

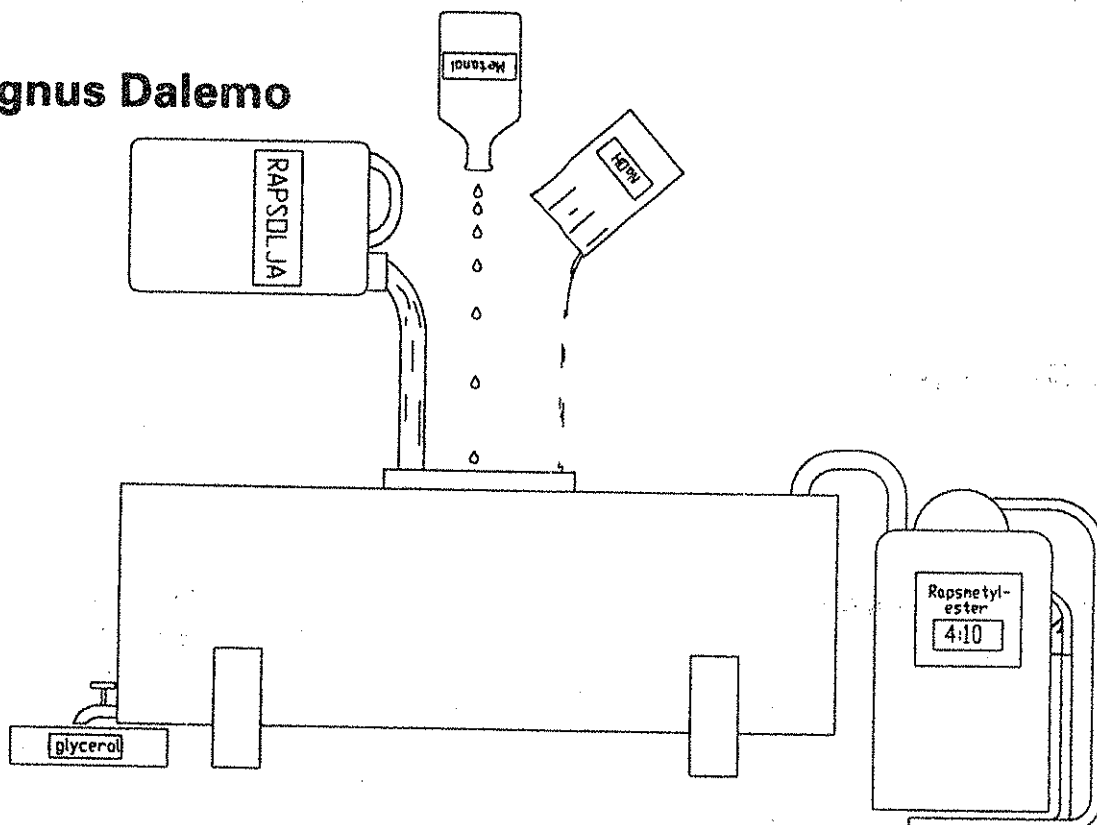
**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

OMFÖRESTRAD RAPSOLJA

Egenskaper och framställning

TRANSESTERIFIED RAPE SEED OIL
Characteristics and production

Magnus Dalemo



Institutionen för lantbruksteknik

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering**

**Rapport 153
Report
Uppsala 1991**

ISSN 0283-0086

ISRN SLU-LT-R-153-SE

DOKUMENTDATABLAD för rapportering till SLU:s lantbruksdatabas LANTDOK, Svensk lantbruksbibliografi och AGRIS (FAO:s lantbruksdatabas)

Institution/motsvarande Institutionen för lantbruksteknik		Dokumenttyp Rapport	
		Utgivningsår 1992	Målgrupp R, P
Författare/upphov Magnus Dalemo			
Dokumentets titel Omförestråd rapsolja - egenskaper och framställning Transesterified rape seed oil - characteristics and production			
Ämnesord (svenska och/eller engelska) Omförestring, rapsolja, alternativa drivmedel, biodiesel, framställning, energi Transesterification, rape seed oil, alternative fuel, biodiesel, production, energy			
Projektnamn (endast SLU-projekt) Energiteknik			
Serie-/tidskriftstitel och volym/nr Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruks- teknik. Rapport 153			ISRN ISRN SLU.IT-R--153--SE ISSN 0283-0086
Språk Svenska	Smf-språk Svenska, Engelska	Omfång 59 s + 4	Antal ref. 59

Postadress

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Uttunabiblioteket
Förvävssektionen/LANTDOK
Box 7071
S-750 07 UPPSALA
Sweden

Besöksadress

Centrala Ultuna 22
Uppsala

Telefonnummer

018-67 10 00 vx
018-67 10 98
018-67 10 97

Telefax

018-301006

FÖRORD

I Sverige finns idag ett stort intresse för att använda rapsolja som motorbränsle. Mycket forskningsresurser har under de senaste åren lagts ned på att utveckla omförestringsprocessen. Det föranledde denna sammanställning av de resultat man kommit fram till i forskningsprojekt i USA, Österrike, Tyskland, Sydafrika, Frankrike och Brasilien.

Projektet som varade under tre månader har finansierats genom ett anslag för rekryteringstjänst till forskarutbildning.

Jag vill tacka min handledare Anders Almqvist och alla andra som hjälpt mig med information på olika områden och gett mig synpunkter under arbetets gång.

Ultuna, December 1991.

Magnus Dalemo

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	1
SUMMARY	2
INLEDNING	3
VEGETABILISK OLJA	5
Ursprung	5
Odling i Sverige	6
Förädling	8
RAPSOLJA SOM BRÄNSLE	10
Enbart rapsolja	11
Rapsolja blandad med dieselolja	12
Omförestrad rapsolja	12
DEN OMFÖRESTRADE OLJANS EGENSKAPER	14
Krav på bränslet	14
Förestringsgraden	14
Alkoholhalt	15
Katalysatorinnehåll	15
Fritt vatten	15
Syra-innehåll	15
Praktiska prov	16
Lagring	18
Användning	18
Avgaser	19
RÅVAROR TILL OMFÖRESTRINGEN	22
Vegetabilisk olja	22
Pressning av olja	22
Fettsyrasammansättningens betydelse	23
Alkohol	26
Katalysator	28
FRAMSTÄLLNING	30
Kemiska reaktionen	30
Exempel på utförande	31
Fria fettsyror i oljan	33
Blandning av alkohol och katalysator	33
Tid och temperatur	33
Separation av ester- och glycerolfasen	34
Rening av estern	35
Vattentvätt	35
Torkning	36
Vinterisera	36
Rening av glycerolen	36
ANVÄNDNING FÖR BIPRODUKTERNA	37
Rapsexpeller / rapsmjöl	37
Foder	37
Gödselmedel	38

Bränsle	39
Glycerolen	39
Alkoholen	39
Katalysatorn	40
OMFÖRESTRINGSANLÄGGNINGAR	41
Lämplig anläggningsstorlek	41
Utvecklingen i Frankrike	42
Ekonomi	43
Omförestringsprocessen	43
U-land	44
Befintliga anläggningar i Österrike	44
Neulengbach	44
Aschach	47
EKONOMI	48
Omförestring och pressning	48
Fröpriset	49
Expeller och mjöl	49
Glycerol	50
Omställningsbidrag	50
Anläggningsstorlekens betydelse	50
Känslighetsanalys	51
DISKUSSION	53
LITTERATURLISTA	55
BILAGA	
Institut Francais du Petrole	
University of North Dakota.	

SAMMANFATTNING

I Sverige odlas ca 165 000 ha oljevaxter, huvudsakligen raps och rybs. Över hälften av oljan från det skördade rapsfröet säljs till låga världsmarknadspriser. Den exporterade oljan skulle, efter omförestning, istället kunna användas som bränsle i dieselmotorer.

En stor mängd tester av omförestnad rapsolja har genomförts i olika länder. Resultaten har varit mycket positiva. De största fördelarna är att bränslet är förnybart och inte ger något tillskott av CO₂ till atmosfären. Omförestnad rapsolja är också blandbar med dieselolja och har en hög flampunkt vilket gör den lätt att hantera och lagra. Nackdelen är framförallt att den ger problem med motoroljan då esterbränslet tränger ner i oljeträget och späder ut motoroljan.

Vid framställning av omförestnad rapsolja tillsätter man alkohol, metanol eller etanol, till rapsoljan. För att omförestningsreaktionen skall kunna utföras vid rumstemperatur krävs också en katalysator vilket kan vara NaOH eller KOH. Reaktionsformeln är:



Framställningsprocessen är enkel och inte speciellt känslig för exakta kvantiteter. Men för att få en hög kvalite på bränslet behöver estern renas innan den kan användas. Det sker oftast med vatten. För omförestnad rapsolja finns ännu så länge bara preliminära krav som bränslet skall uppfylla. Restprodukterna vid framställningen kan till största delen säljas eller återanvändas. Rapsexpeller säljs som proteinfoder och glycerolen som råvara till kemiska industrier. Katalysatorn kan efter rening återanvändas.

Forskning på omförestning av vegetabilisk olja pågår över hela vår värld. Det är dock endast Österrike som har startat produktion av omförestnad olja i stor skala. Flera länder har dock liknande planer. Frankrike håller på att bygga en anläggning för framställning av 400 000 ton omförestnad vegetabilisk olja/år.

En viktig faktor för produktionen är ekonomin. Kostnaden för pressning och omförestning ligger i dag på 1,85 kr/l för framställning av 13 000 t rapsmetyles-ter/år och 2,95 kr/l för 400 t/år. Totalkostnaden för bränslet kommer i Sverige att ligga på 4,10 kr/l respektive 5,60 kr/l. Blir vi medlemmar i EG kan kostnaden sjunka med 60 öre/l. Detta skall jämföras med dieseloljan som kostar 3,00 kr/l inklusive skatt.

Förestnad rapsolja är en av de bästa ersättare för dieselolja vi har, både ur ekonomiskt och miljömässigt perspektiv.

SUMMARY

The area of oil crops, mainly rape, in Sweden today is about 165 000 hectares. About 280 000 tonnes of the harvest are processed and give about 100 000 tonnes of vegetable oil. The main part is exported to a low world market price. This oil could better be used as a fuel in Sweden. Using the oil would give us a better environment and make us more independent of the oil producing countries. When the rape oil is transesterified, it can be used in all types of diesel engines. Much test work have been carried out, both short time bench tests and longtime practical tests. All the tests have shown good results. The main advantages are that the fuel is renewable and doesn't give any addition of CO₂ to the atmosphere. The transesterified vegetable oil is possible to mix with diesel oil. It also has a high flame point and is therefore easy to handle and store. Transesterified vegetable oil gives a little bit higher fuel consumption and a lower effect than diesel.

To transesterify rape oil an alcohol, methanol or ethanol, is needed. To maintain the reaction at room temperature a catalyst is also needed, which can either be NaOH or KOH. The reaction formula is:



To get a high value fuel the ester also needs to be cleaned, which could be done with water. Much research at universities and industries around the world has been done on transesterified vegetable oil. The production is fully developed and tested. But so far only Austria has taken the step from research to industrial production through investment subsidies and tax allowance. They also allow the companies to buy the oil seed to world market prices. A lot of countries have plans to follow. In the northern countries both Sweden and Finland have far going plans. In Europe, France is building an industrial plant for a production of 400 000 tonnes of oil per year.

One important factor for the production is the economy. The cost for transesterification in Sweden is 1.85 kr/l for a production of 13 000 tonnes per year and 2.95 kr/l for a production of 400 tonnes per year. Totally the cost for the oil is 4.10 kr/l respectively 5.60 kr/l. This should be compared with the diesel fuel price which is 3 kr/l, taxes included.

Transesterified rape oil is one of the best substitutes for diesel oil we have today, both from an economical and an environmental view. The vegetable oil however can only substitute a part of the diesel fuel consumption.

INLEDNING

Jordens naturresurser är inte outtömliga. I ett längre perspektiv är det därför nödvändigt att vi försöker hitta förnybara ersättare. Det gäller i synnerhet för fordonsbränsle, som i dag helt domineras av de fossila bränslena bensin och diesel. Vilka är då de tänkbara alternativen?

De alternativ till bensin och dieselolja som diskuteras i dag är främst naturgas, vätgas, el, alkohol, biogas och vegetabilisk olja. Naturgas är liksom bensin och dieselolja ett fossilt bränsle, som i en framtid kommer att ta slut. De medverkar också till en nettoökning av atmosfärens koldioxidinnehåll vid förbränning, vilket förvärrar den fruktade växthuseffekten. De miljövänliga bränslena vätgas och el är svåra att lagra i bilen, vilket ger bilarna kort räckvidd. Alkohol, biogas och vegetabilisk olja är alla bränslen som är förnybara och miljövänliga. Vegetabilisk olja är ett speciellt intressant alternativ, eftersom bränslet kännetecknas av en enkel framställningsteknik och att det går att använda i befintliga motorer.

Användningen av vegetabilisk olja är dock begränsad till dieselmotorer. Oljan kan användas direkt i förkammar- och virvelkammardieselmotorer och i så kallade multibränslemotorer (t ex elsbettmotorn). Den går däremot inte att använda i direktinsprutade dieselmotorer där oljan orsakar svåra kokningsproblem, p g a dess höga viskositet (trögflutenhet). För att kunna användas i direktinsprutade motorer krävs att den vegetabiliska oljan omförestras vilket medför att viskositeten minskar till en femtedel.

I personbilar förekommer det mest förkamardieselmotorer, eftersom dessa har en jämnare gång. I lastbilar, bussar och traktorer finns det däremot i princip enbart direktinsprutade motorer idag, då dessa motorer har en avsevärt lägre bränsleförbrukning. Det gör omförestringsprocessen till en mycket intressant teknik i dag.

Omförestringsprocessen upptäcktes redan i slutet på 1800-talet. Viss forskning pågick under krigsåren på 1940-talet, men det var först under oljekrisen i början av 70-talet som forskningen kom igång på allvar (Pernkopf, 1985). Många forskningsprojekt har utförts på området. Omfattande projekt har under längre tid pågått i Österrike, USA, Västtyskland, Frankrike, Sydafrika, Nya Zeeland och Brasilien.

Den svenska benämningen omförestring kommer av att ursprungsmolekylen triglyceriden, som är en typ av ester, omvandlas till tre mindre estrar. Det framställda bränslet benäms i detta arbete omförestrad rapsolja, rapsmetylester (om det framställs av raps och metanol) eller bara esterbränsle.

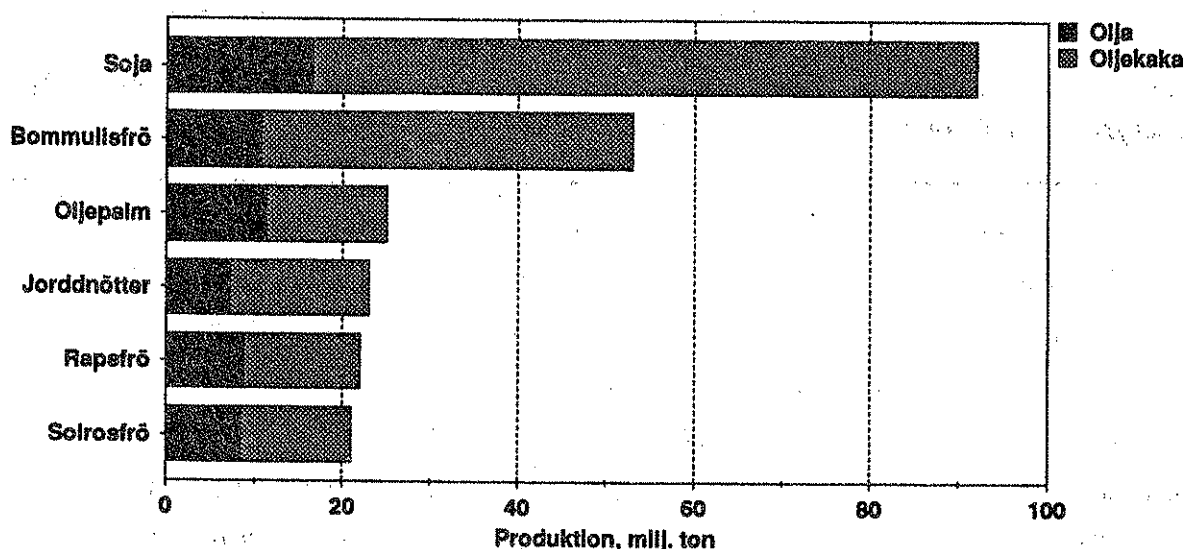
Syftet med denna litteratursammanställning är att samla ihop information om omförestringsprocessen och ge synpunkter på den, utifrån den erfarenhet och kunskap som man inhämtat i de forskningsprojekt som utförts. Först redovisas synpunkter på vegetabilisk olja som motorbränsle. Därefter behandlas de råvaror som behövs till omförestringsprocessen, de olika stegen i processen och vad man kan använda de biprodukter till som kommer av omförestringen. En fråga som är intressant i det här sammanhanget är vilken storlek på anläggningarna som är lämplig. Det tas upp i ett kapitel tillsammans med två exempel på befintliga anläggningar. Sedan redovisas de ekonomiska förutsättningarna för den omföresttrade rapsoljan. Till sist diskuteras det omföresttrade bränslets möjligheter som alternativ till dieseloljan.

VEGETABILISK OLJA

Vegetabilisk olja kan utvinnas ur en mängd olika växter. I Sverige är oljeväxtodlingen begränsad till raps och rybs. En omfattande förädling pågår för att förbättra deras egenskaper.

Ursprung

Det finns ett antal olika växter med varierande oljehalt, från vilka olja utvinns. De mest odlade oljeväxterna är sojaböner, jordnötter, solrosor, raps, oljepalm och bomull (figur 1).



Figur 1. Produktion av de viktigaste oljeväxterna, i miljoner ton (efter FAO, 1988).

Oljorna från de olika växterna har stora likheter. De består till 97% av triglycerider, som är glycerolmolekyler på vilka det sitter tre fettsyramolekyler fästade (Vellguth, 1983). De olika vegetabiliska oljorna innehåller olika slag av fettsyror (tabell 2). Denna skillnad i fettsyrasammansättning gör att de får lite olika egenskaper, på grund av att fettsyrorerna är olika mycket mättade (antal dubbelbindningar) och har olika molekylvikt (kedjelängd).

