Västtyskland. Systemet ger $600 + 900 \text{ m}^3/\text{h}$ gas med en verkningsgrad av 0.76. Gaseffekten ligger mellan 2 - 2.5 MW. Vid IMBERT provas också elektrostatiska filter.

1.2.2 Framställningsteknik

Se Bilaga A.

1.2.3 Systemutformning (Pyrogas)

Huvuddragen i hanteringen föreslås som följer:

Insamling av torv till mosskant och vidaretransport till en central lagrings- och briketteringsanläggning, varifrån briketterna sänds vidare till resp förgasningsanläggning.

1.2.4 Kostnader

Insamling av torv till mosskant = 9 kr/GJ (7).
Transportkostnaden uppskattas till 1.1 kr/GJ och 30 km, enligt (7). Erforderlig mängd torv per år vid en antagen verkningsgrad av 90 %:

$$\frac{10 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 760 \cdot 3.6}{0.9} \text{ MJ/år} = 3.504 \cdot 10^5 \text{ GJ/år}$$

		<u>kk/år</u>
Insamlingskostnad	$9.3 \cdot 504 \cdot 10^5 \text{ kr}$	3 154
Transporter	$2 \cdot 1.1 \cdot 3.504 \cdot 10^5 \text{ kr}$	771
Anläggningskostnad inkl hjälputrustning	= 10 Mkr (14)	
Annuitet (17 år, 4 %)	= $0.082 \cdot 10^6 \text{ kr}$	820
Drift		
Löner (14) ca 1 manår		100
Övrigt		10
Underhåll 2 % av 10 Mkr		<u>200</u>
		5 055

$$\text{Specifik energikostnad} \frac{5.032 \cdot 10^6}{10^4 \cdot 8.7 \cdot 3.6} = 16.14 \text{ kr/GJ gas}$$

Om briketter erfordras vid förgasningen blir kostnaden större. För finska torvbriketter betalas 11.94 Fmk/GJ (15). Med 1 Fmk = 1.1 Skr fås 13.13 kr/GJ. Med en total bränslekostnad (inkl transporter) av $3.504 \cdot 10^5 \cdot 13.13 = 46.01 \cdot 10^5$ kr/år ger en specifik energikostnad av 18.10 kr/GJ men troligen blir kostnaden större i Sverige, då de finska torvpriserna ligger lågt.

1.2.5 Motorreaktioner för LVG

Den största skillnaden mellan diesel och gengasdrift är effektminskningen som varierar med motorypen. Om turbo laddare förekommer, eller ej lik som om motorns är av förkammartyp eller ej, inverkar på effektminskningens storlek.

Exempel:

1. Standardmotor med turbo som i dieselutförande utvecklar 150 kW.
2. Som 1 men utan turbo och med dieselgengasdrift med förhöjd metanhalt (med hjälp av nickelhaltigt galler som ger katalyseffekt) motorn ger ca 80 - 85 kW 15 - 20 % diesel.
3. Som 2 men utan förhöjd metanhalt. Motorn ger då 70 - 75 kW.
4. Som 3 men utan turbo. Motorn ger då 60 - 65 kW.

Den förlorade motoreffekten kan delvis återvinnas till uppvärmning till skillnad mot vid fordonsdrift via den förhöjda avgastemperaturen (75 - 100°C) men eftersom avgasemmissionerna ej är tillräckligt kända samt att de kan variera mellan olika bränslen kan man stöta på korrosionsproblem när dessa skall kylas.

Motorerna kan troligtvis förses med effektivare kamaxlar vilket kan höja effektuttaget.

Eftersom förkammarmotorer är ogynnsamma ur gengasdrift måste man använda motorer med direkt insprutning.

Figur 6 visar hur olika motorparametrar varierar med ökande axeleffekt vid 1 500 rpm för en Pielstick motor. Dels för LVG och dels för dieselolja (IMBERT).

1.2.6 Status

Motala Pyrogas-processen är i princip utprovad och olika erfarenheter har erhållits av den, men man har inte tillräcklig erfarenhet av aktuella bränslen som torv och flis, som möjligen också kan användas.

I likhet med gengasen dröjer det några år innan en för torv färdigutvecklad anläggning föreligger. Man tänker satsa på anläggningar av storleken 10 MW (gas).

En fördel gentemot gengas kan vara processens okänslighet för olika bränslen och blandningar av olika bränslen inom vissa gränser.

Gasen anses vara användbar för dieselmotordrift, om den är av den sammansättning som angivits ovan (1.4).

1.2.7 Miljö- och säkerhetsfrågor

Emissionerna vid motordrift förväntas bli ungefär desamma som vid användning av gengas. Risker med koloxidförgiftning föreligger även med Motala Pyrogas. Tjära och slagg måste tas om hand, och brännas resp deponeras.

1.3 Mellanvärdesgas (MVG)

En typisk mellanvärdesgas (13.8 MJ/Nm³) har sammansättningen (volymsprocent) (16)

Väte	H ₂	26
Koloxid	CO	40
Metan	CH ₄	5
Högre kol- väten		5
Koldioxid	CO ₂	23
Andra gaser inkl kväve		1

Energiinnehållet kan variera mellan 10 och 20 MJ/Nm³ (17)

För anläggningar som producerar 4.2 milj m³ gas per dygn (vilket motsvarar en gaseffekt på 700 MW) har specifika kostnaderna beräknats vid 4 % ränta och 1979 års prisnivå till 22.1 resp 23.9 kr/GJ för resp torv och biomassa som råvara (7).

Då mellanvärdesgas på grund av sitt låga värmevärde endast tål korta transportsträckor (7) kostnadsmässigt sett och då den sannolikt ej är ekonomisk att producera i små anläggningar, lämpligt avpassade för värmepumsdrift, kan gasproducerande anläggningar endast anslutas till befintliga eller nya gasnät av begränsad storlek - ex nedlagda stadsgasnät eller industriella nät - och på så sätt nå konsumenten.

Användningsmöjligheterna för gasen är sålunda relativt begränsade.

Några anläggningar av detta slag finns inte i Sverige, men förberedelser pågår med förgasningsanläggningar med torv och biomassa som råvara vilka avser syntesgasframställning och efterföljande metanolproduktion. Det ligger dock nära till hands att framledes inrikta verksamheten även på bränngasanläggningar.

Tidshorisonten för ett system av mer allmänt slag, dvs i större skala och med nya gasnät bedömes ligga omkring eller före år 2000. Systemet förutsätter även gasledning inom industri- och bostadssektorn för andra ändamål än värmepumpar.

1.4 Naturgas

Naturgas har högt värmeinnehåll:

Kalorimetriskt värmevärde	ca 44.0 MJ/Nm ³
Effektivt värmevärde	ca 39.6 MJ/Nm ³

Värdena varierar efter fyndigheten och de uppgivna siffrorna svarar mot Nordsjögas och gas från Algeriet.

Den väsentliga beståndsdelen i naturgas är metan, CH₄. En fullständig bränslespecifikation för dieselmotorer lämnas i Bilaga B, enligt Lindholmen Motor AB.

Marknadspriset för gasen beräknas ligga något över motsvarande pris för Eo 5, dvs över 23.1 - 24.7 kr/GJ (1980 års priser, variationen beroende på ortstillägget för oljan) (17).

Användningen av naturgas kan få betydelse då Sydgasprojektet förverkligas, dvs då överföring av gas sker från Danmark till Skåne och södra

Halland. I vilka sammanhang gasen kan användas kommer dock att bestämmas av nätets utformning. Man kan sålunda tala om såväl regionala begränsningar som lokala begränsningar.

1.5 Syntetisk naturgas

Redan idag körs såväl Otto som dieselmotorer på SNG med bra resultat. För värmepumpar är SNG ett mycket lämpligt bränsle.

Värmevärdet för SNG ligger omkring 35 MJ/Nm^3 .

Gasen är väsentligt dyrare än naturgas: 31.9 kr/GJ ur torv och 34 kr/GJ ur biomassa (7).

Några planer på att framställa SNG i Sverige finns för närvarande inte. Då våra naturgaskontrakt med utlandet gått ut om ca 20 - 30 år kan då existerande tomma nät användas för SNG, om en satsning görs i denna riktning. I övrigt gäller samma begränsningar som för naturgas.

1.6 Rötgas

1.6.1 Teknik och ekonomi

Rötgas kan framställas på flera sätt. De vanligaste metoderna utnyttjar avloppsvattenslam eller gödsel.

Vid reningsverken överföres det sedimenterade slammet till rötkammare (ofta två kopplade i serie) där anaeroba bakterier omvandlar slammet till metan ca 70 % och koldioxid ca 30 %. Gasen innehåller även små kvantiteter kväve, väte, syre och svavelväte.

Gasen har högt värmevärde, ca 23.5 MJ/Nm^3 (effektivt) enl (18), och kan användas för uppvärmning av rötkammare och andra delar av reningsverken. Vid stora reningsverk föreligger ofta överskott av gas, vars energi tillvaratas för drift av gasmotorer (19).

