

**TIO 4700**

**Investering, finans og økonomistyring**

**Økonomisk analyse av etablering av  
biodieselproduksjon i Norge**

**Desember 2004**

Geir Ringen

Institutt for Industriell Økonomi og Teknologiledelse  
Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet

## **Forord**

Denne rapporten er utarbeidet i høstsemesteret 2004 i forbindelse med fordypningsemnet TIØ 4700 ved faggruppen Investering, finans og økonomistyring, og omfanget av dette prosjektarbeidet er på 15 studiepoeng.

Problemstillingen for denne oppgaven er knyttet til en eventuell oppstart av biodieselproduksjon i Norge, noe som inkluderer informasjon angående råstofftilgang, produksjonsprosess, logistikkutfordringer, marked og barrierer samt en økonomisk grovanalyse der det i tillegg gjøres vurderinger av optimal investeringsstrategi.

Jeg vil takke Markedssjef Geir Ivar Stokke hos Estra AS for viktig informasjon angående biodieselmarkedet i Norge, og Stein-Erik Fleten for veiledning underveis.

Trondheim, den 07.12.04

---

Geir Ringen

## Sammendrag

Rapporten skal danne et faglig grunnlag for en beslutning om etablering av en norsk biodieselfabrikk. Dette vil omfatte poster som egenskaper ved biodiesel, tilgjengelighet av råstoff og fleksibilitet, teknologi og produksjonsprosess, logistikkutfordringer, antall ansatte og organisering, markedsforhold, investeringsanalyse og investeringsstrategi. En detaljert analyse for alle disse postene vil sprengte fagets omfang, så det er her snakk om en grovanalyse.

Biodiesel er et fornybart brensel produsert fra biomasse som vegetabilsk olje og animalsk fett, og har tilnærmet samme egenskaper som tradisjonell autodiesel. Strengere utslippskrav av CO<sub>2</sub>, partikler, SO<sub>x</sub>, CO etc, samt forventet redusert produksjon av fossil olje i framtiden, gjør biodiesel til et reelt drivstoffalternativ. Likevel må det sies at produksjonsvolumet av biodiesel er begrenset pga sterk konkurranse fra andre bransjer om det samme råstoffet, samt at det kun er avgiftsfritak som gjør biodieselen konkurransedyktig med autodiesel pr i dag.

Produksjonsprosessen for biodiesel kalles forestring, og hensikten med den er å oppnå lavere viskositet i råstoffet (olje/fett), slik at egenskapene blir tilnærmet like autodiesel. Denne prosessen skjer ved tilsetning av kjemikalier som alkohol og basekatalysator. Produksjonsanlegget som er anbefalt i denne analysen er en helautomatisert prosess beregnet for å takle ulike råstoff. Helautomatisering begrunnes med at det gir høyere utbyttegrad av biodiesel fra råstoffet sammenlignet med batch produksjon, samt at det gir en minimal arbeidsintensiv prosess. Fleksibilitet med hensyn til råstoff gir muligheter for å minimere kostnadene siden de står for 60-80 % av totalkostnadene ved biodieselproduksjon.

Anbefalte råstoff for biodiesel som best tilfredsstillende norske klimaforhold er raps/rybs, fiskeolje og til dels animalsk fett. Fra disse råstoffene i Norge kan det produseres ca 59 millioner liter biodiesel, noe som skulle tilsi gode muligheter for selvforsyning til et anlegg med kapasitet på ti millioner liter. I følge nåverdiberegninger som er gjort i denne analysen ser det ikke ut til at import av råstoff er å foretrekke med dagens priser. Logistisk sett bør produksjonen lokaliseres til Oslo-området pga av både kundegrunnlag og råstofftilgang, og med hensyn til distribusjon av biodiesel anbefales det å inngå et samarbeid med et av de fire store oljeselskapene Shell, Esso, Statoil og/eller Hydro Texaco.

Markedet for diesel i Norge er helt klart økende, noe som kommer av blant annet økt lastebiltransport, kraftig økning i salg av personbiler med dieselmotor, lavere pris på autodiesel enn bensin og at en dieselmotor bruker 30-50 % mindre drivstoff sammenlignet med en bensinmotor. Dette burde gi gode vilkår for biodiesel siden avgiftsfritaket gjør at prisen på biodiesel kan være ca en krone lavere pr liter i forhold til autodiesel. Det må påpekes at det foreløpig eksisterer en del barrierer mot biodiesel både på nasjonalt nivå og forbrukernivå før drivstoffet er alminnelig akseptert.

Investering i et fleksibelt anlegg i forhold til råstoff og med kapasitet på ti millioner liter biodiesel er beregnet til å koste ca 30 millioner kroner, og netto nåverdi (NNV) for prosjektet varierer mellom 3-18 millioner kroner avhengig av hvilket råstoff som benyttes. Produksjon basert kun på raps/rybs gir lavest NNV mens høyest NNV kommer fra input av kun animalsk fett. Siden NNV er positiv i denne grovanalysen anbefales det derfor å gå videre med mer detaljerte utredninger av prosjektet. Ut fra en realopsjonsanalyse argumenteres det for at verdien av å vente på mer informasjon er betydelig, og at investeringen er optimal å foreta når prisen på autodiesel overskrider ca 9,4 kroner pr liter.