Skillnaderna mellan olika vegetabiliska oljor är små i förhållande till den förändring i viskositet som en omförestring innebär. I fortsättningen behandlas endast rapsoljans förutsättningar till omförestring, då det endast är den som i dag är aktuell för Sverige.

Tabell 1. De vanligaste fettsyrorernas antal kolatomer och dubbelbindningar

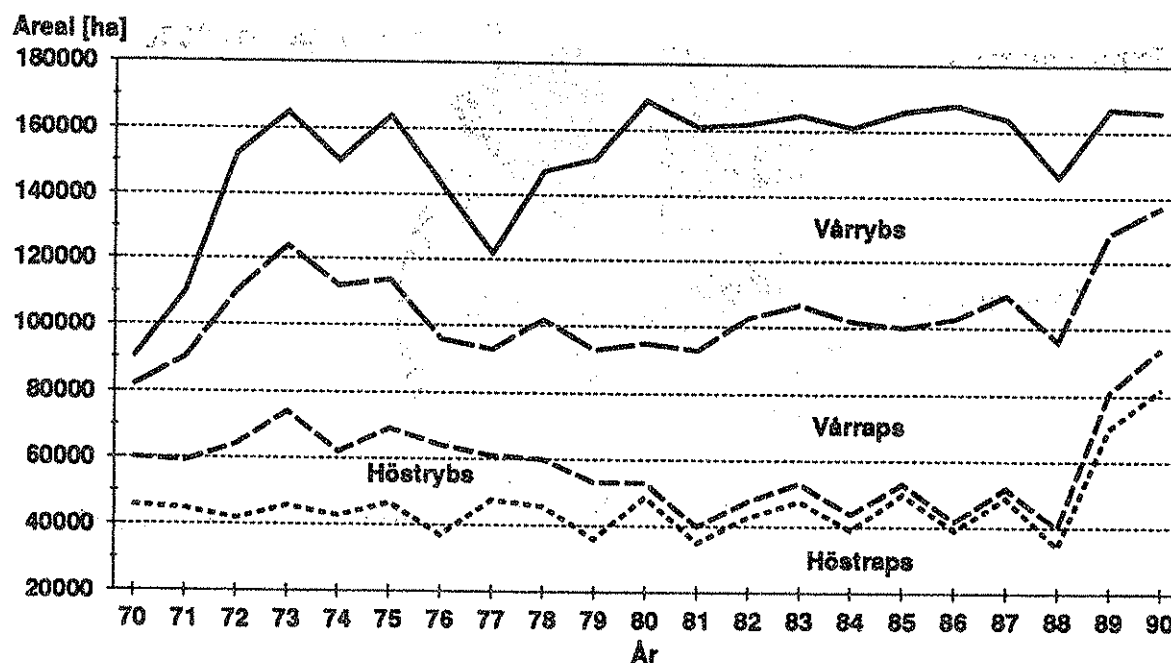
Fettsyra	Kolatomer: Dubbelbindningar
Kaprylsyra	8:0
Kaprinsyra	10:0
Laurinsyra	12:0
Myristinsyra	14:0
Palmitinsyra	16:0
Stearinsyra	18:0
Oljesyra	18:1
Linolsyra	18:2
Linolensyra	18:3
Erukasyra	22:1

Tabell 2. De vanligaste vegetabiliska oljorna och deras innehåll av de viktigaste fettsyrorerna, i % av vikten (efter Magnusson & Hermansson, 1989)

	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	22:1
Bomullsfröolja			0,1	1,0	22,0	3,0	19,0	53,0	0,3	
Jordnötsolja				0,1	10,0	3,0	42,0	38,0		
Kokosolja	8,0	6,0	47,0	17,5	9,0	3,0	7,0	1,8	0,1	
Palmolja			0,1	1,0	45,0	4,5	38,0	10,0	0,5	
Sojaolja				0,1	11,0	3,5	22,0	54,0	8,0	
Solrosolja				0,1	6,5	4,0	21,5	66,0	0,5	
Solrosolja (hög oleinsyrahalt)					3,5	5,5	81,5	9,0		
Rapsolja (låg erukasyrahalt)				0,1	4,0	1,5	61,5	20,0	10,0	0,5
Rapsolja (hög erukasyrahalt)				0,1	4,0	1,0	18,5	14,5	11,0	41,0

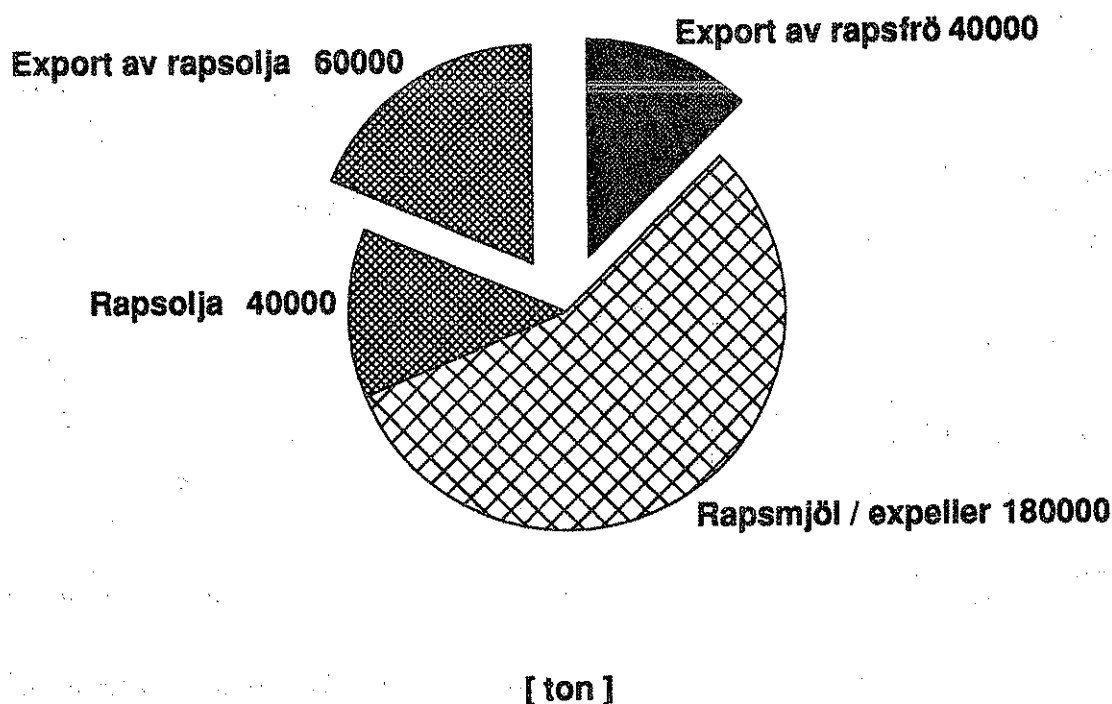
Odling i Sverige

I Sveriges odlas en areal av ca 2 900 000 ha, utav dessa är ca 165 000 ha oljeväxter, vilket innebär 5,9 %. Oljeväxtodlingen består huvudsakligen av höstraps, höstrybs, vårraps och vårrybs. På ca 1 000 ha odlas andra sorters oljeväxter. Andelen höstoljeväxter har ökat mycket de två senaste åren, på grund av trädesersättningen och gynnsamma vintrar (se figur 2, Frö- och oljeväxtodlarna, 1991).



Figur 2. Den totala oljeväxtarealens utvecklingen under de senaste 20 åren, och hur dessa fördelar sig på de olika sorterna (Frö- och oljeväxtodlarna, 1991).

Den totala skörden av oljeväxtfrö varierade under åren 1984-1989 mellan 250 000 ton till 370 000 ton. Av denna mängd förädlas ca 280 000 ton raps- och rybsfrö i Sverige för att täcka efterfrågan på rapsexpeller och rapsmjöl, överskjutande del exporteras. Av de 100 000 ton olja som då pressas fram används 40 000 ton i Sverige medan resterande exporteras till världsmarknadspris utomlands. Ungefär 90% av den olja som stannar i Sverige går till matolja och margarin och resterande 10% används för tekniska ändamål, såsom sågkedjeolja eller hydraulolja. (Exab, 1989).



Figur 3. Mängd rapsfrö respektive olja som stannar i Sverige eller exporteras utav den genomsnittliga skörden på 320 000 ton (Exab, 1989).

Förädling

Förädlingen i dagsläget går framförallt ut på att ta fram sorter med högre avkastning och även öka dess vinterhärdighet. En önskan finns också om att få en högre andel olja i fröet än dagens ca 44%. Det finns redan genmaterial som innehåller högre andel olja, men då är avkastningen per hektar mycket lägre. Det ger tillsammans en lägre oljeskörd per hektar (Weibulls, 1991).

Förädlingen strävar också efter att få fram sorter med en önskad sammansättning av fettsyror. För att i större utsträckning kunna använda rapsmjölet till foder har speciellt mycket arbete under det senaste decenniet lagts ned på att få fram sorter med låg halt av erukasyra, enkelläga sorter, och sorter som även har låg halt av glykosinolater, dubbellåga sorter. För vissa djurslag är fiberhalten i rapsmjölet för hög, man har därför tagit fram sorter med tunnare fröskal, dessa kallas trippelläga sorter och har ett frö med gulbrun färg. Alla sorter är numera minst enkelläga och alla vårsorterna är minst dubbellåga (Bengtsson, 1991).

Vad det gäller oljan, vill industrin ha en olja som mer liknar den man får från sojabönan. Sojaoljan har högre halt av linolensyra, vilken är fleromättat och därför skulle vara nyttigare än den enkelomättade oljesyran. Den har också en lägre halt av linolensyra, som innehåller tre dubbelbindningar och därför ger sämre hållbarhet (Bengtsson, 1991). Efterfrågan på rapsolja som matolja ökar dock framför allt på grund av dess låga halt av mättat fett. Rapsolja har därmed en sänkande effekt på blodets kolesterolhalt (Olsson, 1990). Man börjar också ifrågasätta om det fleromättade fett skulle vara bättre än det mättade.

De stora skillnaderna i fettsyrasammansättningen mellan dagens raps- och rybsorter är mellan raps med låg respektive hög andel erukasyra (se tabell 2). I övrigt är skillnaderna små. Rybs har ca 5% högre halt linolensyra och motsvarande mindre mängd oljesyra. En sort som skiljer sig från mängden är vårrybsorten Palle, som har drygt 10% palmitinsyra. Denna sort är speciellt framtagen för användning till margarin som därmed pga den fastare konsistensen kan tillverkas av enbart rapsolja (Svalöf, 1991).

RAPSOLJA SOM BRÄNSLE

Redan Rudolf Diesel föreslog användning av vegetabilisk olja som bränsle i sina motorer. Sedan dess har dock mineraloljan helt slagit ut alla andra bränslen för dieselmotorer. På senare tid har intresset för att använda t ex rapsolja som bränsle vaknat på nytt.

Vilka fördelar ger rapsolja framför dieselolja?

- Ingen nettoökning av koldioxidhalten i atmosfären, eftersom växterna tagit upp den koldioxid som avges vid förbränningen.
- Bränslet ger mycket små utsläpp av försurande svavel.
- Vegetabilisk olja bryts ned i naturen och ger därför inte så allvarliga följder vid spill.
- Oljeväxtproduktionen sker på åkermark och medför därmed mindre spannmålsöverskott och en bra växtföljd.
- Vid oljepressning erhålles en proteinrik restprodukt som är mycket användbar som djurfoder och ersätter importerad sojamjöl.
- Bättre handelsbalans då bränslet produceras i landet och råvarorna är inhemska.
- Beroendet av de oljeproducerande länderna minskar.
- I fredstid behöver man inte ha så stora beredskapslager, men framför allt är det en stor fördel vid händelse av krig, då man kan producera sitt eget bränsle.

Nackdelar?

- Den största nackdelen är priset som är högre än för dieselolja till största delen beroende på att råvaran, oljeväxten, är dyr.
- Det är fortfarande ett ganska oprövat bränsle.
- Odling av oljeväxter kräver relativt stora insatser av gödsel- och bekämpningsmedel.

Många försök har gjorts med att använda enbart rapsolja, blandningar av dieselolja och rapsolja och omförestrad rapsolja, i dieselmotorer.

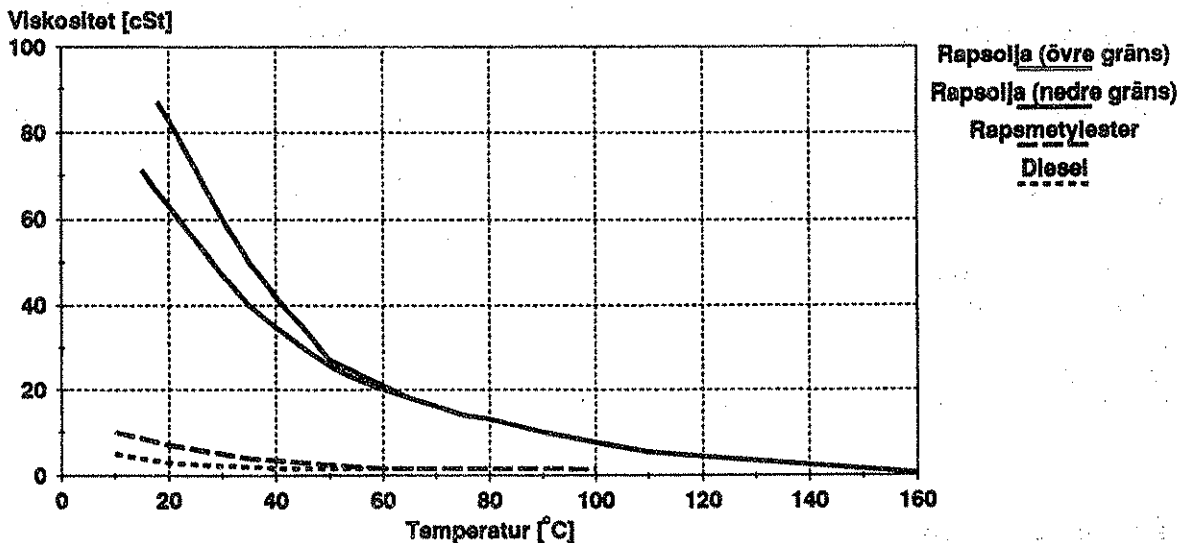
Tabell 3. Fysikaliska data för diesel, rapsolja, blandning och rapsmetylester. (efter Vellguth, 1988 och Statens maskinprovningar, 1987)

Egenskap	Enhet	Dieselolja	Rapsolja	R33 (blandning)	Rapsmetyl- ester
Värmevärde	MJ/kg	42,4	37,6	41,1	37,2
Densitetvid 20°C	kg/l	0,83	0,91	0,86	0,88
Volumetriskt värmevärde	MJ/l	35,2	34,4	35,6	32,7
Kinematisk viskositet vid 20°C	mm ² /s	1,2-10	98	9,1	6,3-8,1
Cetantal		>45	51	-	54

Enbart rapsolja

Vegetabiliska oljors möjligheter att direkt ersätta dieselbränsle har undersökts i många forskningsprojekt. Vegetabilisk olja har liknande egenskaper som dieselolja men dess viskositet är 15-20 ggr högre (tabell 3).

Den höga viskositeten gör att det blir ett stort tryckfall i bränsleledningar och spridare. Detta medför en stor droppstorlek på bränslet då spridarna sprutar in det i förbränningskammaren. De stora dropparna medför att bränslet inte blandas tillräckligt med luften, vilket ger en ofullständig förbränning (Kusy, 1982). Detta orsakar i sin tur koksavlagringar på de kallare delarna av förbränningsrummet, vilket till slut resulterar i igensatta spridare. En del av det oförbrända bränslet hamnar då på cylinderväggarna där det medför att smörjoljefilmen försvinner, med ökat slitage som följd. Den vegetabiliska oljan följer även med ner i smörjoljan vilket leder till problem med smörjningen av motorn. Dessa problem uppkommer inte i de flesta för- och virvelkammardieselmotorer och i multibränslemotorer, där förbränningsrummet är annorlunda utformat. (Vellguth, 1984).



Figur 4. Viskositeten för rapsolja i jämförelse med dieselolja och rapsmetylester (efter Weidmann och Menrad, 1989).

Rapsolja blandad med dieselolja

En lösning på problemet med den vegetabiliska oljans höga viskositet är att blanda den med dieselolja vilket medför att viskositeten sjunker kraftigt.

Statens maskinprovningarna (1987) har genomfört ett försök med en blandning av 1/3 rapsolja och 2/3 diesel, R33. Viskositeten för denna blandning var dubbelt så hög som för ren dieselolja, vid 20°C. Bränsleblandningen testades både i korttidstester och långtidstester.

Det största problemet med blandningen var att det även här uppstod koksBildning i motorn. Koksavlagringarna bildades efter relativt kort tid på spridar-spetsarna. Dessa avlagringar störde sedan insprutningen med effektsänkning och ökad bränsleförbrukning som följd. Smörjoljebytena kunde genomföras med normala intervall medan byte av bränslefilter fick göras oftare.

Omförestrad rapsolja

Genom att omförestra den vegetabiliska oljan splittras de stora triglyceridmolekylerna, ner i mindre estermolekyler. Dessa mindre estermolekyler liknar mycket de molekyler som dieseloljan består av. Det medför att viskositeten sänks avsevärt och därmed försvinner de flesta av de problem som kännetecknar användandet av rapsolja.

En del problem som kvarstår trots omförestringen. Motoroljan späds ut av nedträngande rapsmetylester. Svårigheter kan uppkomma vid vinteranvändning då bränslet har hög grumlingstemperatur. Eftersom det är blandbart med dieselolja kan man hålla vinterdiesel i tanken då det är kallt. En del lacker och gum-mislangar kan vara känsliga för esterbränslet och kan därför behöva bytas ut.

DEN OMFÖRESTRADE OLJANS EGENSKAPER

Omförestrad rapsolja liknar i många stycken dieseloljan, men skiljer sig i vissa fall från denna. Esterbränslets egenskaper vad det gäller dess specifikationer, egenskaper vid praktiska prov, lagring och användning och dess utsläpp av avgaser redovisas i följande avsnitt.

Krav på bränslet

Tabell 4. Preliminära specifikationer för rapsmetylester i jämförelse med de som finns för dieselolja (efter Önorm C 1190, 1991).