Kostnaden för gasen kan inte anges rationellt, då den utgör avfall från annan produktion.

Andra råvaror för rötgas är gödsel och annat jordbruksavfall. Lönsamheten hos gasframställningen hänger ihop med gårdsstorleken (20) och om elenergi kan levereras eller ej. Här förekommande siffror från (20) avser mesofil*, fullständig rötning:

Antal NE (NE = nötkreaturs- enheter)	Pris per kWh (öre)	Anm
25	80	Endast värme-
50	38	produktion
100	18	Både el-
200	14	och värme-
500 - 1 000	11	produktion

För gårdstorlekar mellan 100 och 1 000 NE innebär detta ca 30 - 50 kr/GJ. Då skötsel och underhåll utgör en betydande andel, 35 - 55 % av metangasanläggningars totala årskostnad innebär ökad automatisering sannolikt betydande kostnadsreduktioner.

En del av kostnaden borde också läggas på den förbättrade gödselprodukt som erhålles efter rötningen.

* Rötning vid måttlig temperatur, 30 - 40°C.

1.6.2 Status

Rötgas är ett fullt möjligt alternativ för drift av dieselmotorer, men användningen är lokalt begränsad till vattenreningsverk och lantbruk. En större gård med 1 000 nötenheter beräknas ge 2 200 MWh/år.

Från koldioxid renad gas skulle ev kunna transporteras via rörledning eller i flytande form. Detta kräver i så fall en billig reningsteknik, som ej existerar i dag.

2. FLYTANDE BRÄNSLEN

2.1 Metanol

2.1.1 Allmänt

Metanol, CH_3OH , är ett monomolekylärt bränsle, som har ett effektivt värmevärde av 22.67 GJ/ton eller 17.9 GJ/m³.

2.1.2 Råvara

Av inhemska råvaror är det främst torv som kan utnyttjas, men även skogsavfall kan komma ifråga. Jämfört med skogsavfall kan dock torven tas ut i avsevärt större skala, eftersom den totalt tillgängliga torvmängden i Sverige motsvarar 3 000 Mtoe, medan tillgängligt skogsavfall endast utgör en mängd motsvarande 6 Mtoe/år (21).

Det har föreslagits, att introduktionen av metanol i Sverige sker i två steg:

- 1) med importerade råvaror som kol och vakuumrestolja
- 2) med inhemska råvaror

För det senare steget krävs en omfattande teknikutveckling.

2.1.3 Framställningsteknik

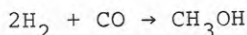
Processkedjan från råvara till metanol kan delas upp i följande steg (vilka varierar något beroende på råvaruslag):

- Råvaruberedning, t ex malning och torkning
- Förgasning av råvaran under tillsats av vattenånga och syre varvid kolmonoxid och väte erhålles

- Stoffrening och justering till rätt förhållande mellan kolmonoxid och väte. Det senare sker genom inställning av jämvikten $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{CO}_2$ så att ca $\text{H}_2/\text{CO} = 2$ erhålls

Absorption av störande gaser som CO_2 , SO_2 och H_2S i två steg

- Syntes av metanol sker sedan genom att leda syntesgasen över en katalysator under reglerade tryck och temperaturförhållanden (200 b, 380°C), varvid metanol bildas, enligt



- Raffinering av råmetanolen genom destillation för att avlägsna små halter av biprodukter och få vattenfri produkt.

Det sista destillationssteget kan dock vara onödigt att utföra, då motorerna tål relativt stor vatteninblandning utan att effekten sjunker särskilt mycket, (se Tabell 2 sid 35). Härigenom blir kostnaden för metanolen billigare än vad som anges nedan.

Energiverkningsgraden för hela processkedjan kan anses ligga mellan 50 och 53 %.

För en mer ingående beskrivning av metanolframställning hänvisas till (22, 23 och 24).

2.1.4 Systemutformning

I anslutning till ett större torvtäktområde förlägges en metanolfabrik (0.6 milj ton metanol per år = 1 643 ton/d)* så centralt i brytningsområdet som möjligt. Torven transporteras med lastbil från mossen till fabriken, varifrån metanolen distribueras med hjälp av tankbilar (ca 20 m^3 lastvolym) till de enskilda förbrukarna.

* Siffran har valts med utgångspunkt från det underlag som finns i (7).

Det har visats att metanolfabriker baserade på så geografiskt spridda råvaror som torv och trädrester bör byggas relativt stora av rent ekonomiska skäl. Skaleffektens inverkan på kapitalkostnaden och på större anläggningars något lägre energibehov uppväger merkostnader och högre energiåtgång för längre transporter i ett råvaruupplagringsområde (25).

Den största förekommande arbetande synteslinjen baserad på naturgas producerar 1 800 ton/d metanol och i framtiden räknar man med enhetsstorlekar på 2 500 å 3 000 ton/d (24).

En anläggning på 1 500 ton/d kräver 7 000 ton/d fuktig råvara, vilket är något mer än vad våra största massafabriker kräver. Det är tänkbart att praktiska trafikproblem kan uppstå (24).

Det måste anses viktigt att konsumenterna ej ligger allt för långt bort från metanolfabriken och att det finns ett visst antal så att produktionen får avsättning. Den senare synpunkten är dock helt ointressant om Staten satsar på metanol som fordonsbränsle i stor omfattning.

2.1.5 Kostnader

Enligt (7) är framställningskostnaden för metanol ur torv 38.3 kr/GJ och ur biomassa 43.2 kr/GJ räknat i 1979 års penningvärde.

Ovanpå dessa kostnader kommer transportkostnaden för metanol till resp förbrukare.

Lastbilar av typ LBS 111 utan släp transporterar 20 m³ metanol som last.

Med en kilometerkostnad av 3.38 kr (år 1975) (26), 7 % genomsnittlig inflation, en medeltransportsträcka av 100 km, erhålles för 1979 en specifik kostnad av ,

$$\frac{2 \cdot 100 \cdot 3.38 \cdot 1.07^4}{22.67 \cdot 20 \cdot 0.79} \text{ kr/GJ} = 2.47 \text{ kr/GJ metanol}$$

Den totala specifika kostnaden blir i resp fall 40.77 och 45.67 kr/GJ metanol.

2.1.6 Status

Tekniskt sett går systemet att tillämpa i dag med hjälp av importerad metanol i den takt lämpliga motorkonstruktioner kan tas fram.

I fortsättningen blir utvecklingen sannolikt analog med den som förväntas för fordonsbränslet metanol, dvs man börjar med produktion i Sverige baserad på importerade råvaror som vakuumrestoljor och kol. 1990-1995 bedöms en metanolproduktion på grundval av inhemska råvaror kunna komma igång.

2.1.7 Miljöfrågor

Dessa frågor har behandlats utförligt i samband med utredningar avseende metanol som fordonsbränsle (21,22 och 25). Problemen finns såväl vid produktion av torv och metanol som lagring och distribution av metanol och förbränning av metanolen i dieselmotorer.

Det är omöjligt att här göra en mer ingående behandling av ämnet. Några viktiga punkter skall dock noteras:

- Metanolfabrikationen ur torv eller biomassa kommer att medföra vissa kontinuerliga emissioner. När det gäller torv kommer de i huvudsak att härröra från den del av torven som bränns för att torka den torv som skall förgasas. Utsläppsmängderna har (27) uppskattats till (kg/MWh metanol): CO₂ 230, NO_x 0.1 - 0.5, SO₂ 0.24 - 1.15, 3.4-benspyren 1.6 och CO 0.11.
- Metanolens giftighet för människan är känd sedan långt tillbaka. Framför allt måste tillses att inte metanolen förväxlas med etanol
- Man kan inte bortse från tankbilsolyckor och svårigheterna att sedan samla upp metanolen och skilja den från förorenat grundvatten.
- Motoremissionerna betingas såväl av metanolens som dieseloljans förbränningsprodukter, eftersom det motorsystem som anses vara mest lovande innefattar båda dessa bränslen. Endast begränsade prov har genomförts, men dessa tyder på att utsläppen av kväveoxider, sotpartiklar och vissa aldehyder minskar (relativt ren dieseldrift) medan utsläppen av koloxid, formaldehyd, metanol, och vid vissa belastningsnivåer, PAH ökar (25). Några bestämda slutsatser kan för närvarande inte dras av experimenten vad gäller jämförelse med konventionell dieseldrift. Ytterligare undersökningar är önskvärda.*

2.2 Etanol

2.2.1 Allmänt

Etanol med formeln C₂H₅OH är liksom metanol ett monomolekylärt bränsle och har en täthet av 0.79 ton/m³. Generellt har etanol tekniskt sett liknande användningsområden som metanol, men ca 30 % högre värmevärde eller 27.0 GJ/ton, (effektivt).

* Jfr med artikel i Sv D 1980-08-19 "Metanol ökar cancerrisken".