# Innholdsfortegnelse

<b>1.0</b>	<b><i>Innledning</i></b>	<b>- 1 -</b>
<b>2.0</b>	<b><i>Biomasse</i></b>	<b>- 3 -</b>
2.1	Fra fotosyntese til bioenergi	- 3 -
2.2	Energi	- 3 -
2.3	Biobrensler	- 4 -
<b>3.0</b>	<b><i>Biodiesel</i></b>	<b>- 6 -</b>
3.1	Definisjon	- 6 -
3.2	Kjemisk struktur og forestringprosess	- 6 -
3.3	Egenskaper ved biodiesel	- 8 -
3.3.1	Dieselmotoren	- 8 -
3.3.2	Forbrenning og utslipp	- 9 -
3.3.3	Kuldeegenskaper	- 12 -
3.3.4	Lagring av biodiesel	- 13 -
3.3.5	Andre egenskaper	- 14 -
<b>4.0</b>	<b><i>Råstoff og kjemikalier for produksjon av biodiesel</i></b>	<b>- 15 -</b>
<b>4.1</b>	<b><i>Råstoff</i></b>	<b>- 15 -</b>
4.1.1	Raps/rybs	- 15 -
4.1.2	Animalsk fett	- 17 -
4.1.3	Yellow- og brown grease	- 18 -
4.1.4	Olje fra fiskeavfall	- 19 -
4.1.5	Alger	- 20 -
4.1.6	Tallolje	- 21 -
4.1.7	Andre råstoffer	- 21 -
<b>4.2</b>	<b><i>Oppsummering av råstoff</i></b>	<b>- 22 -</b>
<b>4.3</b>	<b><i>Potensial for biodieselproduksjon</i></b>	<b>- 23 -</b>
<b>4.4</b>	<b><i>Kjemikalier til produksjonsprosessen</i></b>	<b>- 24 -</b>
4.4.1	Metanol	- 24 -
4.4.2	Etanol	- 24 -
4.4.3	Sammenligning av metanol og etanol	- 25 -
4.4.4	Katalysator	- 25 -
<b>5.0</b>	<b><i>Produksjon</i></b>	<b>- 27 -</b>
<b>5.1</b>	<b><i>Preprosessering av råstoff</i></b>	<b>- 27 -</b>
<b>5.2</b>	<b><i>Produksjonsprosessen</i></b>	<b>- 29 -</b>
5.2.1	Produksjonsprosess etter europeisk standard EN 14214	- 31 -
5.2.2	Gjenvinning og utbyttegrad	- 32 -
5.2.3	Alternativ produksjonsprosess	- 32 -
<b>5.3</b>	<b><i>Design av fabrikk</i></b>	<b>- 32 -</b>
5.3.1	Produksjonsutstyr	- 33 -
<b>6.0</b>	<b><i>Logistikk</i></b>	<b>- 35 -</b>
<b>6.1</b>	<b><i>Strategi</i></b>	<b>- 35 -</b>
<b>6.2</b>	<b><i>Økonomi og servicegrad</i></b>	<b>- 36 -</b>
<b>6.3</b>	<b><i>Kvalitet</i></b>	<b>- 37 -</b>
<b>6.4</b>	<b><i>Effektivitet</i></b>	<b>- 37 -</b>

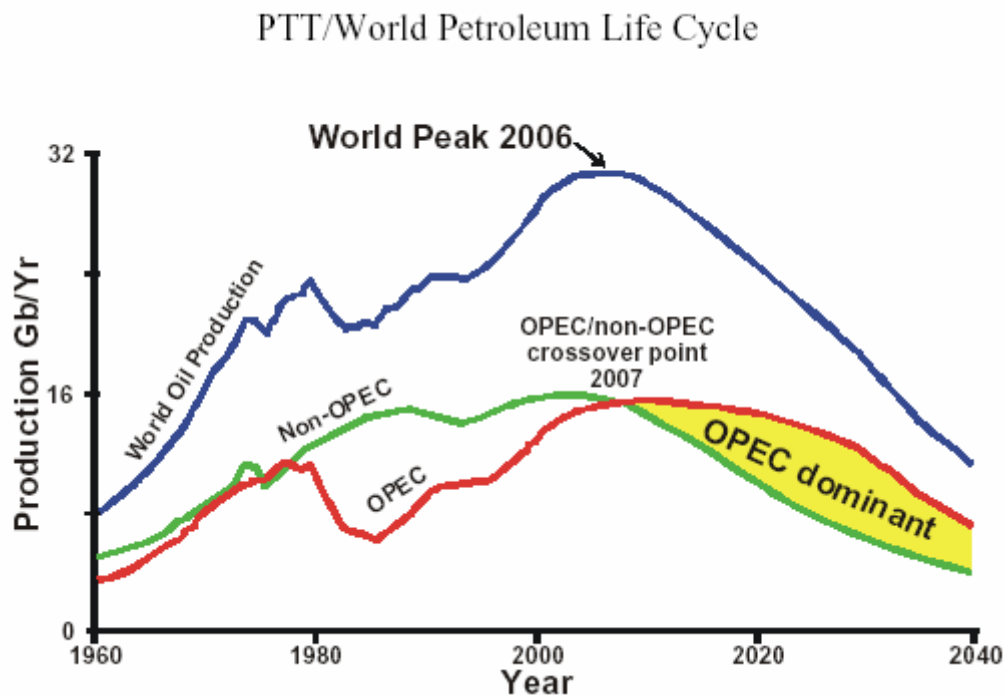
<b>7.0</b>	<b>Marked</b>	<b>- 39 -</b>
7.1	Markedsandel	- 39 -
7.2	Markedsutvikling	- 39 -
7.3	Barrierer mot biodiesel	- 41 -
7.4	Leverandører av biodiesel i Norge	- 43 -
7.4.1	Habiol AS (Hadeland bioolje)	- 43 -
7.4.2	Estra AS	- 43 -
7.4.3	Konkurrenter til Biodieselleverandører	- 44 -
<b>8.0</b>	<b>Nåverdianalyse</b>	<b>- 45 -</b>
8.1	Kostnader	- 45 -
8.2	Investeringer	- 51 -
8.3	Inntekter	- 52 -
8.4	Diskonteringsrente	- 54 -
8.5	Nåverdiberegning	- 56 -
8.5.1	Følsomhetsanalyse	- 57 -
8.5.2	Nåverdiprofil	- 58 -
8.5.3	Import av råstoff	- 59 -
<b>9.0</b>	<b>Realopsjonsanalyse</b>	<b>- 60 -</b>
9.1	Replikerende handelsvare	- 60 -
9.1.1	Sammenheng mellom pris på råolje og autodiesel	- 61 -
9.2	Pris- og verdimodellering	- 63 -
9.2.1	Formel for verdisetting av prosjektet	- 63 -
9.2.2	Formel for verdisetting av opsjon	- 64 -
9.3	Estimering av konstanter	- 66 -
9.4	Investeringsstrategi	- 68 -
<b>10.0</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>- 69 -</b>
<b>11.0</b>	<b>Kildeliste</b>	<b>- 70 -</b>

**Vedlegg 1: Excel modell (5 deler)**

## 1.0 Innledning

Biodiesel er et fornybart brensel produsert fra biomasse som vegetabilsk olje og animalsk fett, og har tilnærmet samme egenskaper som vanlig autodiesel og kan dermed benyttes som drivstoff til vanlige dieselmotorer. Denne alternative energikilden er forholdsvis lite utbredt i Norge foreløpig og verden forøvrig, men antas å få en betydelig økt markedsandel i forhold til autodiesel i framtiden. Det er hovedsakelig to grunner til dette:

1. EU direktiver sier at innen 2005 skal minimum to prosent av alt drivstoffet som forbrukes i medlemslandene være biologisk, og minimum 5,75 % innen år 2010. Dette i tillegg til krav om reduksjon av CO<sub>2</sub> utslipp i henhold til Kyoto-avtalen gjør biodiesel til et interessant produkt, siden forbrenning av biodiesel ikke gir noen netto økning av karbondioksidutslipp.
2. Fossil olje er en endelig ressurs, og de mest optimistiske anslagene tilsier at ressursen vil gå tom innen ca 50 år. Men en energikrise vil kunne oppstå lenge før den tid pga at verdens oljeproduksjon antageligvis vil nå toppen før 2010, mens etterspørselen bare vil fortsette å vokse. Mengden av oljefunn nådde toppen omkring 1965 og har siden gått jevnt nedover, og i dag mener man at mesteparten av de store oljefeltene er avdekket [43]. Studier av historiske data, prognoser og oljeletingsresultater fra de 42 største oljeproduerende land i verden (98 % av total produksjon) viser at produksjonstoppen nærmer seg, og at det snart vil bli en endring av tilbudssiden ettersom OPEC land vil dominere verdensproduksjonen (figur 1.1)[14]. Man frykter dermed at prisene vil øke dramatisk, ikke bare pga generelt mindre tilbud og høyere produksjonskostnader forbundet med haleutvinning men også pga den ustabiliteten som preger området i Midtøsten og rundt Persiabukta [43]. Biodiesel kan være med på å dempe etterspørselen etter fossil olje noe, og dermed forlenge ventetiden inntil teknologiutviklingen for andre energikilder gjør det mulig å erstatte den fossile oljen.



Figur 1.1: Prognoser for verdens oljeproduksjon [14].

## **Disponering av rapport**

Hensikten med denne oppgaven er å belyse ulike sider ved å etablere biodieselproduksjon i Norge, og inndelingen av kapitler i rapporten har falt seg naturlig på denne måten:

- Beskrive dannelsen av biomasse via fotosyntesen og ulike typer av biobrensler.
- Definisjon av biodiesel og kjemisk struktur, samt egenskaper i forhold til forbrenning, kulde og lagring.
- Aktuelle råstoffer for produksjon av biodiesel som vegetabilsk olje/animalsk fett (i tillegg en analyse av potensial i Norge for fett/olje), metanol/etanol og type katalysator.
- Produksjonsmetoder og prosesser, design av fabrikk samt hvilke standarder/krav biodieselen må oppfylle.
- Logistiske utfordringer i henhold til strategi, servicegrad, kvalitet og effektivitet.
- En grovanalyse av markedet for biodiesel i Norge og hvilke aktører som opererer pr i dag. Markedstrender i andre land, og barrierer mot å konvertere fra autodiesel til biodiesel.
- Nåverdianalyse av prosjektet med tilhørende følsomhetsanalyse.
- Realopsjonsanalyse som ser på ved hvilken autodieselpris det vil være optimalt å foreta investeringen.

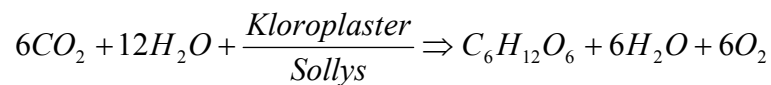
## **Framgangsmetode**

Informasjonen og resultatene i denne rapporten er hovedsakelig basert på en mengde artikler og bøker publisert om biodiesel og fornybare energiresurser, der resultatene fra de ulike kildene er sjekket opp mot hverandre og dermed kvalitetssikret. Mesteparten av forskningsmaterialet som er funnet om biodiesel stammer fra foregangsland innen bioenergi som Tyskland, Østerrike, Canada og USA, og det antas at dette er land Norge kan sammenligne seg med slik at erfaringsverdier og data kan overføres til et norsk produksjonsanlegg.

## 2.0 Biomasse

### 2.1 Fra fotosyntese til bioenergi

Biomasse er et samlebegrep på organisk materiale fra land og vann, i tillegg til det organiske avfallet som det moderne samfunn produserer. Oppbyggingen av organisk materiale skjer ved fotosyntesen, der karbondioksid, vann og sollys danner karbohydrater og oksygen. Alle grønne planter (inkludert trær, alger ol) ivaretar og foredler solenergien slik at det blir produsert fiber, mat og brensel. Samlet sett omfatter fotosyntesen alle de kjemiske reaksjonene (titalls reaksjoner med kompleks karakter) som foregår i plantene når de omdanner energien i sollyset til kjemisk bundet energi. Forenklet kan sluttreaksjonen formuleres slik:



Når biomassen brytes ned frigjøres den lagrede energien, og denne prosessen kalles respirasjon eller forbrenning og er avhengig av oksygentilførsel. Ligningen for nedbrytingsprosessen nedenfor har den motsatte reaksjonen sammenlignet med ligningen for fotosyntese, og her dannes det som kalles bioenergi. Her ser en at karbondioksidene som ble bundet under fotosyntesen blir frigjort igjen, og dette gir den grunnleggende forståelsen av hvorfor biomasse betegnes som CO<sub>2</sub> nøytralt. [23]