Egenskaper	Omförestrad rapsolja	Dieselolja
Densitet vid 15°C [g/cm ³]	0,86-0,90	0,855
Flampunkt P.M. [°C]	min 55	min 55
Köldegenskaper CFPP [°C]	högst -8	sommar högst +5 vinter högst -15
Viskositet vid 20°C [cSt]	6,5 - 9,0	
Svavelinnehåll [%vikt]	max 0,02	max 0,60
Koksningstal CCR [%vikt]	max 0,1	
Sulfataska [%vikt]	max 0,02	
Cetantal	min 48	
Neutralisationstal [mgKOH/g]	max 1	
Metanolinnehåll [%vikt]	max 0,3	
Fritt glycerol [%vikt]	max 0,03	
Glycerol totalt [%vikt]	max 0,25	

För dieselolja finns mycket exakta specifikationer som den skall uppfylla för att få kallas diesel. En liknande specifikationslista håller på att framtas för den omförestrade oljan. Esterbränslets egenskaper är beroende på hur det har framställts. För att traktorfabrikanterna skall kunna lämna garantier och för att man skall kunna handla med esterbränslet, krävs att det liksom för dieselolja ställs upp vissa minimikrav som bränslet måste uppfylla. Nedan följer synpunkter som är viktiga vid tillverkningen av bränslet. Fortfarande vet man dock för lite om rapsmetylester i praktisk användning för att sätta upp några definitiva krav (Schindlbauer, pers medd, 1991).

Förestringsgraden

Reaktionen bör ske så fullständigt som möjligt, då det lägger grunden för ett bra bränsle. Låg omförestringsgrad ger ett bränsle med mycket tri-, di- och mono-

glycerider, vilket medför att det får den råa vegetabiliska oljans problem med ofullständig förbränning (Pernkopf m fl, 1989). Med tunnlagerkromatografi kan man mäta andelen triglycerider, estrar och fria fettsyror (Junek m fl, 1983). Vid ett prov med körning på ett bränsle med 70% omförestningsgrad, uppstod allvarlig koksning redan efter 50 timmars körning. Kravet bör vara en omförestningsgrad på minst 90%, men man bör sträva efter 95% (Fuls, 1988).

Alkoholhalt

Innehåller bränslet för mycket alkohol, medför det en högre flampunkt och högre innehåll av glycerol och katalysator, som är löst i alkoholen. Ren ester har en flampunkt på 121°C, men om den innehåller en metanolhalt på 1% sjunker flampunkten till 55°C och höjs metanolhalten ytterligare, till 5%, når flampunkten nästan ned till rumstemperatur (Fuls, 1988). Bränslet bör därför innehålla högst 1% alkohol, för att hålla flampunkten över 55°C och därmed kunna klassa bränslet i samma brandfarlighetsklass som diesel, klass 3.

Katalysatorinnehåll

Då bränslet innehåller rester av katalysatorn, ger detta tre negativa effekter. För det första ger det ett mindre lagringsstabilt bränsle. Omförestningsreaktionen kan gå tillbaka, vilket minskar omförestningsgraden. Finns dessutom fuktig luft närvarande blir risken för tvålbildning stor. För det andra blir bränslet basiskt och angriper då metaller, t ex aluminium och zink och för det tredje bildas aska av katalysatorn vid förbränningen, vilket orsakar slitage i motorn (Romano, 1982). Det preliminära kravet är här satt till ett katalysatorinnehåll, motsvarande en maximal askhalt på 0,02%.

Fritt vatten

Mängden fritt vatten i bränslet, beror på temperaturen, eftersom vatten bildas då vattenånga kondenseras, och temperaturen sjunker. En högsta vattenhalt på 0,05% kan vara en lämplig gräns (Pernkopf m fl, 1989).

Syrainnehåll

Stor mängd fria fettsyror ger bränslet ett högt pH och gör det korrosivt. Ett högt pH värde i en vätskefas, medför allvarlig korrosion av aluminiumdelar. Man bör därför sträva efter ett neutralt bränsle med pH över 5. Kravet är alltså att bränslet skall vara neutralt och det kan genom titrering kvantifieras som ett högsta neutralisationstal på 1,0 mg KOH/g (Fuls, 1987).

Praktiska prov

För att ett helt nytt bränsle skall kunna börja användas krävs naturligtvis många olika tester. Hawkins m fl (1981) ansåg att man kunde dela in testerna i två sorter. Först görs kortare mycket noggranna tester i bänk, då förbränningsförhållandena undersöks. Detta för att se om det finns några allvarliga problem med det nya bränslet, som gör att motorkonstruktionen behöver ändras. Dessa tester följs sedan av långtidstester, som sker både i bänk och under praktiska förhållanden. Då undersöks bränslets effekt på motorslitaget och man kan se om andra oförutsägbara problem uppstår på grund av det nya bränslets egenskaper.

Många korttidsprov har genomförts på omförestrad vegetabilisk olja, med positiva resultat. Långtidsprov har däremot inte utförts i lika stor utsträckning hittills. Fuls m fl (1983) har gjort ett med en perkinsmotor i provbänk, som kördes 1500 timmar och vid genomgången visade sig vara i mycket god kondition.

Vellguth (1984) redovisar ett försök med en Fendt 4WD 306 LS (figur 5). Traktorn har i praktisk drift rullat över 5300 timmar (pers.medd. Vellguth, 1991). De problem som framkommit är dels kallstartsproblem på vintern, och dels problem med esterbränsle som trängt ned i motoroljan. Problemen vid start i kall väderlek kan minska om bränslet är vinteriserat. Ett annat alternativ är att tillsätta flytförbättrare som gör att bränslet klarar mellan -10° och -20°C , eller att helt enkelt köra på vinterdiesel då det blir kallt. Esterbränslets utspädning av motoroljan är däremot allvarligare. Först sjunker viskositeten när oljan späds ut, men efter 100-150 timmar börjar oljan bli tjockare igen p g a att de omättade fettsyrorerna från bränslet börjar polymerisera. Detta innebär att det krävs tätare oljebytesintervall än de vanliga 250 timmarna. Vellguth ansåg att det skulle vara möjligt med 200 timmars oljebytesintervall om motorn klarade en viskositetsklass lägre respektive högre än den rekommenderade. Problemen med oljeutspädning befaras bli större i äldre motorer med större spel mellan kolv och cylinder.



Figur 5. Vellguths Fendt som gått över 5300 h på enbart rapsmetylester (foto: Sven Bernesson).

Det största och mest omfattande försöket med omförestrad vegetabilisk olja har genomförts vid Bundesanstalt für Landtechnik i Wieselburg (Bio-Energy Ges.m.b.H, 1990). Med 34 traktorer och ett motorredskap genomfördes ett praktiskt försök under åren 1988-1989. Alla de stora traktormärkena var representerade och man använde både nya och äldre traktorer. Tillsammans kördes ca 25 000 h. Motorerna undersöktes ingående både före och efter försöket. Inga ändringar gjordes på motorerna eller bränslesystemet. Som komplement till gjordes också löpande kontroller av motoroljan och lagerförslitningen undersöktes.

Under försöket uppkom inte ett enda motorkrångel. Förtunningen av motoroljan hängde ihop med traktormärket och körförhållande. I de flesta fall låg motoroljeförtunningen vid föreskrivna oljebytesintervall under ofarliga 15%, men det varierade från ingen förtunning till så stor förtunning att man avråder från långvarig användning om ingen åtgärd sker, i detta fallet var det en gammal traktor som användes vid låg belastning. I två fall försvann dispergeringsförmågan, vilket motiverar användning av motorolja med bättre emulgeringsförmåga. Effekten sjönk med 5% på grund av lägre värmevärde

Om det vid tankning ofta kom rapsmetylester på lacken flagnade den efter en månad. Det finns dock lack som är beständig (tvåkomponent polyuretanlack). Fordringarna på syntetiska material och gummi avvek inte nämvärt från kraven vid dieseldrift. För bränsleslangar rekommenderas nitril-butadienslangar. Oanvändbara är naturgummi och styrol-butadiengummi.

I praktisk drift kunde ingen försvagning av de syntetiska materialen eller gummimaterial i bränslesystemet upptäckas. Ytterhöljerna på bränsle- och hydraulikslangarna är dock i många fall inte beständiga utan mjuknar efter ca en månads användning.

Den milda vintern gav inga systematiska resultat av kallstartsegenskaperna. Ned till -10°C går det bra att starta motorn, med flytförbättrare går det ned till -16°C .

Traktorfirmorna gav efter detta försök ut garantibestämmelser som gäller för deras traktorer vid användning av omförestat bränsle. I de flesta fall gäller samma garantier som vid användning av diesel. Same ger till och med längre garantitid vid användning av esterbränsle. Andra märken kräver tätare oljebyten och användning av speciella motoroljekvaliteter, som bättre klarar av att bilda emulSIONER.

Lagring

Det omförestade bränslet är mycket fördelaktigt vid transport och lagring då flampunkten ofta ligger över 100°C . Det förändras heller inte i varken färg eller konsistens efter mer än ett års lagring. Det går mycket bra att blanda omförestat bränsle och dieselolja, vilket gör att man kan byta bränsleslag utan rengörning av tanken. Ångtrycket är lägre än hos dieselolja vilket medför att det inte avdunstar så mycket vid t ex tankning. Omförestat bränsle är helt ogiftigt och det har mycket låg hudupptagning. Vid ett medicinskt prov gav det endast huvudvärk efter lång tids inandning. (Vellguth, 1984).

Användning

Motorn ger 5-10% lägre maxeffekt, det kan dock enkelt åtgärdas genom att skruva upp insprutningspumpen i motsvarande grad. På samma sätt som för vegetabilisk olja har problem med att bränslet tränger ner i motoroljan påvisats. Detta kan leda till motorhaveri på grund av otillräcklig smörjning (Vellguth, 1984). Omförestat bränsle kan också få gummislangar att mjukna och lacken att flagna. Speciellt bör man se upp med bränsletankar som är målade invändigt, vilket kan skapa problem. Även asfalt mjukas upp av esterbränsle (Pernkopf m fl, 1989). Andra problem som kan uppkomma är att det kan bli stopp i bränslefilter på grund av glycerinrester eller andra föroreningar i bränslet. Det kan avhjälpas genom att använda trycklösa filter. Vid användning av bränsle med hög kvalitet och renhet bör det dock inte vara några problem. Likartade problem som vid orent bränsle uppstår om det blir för kallt så att man

kommer under bränslets grumlingstemperatur, vilket gör att bränsletransporten försvåras och startproblem uppkommer (Pernkopf m fl, 1989). En lösning på detta kan vara att värma bränslet eller blanda det med diesel.

Avgaser

En viktig bedömningspunkt då ett nytt bränsle skall introduceras är hur bra den är för miljön. Bundesanstalt für Landtechnik i Wieselburg, Österrike har genomfört ett omfattande undersökning av emissionerna från rapsmetylester. I försöket jämfördes emissionen från en försöksmotor, dels när den kördes på omförestrad rapsolja och dels när den kördes på dieselolja (Wurst m fl, 1990) Följande organiska ämnesgrupper undersöktes:

- Aldehyder,
- Aromater och liknande föreningar,
- Bränslekomponenter,
- Polycykliska aromatiska kolväten (PAH),
- Kortkedjade alifater (permanentgaser),
- Summan av de organiska föreningarna.

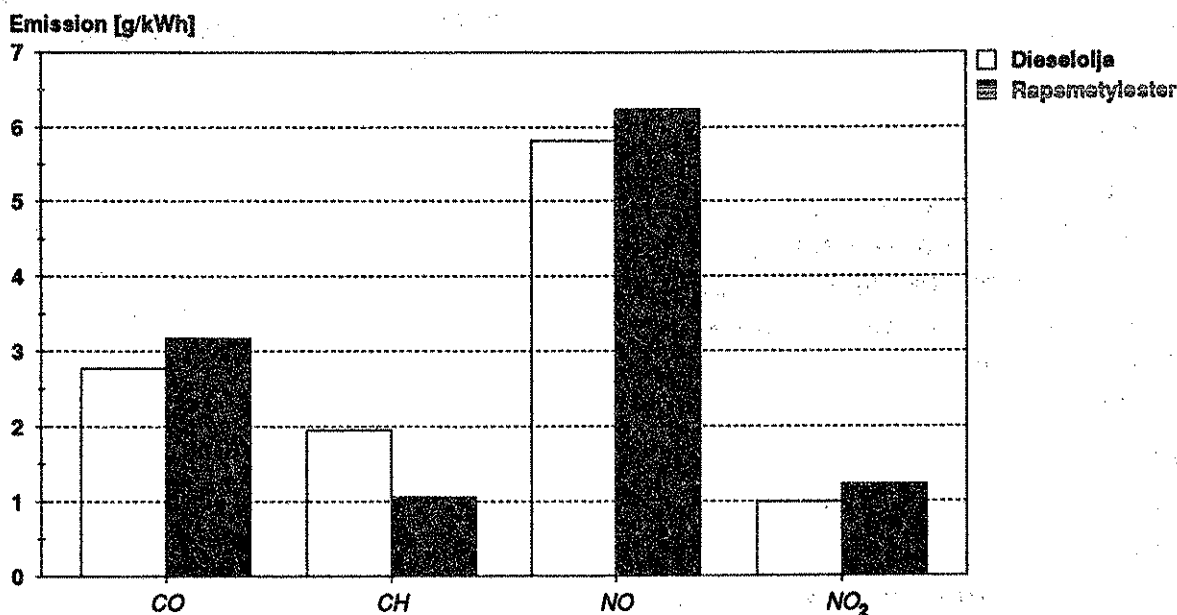
Försöksmotorn var en Steyer WD 411/87. Motorolja-, kylvatten-, omgivnings- och avgastemperaturen, oljetryck, varvtal, vridmoment, bränsleförbrukning och hur mycket av bränslet som följde med ner i motoroljan (blow-by-rate) övervakades av en datalogger som också nedteknade de uppmätta värdena varje minut. Mätningarna gjordes för fem belastningspunkter med några olika varvtal och moment, som ansågs vara representativa för det praktiska traktorarbetet.

Med rapsmetylester minskade emissionerna av totala kolväten tydligt, kväveoxidhalten steg svagt. Formaldehydemissionen förblev oförändrad, Acetaldehyden sjönk markant, medan acrolein steg till nästan det tredubbla.

Emissionerna av alla typer av aromater sjönk, förutom det cancerframkallande ämnet bensol som steg med 30%.

I försöket med förestrad rapsolja sjönk PAH-utsläppen ganska kraftigt. Utav de polycykliska aromatiska kolvätena sjönk det starkt cancerframkallande Benso(a)pyren (BaP) med hela 70% och det mängdmässigt mest betydande, fenantren, sjönk med över 95%.

Med båda bränslena kunde man konstatera att bränsle fanns med i avgaserna. Värdena låg i samma storleksordning. Det framkom också att förhållandevis mycket rapsmetylester följde med i avgaserna vid nollmoment. Detta är en ytterligare orsak till den typiska friteringslukten.



Figur 6. Avgaser från omförestrad rapsolja i jämförelse med dieselolja (Wurst m fl, 1990)

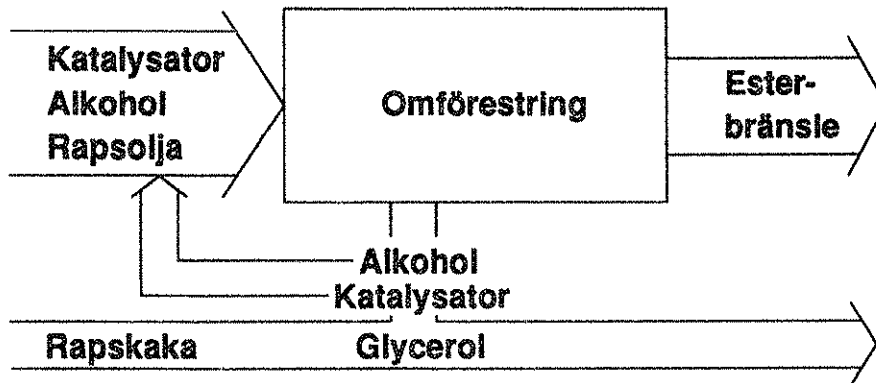
Vid försöket bestämde man också avgasernas beroende av lasten, specifika utsläpp, för de två bränslena. Den gemensamma slutsatsen för de två bränslena blev att det specifika kväveoxidutsläppet sjönk medan alla de andra brännbara substansernas (CO, HC) andel ökade mycket. Kolvätemängden är vid tomast 20 gånger högre än vid hög momentbelastning. Speciellt för rapsmetylester var att mängden acenaften steg till och med 80-faldigt. Lastberoendet för Diesels PAH-utsläpp avvek dock från detta mönster, då den specifika emissionsmängden, vid höga varvtal, steg med ökad last.

Resultaten man fick fram överensstämmer väl med andra gjorda avgasförsök. Omförestrad rapsolja har stora fördelar. Den viktigaste är minskningen av de polyaromatiska kolvätena och minskningen av koldioxiden i atmosfären. Nackdelarna är att utsläppen av acreolein och mängden oförbränt bränsle ökar. Av undersökningen kan man inte dra något entydigt slutsats vad det gäller skillnaderna i avgasernas cancerogenitet. Detta eftersom PAH-mängden minskar då rapsmetylester används, samtidigt som det cancerogena ämnet bensol ökar.

Ett intressant resultat av försöket är att utsläppen till så hög grad är beroende av lasten.

Det bör också påpekas att inga speciella justeringar för rapsmetylestern är gjorda på motorn. Man kan därför tänka sig att det finns ytterligare möjligheter att sänka mängden emissioner för detta bränsle.

RÅVAROR TILL OMFÖRESTRINGEN



Figur 7. Översiktsbild av omförestringen.

De ämnen som behövs vid omförestringen är förutom rapsolja, eller någon annan vegetabilisk olja, alkohol och katalysator.

Vegetabilisk olja

Den vegetabiliska oljan kan pressas på några olika sätt beroende på i vilken skala det sker. Pressningsförfarandet påverkar oljans egenskaper. Något som också påverkar oljans egenskaper är vilka sorters fettsyror den består av. Sammansättningen beror på vilken art och sort av oljeväxt som oljan pressats från.