2.2.2 Råvaror, processteknik och kostnader

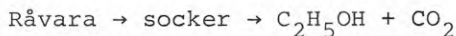
Råvaror som omnämnts i sammanhanget är sockerbeter och betavfall samt ved och halm.

En utredning avseende etanolframställning ur betor och avfall pågår för närvarande inom Jordbruksdepartementet. Något resultat från denna utredning har ej publicerats.

Framställning ur ved och halm är besvärligare då råvarorna först måste brytas ner till en jäsbar sockerart, vilket kan ske med sur eller enzymatisk hydrolys.

Sur hydrolys anses vara bäst för trä, medan den enzymatiska tycks vara bättre anpassad för halm. Enzymatisk hydrolys av trä, inkl jäsning, ger endast 18 % energiverkningsgrad (28).

Schematiskt kan hydrolysfremställningsprocessen återges med:



Sur hydrolys av aspträ med efterföljande jäsning ger en energikostnad av 48.2 kr/GJ (28). Energi-
verkningsgraden ligger mellan 35 och 40 %.
Siffran ges under förutsättningen att $2.3 \cdot 10^8$
liter per år tillverkas och att insamlings-
kostnaden för träet utgör 35 % av den angivna
specifika kostnaden.

Enzymatisk hydrolys och jäsning av halm ger en
något lägre kostnad, 37.9 - 42.1 kr/GJ (28).

Andra utredningar (7) redovisar kostnader för
enzymatiskt ur biomassa framställd etanol till
ca 50 kr/GJ för en anläggning som ger 160 kt

(95 %) etanol per år. Vid denna process kan biprodukter erhållas, bl a melass. Om biprodukterna kan krediteras sjunker produktionskostnaden till 33 kr/GJ.

Om distributionssystemet utformas analogt med det som tidigare beskrivits för metanol blir distributionskostnaden ca 30 % lägre eller 1.73 kr/GJ.

2.2.3 Status

Etanol tillverkas för närvarande inom landet och det är sålunda möjligt att direkt utnyttja etanolen i den mån lämpliga motorkonstruktioner finns framtagna, för experiment och provning, samt tillämpning i mindre skala. En framtida användning av etanol hänger framför allt på hur mycket vi nationellt kan satsa på denna alkohol som bränsle. Möjligheterna torde främst dikteras av råvarornas tillgänglighet i större skala och konkurrensen om råvarorna.

Som bränsle för en dieselmotor fungerar etanol analogt med metanol.

2.2.4 Miljöfrågor

Konkret underlag saknas, men följande kan anföras:

- hydrolys- och jäsningsprocesser ger sannolikt upphov till stora mängder vätskeformigt avfall
- avgaserna från en etanol-dieseloljemotor torde ur miljösynpunkt vara likvärdiga med dem som erhålles från en metanol-dieseloljemotor

2.3 Motortekniska synpunkter vid alkohol- drift av dieselmotorer för värmepumpar

Alkoholdrivna motorer har en hög utvecklingspotential inom värmepumpsområdet. De fördelar man främst bör påpeka är renare avgaser (rök, kväveoxider, se Figur 7 och 8) relativt (gengas) låga systemkostnader och mycket små underhållskostnader för bränslesystemet. En annan mycket viktig punkt är att avgaserna kan kylas till en lägre temperatur än vid dieseldrift utan att avgaserna korrosivitet ökar. Detta ger lägre kostnader för den viktiga avgasvärmväxlaren samtidigt som värmefaktorn kan hållas hög.

Alkoholdriftens alla nackdelar är givetvis, i skrivande stund, ej helt utredda. Problemen ligger snarare på produktionssidan.

Utvärderingar av ett avgasprov i Studsvik med metanol dieseldrift pågår för närvarande resultat kan väntas i september.

Den stora skillnaden i cetantalet mellan alkoholer och diesel skapar speciella problem.

Tabell 1 visar bl a cetantalen för inetanol, etanol, bensin och diesel.

Tabell 1

<u>Egenskap</u>		<u>Metanol</u>	<u>Etanol</u>	<u>Bensin</u>	<u>Diesel</u>
Densitet	kg/m ³	796	794	700 - 780	830
Kokpunkt	°C	65	78	30 - 225	180 - 330
Flashpunkt	°C	11	21	45	75
Självan- tändning	°C	470	420	220 - 260	200 - 220
Flammgränser i luft		6.7 - 36.0	4.3 - 19.0	1.4 - 7.6	1.5 - 8.2
Lägre värme- värde	MJ/kg	19.7	27.0	44.0	42.8
Förångnings- värme	KJ/kg	1 100	840	350	300
Viskositet vid 20°C	cp	0.60	1.2	0.29	3.9
Stökiomet- riskt A/F förhållande		6.4	9.0	14.7	14.6
Oktan tal	ROM	160 - 108	106 - 108	91 - 105	30
Cetan tal		3	8	0 - 10	50

2.3.1 Cetantalshöjande additiver

I Volvos SAE rapport nr 800544 (35) framgår det att en tillsats av 20 % Cetanox-175 ($C_8H_{17}NO_3$) ökar cetantalet upp till ca 35. Denna ökning möjliggör drift över 25°C, men problemen med kallstart och drift vid låga temperaturer kvarstår. Dessutom är denna tillsats mycket dyr. Genom att förvärma insugningsluften minskas behovet av tillsatsen till ca 12 %. Eftersom vår målsättning är värmepumpsdrift minskas kallstartproblemen varigenom mängden cetanox troligen kan minskas ytterligare.

Ett annat ämne som kan tillsättas för att höja cetantalet är etylhexanol (29).

Det räcker sålunda med 12 % etylhexanol i form av nitratester i etanol för att få en tillräcklig tändvillighet.

Nitreringsförsök pågår både i USA och Brasilien m fl länder, men Bofors Nobel Kemi har tagit fram en process, som uppges vara mycket billigare än tidigare använda metoder.

Saab-Scantias dieselmotorlab i Södertälje testat det nya bränslet, som uppges fungera utmärkt. Det enda ingreppet i själva motorn som måste göras är att dieselpumpen ställs om, eftersom alkohol har lägre energitäthet än dieselolja.

Avgaserna från det nya bränslet har hittills visat sig vara renare än dieselavgaser. Främst stofthalten men även halten kväveoxider minskar.

2.3.2 Emulsion av alkohol och diesel (35)

Det är mycket svårt att erhålla en homogen blandning av alkohol och diesel under normala förhållanden. Om man däremot sprutar in alkoholen under högt tryck i dieselbränslet erhåller man en emulsion som är tillräckligt stabil för att den skall kunna sprutas in i motorn, med ett gemensamt insprutningssystem, Figur 9.

Eftersom dieselmotorns cetanberoende minskar vid full-last skulle den cetantalshöjande tillsatsen kunna hållas mycket låg. Speciellt vid värmepumpsapplikationer kan belastning, varv m m fullständigt regleras så att alkoholdriftens biverkningar, såsom ökad HC-halt i avgaserna vid snabba lastväxlingar, minimeras, se Figur 10.

En nackdel med denna typ av emulsion är att endast 30 - 40 % av dieseloljan kan ersättas med metanol. Detta beror på att avgasernas HC-halt ökar om man blandar i mera metanol.

2.3.3 Separata insprutningssystem

Två separata insprutningssystem har i Volvos experiment visat ge det bästa resultatet. Det ena systemet sprutar in bränsle med högt cetantal, ex diesel eller alkohol + cetanhöjande tillsatser. Detta bränsle antänds vid injektoringen. Därefter sprutas alkoholen in via en separat spridare (Figur 11). Detta förfarande ger bl a samma eller bättre termisk effektivitet, större andel alkohol 85 - 90 %, mindre rök och lägre avgastemperatur, Figur 12. Metoden ger också möjligheten att använda alkoholer med upp till ca 30 % vatten (se Tabell 2).

Tabell 2

Vattenblandat bränsle (36).

	Vol % Castor olja	Vikts % vatten adderat	Lägre KV MJ/kg	MJ/l	Täthet	Effekt förlust p g a vatten %	Cetantal
Metanol	1		19.88	15.84	797	0	3
Metanol	1	15	16.51	13.64	827	2.3	2
Etanol	1	-	27.10	21.39	792	0	8
Etanol	1	10	24.05	19.55	813	1.1	
Etanol	1	30	18.13	15.48	854	4.1	
Etanol	1	50	12.22	10.95	896	9.5	
Etanol	1	80	3.34	3.20	958	38.2	
Råbensin		-	44.0	32.4	736		40
Diesel		-	42.9	35.6	830		52

Detta ger lägre produktionspris på alkoholerna samt lägre förvaringskostnader. Ev långsiktiga korrosionsangrepp är ej studerade. De ändringar som måste göras på motorerna är:

- dubbla bränslesystem. Insprutningspumpen för alkoholen förses med smörjning
- topplocket modifieras för två spridare
- hålarean i alkoholspridarn ökas.

Dessa ändringar innebär att priset på ett färdigt fordon ökar med 2 - 5 %. Kostnaden för ombyggnad av fordon under avspärrningstid ligger på ca 350 kr plus 25 tim arbetstid i 1978 års kostnadsnivå.