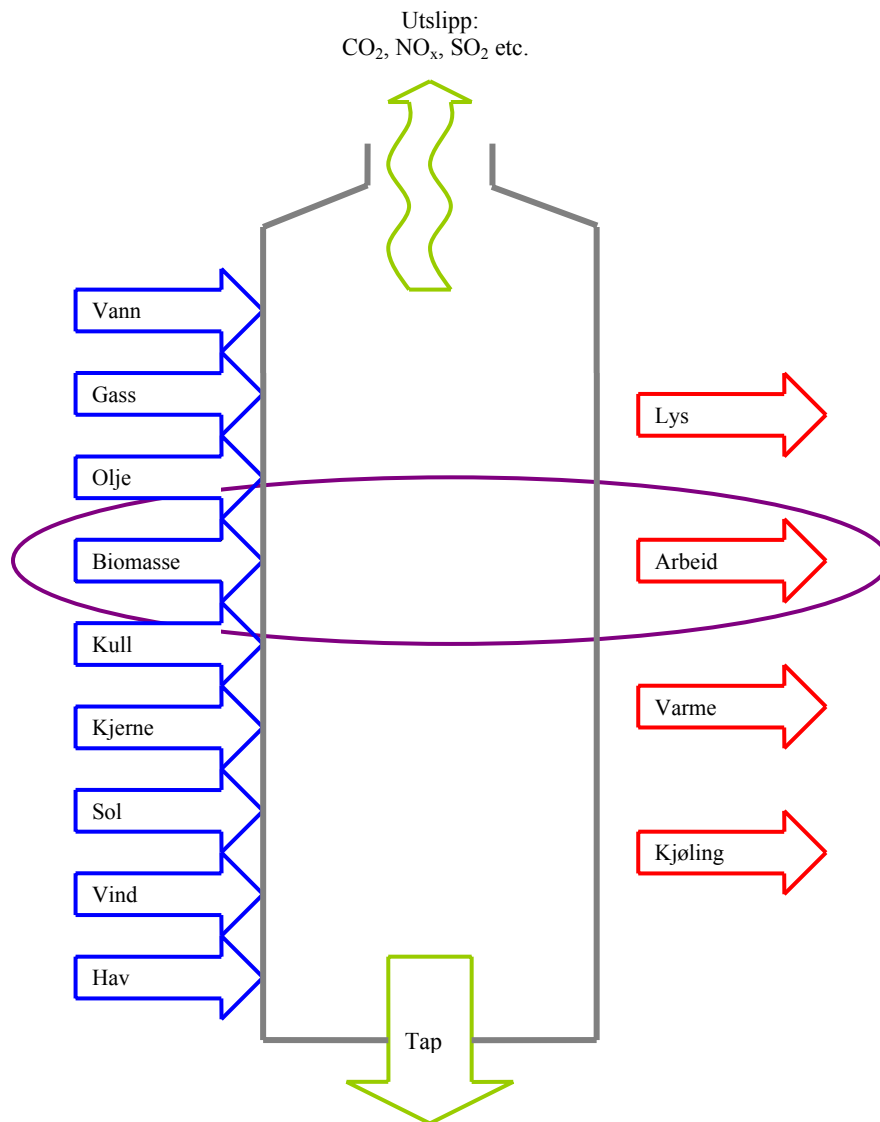


Energien frigjøres oftest som termisk energi, det vil si som varme, men den kan omformes til elektrisitet, flytende drivstoff eller hydrogen. I den moderne satsningen på bioenergi står kretsløpstankegangen sentralt, og med det menes at bioenergien er en fornybar energikilde som aldri kommer til å ta slutt dersom den blir forvaltet fornuftig. Det må presiseres at både biobrensel og fossilt brensel stammer fra biomasse, men den store forskjellen ligger i at det tar millioner av år å produsere fossilt brensel mens for eksempel rapsfrø til biodieselproduksjon kan dyrkes i løpet av noen få måneder. [93]

### 2.2 Energi

Energi kan verken skapes eller ødelegges, men den kan omformes fra en energiform til en annen i følge energiloven [28]. Denne loven innebærer blant annet at all energien, som kan observeres i forskjellige former, alltid har eksistert. Det vil si at for eksempel ved bruk av de energiråstoffene som finnes i naturen (vann, gass, olje, biomasse, kull, kjerne, sol, vind og hav), kan det dannes energi av både lav kvalitet (eksempelvis varme) og høy kvalitet (eksempelvis elektrisitet). Sammenhengen kan illustreres i figur 2.1 på neste side, der primærenergiene er plassert til venstre og energitjenestene (lys, arbeid, varme og kjøling) til høyre. Det kan dannes mange kombinasjoner av primærenergier og energitjenester, og eksempelvis energibæreren biodiesel vil dannes fra biomasse og omgjøres til arbeid i en motor.





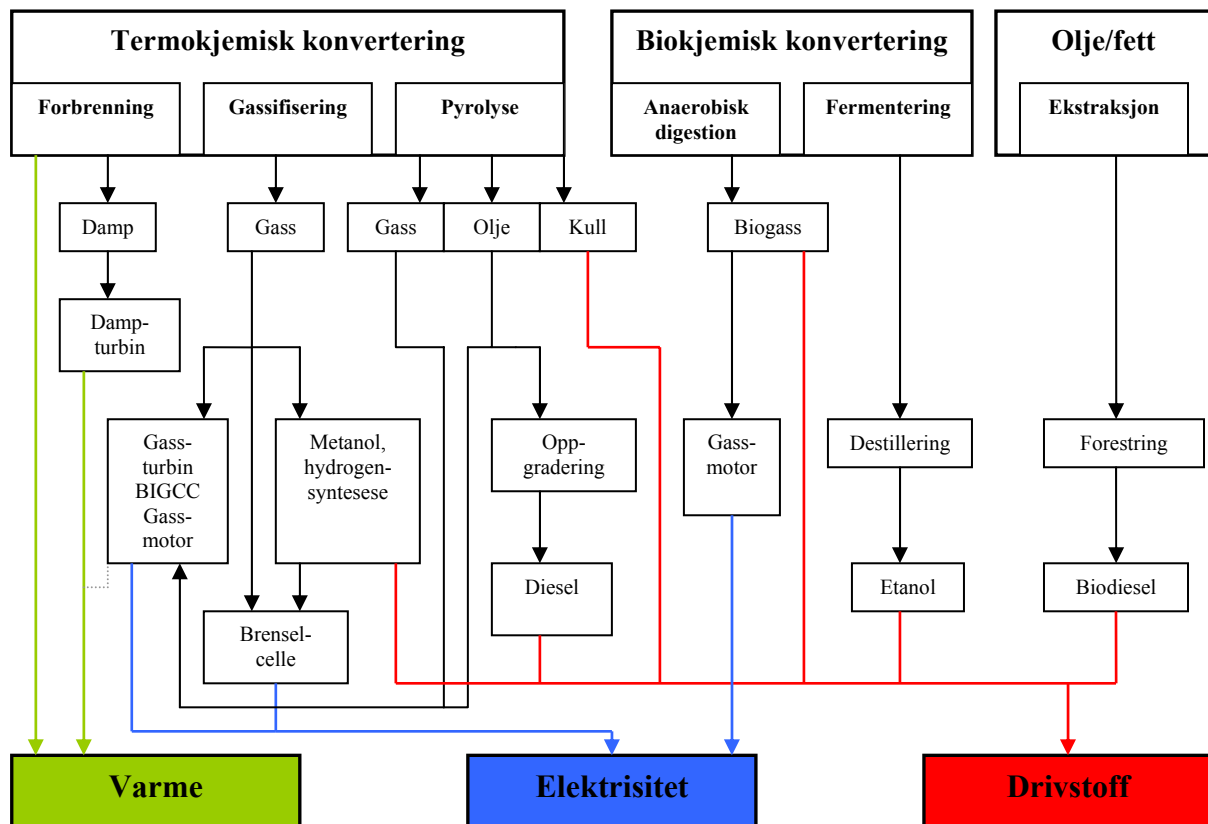
**Figur 2.1:** Primærenergi og energitjenester [23].

### 2.3 Biobrensler

Biobrensler fra biomasse kan deles inn i ulike former og det skiller mellom biobrensler i fast form, gassform og flytende form [88] [92].