Pressning av olja

De flesta vegetabiliska oljor lämpar sig för omförestring. Av raps går det åt 2.3 - 3 kg frö för varje liter olja. Utvinningen av oljan kan ske på två olika sätt, antingen pressar man ut den mekaniskt i t ex en skruvpress, eller så extraherar man oljan på kemisk väg. Den mekaniska utvinningen är enkel och används i alla mindre anläggningar. Den kan antingen ske som kallpressning, då pressning sker direkt och ger en olja med god kvalitet, som oxiderar mycket långsamt och kan lagras lång tid. Anläggningen är mycket enkel och driftsäker (Bernesson, 1990). Alternativet till kallpressning är varmpressning då fröet värms upp till 80°C innan det pressas mekaniskt. Kvaliten på oljan blir då något sämre. Oxidationsstabiliteten försämras vilket ger sämre lagringsduglighet och oljan härsknar fortare än efter kallpressning.

Restprodukten vid mekanisk pressning (expeller) har en oljehalt på ca 5-20% . Kemisk utvinning sker av oljeväxter med låg oljehalt eller som en efterbehandling till mekanisk utpressning. Restprodukten efter extrahering (extraktion-smjöl) innehåller i princip ingen olja. Extraktion sker bara i stora anläggningar eftersom det är en dyr investering. Den är också mer energikrävande än pressning (Pernkopf, 1985).

Då oljan skall användas till bränsle krävs att den renas (Fuls, 1988). Man strävar då efter att få bort de fasta föroreningarna, lecitinet (fosfolipider), de fria fettsyrorerna och vattnet, vilka alla gör att förestningsgraden minskar på grund av att den basiska katalysatorn neutraliseras eller förbrukas av dessa föroreningar (Kusy, 1982). Det finns olika grader av renad olja:

- avslemmad olja,
- alkaliraffinerad olja,
- deodoriserad olja,
- blekt olja.

För att få avslemmad olja tillsätter man lite vatten som hydratiserar (vattenmolekylerna binder joner till sig) den delen av lecitinet som är vattenlöslig. I nästa steg, då man erhåller alkaliraffinerad olja tillsätter man fosforsyra som binder det resterande lecitinet. Sedan har man också tillsatt lut som reagerar med de fria fettsyrorerna och sedan tvättas bort (Magnusson & Hermansson, 1989). Alternativet till lut kan vara kalciumoxid som tar upp vatten och bildar kalciumhydroxid; detta reagerar med de fria fettsyrorerna och bildar kalciumsalt. Oljan filtreras oftast för att få bort alla fasta föroreningar. Ytterligare rening, deodorisering (borttagning av lukt) och blekning (borttagning av färgämne), som är vanligt vid framställning av matolja anser Pernkopf (1985) vara onödigt då de kräver mycket energi. Fuls (1988) och Freedman m fl (1984) har kommit fram till att avslemmad och filtrerad olja med ett maximalt syrainnehåll på 1 mg KOH/g är lämplig till omförestning.

Fettsyrasammansättningens betydelse

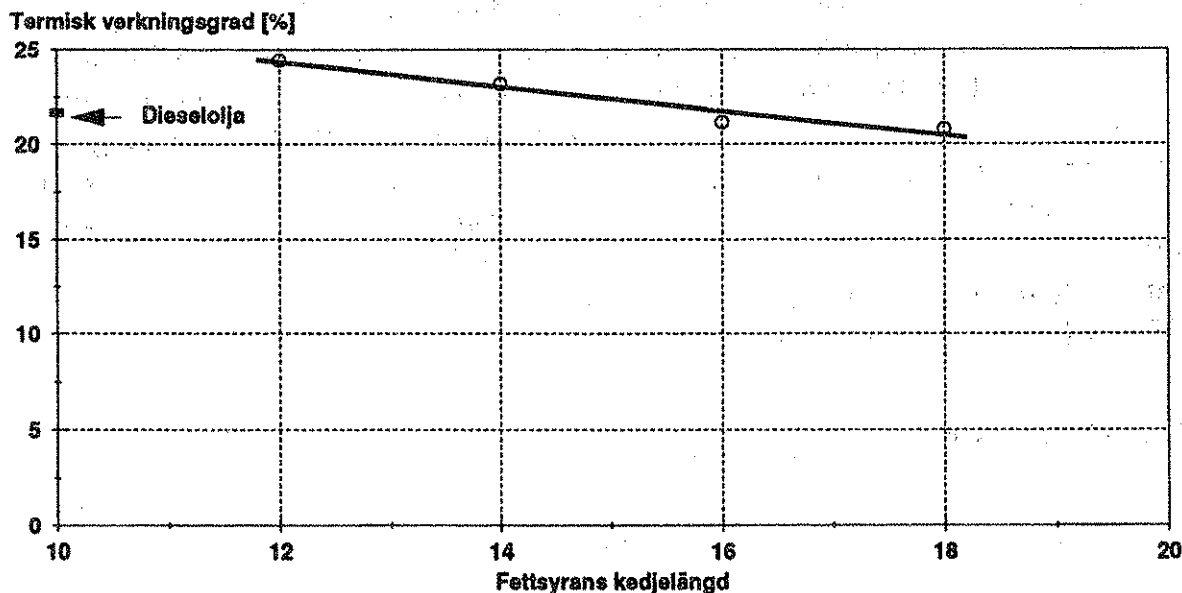
I följande avsnitt behandlas olika fettsyrorers egenskaper och vad det medför när de omvandlas till estrar och används som dieselbränsle.

Det stora problemet med vegetabilisk olja är dess höga viskositet. Genom omförestningen sänks viskositeten till en femtedel vilket ger den egenskaper liknande diesel. Med stigande kedjelängd ökar viskositeten, och det gör den även då antalet dubbelbindningar ökar. (Pernkopf och Wörgetter, 1981).

Tabell 5. Fettsyrasammansättningens betydelse för esterbränslets förbränningsegenskaper (egen sammanställning)

Egenskap	Ökad kedjelängd	Ökat antal dubbelbindningar
Viskositet	ökar	ökar
Termisk verkningsgrad	minskar	ökar (en dubbelbindning)
Oxidationsbenägenheten	-	stiger
Densitet	-	stiger något
Smältpunkt	stiger	sjunker
Kokpunkt	stiger	sjunker

Den termiska verkningsgraden ökar med kortare kedjelängd. Införandet av en dubbelbindning medför också en förbättrad verkningsgrad. Ytterligare ökning av omättnaden har ingen mätbar effekt. När man jämförde estrar av metanol, etanol och butanol, gav etanolen den bästa verkningsgraden och butanolen den sämsta. (Klopfenstein och Walker, 1982).

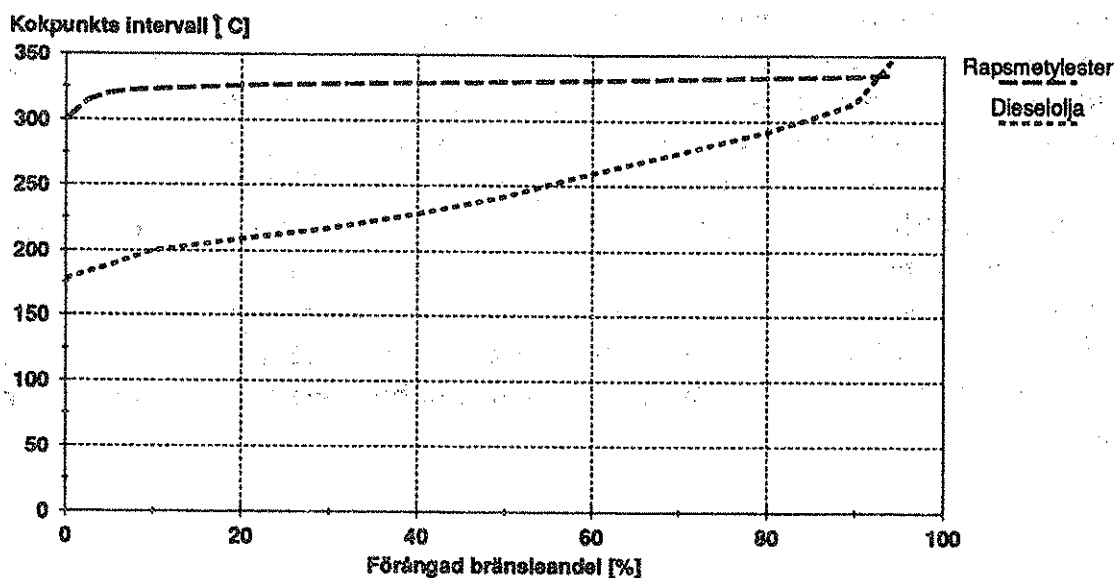


Figur 8. Kedjelängdens inverkan på den termiska verkningsgraden för esterbränsle. Som jämförelse finns verkningsgraden för dieselolja inprickad (Klopfenstein och Walker, 1982).

Oljan kan vid lång lagringstid förstöras på grund av oxidation eller polymerisation. Fettsyror med stor grad av omättnad, speciellt omättade böjda bindningar har lätt för att polymerisera. (Peterson m fl, 1982).

Densiteten för metyl- och etylestrar ligger mellan 0,870 och 0,890 g/cm³. Detta är något högre än dieselolja som ligger mellan 0,820 och 0,850 g/cm³, men lägre än densiteten för vegetabilisk olja som ligger på 0,920 g/cm³. Densiteten är oberoende av kedjelängden men stiger något med ökat antal dubbelbindningar. (Pernkopf och Wörgetter, 1981)

Smältpunkten för fettsyror stiger med ökande kedjelängd. Den sjunker däremot då fettsyran innehåller fler dubbelbindningar. Smältpunkten sjunker i följande ordning för olika former av fetter, högst har 1-monoglycerid sedan 1,3-diglycerid, triglycerid, fettsyra, fetter, alkohol, metylester och lägst har etylester. En vegetabilisk olja, som består av en mängd olika triglycerider, får en smältpunkt som ligger under den triglycerid som har den lägsta smältpunkten. Vad som händer med smältpunkten då olika estrar blandas säger litteraturen inget om. Man kan dock inte enbart med hjälp av smältpunkten säga vid hur låga temperaturer bränslen kan användas. För dieselolja begränsas den nedre användningstemperaturen av paraffinutfällningen som sätter igen filtren. Man anger därför inte smältpunkten utan CFPP (Cold filter plugging point). (Pernkopf och Wörgetter, 1981).



Figur 9. Kokpunktsintervall för dieselolja och förestrad rapsolja (Weidmann och Menrad, 1989).

Kännedom om kokpunkten är värdefullt då man vill separera olika estrar och fettsyror. Detta görs genom att destillera vid olika temperaturer. Krävs allt för höga temperaturer kan man också utföra destillationen vid sänkt tryck. Liksom för smältpunkten stiger kokpunkten med ökande kedjelängd och fallande antal dubbelbindningar. Dieselolja som består av ett antal olika föreningar har inte en specifik kokpunkt utan ett temperaturintervall mellan 180° och 350° inom vilken kokningen sker. Esterbränsle som är sammansatt av olika fettsyror uppträder på motsvarande sätt, men har ett snävare intervall. (Pernkopf och Wörgetter, 1981)

Värmevärdet kan ungefärligt beräknas med Boies formel.

$$H_u = 34,835 \cdot C + 93,87 \cdot H - 10,800 \cdot O \quad [MJ/kg]$$

Om man skall få ut samma effekt ur en motor med ett alternativt bränsle krävs att dess värmevärde med avseende på volymen är lika stort. Dieselolja har ett värmevärde på 35,0 - 36,3 MJ/l, värmevärdet för förestrat bränsle ligger ca 10% lägre vilket innebär att motorerna tappar något i effekt då detta bränsle används. (Pernkopf och Wörgetter, 1981).

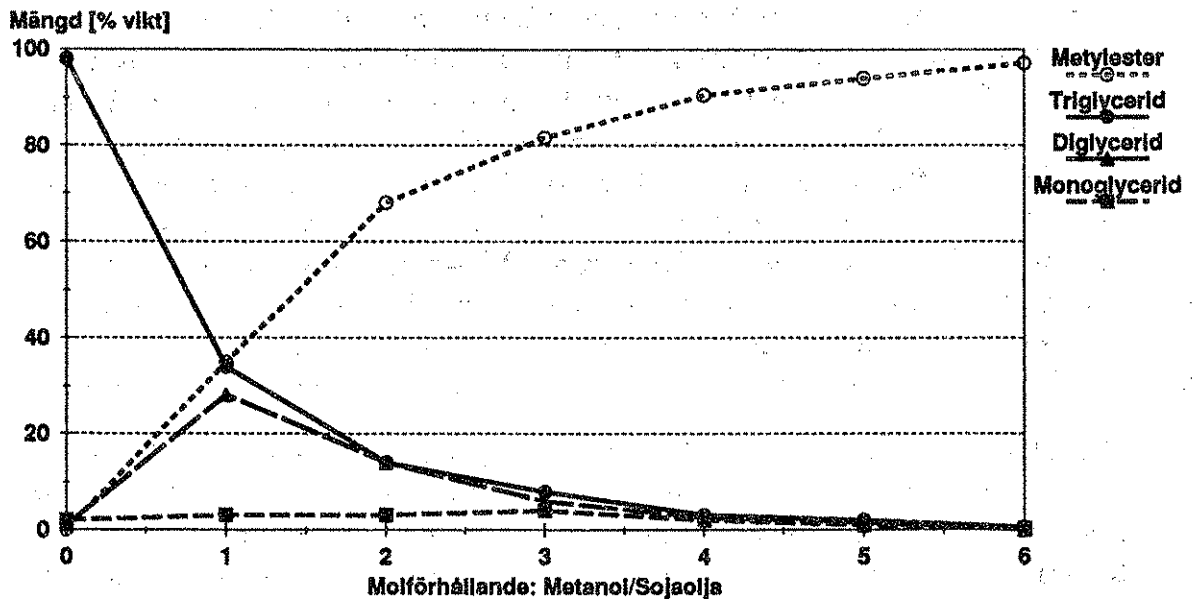
Om man ser till önskemålen för oljeväxternas användning som dieselbränsle, är det framförallt en hög avkastning och därmed också härdiga sorter som är det stora målet. De låga och dubbellåga sorterna, med litet innehåll av erukasyra och glykosinolater, har i fråga om avkastning kommit ikapp de tidigare högre avkastande erukasyrarika sorterna. De dubbellåga sorterna är också att föredra då oljekakan huvudsakligen används som djurfoder. Vad det gäller fettsyrasammansättningen i övrigt är vegetabilisk olja med hög halt av oljesyra, med en dubbelbindning, eller kortkedjade mättade syror, bäst att använda för omförestring till bränsle (Klopfenstein och Walker, 1982). En stor andel oljesyra är därför önskvärd, vilket ger en hög termisk verkningsgrad, med en dubbelbindning, samtidigt som hållbarheten blir acceptabel, då omättnaden inte är speciellt stor. Oljesyrans kedjelängd är också relativt kort vilket ger låg kok- och smältpunkt samtidigt som densiteten och viskositeten hålls låga. Det innebär att förädlingen vad gäller matolja och olja till bränsle, strävar åt samma håll. I Kanada har man fått fram raps som innehåller 90% oljesyra, men den har i gengäld en mycket låg avkastning.

Alkohol

Vid omförestring kan man egentligen använda vilken alkohol som helst. Men det är inte lämpligt att använda alkoholer med för stora molekyler, dels för att de kräver ett större alkoholöverskott och dels för att den bildade estermolekylen då blir avsevärt större än den eftersträvade dieselmolekylen.

Du Plessis m fl (1983) kom i en jämförelse mellan etanol och metanol fram till att metanolen gav en högre omförestringsgrad. Orsaken till detta ansågs vara att metanolen löser glycerol sämre och därmed ger en bättre separation av glycerolen. Andra fördelar med metanol är att den är billigare och lättare att få tag på. Bränslet blir också värmestabilare (Romano, 1982). Nackdelarna med metanol är att den är giftig och är mycket lättantändlig. Den kräver därför stor varsamhet vid lagring och hantering. Hassett och Uhlir (1988) menar också att eftersom metanolen klassas som giftig kan den bli ett problem i avfallet från reaktionen. Metanol löser sig också sämre i den vegetabiliska oljan vilket, kräver mer omrörning för att få god kontakt mellan ingredienserna. Estrarna som bildas när metanol används kallas metylestrar och när etanol används etylestrar.

Mängden alkohol som tillsätts i förhållande till vegetabilisk olja vid omförestringen har mycket stor betydelse för omförestringsgraden, d v s hur stor mängd av triglyceriderna som blir estrar (monoestrar). Freedman m fl (1984) undersökte omförestringsgraden, när molförhållandet mellan metanol och vegetabilisk olja varierade från 1 till 6 (figur 9). Det teoretiskt optimala molförhållandet är 3. Slutsatsen blev att förhållandet med 6 gånger mer mol metanol än vegetabilisk olja var bäst eftersom det gav högst omförestringsgrad. En ökad mängd försvårar glycerolseparationen och fördyrar kostnaden för alkoholåtervinning, men ökar knappast omförestringsgraden. Hassett och Uhlir (1988) menar att man bör sträva efter att använda så lite alkohol som möjligt för att minska mängden restprodukter.



Figur 10. Mängden tri-, di-, och monoglycerider samt bildade monoestrar, när molförhållandet mellan alkohol och vegetabilisk olja varierade från 1 till 6 (Freedman m fl 1984).

Katalysator

Det finns olika exempel på omförestningsprocesser som använder sig av olika katalysatorer. Exempel på katalysatorer är metallalkoholater (metallsalt av alkohol), metallhydroxider, metallkarbonater och metallacetater. Olika syror kan också användas (Junek m fl, 1983). Wörgetter (1989) angav några egenskaper som man vill att katalysatorerna skall ha. De bör medverka till att minimera den tekniska utrustningen, ge en hög omförestningsgrad, ha en förmånlig energibalans, inte vara beroende av de andra substansernas kvalitet och inte kräva någon komplicerad reningsprocess, för att kunna återanvändas. Han ansåg, att kaliumhydroxid och natriumhydroxid uppfyllde dessa krav bäst. De är dessutom billiga och lätta att hantera. Kaliumhydroxid kan vara en fördel om glycerinfasen inte renas, denna restprodukt kan då användas som kaliumgödselmedel.