2.3.4 Metanol spjälkning

Vid Tekniska högskolan i Stockholm pågår försök (38) med att omvandla metanol till vätgas i en avgasuppvärmd nickelkatalosator, Figur 13.

Dessa försök har gjorts på en ottomotor där man blandar vätgas med en viss andel blyfri bensin eller metanol. Tack vare utnyttjandet av värmen från avgserna kommer den kemiska energin som finns i vätgasen och som matas in i motorn att ha 10 % mera energi än vad motsvarande mängd metanol har när den matas in i reaktorn.

Några av de problem som man har stött på är startsvårigheter vid låga temperaturer samt svårigheter att erhålla hög verkningsgrad på reaktorn vid full-last. Den senare effekten är mest negativ ur värmepumpsynvinkel.

2.3.5 Sammanfattning

Nedan följer en sammanfattning gjort av Volvo över olika system för alternativa bränslen till turboladdade dieselmotorer.

Tabell 3

Utvärdering av olika möjligheter till att konvertera en turboladdad diesel till alternativa bränslen.

Metod	Widecut	Bensin	Metanol	Etanol	Ersatt diesel mängd	Verkningsgrad	Bränsle kost- nad	konverterbar- het	Pålitlighet	Hållbarhet	Anm
Cetan höjande tillsatser	3*	2	1	2	3	3	3 1	3	3	3 1	Widecut, bensin, metanol, etanol
Emulsion Diesel/ Alt bränsle	**	**	2	2	1	3	2	2	1	2	
Blandn Diesel/ Alt bränsle	3	2	0	0	3 1	3	3	3	2	3	Widecut, bensin
<u>Förgasare</u> Alt bränsle, tändsystem	0	3	2	2	3	1	2	1	2	1	
<u>Förgasare</u> Del av bränslet diesel	0	1	1	1	1	3	2	2	2	2	
Diesel med tändsystem	3	3	2	2	3	3	2	1	1	1	
Två separata insprutn system	3	3	3	3	2	3	3 2	2	3	3 1	Widecut, bensin, metanol, etanol

* 3 = utmärkt 2 = acceptabel 1 = måste förbättras
0 = icke möjligt

** Kommer att bli en blandning.

Man bör observera att andra dieslmotortillverkare t ex Perkins ser annorlunda på problemen och förordar en lösning med förgasare för alkoholen i första hand.

En generell fördel vid alkoholdrift är att avgaserna kan kylas till lägre temperatur vilket ger en högre värmefaktor för värmepumpen än vid ren dieseldrift.

3. FASTA BRÄNSLEN

3.1 Poppelpulver (30)

Abom, CTH, har konverterat en dieselmotor (typ Volvo Penta) för att kunna driva den med poppelpulver. Tändningen sker i en förkammare med en glödspirals som hålls vid $\geq 950^{\circ}\text{C}$ (se Figur 14).

Motorn har körts med pulvret och indikerats i ett antal perioder på 40 sek. Anledningen till att det inte går att köra längre tid är att glödspiralsens temperatur sjunker.

Poppel är ett lämpligt träslag bl a på grund av sin låga askhalt (motsvarar i detta stycke ungefär Eo 1). Partikelstorleken skall vara 0 - 125 μm och fukthalten 6 - 9 %, räknad som kg vatten/kg torrt trä.

Pulverframställningen har redovisats i två rapporter (31, 32) och kostnaden kan beräknas till 11.9 kr/GJ, då 1 kg torrt pulver kostar 23.92 öre och motsvarar 20.1 MJ.

Ytterligare försök är erforderliga och framför allt måste en tändkammare utvecklas vilken medger en sådan värmestillförsel att inte glödspiralsens temperatur sjunker. Goda möjligheter föreligger för att lösa problemet. Därefter inplaneras i första hand några timplånga experiment i den så modifierade dieselmotorn.

Även i Tyskland har man arbetat med träpulver för motorer (33).

3.2 Kol (30)

Att direkt köra med kolpulver i dieselmotorer är svårt, även om man arbetat med detta (33). Kolpulvret blir för hårt och har ofta en askhalt så hög som 6.5 %.

Förbränning av kolpulver-oljeblandning för motorer har studerats av Gebr Sulzer, Schweiz (34) vilka har utvecklat såväl en Otto-motor som en dieselmotor för kolpulver i olja.

3.3 Motortekniska synpunkter på fast bränsledrift

I otto och dieselmotorer kräver fastbränsledrift dels att varvtalet är så lågt att det insprutade pulvret hinner antändas, dels att askhalten är låg.

På Perkins anser man att drift med kolpulver endast är möjlig vid vartal under 400 rpm (39). Vid varvtal över 400 rpm måst pulvret malas till så fin kornstorlek att arbetet ej uppväger vinsten.

Aska och flytande slagg sätter sig bl a på ventiler och åstadkommer därvid stora materialproblem. Ett sätt att enklare komma förbi dessa problem kan vara att använda någon av följande maskintyper.

- Stirlingmotor
- Ångturbin (Rankine cykel)
- Gasturbin (Joule cykel)

3.3.1 Stirlingmotor

Vid United Stirling i Malmö har träpulverdrift prövats praktiskt (se Bilaga C).

Stirlingmotorn är en extern förbränningsmaskin vilket innebär att pulvret kan förbrännas under atomosfärstryck. Ett av problemen är dock att den yta till vilken värmen från bränslet skall överföras med nödvändighet blir liten. Detta medför att brännaren måste konstrueras så att höga värmeövergångskoefficienter uppnås. Värmeöverföringen måste ske utan att man får igen-sättning eller materialproblem i brännaren.

På plussidan kan nämnas att Stirlingsmotorn ger renare avgaser och tystare gång än motsvarande Otto och dieselmotorer. Detta innebär att Stirlingmotorn redan med dieseloljedrift är speciellt lämpad för värmepumpsapplikationer (40).

3.3.2 Ångturbinen

Ångturbinen är i likhet med Stirlingmotorn en extern förbränningsmotor. Man har dock inga restriktioner den värmeupptagande ytan. I likhet med Stirlingmotorn ger den rena avgaser och låg bullernivå.

Jämfört med Stirlingmotorn är verkningsgraden i det låga effektområdet dock sämre.

För att kunna bygga små kompakta turbiner kan man övergå från vatten till organiska arbetsmedia. Ett problem är då att dessa media vanligen inte fungerar vid höga temperaturer.

Ett exempel på en liten ångturbindriven värmepump refereras i Bilaga D. Undersökningar av ekonomin för större enheter har gjorts av bl a Köhler ÅF (41) dock utan speciell tonvikt för drift med fasta bränslen.

3.3.3 -----Gasturbinen

Gasturbinen är en intern förbränningsmotor. Vid drift med fasta bränslen kan de största problemen förväntas i turbinens skovelarrangemang. Själva brännkammaren kan däremot troligen utföras så att tillfredställande förbränning uppnås.

Gasturbinen kännetecknas av en låg verkningsgrad och ett lågt pris (det senare åtminstone för större enheter). För värmepumpar som har en hög kapitalkostnad är en hög verkningsgrad väsentlig och därför är nuvarande gasturbiner ej speciellt lämpliga drivkällor för värmepumpar.

4. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Fram till år 1995 å 2000 kommer Sverige troligen att ha god tillgång på billig elenergi. Detta innebär att man har en relativt lång tid på sig att ta fram alternativa bränslen till förbränningsmotordrivna värmepumpar. För att få fram lämpliga system måste utvecklingen börja nu.

4.1 Gas

Lågvärdesgas och mellanvärdesgas - en blandning av CO och H₂ - är ej att rekommendera i små anläggningar (där gasen produceras decentralt). Det är troligen dyrt att automatisera skötseln av en gengaspanna så långt som krävs. Dessutom föreligger alltid förgiftningsrisken.

Större anläggningar 1 - 10 MW gaseffekt kan dock tänkas komma till användning för värmepumpsdrift i framtiden. Man bör observera att en del av spillvärmen ur i gasgeneratorn troligen kan användas för uppvärmningsändamål.

Högvärdesgas, naturgas, SNG eller rötgas, kan med utmärkt resultat idag användas i förbränningsmotordrivna värmepumpar (42). Om ett svenskt naturgasnät med åtföljande naturgasimport förverkligas borde såväl små som stora naturgasdrivna värmepumpar introduceras inom uppvärmningssektorn.

Vätgas (43) är ett utmärkt bränsle för förbränningsmotordrivna värmepumpar. Det avgörande problemet är här hur vätgasen skall produceras i Sverige i framtiden.

4.2 Alkoholer

Både etanol och metanol är utmärkta motorbränslen. Hanteringen är enkel och avgaserna är relativt acceptabla. Den låga svavelhalten gör att avgaserna enkelt kan kylas i värmeåtervinningssyfte. Kostnaden för metanol blir dock troligen högre än för samma energiekvivalent lågvärdesgas.