- Faste uforedlede biobrensler karakteriseres ved at de i liten grad blir bearbeidet før de utnyttes som brensel. De blir ofte tørket og hogget opp i passe store biter, og brenselet er best egnet til bruk i store forbrenningsanlegg (unntatt ved). Denne type biobrensler kan være ved, flis, bark, halm, torv, energiskog og energigras.
- Faste foredlede biobrensler blir bearbeidet før bruk, og råstoffet (oftest avfall fra skogbruk, flis eller halm) blir hogd, kvernet eller malt opp til flis før det tørkes. Deretter blir det videreforedlet til brikker, pellets og pulver. Produksjonskostnadene her er høyere enn for uforedlet brensel, men fordelene er blant annet: Reduserte investeringskostnader i forbrenningsanlegg pga homogent brensel, mer energi pr volumenet gir reduserte transport- og lagringskostnader, enklere regulering av forbrenning og færre driftstans.

- Gass framstilles ved termokjemiske prosesser som pyrolyse, gassifisering og forbrenning. Ved pyrolyse varmes biomassen opp i en atmosfære uten oksygen mens ved gassifisering varmes den opp med et underskudd av oksygen i atmosfæren, og for begge prosesser fører dette til at flyktige forbindelser i brenselet frigjøres. Fellesprodukt er gass som kan brennes eksternt i en kjele/motor eller ekspanderes over en gasturbin. Pyrolyse danner også tjære og trekull (optimert for det formålet), mens gassen fra gassifisering kan oppgraderes til metanol via syntese.
- Produksjonen av biogass er en anaerob prosess hvor ulike typer karbohydrater brytes ned til CH<sub>4</sub> og CO<sub>2</sub>. Normalt vil prosessen føre til at ca 50 % av det organiske materialet omdannes til biogass. Særlig innen landbruket, næringsmiddelindustrien, rensesanlegg og avfallssektoren er det aktuelt å behandle våt organisk biomasse. Gassen har tilnærmet samme anvendelsesområde som naturgass, og kan ved gassbrennere benyttes til oppvarming i tradisjonelle oljekjeler eller forbrennes i en gassmotor.
- Flytende biobrensler brukes først og fremst som drivstoff til motorer, og brenselet kan være bioetanol, bio-olje og biodiesel. Bioetanol framstilles gjennom en fermenteringsprosess av planter som inneholder mye sukker eller stivelse, bio-olje produseres av vegetabilsk olje eller animalsk fett og ved termokjemisk konvertering ved lav temperatur og høyt trykk. Biodiesel framstilles ved kjemisk behandling av bio-oljer. Denne gruppen, og særlig råstoffene til biodiesel, vil bli mer detaljert beskrevet i senere kapitler. Figur 2.2 gir en oversikt over de ulike formene for biobrensler og konverteringsmetoder til diverse anvendelsesområder, der røde piler viser ulike metoder for hvordan biomasse kan omdannes til drivstoff.



Figur 2.2: Konverteringsteknologier for biomasse [88].

## 3.0 Biodiesel

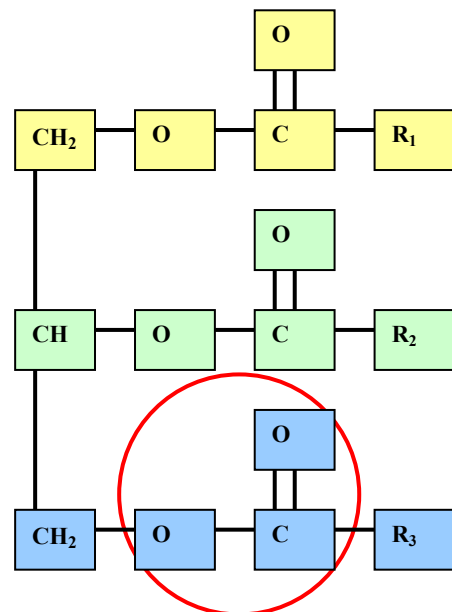
### 3.1 Definisjon

Biodiesel er et fornybart brensel produsert fra biomasse som vegetabilsk olje eller animalsk fett via en kjemisk prosess kalt forestring [42].

### 3.2 Kjemisk struktur og forestringprosess

Biodiesel representerer et alternativ til petroleumsbasert autodiesel, og råstoffene til biodiesel er hovedsakelig oljeplanter (som er ladet med solenergi og karbondioksid), fett og olje fra dyr samt avfallstoffer fra restaurantnæringen (brukt frityrfett). Fett karakteriseres ved at det er i fast form ved 25 °C, mens olje er i flytende form ved samme temperatur. Både planteolje og animalsk fett er vanligvis referert til som lipide råstoffer siden lipider er en klasse av kjemikalier funnet i blant annet dyr og planter. Det finnes en rekke andre oljer og fett som også kan klassifiseres som lipider, men planteolje og animalsk fett egner seg best til produksjon av biodiesel pga sin kjemiske oppbygning. [40]

For å beskrive den kjemiske strukturen til biodiesel er det nødvendig å starte med den kjemiske strukturen til råstoffet, samt hva som skjer med det i forestringprosessen (nærmere beskrevet i kapittel 5.2). Figur 3.1 viser at vegetabilsk olje og animalsk fett består av et glyserolmolekyl. Dette molekylet inneholder igjen tre glyserolestergrupper (en gruppe er på figuren innringet med rødt) koblet med tre lange kjeder av hydrokarboner (R1, R2 og R3). Når disse kjedene av hydrokarboner og estergruppene atskilles fra glyserolmolekylet får de til sammen egenskaper som syrer, og de kalles fettsyrer. Opp til tre fettsyrer kan finnes i sammenheng med glyserolmolekylet, og de er navngitt etter antallet fettsyrer som er tilkoblet. Hvis en fettsyre er tilkoblet kalles det monoglyserid, hvis to fettsyrer er tilkoblet kalles det diglyserid og hvis tre fettsyrer er tilkoblet kalles det triglyserid. Det vil si at figur 3.1 viser et triglyserid. [42]