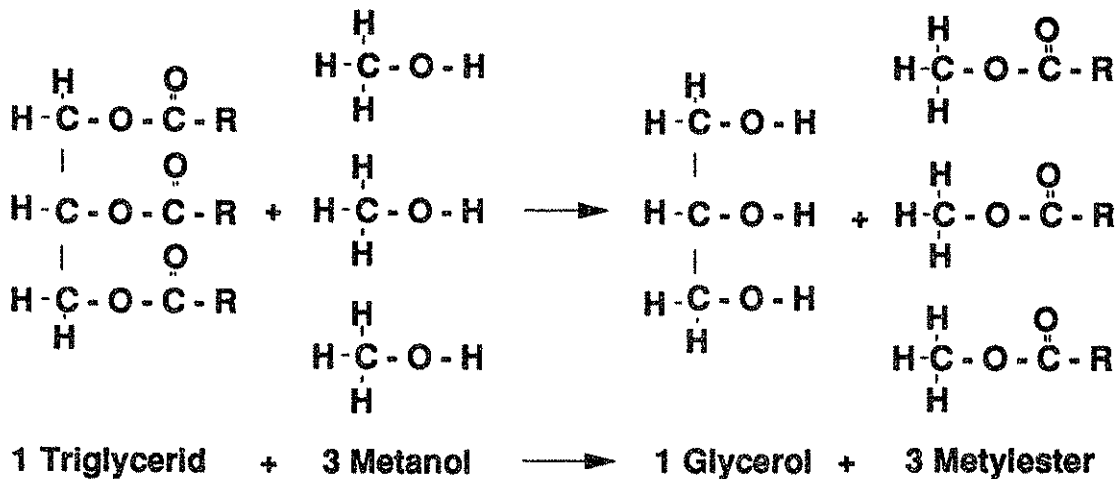
Vid jämförelse mellan sura och basiska katalysatorer i omförestningsprocessen kom Freedman m fl (1984) fram till att reaktionen gick snabbare med de basiska katalysatorerna än med de sura. Reaktionen går med de alkaliska katalysatorerna bra att utföra vid temperaturer ner till rumstemperatur, till skillnad från de sura som kräver temperaturer över 100°C. Sura katalysatorer kräver också syraresistent förvaringstankar. Alkaliska katalysatorer har dock den nackdelen

att de deaktiveras av fria fettsyror och vatten. De alkaliska katalysatorerna är alltså att föredra, förutom då lågkvalitativ vegetabilisk olja med mycket fria fettsyror användes till omförestningen.

FRAMSTÄLLNING

Omförestring av rapsolja bygger på en kemisk reaktion, som i praktiken kan utföras på lite olika sätt.

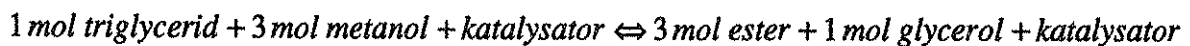
Kemiska reaktionen



R = alkydgrupp från fettsyror

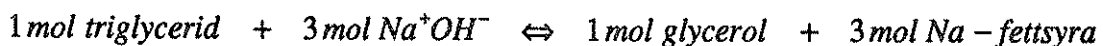
Figur 11. Omförestring av en triglyceridmolekyl (Junek, 1983)

I omförestringsprocessen splittras vegetabilieoljans glyceridmolekyler med hjälp av katalysatorn upp i tre fria fettsyror och en glycerolmolekyl (figur 11). De fria fettsyrorerna reagerar med den tillsatta alkoholen och bildar estrar. Med metanol som alkohol blir den kemiska jämvikten då:



Reaktionen kan ske även utan katalysator, men kräver då högt tryck och hög temperatur. Glycerolen och katalysatorn måste separeras, så att jämvikten hela tiden går mot bildning av estrar. Omförestringsgraden talar om hur stor del av den vegetabiliska oljan som har omvandlats till estrar och är därför ett bra mått på hur processen lyckats.

Vid tvålfäramställning ingår samma råvaror som vid omförestring och sker enligt följande formel:

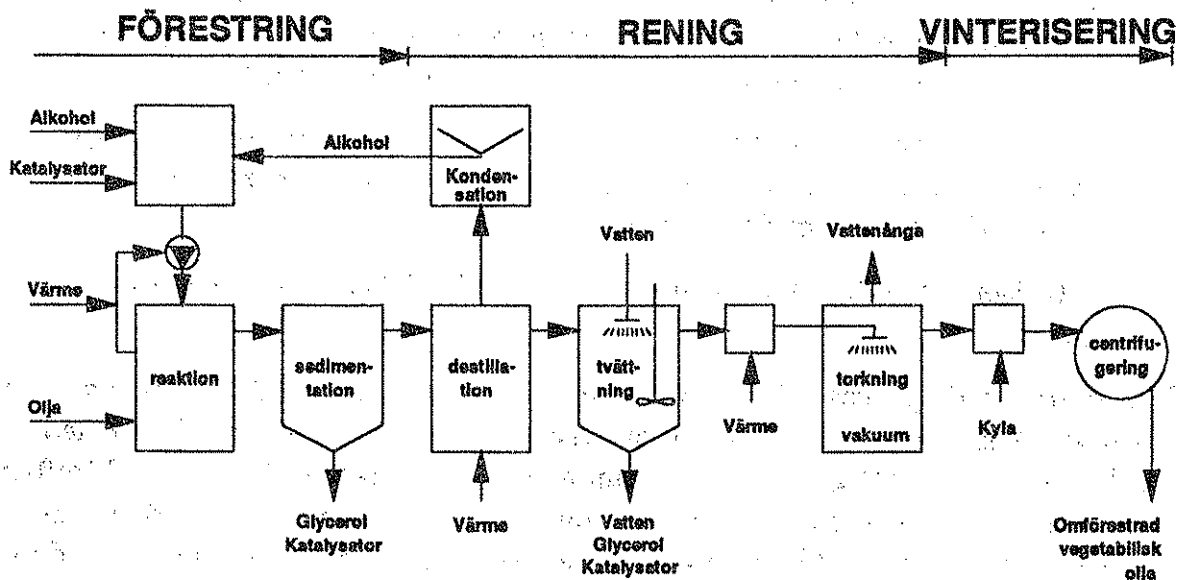


(Lindstromberg och Baumgarten, 1980). För att undvika tvålbildning måste man se till att alkohol finns närvarande så att de kan fästa vid fettsyror och att råvarorna är fria från vatten.

Exempel på utförande

Det är få problem som kan uppstå vid utformningen och driften av en anläggning för produktion av omförestrad rapsolja. De tider och temperaturer som krävs för reaktionen är generösa, så är också mängden alkohol och katalysator som krävs. De här förhållandena gör hela processen mycket förlåtande för små avvikelser från specificeringen. Det största problemet som kommer att inträffa om stor noggrannhet inte iakttas är bildandet av emulsioner i tvättningssteget. (Hassett och Uhlir, 1988).

Reaktionen kan praktiskt utföras på en mängd olika sätt. De två huvudsakliga alternativen är i en satsanläggning, där en sats i taget av rapsolja får reagera eller i en kontinuerlig anläggning, med ett jämt flöde av rapsolja. En kontinuerlig anläggning förväntas vara effektivare. Alla de omförestringsanläggningar som hittills byggts i stor skala är dock satsanläggningar. Detta antas bero på att den kontinuerliga processen inte är färdigutvecklad. Nedan redovisas först hur reaktionen i princip kan utföras i en satsanläggning (efter Fuls, 1987) och sedan redovisas vilka skillnader som kan finnas jämfört med i en kontinuerlig anläggning (Kusy, 1982).



Figur 12. Exempel på hur de olika delarna stegen i omförestringsprocessen kan utföras (Fuls, 1987).

- Tillsätt först katalysatorn till alkoholen under kraftig omrörning, så att den löser sig ordentligt. Förvärm samtidigt oljan till 30°C.
- Tillsätt sedan långsamt lösningen till den förvärmade vegetabiliska oljan. Rör om ordentligt, så att god kontakt erhålls mellan ämnena. Blandningen omröres kraftigt genom att pumpa runt den i ca 1 timma.
- Därefter överförs blandningen till en behållare med konisk botten där man låter blandningen stå. Separationen äger då rum och glycerolen och katalysatorn sjunker till botten.
- Efter ca 8 timmar tappas den tjocka bruna bottensatsen (ca 15%) ur behållaren. Kvar blir då estrarna, en del av alkoholen som är i överskott och en mindre del katalysator, glycerol och andra föroreningar.
- Alkoholöverskottet destilleras bort, genom att värma till 90°C, då det höjer blandningens flampunkt och även löser den kvarvarande glycerolen och alkoholen. Överskottet kan återvinnas genom kondensation.
- Överför esterfasen till vattentvättbehållaren. För att få bättre renhet låter man estern stå, ca 30 minuter vid 70°C, så att ytterligare glycerol och katalysator får sedimentera. Detta tappas också av.
- Den kvarvarande esterfasen tvättas fyra gånger genom att man besprutar ytan med vatten, under svag omrörning. Temperaturen hålls över 70°C. Vattnet syresätts med acetatsyra (CH_3COOH) till pH 3,2 de två första tvättarna. Vattenkvantiteten per omgång är ca 10% av estermängden. Vattnet tillåts sedimentera och tappas av mellan varje tvätt.
- Förvärm esterbränslet sedan till 90°C. Frånskilj det kvarvarande vattnet genom att spruta in den finfördelade estern i en vakuumbehållare (1 kPa abs) vid 90°C (vakuum flash-drying)
- Vinterisering utförs sedan genom att kyla till -10°C följt av en centrifugering.

I en kontinuerlig process blir proceduren något annorlunda. Då tillsätter man en svavelsyralösning med pH 5 - 6, för att neutralisera katalysatorn och därmed hindra reaktionen att gå tillbaka. Syran motverkar också tvålbildning. Därefter destilleras alkoholöverskottet bort. Slutligen tvättas blandningen med en natriumsulfatlösning tills blandningen är neutral. Då har det mesta av det bildade saltet från svavelsyran och katalysatorn försvunnit.

Fria fettsyror i oljan

Då oljan pressats i en skruvpress innehåller den ofta ända upptill 20% fria fettsyror. Vid omförestring med alkalisk katalysator och alkohol, vid en temperatur på 30-70°C krävs att mängden fria fettsyror ligger under 0,5% av oljans vikt, motsvarande ett syratal på 1,0 för att få en tillräckligt hög omförestringsgrad (Henkel KGaA, 1984). Detta pga att den basiska katalysatorn som tidigare nämnts neutraliseras av de fria fett syrorerna och bildar tvål som också försvårar separationen av glycerol och därmed ger en lägre omförestringsgrad och högre andel orenheter.

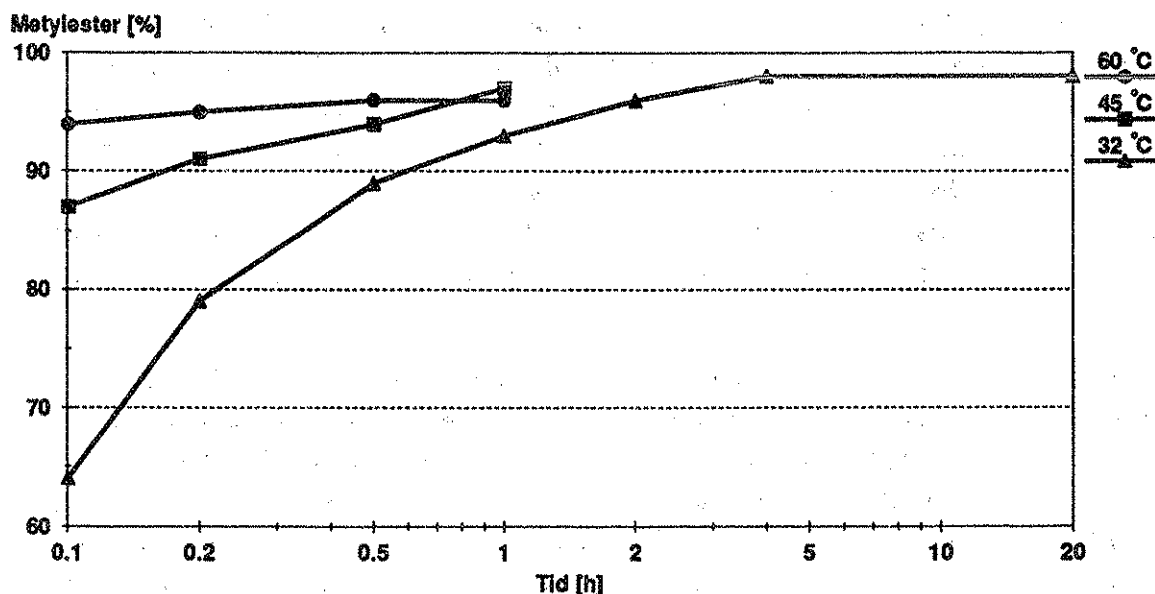
Flera forskare har gjort försök med att dela upp omförestringen i två steg. I första steget används en syrakatalysator samtidigt som oljan värms upp till ca 100°C och alkoholen tillsätts. De fria fettsyrorerna och en del av triglyceriderna bildar då estrar med alkoholemolekylerna. Henkel KGaA (1984) har ett patent på detta sätt att reducera mängden fria fettsyror. De använder toul-sulfonsyra, som katalysator, och metanol. Förutom detta tillsätter de också glycerol till oljan, för att underlätta glycerolseparationen. Detta omröres och får stå en längre tid vid 50-60°C för separering. Glycerolfasen, som också innehåller 99% av syran, renas från metanol och vatten genom destillation och kan därefter användas igen, med lika gott resultat. Bio-energy LTD (1987) och Stern m fl (1985) gör på liknande sätt, men Bio-energy använder istället ett ytaktivt ämne för att underlätta separationen.

Blandning av alkohol och katalysator

Alkoholen och katalysatorn måste blandas ordentligt för att alkoholen alltid skall finnas närvarande tillsammans med katalysatorn och därmed undvika tvålbildning. Hassett och Uhlir (1988) påpekar att det bildas värme då metanol och natriumhydroxid blandas och att det därför behövs någon typ av kylning. Alternativet till kylning är att tillsätta natriumhydroxiden i små portioner och låta blandningen svalna däremellan, eller använda mindre mängder natriumhydroxid, än de 10% av oljans vikt som de använde, och därigenom göra kylningen onödig.

Tid och temperatur

Temperaturen har stor inverkan på omförestringsreaktionen. Hög temperatur medför att reaktionen förlöper snabbare. Det går emellertid att få lika hög omförestringsgrad vid en lägre temperatur, men det tar längre tid (figur 13). Freedman m fl (1982) påpekade dock att reaktionen hindras vid temperaturer under 21°C.



Figur 13. Temperaturens inverkan på omförestningsprocessen (Freedman m fl, 1982).

Tiden det tar innan triglyceridmolekylerna har övergått till glycerol och estrar beror på en mängd olika faktorer. Framför allt beror det på vid vilken temperatur reaktionen sker, men också på mängden alkohol som tillsätts och mängden och typen av katalysator som ingår. Det blir här en fråga om kompromiss mellan en önskad minsta tid reaktionen skall ta och kostnaden för en ökad mängd insats av energi, alkohol och katalysator (Romano, 1982).

Separation av ester- och glycerolfasen

Som tidigare nämnts måste glycerolen bortföras för att jämvikten skall gå mot bildande av estrar. Eftersom glycerolen har en högre densitet ($1,21 \text{ g/cm}^3$) än estrarna ($0,87 \text{ g/cm}^3$) sker detta enklast genom sedimentering. Då alkoholen och katalysatorn löser sig i glycerolen men ej i oljan, motverkar alkoholens lägre densitet ($0,79 \text{ g/cm}^3$) separationen.

Detta problem har flera försökt att lösa på olika sätt. Fuls (1987) destillerar bort alkoholen från estern efter en tids sedimentation och lämnar sedan lösningen för ytterligare separation. Fördelen med detta förfarande är att det garanterar en låg halt av fri alkohol i estern och därmed får bränslet en låg flampunkt. Nackdelen är den extra energi som går åt för uppvärmningen. En annan lösning är

att tillsätta ytaktivt ämne som minskar ytspänningen i oljan och därmed underlättar separation (Bio-energy, 1987). Ett annat sätt att minska alkoholens inverkan vid sedimentation är att tillsätta ca 25% (vikt) glycerol till blandningen. Det medför att alkoholens lägre densitet inte får så stor inverkan (Stern, 1985). I stället för sedimentation kan man i alla fallen tänka sig att skilja faserna åt genom att använda en centrifug.

Rening av estern

Rening av esterbränslet krävs för att få bort kvarvarande glycerol, katalysator och fri alkohol. Du Plessis m fl (1983) har provat fyra olika sätt att få bort dessa restprodukter. Man kan tvätta med vatten, etylenglykol, glycerol eller hålla bränslet genom ett molekylsäll. Av dessa åtgärder befanns alla vara effektiva förutom molekylsället.

Vattentvätt

Det mest använda är vattentvätt. Glycerolen och katalysatorn löser sig nämligen i vattnet, till skillnad från estern. Vid vattentvättningen kan det bli problem med förtvålning. Risken för detta kan minskas genom att vattnet syrasätts. Syran neutraliserar katalysatorn och förhindrar därför förtvålningen. Fuls (1988) föreslår att natriummetoxid tillsätts, du Plessis m fl (1983) rekommenderar däremot fosforsyra, medan Junek m fl (1983) inte fick någon positiv effekt av syratillsättning utan istället anser att man skall värma vattnet till mellan 50 och 60°C. Tvättningen görs 2 - 4 gånger. Mellan varje tvätt tas vattnet och de i vattnet lösta produkterna bort genom att låta dessa sedimentera innan de tappas av. Man kan också centrifugera bort vattnet, vilket är snabbare och effektivare (Romano, 1982).

Den första tvätten måste tillsättas och omröras långsamt för att undvika möjligheten för bildandet av en emulsion mellan vattnet och estern. Detta inträffar sannolikt i någon av de första tvättarna när det fortfarande finns tillräckligt mycket alkohol och glycerol närvarande. Vid denna tidpunkt i processen kan båda dessa ämnen och natriumtvål, som bildats under reaktionen, förorsaka bildning av en emulsion i estern. Emulsionen gör att esterfasen ser grumlig ut. Till-sats av natriumsulfat minskar möjligheten att bilda emulsioner. Om en emulsion bildas kan den oftast brytas och lösningen räddas genom att syrasätta vattnet och röra om blandningen. Fosforsyra och citronsyra har används till detta med lika gott resultat. (Hussett och Uhlir, 1988).

Torkning

För att få bort allt vatten efter den sista tvätten, torkar man bränslet genom att värma det under reducerat tryck (för att undvika oxidation), eller behandla estern med något torkmedel, som sedan filtreras bort (du Plessis m fl, 1983). Ett alternativ till sedimenteringen eller centrifugeringen är att vakuumdestillera bränslet. Detta medför att man vid kondensationen, kan dela upp estern i tyngre och lättare fraktioner. Denna metod har inte något behov av ytterligare torkningsåtgärder, dock följer lite glycerol med, men den är lätt att sedimentera bort (Romano, 1982).