4.3 Fasta bränslen

Fasta bränslen kräver ett omfattande utvecklingsarbete på motorsidan om man väljer interna förbränningsmotorer. Externa förbränningsmotorer som Stirlingmotorn och ångturbinen är troligen lättare att konvertera för drift med fasta bränslen. Stirlingmotorn är att föredra i det låga effektområdet och ångturbinen vid högre effekter.

4.4 Rekommendationer

Med den beslutade kärnkraftsutbyggnaden förutses eltillgången i Sverige att bli god under den närmaste 10 - 20 års perioden.

Ett utvecklingsarbete inom området förbränningsmotordrivna värmepumpar bör därför sikta enligt endera av följande linjer eller kombinationer av dessa.

- Framåt i tiden mot bränslen som blir tillgängliga år 1990 - 2000
- Utåt i världen mot länder där relationen mellan bränsle/elpris är högre än i Sverige.
- Nedåt i kostnad för levererad värme. Utveckling mot bränslevärmepumpar där totalkostnaden för värmen blir lägre än kostnaden för elvärmepumpar.

Följande egenskaper krävs av ett bränslevärme-pumpssystem.

- a) Priset på bränslet måste vara lågt
- b) Investeringen i värmepumpssystemet måste vara låg
- c) Arbetsinsatserna hos brukaren måste vara små
- d) Systemet måste ha en hög verkningsgrad
- e) Systemet måste ha en lång livslängd
- f) Totalmiljön måste vara god.

För varje föreslagen bränsle driven värmepump kan man gissa ett godhetstal mellan 1 - 3 för var och en av dessa egenskaper. Genom att multiplicera godhetstalen för varje egenskap med varandra erhålles ett totalt godhetstal. Vår uppskattning av de olika behandlade systemens totala godhetstal framgår ur tabellen nedan.

	a	b	c	d	e	f	totalt godhets- tal
Gengas (små)	3	1	2	1	2	1	12
Pyrogas (stora)	3	2	2	2	2	2	96
Naturgas	2	3	3	3	3	3	486
Vätgas	1	2	3	3	3	3	162
Metanol	2	3	3	3	3	2	243
Träpulver (stirling)	3	2	2	3	2	2	144
Träpulver (intern)	3	1	2	2	1	2	24

1 = dålig

2 = mellan

3 = bra

Slutsatsen är alltså att man bör sikta mot användning av metanol eller naturgas om drivmedel för framtida bränslevärmepumpar. Om man tror att energipriserna kommer att bli mycket höga i framtiden rekommenderas en satsning på Stirlingalternativet. Om man enbart vill satsa på ett inhemskt bränsle faller naturgasalternativet troligen bort.

REFERENSFÖRTECKNING

1. Sammanträffande med Filip Hedén och Jan Olderin, Lindholmen Motor AB, Göteborg, 1980-04-28.
2. Besök hos Torbjörn Kruse, Statens Maskinprovningar, Umeå, 1980-06-24.
3. ÖEF
Gengasdrift av motorfordon. Utgiven av överstyrelsen för ekonomiskt försvar Box 12 258, 102 26 STOCKHOLM.
4. Besök hos Volvo Lastvagnar, Göteborg, 1980-05-27. Sammanträffande med Ingemar Nelson och Rolf Fridén.
5. RENSFELT, E
Yttrande angående gengas för husuppvärmning, 1978-01-24 från Inst för kemisk Teknologi till byridir. I Ö Andersson, NE.
6. LJUNGBLOM, L, et al
Energiskog s 345.
7. LJUNG, H och RYTTY, C
Den framtida bränslemarkanden i Sverige. NE 1980:2.
8. MATTSON, J E
Torkning och lagring av biomassa - behov och metoder.
9. LJUNGBLOM, L
Karakterisering av energitillförselsätt: Skogsenergi - Terminal - Småskalig förbränning i tätort. Rapport 80/01, NE 3065 603/2.3.3
10. Se (8), s 89.
11. Motala Pyrogas Avfallsdistribution med energiåtervinning. Energiproduktion Broschyr s 3.
12. Motala Pyrogas, blad 2, maj 1976 (broschyr).
Uppgifter om PYROGAS-anläggningen vid Gummifabriken Gislaved AB. Gislaved.
13. Se (6), s 349.

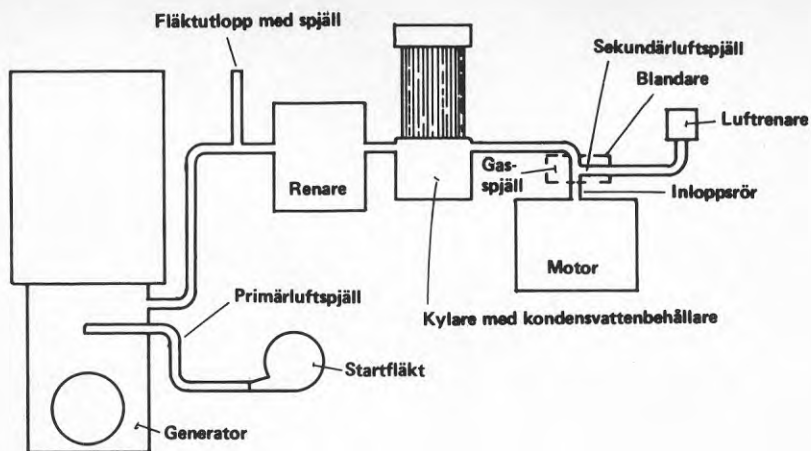
14. Telefonsamtal med Olof Strand, KMW, 1980-05-07.
15. Ny Teknik, nr 32 (1979) s 45.
16. SCHUSTER, R
Strukturering och kartläggning av metoder för omvandling av biomassa. Rapport Fv-78-0006/01 åt NE 1978-07-06
17. PERSSON, A
PM om naturgas och dess möjliga användning i Sverige. Rapport till konsekvensutredningen DSI 1979:18.
18. Gasolhandboken
Utgiven av Svenska ESSO AB, Gasolavdelningen (1967).
19. BERGLUND, D T
Vatten och vattenvård - Bonniers (1965).
20. Metangas ur gödselframställning och användning.
JTI-rapport 18 (1967)
(STU-rapport 75-5067).
21. SMAB 78 Metanol som drivmedel.
Verksamhetsrapport 1978.
22. Framtida drivmedel.
Svensk Metanolutveckling AB, Stockholm i december 1978.
23. ÖSTMAN, A och CRISTENSEN, N
Råvaruberedning och förgasning i demonstrationsanläggning för metanolproduktion baserad på inhemsk råvara. Kemiinformation AB, november 1979, NE-projekt "1360 242 PLF Kemiinformation".
24. Demonstrationsanläggning för metanolproduktion, baserad på inhemsk råvara. NE-information.
NE 1979:5.
25. JOHANSSON, P O
Metanol som drivmedel.
Samhällsekonomiska konsekvenser. NE-Projektresultat, NE 1980:1.

26. ANDERSSON, P och KARDEBRING, P
Godstransporter med järnväg eller på lastbil?
Universitetet i Linköping, Ekonomiska institutionen.
27. DAHL, L
Torv - Metanol - Transporter.
Utvecklingslinje 1.
Studsvik - EP-79/141, delrapport för NE-proj 3065 603.
28. Liquid Fuels from renewable resources feasibility study.
Summary and conclusions.
Intergroup Consulting Economists Ltd
704-283 Portage Avenue, Winnipeg, Manitoba
May 1978.
29. Ny Teknik (1980):26, s 3.
30. Besök hos Jan Åbom, CTH, 1980-04-29.
31. ÅBOM, J och DAHL, H
Slutrapport - Projektet Pulverenergi.
Utgiven av NE.
32. ÅBOM, J och DAHL, H
Biosystem - Pulver 3065 042
Slutrapport - Utgiven av NE.
33. Information till J Åbom från Bundesverband der Luftfahrt-zubehör und Raketenindustrie.
E.V. (BLR) Buscherweg 28, 2102 Hamburg 93.
34. Personligt meddelande till J Åbom från dr Anton Steiger.
35. SAE Technical Paper Series nr 800544.
36. Methanol as Subsitute Fuel in Diesel Engine.
E Holmér, Volvo.
37. The utilization of different fuels in a Diesel Engine w the two separate injection systems.
38. KTH
Verksamhetsberättelse för budgetåret 1978/79, s 24.
39. NOWACKI, J-E
Reserapport från besök i Storbritannien 80-02-19--22.