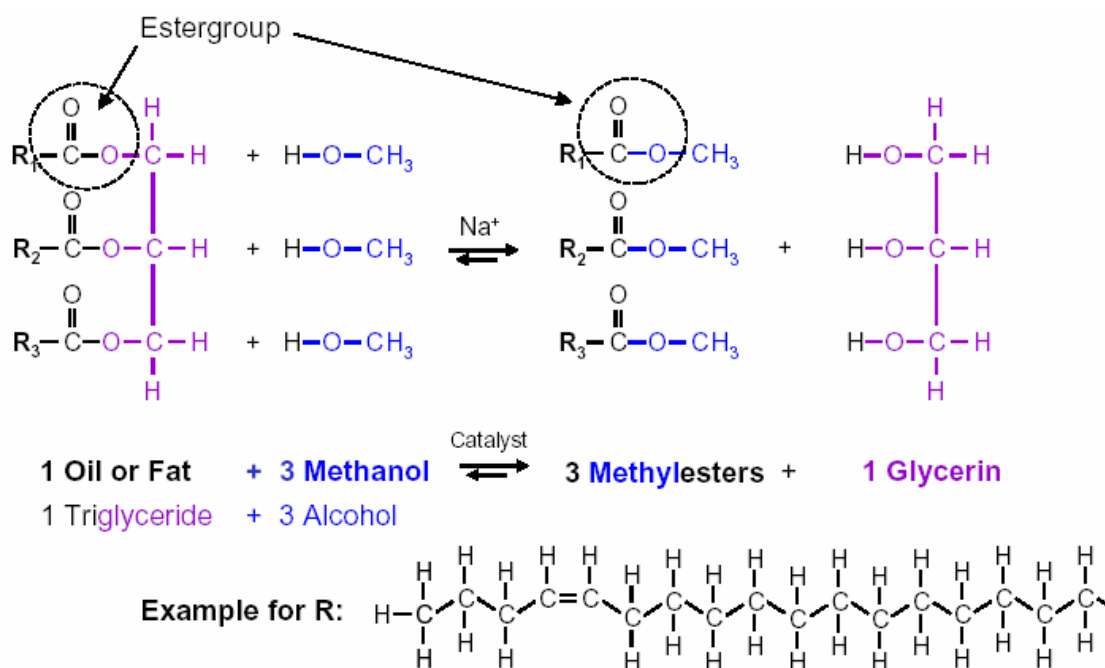
Figur 3.1: Triglyserid.

Det er mange forskjellige typer fettsyrer (70 ulike typer vet man eksisterer pr i dag), og de varierer i både kjedelengde av hydrokarboner og i antall dobbelbindinger av karbonatomer. Noen fettsyrer inneholder ingen dobbelbindinger av karbonatomer og kalles derfor mettede fettsyrer [40]. Prosentandelen av ulike fettsyrer i vegetabilsk olje og animalsk fett avhenger av råstoffkilde, og siden fettsyrer består av opp til 90 % av vekten til et triglyseridmolekyl vil derfor dette innvirke i stor grad på de fysiske egenskapene til bio-oljen. For eksempel vil viskositeten øke med økt lengde på kjedene av hydrokarboner, og avta med økende grad av dobbelbindinger mellom karbonatomene (lavere smeltepunkt) [42]. Generelt kan en si at et høyere innhold av umettede fettsyrer i fett og olje fører til bedre egenskaper for biodieselen i et kaldt klima, men et for høyt innhold kan også være negativt i den forstand at det kan føre til skadelige avleiringer i motor [40]. Samtidig er det viktig å nevne at alle råstoffer for produksjon av biodiesel inneholder konsentrasjoner av frie fettsyrer. Frie fettsyrer flyter fritt

omkring i triglyseridene klare til å binde seg til en base (katalysator). De deltar ikke i forestringprosessen, og et høyt innhold av frie fettsyrer i råstoffet fører derfor til økt såpeformasjoner under produksjonen med dertil lavere utbyttegrad fra råstoff til ferdig biodiesel. I tillegg vil konsentrasjoner av frie fettsyrer i sluttproduktet biodiesel føre til høyere krystalliseringstemperatur, noe som gjør egenskapene til biodieselen dårligere ved kulde. Oppsummert kan en si at råstoffene må analyseres grundig i forhold til sammensetningen av fettsyrer for å si noe om egenskapene til biodiesel. [48]

De kjemiske og fysiske egenskapene for bio-olje er temmelig like med egenskapene til vanlig autodiesel, og bio-olje brukt som drivstoff over en kort periode vil kanskje gå bra med hensyn til motoren. Resultatene på lang sikt vil blant annet være utvanning av smøreoljen pga mye uforbrent drivstoff, høye eksosutslipp pga dårlig forbrenning, gjentetting av dyser og filtre, fastsetting og brudd på stempelringene pga karbonavleiring på stempeloverflatene (kommer av større diameter på brenselstråkene) og dårlig effekt i motor. Mesteparten av disse problemene er en konsekvens av den høye viskositeten i bio-olje sammenlignet med autodiesel. [42]

Forestring er en metode for å oppnå lavere viskositet på oljen fra råstoffene, og det skjer ved å bryte opp triglyseridmolekylet og separere fettsyremolekylene fra glyserolmolekylene. Dette gjør at egenskapene til råstoffene fra vegetabilsk olje og animalsk fett ligner mer på egenskapene til tradisjonell autodiesel. Forestringprosessen (figur 3.2) er en reaksjon mellom en type ester (triglyserid) og alkohol, som resulterer i en annen type ester (miks av fettsyrer, det vil si biodiesel) og biproduktet glyserol (glyserin er også et mye benyttet navn). Prosessen akselereres ved bruk av en katalysator (et stoff som øker farten på en kjemisk reaksjon uten selv å bli forbrukt) som kan være KOH (kaliumhydroksid eller kalilut), NaOH (natriumhydroksid eller kausisk soda) og NaOCH<sub>3</sub>. Estere er navngitt etter hvilken type alkohol som benyttes i prosessen (metanol, etanol eller butanol) og kilden til triglyseridene. For eksempel hvis en bruker soyabønner som råstoffkilde og metanol som alkohol kalles esteren metylester fra soyabønneolje. Biodiesel er den generelle betegnelsen på de ulike estere som kan framstilles fra en forestringprosess. [42] [48]



Figur 3.2: Forestringprosess [51].

### 3.3 Egenskaper ved biodiesel

Ideen med å benytte vegetabilsk olje som drivstoff til dieselmotorer er omtrent like gammel som motoren selv. Motoren ble utviklet i 1895, og på verdensutstillingen i 1900 ble den demonstrert med bruk av peanøttolje som brensel. Oljekrisen på 1970-tallet satte på ny fart i bruk av biobrensler i stedet for fossilt drivstoff, og biodiesel er i dag et reelt alternativ til autodiesel. [43] Selv om det kan benyttes en rekke råstoffer til å produsere biodiesel, vil de ulike råstoffene utgjøre betydelige forskjeller i egenskapene til biodieselen. Dette vil bli beskrevet senere i dette delkapitlet, der dieselmotoren forklares innledningsvis før egenskapene til biodieselen beskrives i forhold til forbrenning og utslipp, kuldeegenskaper og lagring.