För en kontinuerlig process föreslår Kusy (1982) att reningen sker genom att man upphettar till 100°C och sedan renar esterbränslet med kväve. Man kan också tillsätta kalciumhydroxid och kalciumklorid som tar upp vattnet. Dessa ämnen filtreras sedan bort.

Vinterisera

För att undvika problem med att t ex bränslefiltret sätts igen vid kyla, kan bränslet förädlas ytterligare. Genom att kyla ner det till mellan -10 och -20°C följt av en filtrering får man bort vaxprodukter och kristalliserat vatten.

Rening av glycerolen

Glycerolfasen är en tjock, brun vätska som är löslig i vatten. Den innehåller det mesta av natriumhydroxiden och är därför mycket basisk och bör hanteras med varsamhet (Hassett och Uhlir, 1988).

Reningen av glycerolfasen görs i följande steg (Davidsohn, 1988). Först avdunstas alkoholen (flashevaporation). Därefter massiv avdunstning med en torkfilmsavdunstare, som klarar av att överföra stora värmemängder och kontinuerligt bortföra saltet och fett. När sedan glycerolen kondenseras fås kemiskt ren glycerol. De lättare fraktionerna får passera en efterföljande 2-stegskondensation för att skilja ifrån den sämre glycerolen.

ANVÄNDNING FÖR BIPRODUKTERNA

Vid framställning av omförestrad rapsolja får man rapsexpeller, glycerol, alkohol och katalysator som biprodukter. Möjligheterna att finna avsättning för respektive återanvända dessa har stor betydelse för processens ekonomiska förutsättningar.

Rapsexpeller / rapsmjöl

Restprodukten vid rapspressning blir rapsmjöl om oljan extraherats och rapsexpeller om oljan bara pressats ut. Rapsexpeller kan innehålla mellan 5 och 20 % olja beroende på pressningsmetod och förhållanden. I rapsmjölet finns däremot i stort sett ingen olja kvar.

Tabell 6. Kemisk sammansättning hos rapsexpeller och rapsmjöl i % av vikten (efter Larsson m fl, 1986)

Beståndsdel	Rapsexpeller	Rapsmjöl
Råfett	20	2
Råprotein	34	41
Växtråd	10	14
Kvävefria extraktivännen	29	34
Vatten	7	9

Foder

Rapsens innehåll av glykosinolater har begränsat rapskakans användning som foder till idisslare. Glykosinolaterna kan nämligen med hjälp av enzymet myrosinase som finns i fröet nedbrytas till giftiga föreningar i djurens matsmältningsapparat. Genom växtförädling har man fått ned halten glykosinolater i de dubbellåga sorterna från 100-150 till under 30 mikromol/kg som är gränsen för de dubbellåga sorterna. Man har också försökt att till de enkelmagade djurslagen höja energivärdet i rapskakan genom att ta fram trippellåga sorter, med tunnare skal. Dessa har dock haft problem med grobarheten.

Försök har visat att dubbellågt rapsmjöl kan ingå med upp till 10% i de enkelmagade djurens foderstat.

Gödselmedel

Rapsexpeller med 8% olja innehåller 5,8% N, 0,8% P och 1,3% K. Dessa växtnäringsämnen gör att rapsexpeller har ett värde som gödselmedel. Det finns också andra effekter av rapsexpeller som kan göra det intressant att använda till gödsel.

Det finns en rad uppgifter på att oljeväxtkakor från olika oljeväxter kan ha nitrifikationshämmande effekt, vilket ger ett förbättrat växtnäringsutnyttjande. Några uppgifter på att just rapsexpeller har denna egenskap har dock inte kunnat hittas.

Det finns många arbeten som pekar på att växtrester av brassicaarter kan ha fytoxisk verkan. Bland annat i Kanada har man funnit att stora mängder rapsskörderester kan reducera strållängden, torrvikten, rotutvecklingen och avkastningen hos ett flertal grödor. I dessa försök har korn, havre och vårvete drabbats värst.

Vitsenapsmjöl har visat sig ha en herbicid verkan på olika ogräs. Det är glykosinolaten som är den aktiva substansen varför även rapsexpeller av enkelläga sorter kan ha samma effekt. Man fann att om det spreds på ytan, minskade det mängden av småfröiga arter, medan man fick bättre effekt på de storfröiga arterna om vitsenapsmjölet brukades ned.

Rapsexpeller har också funnits ha nematicid verkan på betcystnematoden, som reducerades med 55%, troligtvis pga toxiska substanser.

Vitsenapsmjöl har givit effekt som biologiskt bekämpningsmedel i kålodlingar. Det lockar nämligen till sig fiender till larver av den lilla kålflugan. Det är också i detta fallet troligtvis glykosinolater som är den aktiva substansen, varför rapsexpeller från enkelläga sorter antas ha samma effekt.

Rapsexpeller är lika bra eller bättre som gödselmedel till majs och ärter men sämre än handelsgödsel och stallgödsel till stråsäd och oljeväxter. Detta beror huvudsakligen på dess höga C/N kvot som medför att det ger kväve under lång tid. Växtnäringsvärdet ligger på ca 0,70 kr/kg, vilket är mindre än en tredjedel av fodervärdet. Det kan dock värderas högre för vissa trädgårdsväxter där rapsexpeller förutom näringsvärdet också har inverkan som insektsmedel och ogräsbekämpningsmedel. För ricinolja som innehåller det toxiska ämnet ricin finns inte alternativet som fodermedel. (Fridefors 1991).

Bränsle

Rapsexpeller och rapsmjöl går även att använda som bränsle. Energivärdet för dessa är beroende av vilken oljehalt den har, eftersom oljan har mycket högre specifikt energinnehåll än övriga delar av fröet (se tabell 7).

Tabell 7. Specifik energi hos olika beståndsdelar i rapsexpeller (Norén, 1990)

Beståndsdel	Specifik energi, MJ/kg
Råfett	39,06
Råprotein	19,06
Växttråd	15,96
Kvävefria extraktivämen	17,94

För rapsexpeller med en oljehalt på 20% ligger värmevärdet på 21 MJ/kg, och för rapsmjöl med 2% olja blir värmevärdet 17 MJ/kg. Några praktiska försök med eldning av rapsexpeller eller rapsmjöl finns ännu inte. (Norén, 1990).

Glycerolen

Mängden glycerol vid omförestning är 10% av vikten på den omföresttrade oljan (Fuls, 1987). Denna kan renas och säljas, men det är bara lönsamt i större anläggningar, då reningsanläggningen medför en ytterligare kostnad. I en anläggning för produktion av 20 000 ton ester svarar glycerol återvinningen för 40% av investeringskostnaden för enbart omförestningsanläggningen (exkl. pressning). Dessutom krävs större kvantiteter för att glycerolen skall vara meningsfull att sälja. Glycerolen som bildas vid omförestning är dock lättare att ta tillvara än det som bildas vid tvåttillverkning. Om glycerolen inte renas medför det en kostnad att bli av med den (Vellguth, 1983). Glycerol används vid tillverkning av en mängd olika produkter, såsom smink, läkemedel och dynamit.

Alkoholen

Alkoholen som tillsätts i överskott för att få en hög omförestningsgrad destilleras bort efter reaktionens slut. Den destillerade alkoholen kondenseras sedan och återanvänds. Fuls (1987) rekommenderar att man endast återanvänder alkoholen i små kvantiteter då alkoholen innehåller några procent vatten.

Katalysatorn

Fuls (1987) anger att 90% av den använda katalysatorn hamnar i den tunga sedimenterade fasen. Katalysatorn kan lätt frånskiljas och användas på nytt.

OMFÖRESTRINGSANLÄGGNINGAR

Hur en omförestningsanläggning kommer att se ut beror mycket på produktionsvolymen. Vilken storlek som skulle vara den optimala är svårt att svara på. Många förordar gårdsanläggningar, men de som är i drift i Europa i dag är större kooperativa anläggningar eller stora industrianläggningar.

Lämplig anläggningsstorlek

Tabell 8. Exempel på produktionskedjan vid olika storlek på anläggningen.

Bränsleproduktion ton/år	Produktion av raps	Pressning	Omför- es- tring	Foder av- sättning	Bränsle avsättning	Bränsle- förbrukare
10-50	gård	gård		gård	gård	traktor
50-1000	gård	kooperation		gård	gård	traktor
1000-15000	gård	företag		försäljning	försäljning på mack eller till storförbrukare	traktorer och bilar
>15000	gård	företag A	företag B	försäljning	försäljning till oljebolag eller storförbrukare	bilar eller bussar

- 10-50 ton
- Efter att oljeväxten har skördats, pressas den på gårdsnivå i en kallpress, vilket kräver en relativt enkel och billig utrustning.
 - För den efterföljande förestringen finns i dag ingen utvecklad process. Processen är enkel men det krävs noggrann övervakning för att kunna garantera en hög kvalite. Explosionsrisken är också stor då metanol ingår.
 - Fodret används direkt till de egna djuren, vilket ger en enkel hantering och små lager.
 - Bränslet förbrukas i gårdens traktorer.
 - Minimala transporter
- 50-1000 ton
- Oljeväxten transporteras till den gemensamma anläggningen som kallpressar eller varmpressar oljan, med ett antal parallella pressar.
 - De kooperativa anläggningarna kan bygga upp övervakningssystem för att kunna garantera den efterfrågade kvaliteten. Det lönar

- sig däremot inte att återvinna biprodukterna utan dessa blir avfall.
- Bönderna får tillbaka både bränslet och foderkakan, vilket garanterar anläggningen en säker avsättning.
 - Produktionskedjan har få mellanhänder och kräver relativt lite transporter.
- 1000-15000 ton - Dessa anläggningar köper in frövaran från bönderna. Fröråvaran värms och i en del fall även krossas innan den pressas, för att få ut en större del av oljan.
- Omförestningen är effektiv och kan hålla hög verkningsgrad. I dessa anläggningar är det lönsamt att rena biprodukterna vilket ger bättre lönsamhet och mindre avfall.
 - Fodret säljs till foderfirmor.
 - Bränslet kan säljas på egna tappstationer eller till storförbrukare som tex kollektivtrafiken i en storstad, vilken kan betala mer för bränslet eftersom miljöfördelarna värderas högre.
- >15000 ton - I de riktigt stora anläggningarna sker kall- eller varmpressning och sedan extrahering, så att all olja utvinns.
- Oljan köps av ett speciellt företag som förestrar den. Rening och återvinning av biprodukten är väl utvecklad, med stora kvantiteter vilket ger bra priser.
 - Rapsmjölet säljs till foderfirmor.
 - Bränslet säljs till oljebolag eller till större förbrukare.
 - Transportavstånden blir här stora vilket försämrar energibalansen och ökar kostnaderna.

De anläggningar som finns idag, ligger i Österrike och är en anläggning som producerar 10 000 ton/år och flera mindre anläggningar som tillverkar omkring 500 ton/år. I Frankrike är en anläggning för produktion av 400 000 ton under byggnad. Alla storleksgrupper finns alltså representerade, förutom den minsta gruppen där produktionen sker på gården.

Utvecklingen i Frankrike

Den framställning av omförestrad vegetabilisk olja som pågår i dag i Frankrike är en försöksanläggning som tillverkar ca 300 t esterbränsle/år. Den ligger på en lantbruksskola. Det tillverkade bränslet har använts i ett flottförsök. (Langley-Danysz, 1990).

Testflottan i försöket bestod av traktorer, lastbilar, lastare och bilar som användes på ett spannmålskooperativ. Totalt var det ett 30-tal olika fordon som tillsammans kördes ca 1 miljon km. Bränslet var ren ester eller blandningar med upp till 80% diesel. I försöket analyserades bl a smörjförmågan, viskositeten, lösligheten med diesel, insprutarnas kondition, insprutningspumpen, förbrukningen och andra förändringar i motorn. Inga större skillnader jämfört med vanlig dieseldrift uppmättes. (Stern m fl, 1989).

Det byggs nu en omförestringsfabrik i Compiègne för 30 milj. kr. Den skall enbart omförestra redan pressad vegetabilisk olja och framställningen beräknas starta redan 1991. Produktionen beräknas till en början bli 25 000 t/år för att sedan öka till 500 000 t/år. Initiativet till fabriken kommer från de franska jordbrukarna som vill hitta nya avsättningar för sina produkter. I Frankrike odlas ca 700 000 ha oljeväxter med en genomsnittlig skörd på 3 t/ha. En areal på 400 000 ha oljeväxter kommer därför att gå till framställning av esterbränslet, då man räknar med att få 1,2 - 1,5 ton ester/ha. Genom att förädla fram hybridutsäde hoppas man kunna öka avkastningen till 2 ton ester/ha. Årsproduktionen på en halv miljon ton omförestrad rapsolja motsvarar ca 3% av den importerade dieseloljan. Importen av proteinfoder kan också minska med ca 20% från nuvarande värde av 1 miljard kronor. (Borde, 1990).

Ekonomi

Kostnaden för esterbränslet kommer enligt franska beräkningar att ligga på ca 2 kr/l i en anläggning som omförestrar 20 000 t/år. Då räknar de med att den vegetabiliska oljan kostar 2,25 kr/l i inköp och att förestringskostnad är 0,65 kr/l. Därtill kommer intäkt från försäljning av renad glycerol på ca 0,90 kr/l esterbränsle (Stern m fl, 1988). En ökad produktion till över 100 000 t/år, i en kontinuerlig omförestringsprocess, beräknas sänka omförestringskostnaden med 20 öre till 0,45 kr/l. Priset för den producerade estern skall jämföras med dieseloljan som i Frankrike kostar 3,05 kr/l, (inkl. 60 öre i skatt).

Det framställda fordonsbränslet är tänkt för kollektivtrafiken i de stora städerna. Eftersom det är de som svarar för en stor del av utsläppen i städerna. På längre sikt kan man också tänka sig att blanda in det i den vanliga dieseloljan.

Omförestringsprocessen

Omförestringen genomförs i två steg, för att kunna använda orenad vegetabilisk olja och alkohol som innehåller vatten. Om oljan innehåller mindre än 2% fria fettsyror och vattenfri alkohol används, genomförs endast steg 2.

- Steg 1 - Syrakatalysator och alkohol tillsätts oljan under omrörning. Temperaturen skall vara 100-130 °C.
- Sedimentation.
 - Glycerolfasen tappas av.
- Steg 2. - Basisk katalysator och alkohol tillsätts oljan. Temperaturen skall här vara 50-70 °C.
- Sedimentation.
 - Glycerolfasen tappas av.
 - Esterfasen renas genom att den först får passera en jonbytare och sedan förångas alkohol och vatten från esterfasen.

Glycerolfasen renas genom neutralisation och destillation.

U-land

Fransmännen tror att det kan vara nog så intressant för U-länderna att omföra vegetabilisk olja. Deras pris för dieselolja är högre då transport- och distributionsnätet är sämre. Det är tre förutsättningar som behöver utvecklas ytterligare för att det skall bli intressant.

- Få fram oljeväxter som kan odlas årligen och som kräver lite gödselmedel. De bör också ge bra skörd, över 2 t/ha, i deras varma klimat.
- Materialet till produktionsanläggningen bör till största delen vara inhemskt för att minska behovet av utländskt kapital.
- Utveckling av en kemisk industri som kan utnyttja glycerolen från omförestringen.

Befintliga anläggningar i Österrike

I Österrike finns flera fullskaleanläggningar. Nedan tas två av anläggningarna upp. Dessa två har helt olika förutsättningar och kan vara exempel på olika storlekar för praktisk drift. Alla anläggningarna framställer bränslet satsvis. Staten bidrar med ca 50% av anläggningskostnaden.

Neulengbach

Anläggningen i Neulengbach byggdes av Vogel & Noot. Beställare var 293 lantbrukare som tillsammans bildat ett kooperativ som också driver anläggningen.

Omföresttringsprocessen bygger på ett patent från Junek och Mittelbach. Först pressas oljan i åtta stycken skruvpressar och filtreras. Därefter omföresttrings oljan med metanol och kaliumhydroxid. Oljan får reagera med metanol i två



Figur 14. Omförestningsanläggningen i anläggningen i Neulengbach (foto: Sven Bernesson).

omgångar för att få en hög omförestningsgrad. Glycerolfasen renas ej utan eldas upp eller sprids ut på åkrarna som kaliumgödselmedel. Energibalansen är enligt Franz Parrer 1:2,5.

Investeringskostnaden var drygt 4,45 milj. kronor. Anläggningen finansierades med medlemmarnas bidrag, lokala stöd och ett statligt stöd på 50% av anläggningskostnaden.

Tabell 9. Investeringskostnaden för anläggningen i Neulengbach, när den byggdes 1989 (Blochberger och Parrer, 1989)

Kapitalkostnad	kr
Maskinutrustning	2 350 000
Byggnad	1 400 000
Fastighet	150 000
Övrigt	550 000

Totalt	4 450 000

Anläggningen finansieras av medlemmarnas insatser som är 2550 kr/ha och har en sammanlagd kapacitet på 500 ton esterbränsle per år. Delägarnas sammanlagda areal är på 300 ha solrosor och 200 ha raps. De betalar förutom insatsen 0,76 kr/kg frö som processas. För detta får de tillbaka esterbränslet och rapsexpellen. Böndernas täckningsbidrag blir då knappt 5000 kr/ha. (Blochberger och Parrer, 1989)

Tabell 10. Täckningsbidraget för raps till de bönder som ingår i Kooperationen som driver omförestningsanläggningen i Neulengbach (Blochberger och Parrer, 1989)

	kr
Värdet av 1000 l RME	3 200
Värdet av 2000 kg oljekaka	3 000
Arealbidrag	2 500
Produktionsbidrag	3 370
Förädlingskostnad	-2 000
Rörliga specialkostnader	-5 260

Täckningsbidrag	4 810

Anläggningen byggdes av Gaskoks Vertriebs, Prochaska & Cie och bondekooperativa OÖ Warenvermittlung. Investeringskostnaden var 45 milj. kronor.