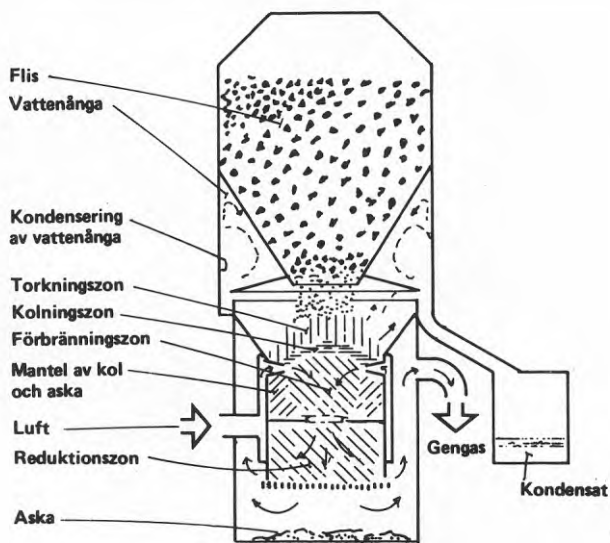
40. GUMMESSON, S
Stirlingmotordriven värmepump.
Energiteknik 4, 1979.
41. ÅF, KTH
Värmepumpen i industri och kommun.
NEFOS 1978:1.
42. Antriebe für Wärmepumpen.
Vulkan Verlag Essen.
43. CARLESON, G
Assessment of the potential future
market in Sweden for hydrogen as an
energy carrier.
Studsvik, 1979.