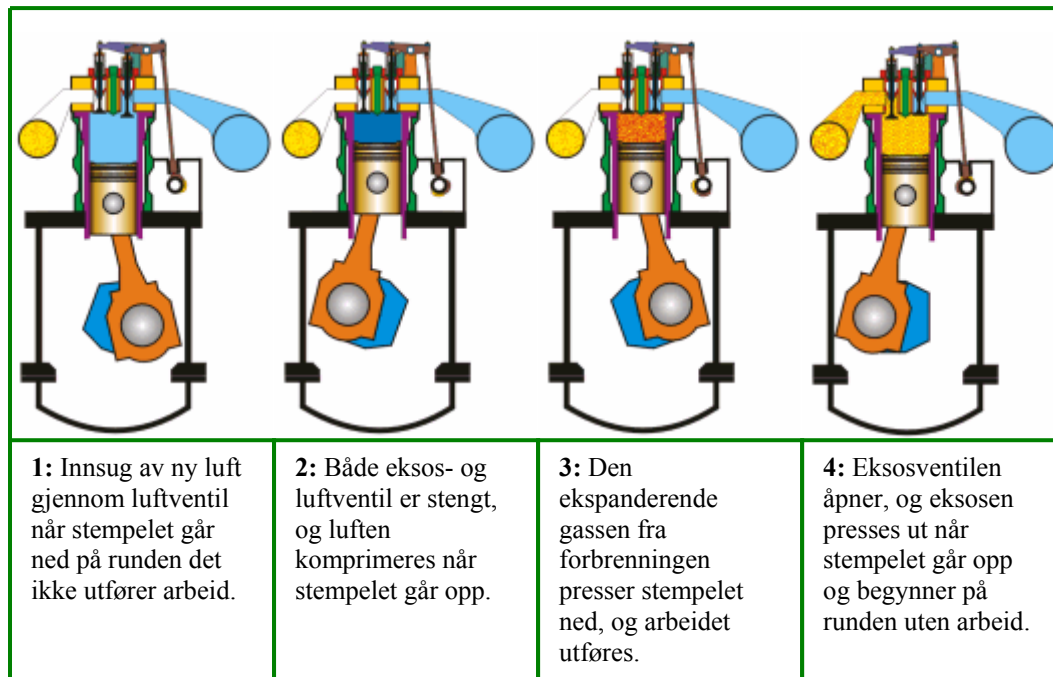
#### 3.3.1 Dieselmotoren

I motsetning til bensinmotoren, som trenger en gnist for å antenne luft- og bensinblandingen, selvantennes brenset i dieselmotoren pga varmen fra kompresjonen. Dieselprosessen er definert ved følgende faser: [20] [28]

- **1-2:** Isentrop kompresjon (uten tap og varmeutveksling med omgivelsene), det vil si at luftventilen er stengt og stempelet i motoren presser sammen luft i forbrenningskammeret slik at temperatur og trykk øker.
- **2-3:** Varmetilførsel ved forbrenning under konstant trykk, der den varme komprimerte luften antenner små dråper av diesel som sprøytes inn i kammeret under høyt trykk og via flere dyser.
- **3-4:** Isentrop ekspansjon pga forbrenningen, og stempelet presses nedover i sylindern slik at det utfører mekanisk arbeid på drivakselen.
- **4-1:** Varmen ledes vekk under konstant volum. Når stempelet er i bunn åpnes eksosporten og når stempelet begynner å bevege seg oppover igjen presses eksosen (hovedsakelig vanndamp, karbondioksid, nitrogen og ubrukt oksygen) ut av ventilen. I en firetaktsmotor (stempelet går to ganger opp og ned på en prosessyklus) vil nå stempelet gå en runde uten å utføre noe arbeid fordi motoren først må kvitte seg med eksos før stempelet kan suge inn ny luft som kan komprimeres. Deretter gjentas prosessen (se figur 3.3).

Dieselmotoren krever ingen homogen blanding av diesel og luft for å fungere optimalt, i motsetning til mange andre typer motorer, men dieselen kan sprøytes inn etter behov under en konstant lufttilførsel. Dette gjør dieselmotoren til en sterk, enkel, fleksibel og driftsikker motor, der variasjon av drivstoffets kvalitet ikke er noe problem og dermed passer bra til brenset biodiesel. En annen stor fordel med dieselmotoren er det høye dreimomentet ved lavt turtall sammenlignet med bensinmotoren, noe som gjør dieselmotoren overlegen til bruk innen transportbransjen [11].

Det er hovedsakelig to dieselmotortyper, og det skilles mellom direkte og indirekte injeksjon av brenset. Ved direkte injeksjon (DI) sprøytes dieselen direkte inn i forbrenningskammeret, mens ved indirekte injeksjon (IDI) kommer dieselen først inn i et forkammer der forbrenningen starter og brer seg til selve forbrenningskammeret. DI er mest benyttet til større kjøretøy pga høyere effektivitet og lavere forbruk, mens IDI hovedsakelig benyttes i vanlige biler pga større fleksibilitet med hensyn til turtall på motoren og mindre utslipp. [20]



*Figur 3.3: Dieselmotoren [52].*

### 3.3.2 Forbrenning og utslipp

Biodiesel har tilnærmet samme egenskaper som vanlig autodiesel, noe som er merkelig med tanke på ulikhetene i kjemisk oppbygning. Hovedforskjellen kjemisk sett er at autodiesel består av en miks av mange ulike hydrokarboner med forskjellige strukturer og kokepunkt, mens biodiesel har en ganske uniform sammensetning. En annen viktig forskjell er at autodiesel inneholder bare karbon og hydrogen, mens biodiesel i tillegg har en oksygenkomponent på ca 10 %. [40] Denne oksygenkomponenten gjør at de fleste typer biodiesel vil ha ca 12-13 % lavere netto brennverdi (energi utløst ved forbrenning) i gjennomsnitt enn autodiesel, men oksygen gir i stedet en mer fullstendig forbrenning. Den lavere brennverdien kan til dels kompenseres ved at biodiesel har ca 4 % høyere densitet enn autodiesel, og tatt høyde for densitet vil energien i biodiesel være ca 8 % lavere enn autodiesel basert på volum [25]. Dette fører til en reduksjon av kraft, brenseffektivitet og moment i motoren på ca 5 %, noe som vil merkes i liten grad ved normal kjøring og hvis bilen er utstyrt med en kraftig motor [43].