Omförestningsprocessen bygger på ett eget patent som energiföretaget Gaskoks Vertriebs fått. Tillverkningen går till så att rapsfröet först mals i en valspress varefter det uppvärms till 60-70°C och pressas i en skruvpress. Expellern säljs som djurfoder och innehåller 6-8% olja. Rapsoljan avslemmas och neutraliseras innan den omförestnas. Omförestningen utförs med metanol och natriumhydroxid. Estern renas genom destillation av metanolen och neutralisation med citronsyra och vinteriseras varefter den är färdig för försäljning. Glycerinet och alkoholen renas och säljs respektive återanvänds. Energibalansen är enligt företaget 1:2,2. (Vernesson, 1991).

Kapaciteten på fabriken är 30 000 ton rapsfrö per år vilket ger 10 500 ton rapsmetylester, 18 000 ton rapsexpeller och 1000 ton glycerol. Rapsfröet köps in till världsmarknadspris (0,72 kr/kg), glycerolen följer också världsmarknadspriset, rapskakan följer det inhemska priset på sojamjöl och rapsmetylestern säljs för 4:60 kr/l vilket är 1 öre mer än priset på diesel. Försäljningen sker vid bensinpumpar i anslutning till de kooperativa spannmålscentralerna.

Aschach

Figur 15. Omförestningsanläggningen i Aschach under byggnad. I bakgrunden syns de befintliga lagringssilos (foto: Sven Bernesson).

Bonden får däremot 2,70 kr/kg för rapsfröet och dessutom ett arealbidrag på 2550 kr/ha

EKONOMI

Omförestring och pressning

Kostnadskalkyl för oljepressning och omförestring i tabell 11, bygger på Österrikiska beräkningar utförda 1988 (Janetschek, 1989). Kostnaderna är beräknade värden då ingen anläggning hade varit igång tillräckligt lång tid. De österrikiska kostnaderna är omräknade till svenska med kursen 1 österrikisk shilling = 0,50 svenska kronor (1/12 1989). Priserna är sedan uppräknade till dagens priser (1/7 1991) med producentprisindex på 1,17. Vad som ligger bakom kostnaderna, har ej varit möjligt att få fram. Prisnivån i Österrike är något högre än i Sverige, så kostnaderna kan vara något överskattade.

De två anläggningsstorlekarna i kalkylen är beräkningar som gjordes på de två tidigare beskrivna anläggningarna i Neulengbach och Aschach, innan de var klara för produktion.

Tabell 11. Anläggnings- och processkostnader för pressning och omförestring av vegetabilisk olja, kr/l omförestat bränsle (efter Janetschek, 1989)

	anläggning 1	anläggning 2
Produktion ton /år	13 000	400
Energikostnader	0,33	0,13
Kemikalier + vatten	0,24	0,50
Underhåll	0,10	0,14
Personalkostnader	0,13	0,24
	-----	-----
Rörliga kostnader (R)	0,80	1,01
Kapitalkostnader	0,39	1,19
Gemensamma kostnader	0,04	0,21
	-----	-----
Fasta kostnader (F)	0,43	1,40
Framställnings kostnad (R+F)	1,23	2,41
Lagring och transport	0,62	0,54
	-----	-----
Omförestrings kostnad	1,85	2,95

Omförestringskostnaden på 1,85 för anläggning 1 kan jämföras med tyska kalkyler som räknar med en kostnad för transport, utvinning, omförestring och marknadsföring på 2,24 kr/l i en anläggning för produktion av 12 000 ton olja/år (Scharmer, 1989). Kostnadsberäkningar från Sydafrika redovisar en pressningskostnad på 0,80 kr/kg och en omförestringskostnad på 0,95 kr/kg, vilket ger en framställningskostnad på 1,75 kr/kg i en anläggning som producerar 370 ton/år (J. Fuls, pers. medd., 1989). Denna kostnad ligger betydligt lägre än i anläggning 2 som har liknande kapacitet, men en framställningskostnad på 2,41 kr/kg.

Fröpriset

Fröpriset för 1991 ligger på 2,75 för dubbellåg vara. Priset följer de övriga sädeslagen och strävar efter att hålla oljeväxtarealen på den nuvarande nivån.

Världsmarknadspriset ligger på ca 1,20 kr/kg. Om frövaran skall användas till foder eller livsmedel läggs en fettvaruavgift på 6 kr/kg till detta pris. Skall den däremot användas till tekniska ändamål, vilket bränsle naturligtvis räknas till, finns det ingen fettvaruavgift. Detta innebär att man kan köpa rapsfrö för tekniska ändamål till s k världsmarknadspris från jordbrukverkets oljeväxtkontor. Det priset ligger dock inte på 1,20, utan är ett viktat pris mellan inhemskt pris på expellerdelen (2,00 kr/kg) och världsmarknadspris på oljedelen (2,60 kr/kg). Till detta läggs en beräknad transportkostnad och en pressningskostnad dras bort (Jordbruksverket pers. medd. 1991). Priset blir då ca 2,20 kr/kg rapsfrö ($0,68 \cdot 2,00 + 0,32 \cdot 2,60 + 0,15 - 0,15 = 2,20$ kr/l, 17/10 1991). Detta regleringssystem för oljeväxter varar fram till 1996.

Expeller och mjöl

Rapsexpeller med 12% oljehalt betingar ett pris på 0,72 kr/kg på världsmarknaden (Kenneth Hellquist, personligt medd., 1991). Sedan ligger det 1,10 kr/kg i införselavgifter och 0,15 kr/kg i transporter till Sverige. En fodermedelstillverkare kan därför köpa rapsexpeller till ett pris av ca 2 kr/kg. För att bonden skall få det fraktat och förmedlat ut till gården kan man räkna med ytterligare ca 0,15 kr/kg, vilket ger ett värde på 2,15 kr/kg hos förbrukaren. Värdet sjunker om oljehalten är lägre. Rapsmjöl som har en oljehalt på någon procent, ligger därför 10 öre lägre i pris.

Priset på expellen kan också beräknas genom att räkna ut värdet av expellen då den ersätter korn och sojamjöl, i foderstater för nöt, svin och värphöns (Nils Jonsson pers. medd., 1989). Om man räknar med ett kornpris på 1,30 kr/kg och ett sojapris på 2,52 kr/kg, fås ett fodervärde på 2,11-2,23 kr/kg för expellen (20%

olja). Att detta pris ligger högre än det tidigare beror dels på att man räknar på en högre oljehalt och dels på att rapsexpellen på marknaden är något undervärderad i förhållande till sojamjölet.

Rapsexpeller med 8% olja innehåller 5,8% N, 0,8% P och 1,3% K. Dessa växtnäringsämnen ger ett värde värde på rapsexpellen, som hämtats från kostnaden på handelsgödsel, på 50 öre för N (8 kr/kgN), 15 öre för P (18 kr/kgP) och 5 öre för K (5 kr/kg), på 0,70 kr/kg rapsexpeller om man använder expellen som gödselmedel (Fridefors, 1991).

Rapsexpellen kan sammanfattningsvis värderas till 2,00 kr/kg då den kan säljas som foder på den svenska marknaden. Om expellen produceras i en gårds- eller kooperativ anläggning kan den värderas något högre, ca 2,15 kr/kg, under förutsättning att den kan avsättas i anläggningens närhet. Finns en överproduktion kan expellen säljas på export eller användas som gödselmedel vilket i båda fallen ger den ett värde av 0,70 kr/kg.

Glycerol

I den stora anläggningen renas och säljs också glycerolen till världsmarknadspriis på 2,50 kr/kg (Runesson, 1991). För något år sedan låg priset på över det dubbla, men på grund av ökad produktion och minskad efterfrågan har det sjunkit. Priset på glycerol borde därför inte sjunka ytterligare.

Omställningsbidrag

Hemmapressning av olja är godkänd som omställningsåtgärd. Man anser att pressning av oljevaxter ger alltför hög andel foder, men så länge det sker i liten skala är det alltså tillåtet som omställning. Omställningsbidraget på 10 000 kr/ha ger en ränta på 1000 kr/ha & år. Det medför att bidraget om man räknar med att få 1000 l/ha blir 1,00 kr/l omförestrad olja.

Anläggningsstorlekens betydelse

Liksom tidigare bygger kalkylerna på de två österrikiska anläggningarna i Neulengbach respektive Aschach.

De två anläggningarna har något olika pressningsförfarande. I den större anläggningen krossas fröna först och sedan varmpressas oljan vilket gör att det endast behövs 2,4 kg frö/kg olja. Den mindre anläggningen kallpressar enbart ur oljan och kräver då 2,6 kg frö/kg olja. Den mindre anläggningen har en frökostnad på 2,75 kr/l då fröet tas direkt från bönderna, medan den större

anläggningen köper fröråvaran från oljeväxtkontoret. Expellen från den mindre anläggningen innehåller mer olja och kan avsättas i närheten vilket ger den ett högre värde. Det är endast i den stora anläggningen som glycerolen återvinns.

Tabell 12. Kostnads kalkyl för pressning och omförestring av vegetabilisk olja, kr/l omförestrat bränsle (efter Janetschek, 1989 och egna beräkningar)

Produktion ton /år	anläggning 1 13 000		anläggning 2 400	
Omförestrings kostnad		1,85		2,95
Rapsfrökostnad	2,20kr/kg·2,4kg/l	5,30	2,75kr/kg·2,6kg/l	7,15
Rapsfoder	2,00kr/kg·1,4kg/l	-2,80	2,20kr/kg·1,6kg/l	-3,50
Glycerol	2,50kr/kg·0,1kg/l	-0,25		
Omställningsbidrag			10000·0,1/1000 kr/l	-1,00
Total kostnad kr/l		4,10		5,60

Känslighetsanalys

Det omförestrede bränslets pris varierar inte bara med storleken på anläggningen, utan är också mycket beroende av priset man får betala för fröråvaran och hur mycket man kan få ut för expellen och glycerolen.

Det kan därför vara värdefullt att se hur känsligt esterbränslet är för förändringar av priserna på fröråvaran och biprodukterna. Med de priser som gäller i dag ligger kostnaden för en liter omförestred rapsolja på 4,10 kr. Skulle priserna på expellen och glycerolen sjunka maximalt om det t ex blir överproduktion på expeller så att det får säljas till världsmarknadspris, och glycerolen dessutom inte går att sälja. Kostnaden för bränslet ökar då med två kronor till 7,15 kr/l. Om man istället tänker sig att expellens värde ökar med 1,00 kr samtidigt som världsmarknadspriset på glycerol ökar till det dubbla, då sjunker också priset på esterbränslet med nästan 2 kr, till 2,45 kr/l. Om man räknar med det pris på oljeväxtfrö som bönderna får, stiger kostnaden för bränslet med över en krona. När Sverige i en framtid eventuellt blir med i EG kommer det också att påverka förutsättningarna för produktion av rapsmetylester. En kalkyl för Tyskland med världsmarknadspriser på expeller, glycerol och fröpris ger en produktionskostnad på 3,50 kr/l.

Tabell 13. Esterbränsleproduktionens inverkan av priserna på fröråvaran och bi-produkterna. Kalkylen bygger på produktion av 13 000 ton olja/år.

	Sverige			EG	
	Nuvarande pris	Lågt pris på biprod.	Högt pris på biprod.	Inhemskt pris på rapsfrö	Tysklands priser
Rapsfrö kr/kg (2,4 kg/l olja)	2,20	2,20	2,20	2,75	1,20
Expeller kr/kg (1,4 kg/l olja)	2,00	0,70	3,00	2,00	0,70
Glycerol kr/kg (0,1 kg/l olja)	2,50	0	5,00	2,50	2,50
Omförestring kr/l	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
Kostnad (kr/l ester)	4,10	6,15	2,45	5,40	3,50

Den totala kostnaden för esterbränslet på 5,20 kr/l skall jämföras med dagens dieseloljepris på 3,00 kr/l (varav 1,26 kr/l är skatt), därtill kommer också moms på 0,75 kr/l (Statoil Svenska AB, pers. medd., 19/9 1991).

DISKUSSION

På kort sikt skulle man med fördel kunna omförestra de 60 000 ton olja som nu exporteras till låga världsmarknadspriser. Den bränslemängden motsvarar ungefär 20% av fordonsbränslebehovet i det svenska jordbruket. På lite längre sikt skulle man även kunna pressa olja utav de 40 000 ton frö som nu exporteras. Oljeväxtodlingen skulle också kunna öka till 200 000 ha. Sammanlagt skulle detta ge ytterligare 40 000 ton omförestrad rapsolja.

Avsättningsmängden i Sverige är 260 000 ton expeller/år alternativt 300 000 ton extraktionsmjöl/år (Larsson m fl, 1986). Om mängden pressad olja skulle öka till 100 000 ton närmar sig restprodukten dessa gränser. Det medför att priset på expeller och rapsmjöl då sannolikt skulle sjunka. Ytterligare ökad satsning på produktion av omförestrad rapsolja skulle medföra en överproduktion av proteinfoder. Alternativet till att använda expeller som foder är att använda restprodukten till gödselmedel eller bränsle, vilket inte sätter några mängdbegränsningar, men ger en sämre lönsamhet.

Den nuvarande oljeväxtarealen skulle kunna öka från 165 000 till 200 000 ha, främst i de norra delarna av landet (Norén, 1990). Ytterligare ökning av arealen hindras av växtföljdssjukdomar och skadeinsekter, som medför att odling endast bör ske var sjätte år. För att kunna få fram mer vegetabilisk olja krävs därför forskning för att ta fram andra växter som t ex oljetisteln vilken inte har några restriktioner vad gäller växtföljden. Även solrosor skulle kunna bli ett alternativ i framtiden.

Det beräknade priset för omförestrad rapsolja på 4,10 kr/l i jämförelse med dieselpriset på 3,00 kr/l inkl skatt innebär att skattebefriad rapsolja skulle kunna konkurrera som ett svenskt högkvalitativt miljövänligt bränsle. Det kan därför komma i fråga för användare som kan tänkas betala lite mer för ett miljövänligare alternativ, tex stadsbussar. För att ytterligare kunna konkurrera med dieselolja behöver körning på omförestrad rapsolja befrias från kilometerskatt eller behövs ett investeringsbidrag vid uppförandet av omföreststringsanläggningen. Det bör vid en investeringsbedömning också observeras att kostnaden för den omföresttrade rapsoljan är mycket känsligt för variationer av priset på rapsfröt.

Intresset för att köra på omförestrad vegetabilisk olja är stort. Trots att det inte finns någon produktion av bränslet i norden, finns det redan många fordonsägare både i Finland, Norge och Sverige som provat att hålla det i sina dieselfordon.

Produktion av 100 000 ton omförestrad rapsolja ersätter endast en liten del av Sveriges drivmedelsbehov. Satsning på detta bränsle utesluter därför inte andra förnybara alternativ som etanol och biogas. Det är dock en bra början både i försöken att minska utsläppen av CO₂ och överskottet i svensk jordbruksproduktion.

LITTERATURLISTA

- Bengtsson. 1991. Vårrops och vårrybssorterna 1991. Svensk frötidning nr 2. s 6-10.
- Bernesson, S. 1990. Vegetabilisk olja som drivmedel i förbränningsmotorer med inre förbränning - egenskaper och tillämpad teknik. Institutionen för lantbruksteknik. Institutionsmeddelande 90:07. 35 s. Uppsala.
- Bio-Energy Ges.m.b.H. 1991. Bio Diesel, Der neue Kraftstoff aus Raps. Informationsstand 1990. Wien.
- Bio-energy Technology LTD. 1987. Bio-fuel Production. European Patent Application nr 87305141.1. 10 s. London.
- Blochberger L.R. och Parrer F. 1989. Presseinformation. 23 s. Wien, Neulengbach.
- Borde V. 1990. Pour moins polluer, du colza dans le diesel. In: Industries et Techniques, 7 décembre 1990.
- Davidsohn, A. 1988. Modern Production Technology for Fatty Acid Methylester - Derived Surfactants and Soap. Seifen - Öle - Fette - Wachse - 114.Jg. - Nr. 15. s 595-600.
- Exab. 1989. Broschyrmaterial. Exab svensk oljeextraktion AB. Karlshamn.
- FAO yearbook of production (vol. 42), 1988. FAO Statistics Series No. 88, ISSN 0071-7118. Rom.
- Freedman, B., Pryde, E.H. & Mounts, T.L. 1984. Variables affecting yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. Journal of the American Oil Chemists Society. Vol 61, no10, s. 1638-1642.
- Freedman, B. & Pryde, E.H. 1982. Fatty esters from vegetable oils for use as a Diesel Fuel. Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, North Dakota, August 2-4 1982. ASAE publication 4-82, s. 117-123. St Joseph, MI, USA.
- Fridefors L. 1991. Rapsexpeller som gödselmedel. Examensarbete vid Institutionen för markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet. 65 s. Uppsala.
- Frö- och oljeväxtodlarna. 1991. Vi sätter färg på Sverige. Verksamhetsberättelse 1989/1990.

- Fuls, J., Hawkins, C.S. & Hugo, J.C. 1981. Laboratory procedures for investigating some fuel properties of sunflower oil esters in diesel engines. Paper presented at the third international conference on engine energy use management, Berlin, October 26-30 1981, s 1611-1774. Division of Agricultural engineering, South Africa.
- Fuls, J., Hawkins, C.S. & Hugo, J.C. 1983. Sunflower oil esters: an alternative fuel for direct injection diesel engines. International Off-Highway Meeting & Exposition Milwaukee, September 12-15 1983. SAE 831356, 10 s. Warrendale, USA.
- Fuls, J. 1987. Notes on vegetable oil derived fuel for diesel engines. Report from Department of Agriculture & Water Supply, 9 s. Silverton, South Africa.
- Fuls, J. 1988. Processing sunflower seed for diesel engine fuel. Report from Department of Agriculture & Water Supply, 16 s. Silverton, South Africa.
- Hassett D. J. och Uhler J. E. 1988. The Design, Construction, and Operation of a Plant to Produce Vegetable Oil Methyl Esters for Use as Diesel Fuel. Energy & Environmental Research Center, University of North Dakota. 26s. North Dakota.
- Hawkins C.S., Fuls J. och Hugo F.J.C. 1981. Laboratory Procedures for Investigating some Fuel Properties of Sunflower Oil Esters in Diesel Engines. Papers presented at the Third International Conference on Energy Use Management 26-30 Okt. West Berlin.
- Henkel KGaA. 1984. Verfahren zur Herstellung von Fettsäureestern kurzketziger aliphatischer Alkohole aus freie Fettsäuren enthaltenden Fetten und/oder Öhlen. EP 0 127 104 A1. 22 s. European Patent Office. Haag.
- Institut Francais du Petrole. 1990. Esterifip process for diesel fuel extenders. 4 s. IFP Industrial division - Fine chemicals.
- Janetschek, H. 1989. Einsatzmöglichkeiten und -grenzen des Rapsölmetylesters. Beratungsservice, Heft 12 1989, 37 Jahrgang. s. 73-80. Österreich.
- Junek, H., Mittelbach, M., Pernkopf, J. & Wörgetter, M. 1983. Diesel fuel derived from vegetable oils: preparation and use of rape oil methyl ester. Energi in Agriculture, 2(1983), s. 369-384. Amsterdam: Elsevier.
- Klopfstein W.E. and Walker H.S. 1983. Efficiencies of Various Esters of Fatty Acids as Diesel Fuels. Department of Mechanical Engineering, Kansas State University, Manhattan, KS 66506. JAOCS, vol.60, no. 8 (August 1983).