Figur 1



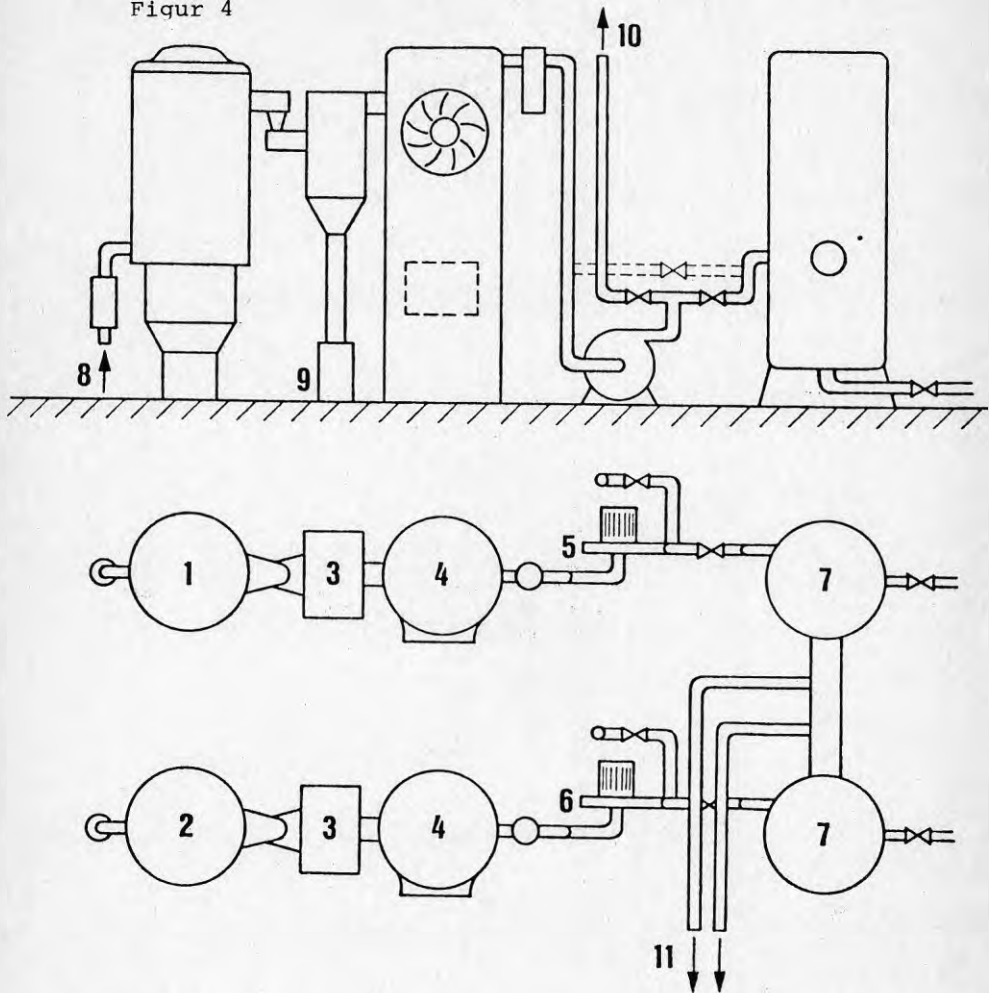
Figur 2



Figur 3

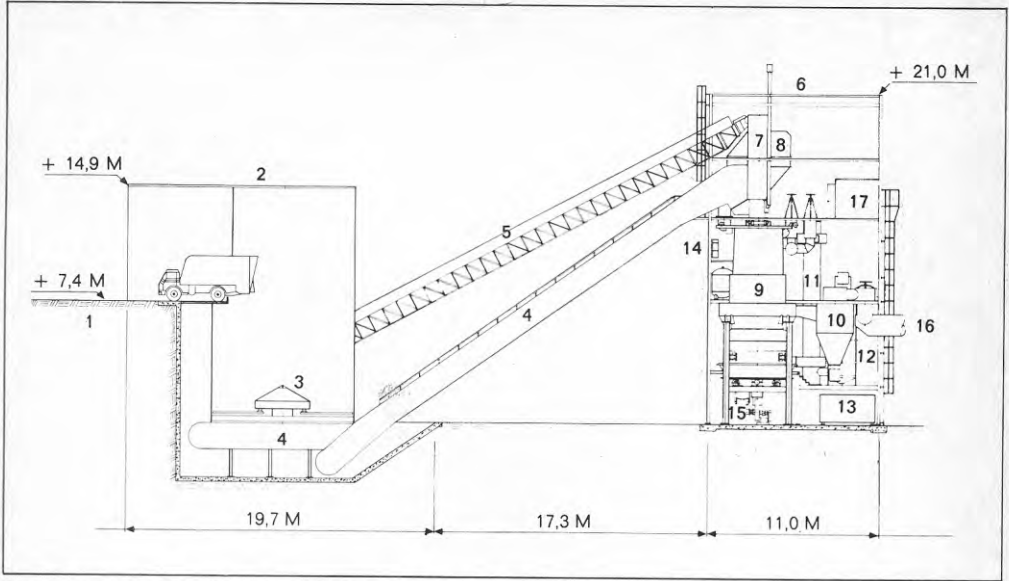
IMBERT GASGENERATOR

Figur 4

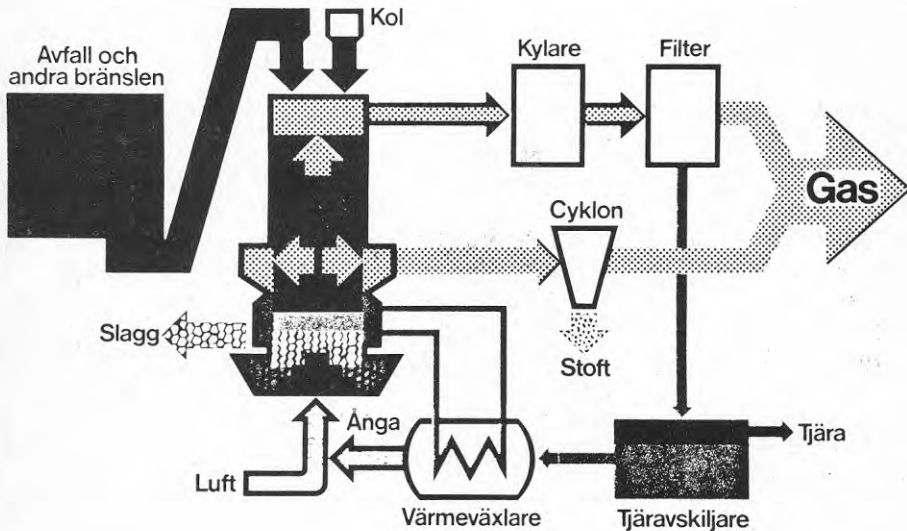


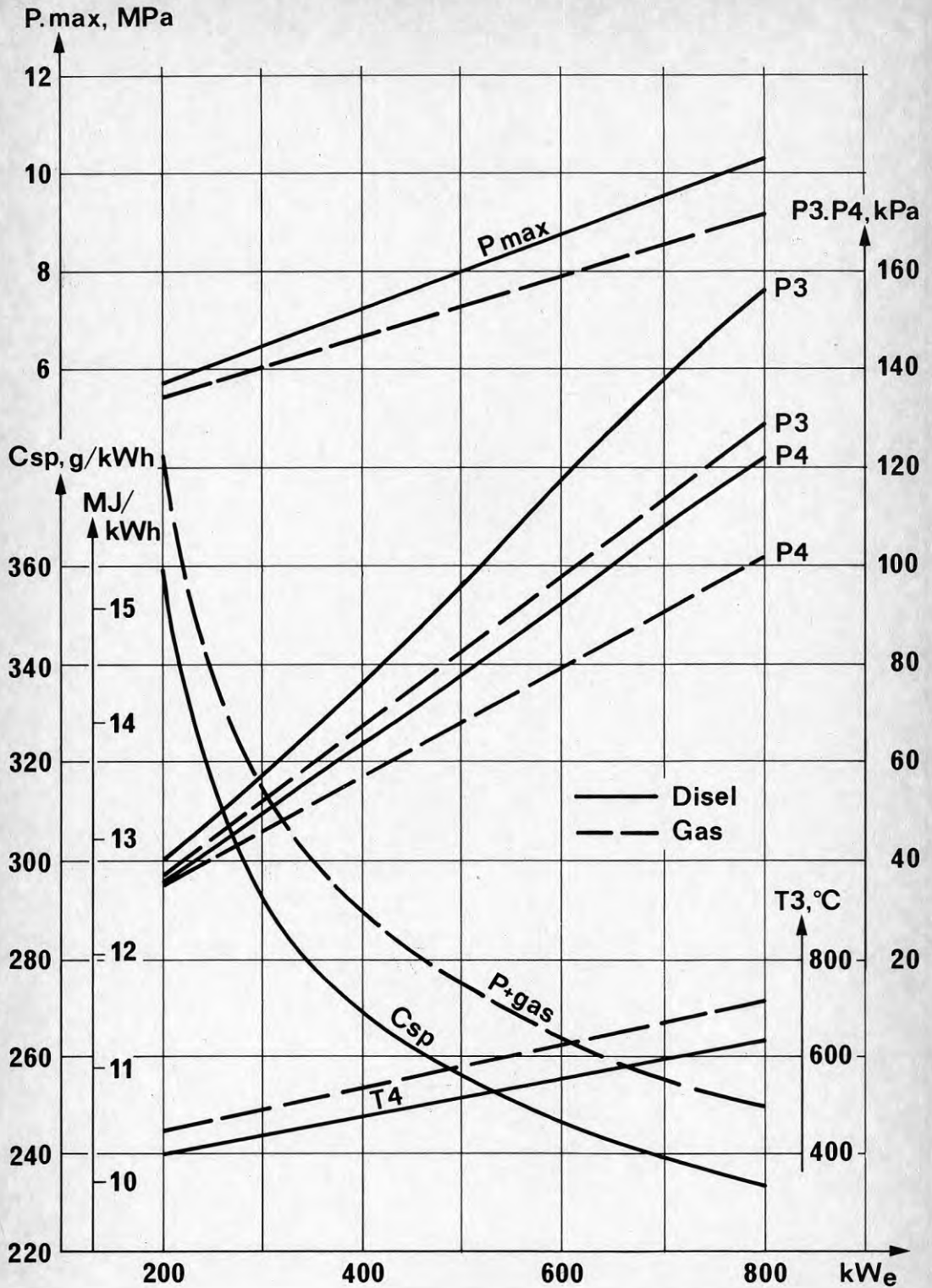
- 1 Gasgenerator 1, 600 m³/h Ø 1,5 m, h = 4 m (luftintag 360 m³/h)
- 2 Gasgenerator 2, 900 m³/h Ø 1,6 m, h = 4 m (luftintag 500 m³/h)
- 3 Chockfilter
- 4 Kylare
- 5 Pump 5,5 kW
- 6 Pump 13 kW
- 7 2 reservoarer, 8 m³ (Ø 1,6 m, h = 4 m) = 42 sek vid fullt pådrag
- 8 Luftinsugning med flödesmätare
- 9 Dekanteringskärl för filtret
- 10 Flamrör
- 11 Mot motorerna

Figur 5

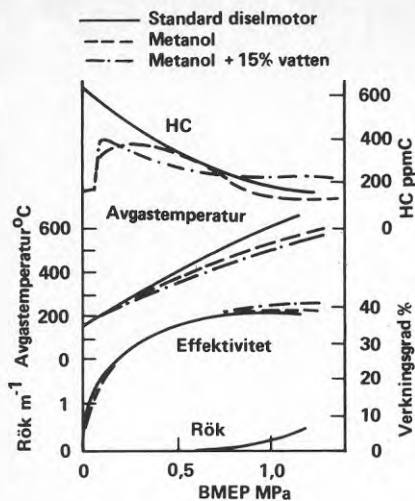


1 Uppfartsramp, 2 Mottagningsstation med sluten avfallsbunker och kolbunker, 3 Bottenutmatningsanordning för avfall och andra fasta bränslen, exklusive kol, 4 Avfallstransportör, 5 Koltransportör, 6 Förgasningsenhet, 7 Cellmatare för avfall, 8 Kolficka med cellmatare för kol, 9 Gasgenerator av tvåstegstyp med 10 m² generatoryta och roterande rost, 10 Cykloner, 11 Kylare, 12 Elektrofilter, 13 Tjäravskiljare, 14 Värmeväxlersystem, 15 Slaggutmatning, 16 Huvudgasledning till brännarna i panncentral, 17 Manöverrum.



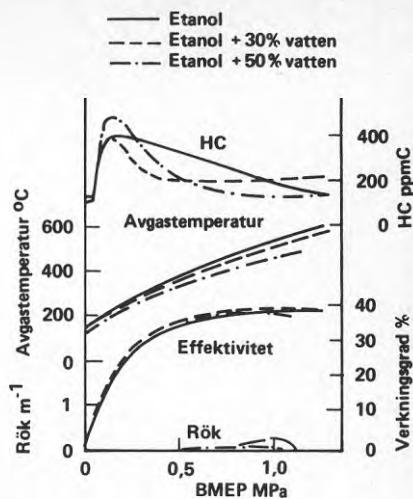


Figur 6



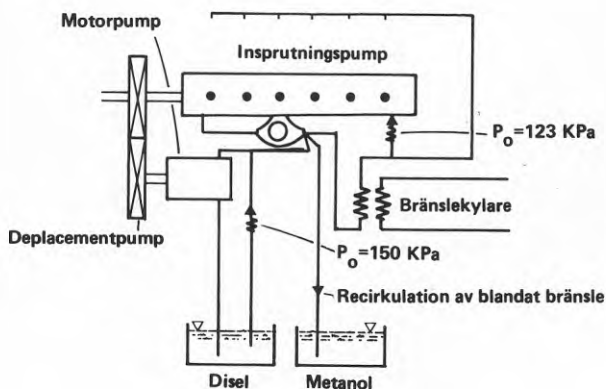
Figur 7

Jämförelse mellan delast, prestanda mellan en standard diesel och en diesel/metanolmotor vid motorvarvet 25 HZ.



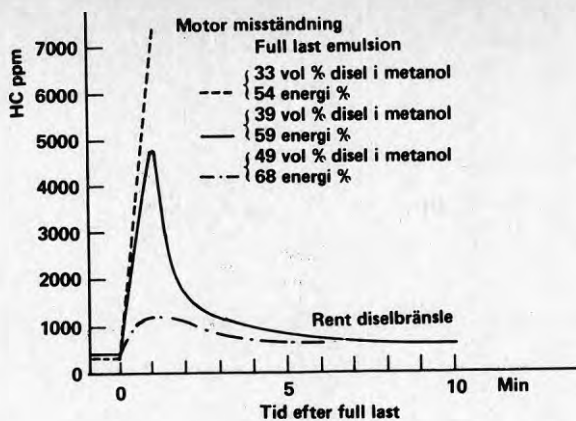
Figur 8

Dellast, prestanda med diesel/etanolmotor vid motorvarvet 25 HZ.



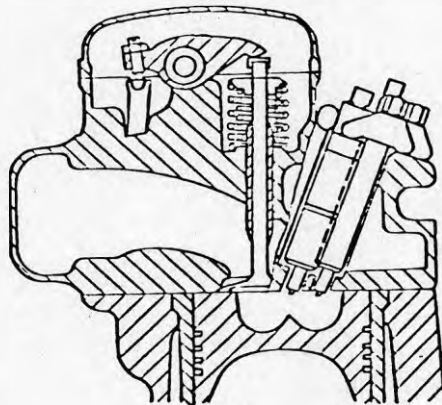
Figur 9

Schematisk bild av ett blandinsprutnings-system för metanol/dieseldrift med en insprutningspump.



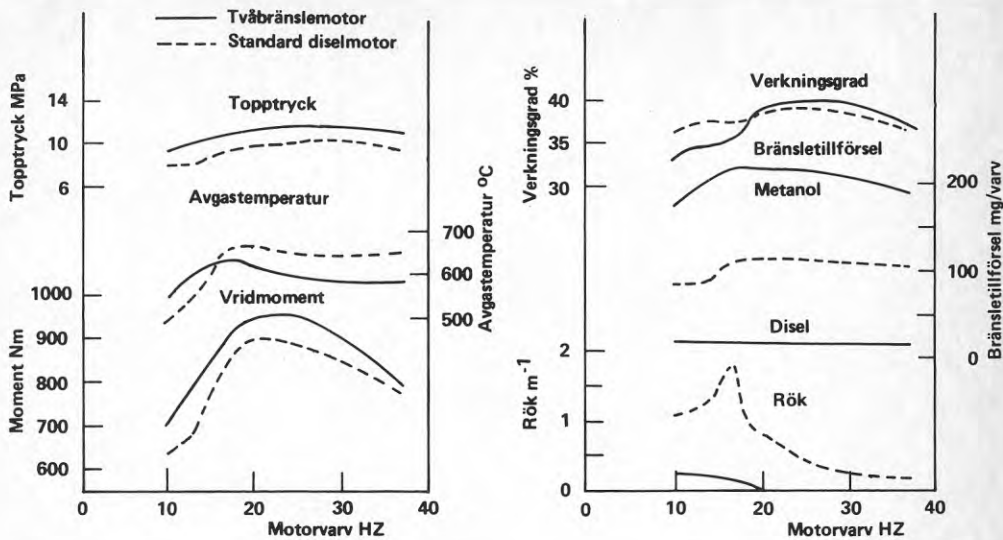
Figur 10

HC emissioner som funktion av driftstiden vid återgång till avlastad motor från full last vid 25 Hz.