- Kusy, P.F. 1982. Transesterification of vegetable oils for fuels. Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, North Dakota, August 2-4 1982. ASAE publication 4-82, s 127-137. St Joseph, MI, USA.
- Langley-Danysz P. 1990. Mettez du colza dans votre moteur! In: Revue des Ingénieurs Agronomes, 26 mars - 9 avril 1990.
- Larsson, K., Jonsson, N., Sundell, B. & Nordström, O. 1986. Tekniska och ekonomiska förutsättningar för kallpressning av oljeväxtfrö på gårdsnivå. Stencil JTI, 47 s.
- Linstromberg W.W. och Baumgarten H.E. 1980. Organisk kemi. 400 s. Liber läromedel. Malmö.
- Magnusson, G. & Hermansson, G. (red.) 1989. Vegetabiliska oljor och fetter. 100 s. Karlshamn: Karlshamns AB, Oils and Fats.
- Norén O. 1990. Rapsolja för tekniska ändamål - framställning och användning. Jordbrukstekniska institutet, meddelande nr 429. 60s. Uppsala.
- Olsson. 1990. Internationell rapsinformation. Svensk frötidning nr 4. s 19-20.
- Pernkopf, 1985. The commercial and practical aspects of utilizing vegetable oils as diesel fuel substitute. Proceedings from the BioEnergy -84 Conference, June 18-21 in Gothenburg, Vol.1, s 419-426. Barking, England: Elsevier.
- Pernkopf J. und Wörgetter M. 1981. Kraftstoffe auf Basis von Fetten und fetten Ölen. Österreichische Ingenieur-Zeitschrift, Heft 6, Jg. 24 (1981). New York.
- Pernkopf, J., Schrottmaier, J. & Wörgetter, M. 1989. Pflanzenöl als kraftstoff. Eine Zwischenbilanz from Bundesanstalt für Landtechnik, 21 s. Wieselburg, Österreich.
- du Plessis, L.M., Hawkins, C.S. & de Villers, J.B.B. 1983. Methods of preparing and purifying methyl and ethyl fatty acid esters from sunflowerseed oil. SAE, 9 s. Österreich.
- Peterson C.L., Auld D.L. och Korus R.A. 1982. Winter Rape Oil Fuel for Diesel Engines: Recovery and Utilization. Papers from the symposium on Vegetable Oils as Diesel Fuels presented at the 73rd AOCS Annual Meeting, May 2-6, 1982. Toronto.

- Romano, S. 1982. Vegetable oils - a new alternative. Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, North Dakota, August 2-4 1982. American Society of Agricultural Engineers, s. 106-116. St Joseph, MI, USA.
- Scharmer K. 1990. Kraftstoff aus Rapsöl - Chancen für die deutsche Landwirtschaft. Raps 8.Jg (2).
- Statens maskinprovningar. 1987. Rapsolja som bränsle i dieselmotorer. Statens maskinprovningar meddelande nr 3106. Uppsala.
- Stern R., Hillon G., Gateau P. och Guibet J.C. 1985. Preparation of Methyl and Ethyl Esters from Crude Vegetable Oils and Soapstock. Proceedings from : World conference of Engineering Technologie of Fats from Oilkernels. Rueil-Malmaison, France.
- Stern R., Montagne X., Hillon G., Guibet J.C. och Torck B. 1989. Les esters métyliques des huiles végétales comme substituts du gazole - production, utilisation, coût. In: Biomass for energy and industry, 5th E.C. Conference, Lisbonne 9-13 oct. 1989, Vol.:2, s. 852-854. Elsevier Applied Science.
- Stern R., Perdu O. och Hillion G. 1988. Gasoils de substitution á parti d'esters d'huiles végétales : une opportunité pour certains pays? In: Revue de l'IFP, Vol. 43, n°6, novembre-décembre 1988.
- Vellguth, G. 1983. Performance of Vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines. International Off-Highway Meeting & Exposition Milwaukee, September 12-15 1983. SAE 831356, 10 s. Warrendale, USA.
- Vellguth, G. 1984. Field tests of a DI-diesel tractor with metylesters of rape oil as alternative fuel. Proceedings from the BioEnergy -84 Conferance, June 18-21 in Gothenburg, Vol.1, s. 215-222. Barking, England: Elsevier.
- Vernesson L. 1991. Österrrike satsar på rapsdiesel. ATL nr.27 (5 juli).
- Weidmann K. och Menrad H. 1989. Rapsöl-Methylester im Dieselmotor. Motor-technische Zeitschrift 50. s 69-73.
- Wurst F., Boos R., Prey T., Scheidl K. och Wörgetter M. 1990. Emissionen beim Einsatz von Rapsölmethylester an einem Prüfstandsmotor. Forschungsberichte der Bundesanstalt Für Landtechnik, Wieselburg. 65 s.
- Wörgetter, M. 1989. Biodiesel - forschung in Österreich. Rapport von Bundesanstalt für Landtechnik, 15 s. Wieselburg, Österreich.

Önorm C 1190. 1991. Rapsölmetylester, Anforderungen. Österreichisches Norminstitut. 2 s. Wien.

Personliga meddelanden från:

A. Runesson. 1991. Karlshamn AB. Karlshamn.

J.Fuls. 1989. Department of Agricultural & Water Supply, Silverton, South Africa.

K. Hellquist. 1991. Exab Foder AB. Karlshamn.

N. Jonsson. 1989. Jordbrukstekniska institutet. Uppsala.

Jordbruksverkets oljeväxtkontor. 1991. Malmö.

H. Schindlbauer. 1991. Technische universität. Wien.

Svalöf AB. 1991. Svalöf.

Svenska Statoil AB. 1991. Uppsala.

Weibull AB. 1991. Kvänum.

Vellguth. 1989, 1991. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig, BRD.

BILAGA

Två exempel på hur anläggningar kan vara uppbyggda i praktiken.

Institut Francais du Petrole

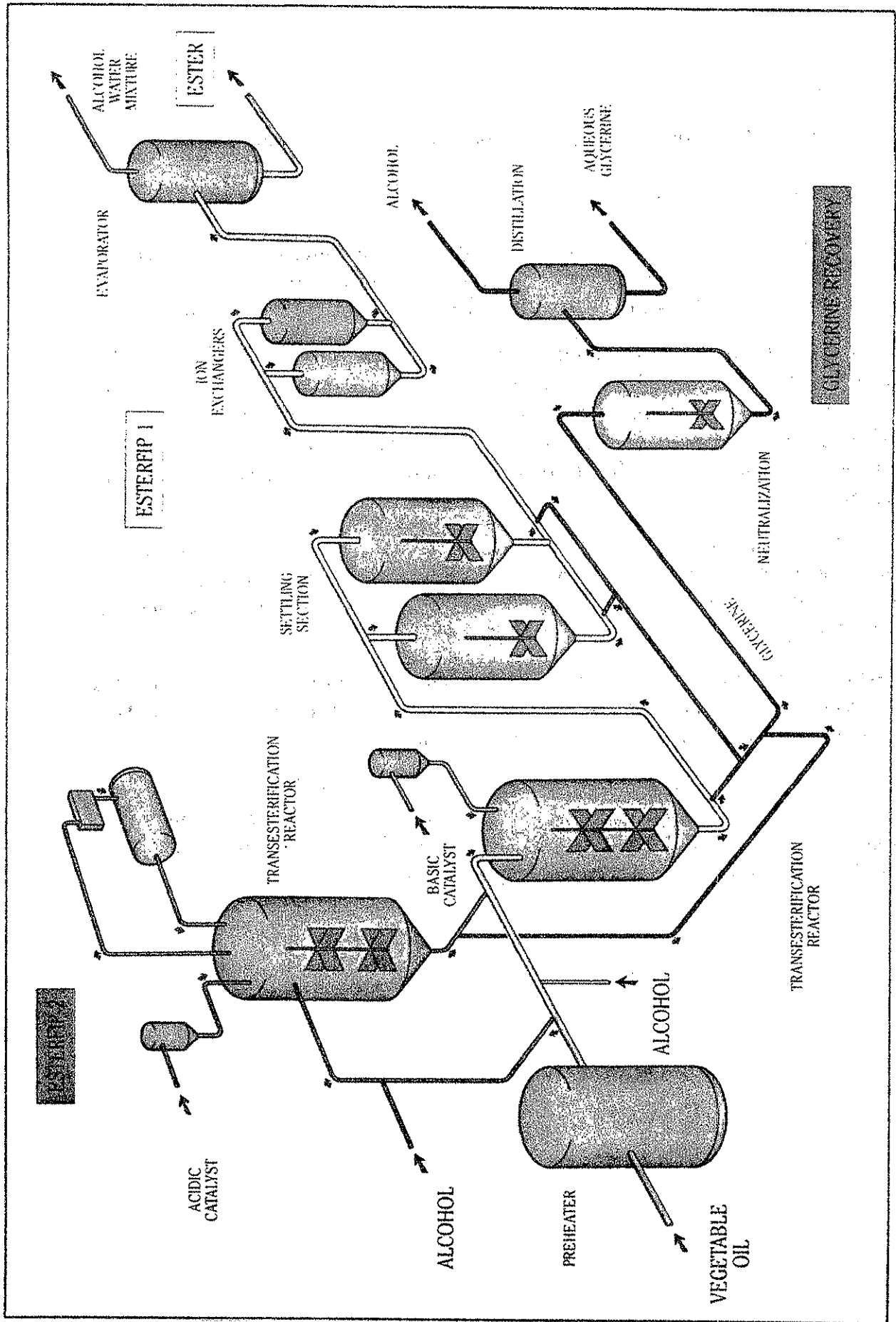
I Frankrike (Stern m fl, 1985) har man tagit fram en omförestringsprocess som skall användas för att framställa rapsmetylester i stor skala. Framställningen beskrivs översiktligt nedan (fig.16, Institut Francais du Petrole, 1990).

Om den vegetabiliska oljan innehåller mycket fria fettsyror eller om alkoholen innehåller vatten genomförs ett inledande steg då man tillsätter en syrakatalysator. Det ger en förestring av 80-90% av oljan efter 3-6 timmar. Då har också 90% av glycerolen och vattnet separerat. Genom att sedan värma upp blandningen reagerar också de fria fettsyrorerna och bildar estrar. Efter 1-2 timmar är det mindre än 1% fria fettsyror i estrarna.

I det andra steget tillsätts en basisk katalysator, för att uppnå 96-98% utbyte. När reaktionen är avslutad och faserna separerat får vi en glycerinfas som består av spår av syrakatalysator, glycerol, en del av alkoholen, vatten och salt av fria fettsyror.

Glycerolfasen tappas av, neutraliseras och dess innehåll av alkohol destilleras bort. Esterfasen som är kvar får passera en jonbytare. Därefter förångas alkoholen för att sänka flampunkten på esterbränslet.

Om den vegetabiliska oljan är renad och därför inte innehåller mindre än 1% fria fettsyror och vattenfri alkohol används, kan man hoppa över det inledande steget med syrakatalysator (esterifip 2). Oljan genomgår då endast det andra steget med användning av basisk katalysator (esterifip 1).



Figur 16. Omförestningsanläggning från Frankrike.

University of North Dakota.

Hasset och Uhlir (1988) har byggt och drivit en satsanläggning för framställning av 2000 l solrosmetylester per sats. Framställningsproceduren beskrivs i korta drag nedan (fig. 17).

När 2000 l vegetabilisk olja har fyllts på i den första tanken (synthesis tank) stängs alla ventiler. Därefter fylls två 210 l tankar fylls med alkohol. I varje tank blandas sedan 6.8 kg natriumhydroxid.

Ventilerna 1 och 2 öppnas och pump 1 startas. Därefter startas också värmeelementet. När oljan nått en temperatur av 40°C stannas pumpen och ventilerna stängs. Alkoholblandningen tillförs sedan oljan genom att öppna ventilerna 2, 3 och 4 samtidigt som pumpen startas. Blandningen är inte löslig i oljan och bildar därför ett lager ovanpå den.

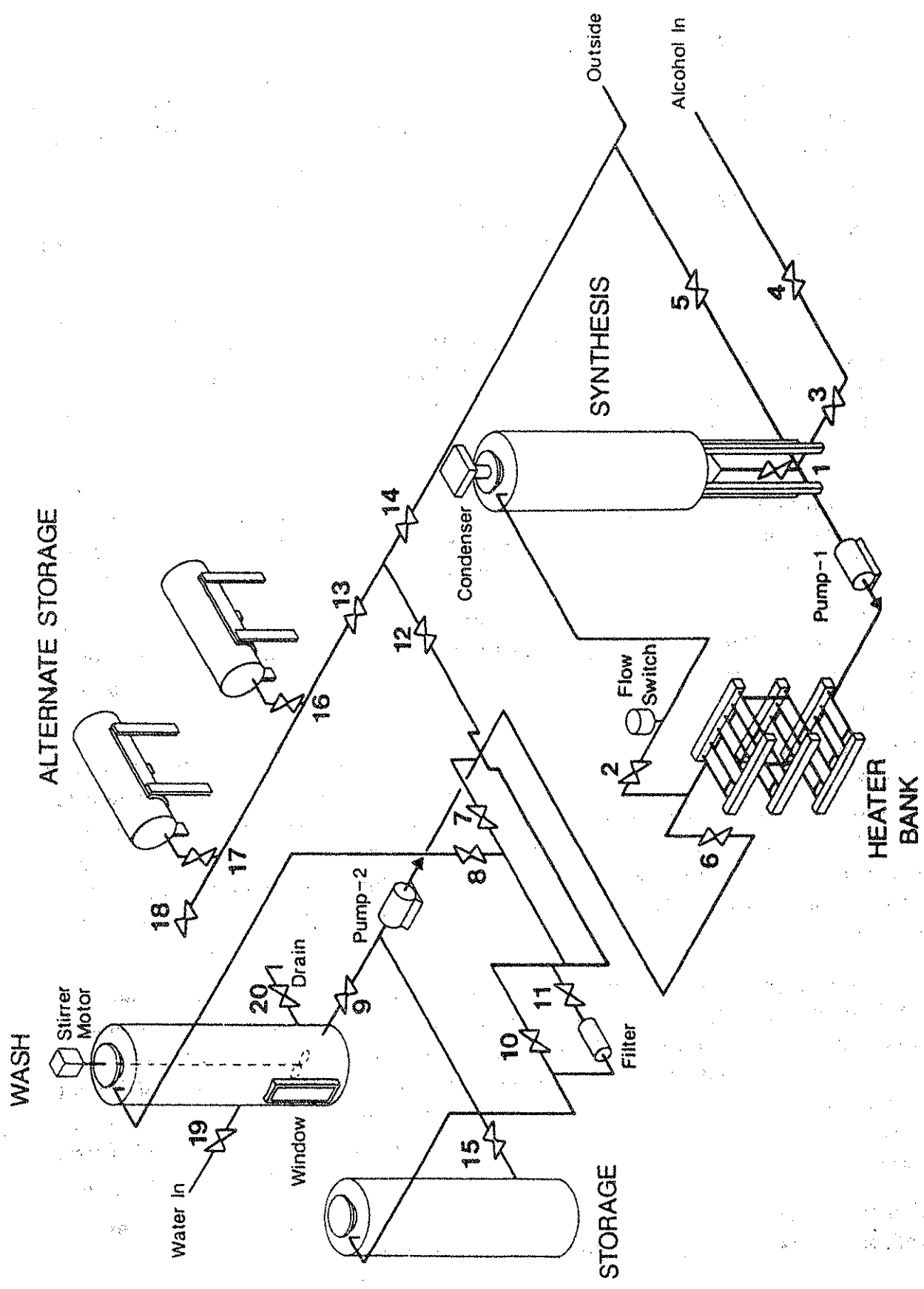
Genom att än en gång öppna ventilerna 1 och 2, och starta pump 1 och värmeelementet blandas oljan och alkoholen vilket medför att reaktionen kommer i gång. Blandningen hålls vid en temperatur på 60°C i ca 1 timma. Pumpen och ventilerna stängs därefter av och blandningen får sedimentera över natten.

Glycerolfasen som lägger sig på botten av den koniska tanken tappas av genom att öppna ventilerna 1, 3 och 4. Detta är enkelt att utföra då glycerolfasen är brun och tjockflytande och bildar en klar avgränsat skikt mot den gula esterfasen.

Därefter förs esterfasen över till tank 2 (wash tank), genom att öppna ventilerna 1, 6, 7 och 8 och starta pump 1. Ca 570 l vatten tillsätts sedan genom en ventil i botten av tanken. Detta vatten måste till en början tillsättas mycket försiktigt för att undvika tvålbildning. Efter det att vattnet har tillsatts rörs blandningen om i mellan 1 och 3 timmar. Vattnet dräneras sedan bort genom att öppna en ventil i botten. Med hjälp av ett fönster på behållaren ser man när allt vatten är avtappat.

Tvättningproceduren ovan repeteras 5 ggr. I slutet av tvättningen blir det använda vattnet klarare vilket visar att det mesta av natriumkloriden är borttaget. Innehållet av natriumklorid reduceras med denna vattentvätt till mindre än 20 ppm. Eventuellt kvarvarande vatten fås bort genom att tillsätta 25 kg vattenfri natriumsulfat. Denna blandas under omrörning i ca 2-4 timmar. Den torrade estern pumpas sedan till tank 3 (storage tank) och får då passera ett filter. Detta utförs genom att man öppnar ventilerna 7, 9 och 10 och startar pump 2.

Den framställda estern är därefter färdig för användning. Den är nu fri från vatten och fasta partiklar och har en renhet på över 97%.



Figur 17. Omforestringsanläggning från USA.