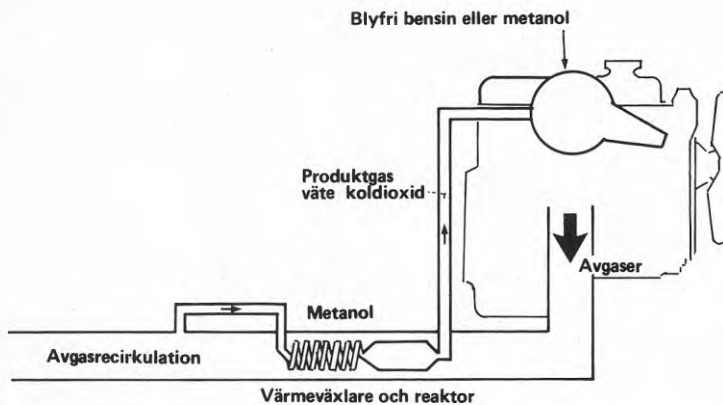
Figur 11

Topplöck med dubbla spridare.



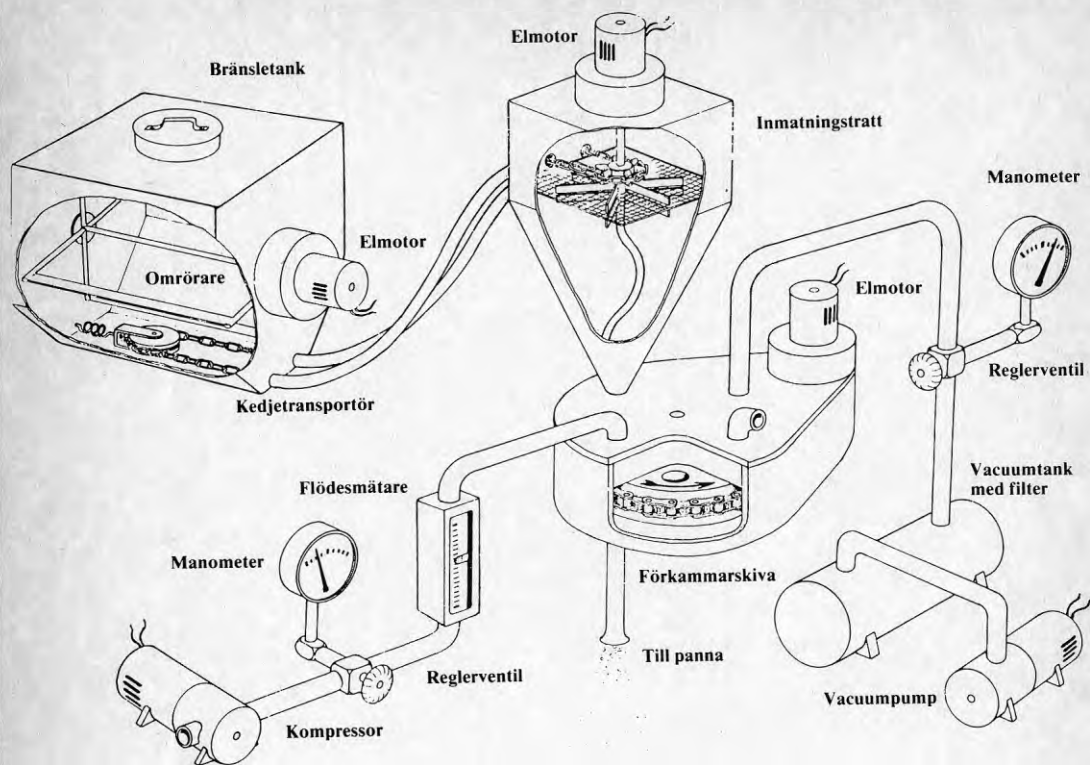
Figur 12

Jämförelse mellan två bränslesystem, metanol/diesel resp ren dieselolja.

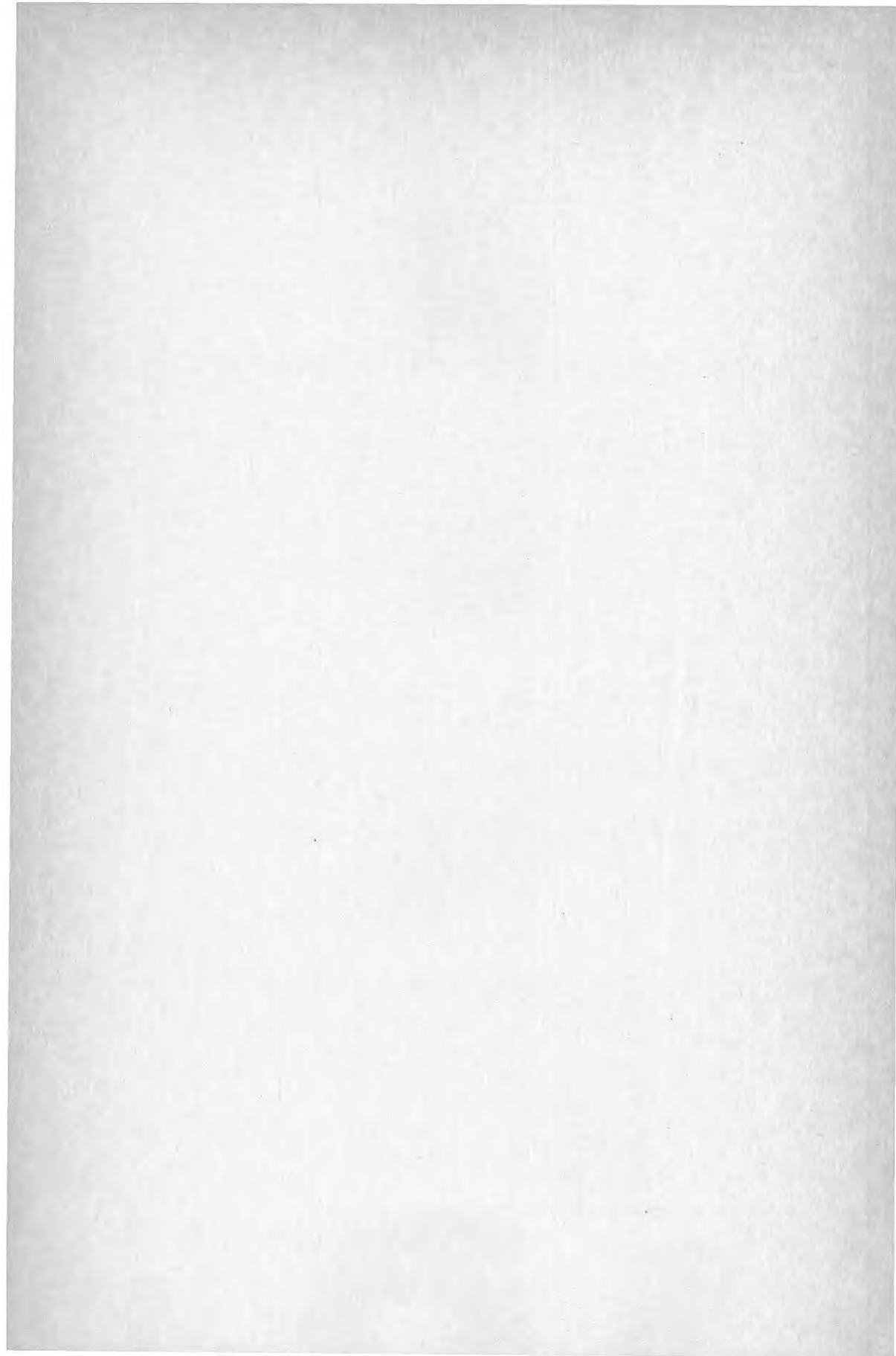


Figur 13

Princip för omvandlingen metanol - vätgas + kolmonoxid.



Figur 14
Hjälpapparater till punvermotorer.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 791130-2
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik
Energiteknik AB, Nyköping.**

R77: 1981

ISBN 91-540-3534-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700377

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 25 kr exkl moms