En annen forskjell på biodiesel og autodiesel som kan skape avvikende forbrenningsegenskaper er at biodiesel har mellom 60-150 % høyere viskositet (flytemotstand), ca 3,5 % høyere densitet og høyere lydfart. Spesielt høyere densitet, viskositet og kompressibilitet virker inn på injeksjonssystemet i motoren, der den seigere konsistensen til biodiesel former større dråper enn autodiesel, noe som kan skape en mer upresis injeksjon. Større dråper kan også føre til uønsket karbonavleiring i motor. I tillegg vil den lavere brennverdien i biodiesel føre til at injeksjonssystemet kompenserer ved å øke dieselforbruket, og dermed vil injeksjonen og forbrenningen starte tidligere enn ved bruk av autodiesel. [25]

**Cetan tall** er et mål som indikerer hvor raskt ulike dieseltypene antenner, og det kan best sammenlignes med oktantal for bensin. Det vil si at et brensel med høyt cetan tall gir kortere tid mellom drivstoffinjeksjon og antenning enn et brensel med lavere verdi. Skalaen går fra 15

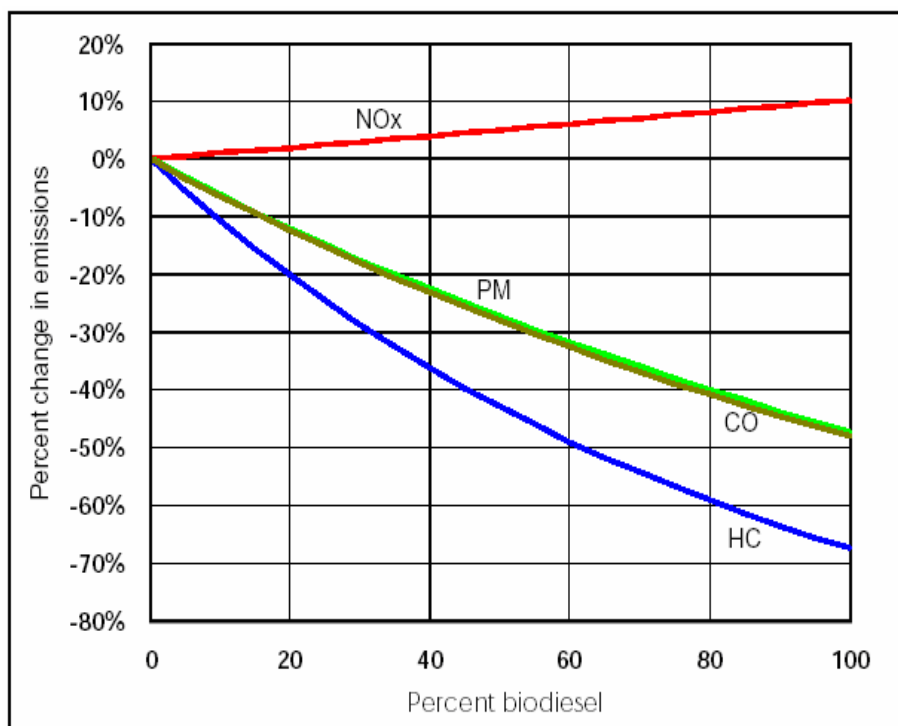
til 100, der 15 betyr vanskelig å antenne og 100 betyr veldig lettantennelig. Brenselprøvene sammenlignes med et referansebrensel utført i en ensylindret DI firetaktsmotor. [53] Biodiesel har i gjennomsnitt et høyere cetan tall (45-65, avhengig av råstoff) enn autodiesel (40-52), og det fører til at motoren går mer smidig, starter lettere i kaldt vær og er uten den karakteristiske bankingen. De beste råstoffene for biodiesel med tanke på et høyt cetan tall er de med høyest grad av mettede fettsyrer (rette kjeder av hydrokarboner), men disse råstoffene blir til gjengjeld til fast form ved høyere temperatur enn råstoff med stor andel av umettede fettsyrer. Veldig høye cetan tall er derimot ikke å foretrekke pga at det vil øke utslippsmengdene fordi brenselet antennes før det er ordentlig mikset med luft, så en mellomting er å foretrekke i Norge med hensyn til klima, startegenskaper og utslipp. [25]

Alle typer utslipp fra en motor stammer fra selve forbrenningen, og en komplett forbrenning vil i teorien bare føre til karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og vann som overskudd [23]. I forbrenningskammeret er det totalt sett et overskudd av luft i forhold til drivstoff, og det blir en mager forbrenning. Lokalt vil det likevel finnes områder med en fetere blanding, det vil si et større drivstoff til luft forhold, og som vil resultere i en ufullstendig forbrenning. Dette fører til partikler (sot), hydrokarboner, CO, NO<sub>x</sub> og Svovel i eksosgassen. Generelt for biodiesel gjelder det at de fleste uønskede utslipp er lavere enn ved bruk av autodiesel, med unntak av NO<sub>x</sub>. [20] [88] Nedenfor vil hvert av disse utslippselementene beskrives nærmere for forbrenning av 100 % ren biodiesel:

- **Nitrogenoksid (NO<sub>x</sub>):** De viktigste kildene til nitrogenoksider er forbrenning av oljeprodukter og kull, og skadevirkningene kan være luftveissykdommer, tidlig bladfelling hos trær og ikke minst smog i store byer [35]. Jordens atmosfære består av ca 80 % nitrogen, så en forbrenning uavhengig av type brensel vil produsere NO<sub>x</sub>, og jo høyere temperatur i forbrenningen desto større formasjon av nitrogenoksider. Høyere temperatur ved forbrenning av biodiesel sammenlignet med autodiesel er den direkte årsaken til et høyere utslipp, men konsentrasjonen av utslippene varierer etter type motor og råstoff for biodiesel [43]. Biodiesel fra råstoff med lavt jod tall (færre karbondobbelbindinger og en større andel mettede fettsyrer) og høyt cetan tall tenderer til å produsere mindre NO<sub>x</sub> enn biodiesel fra råstoff med motsatte egenskaper. En undersøkelse viser at når jod tallet øker fra 8 til 130 vil utslippet av NO<sub>x</sub> øke med ca 29 %, og ved å summere opp resultatene fra en rekke artikler så varierer økningen av NO<sub>x</sub> utslipp fra ca 0,5- 18 %. [48] [42] [43] [40] Reduksjon av denne avgassen kan enten gjøres ved hjelp av katalysator eller ved å senke forbrenningstemperaturen (kan gjøres med å endre tidspunkt for antenning). En ulempe ved reduksjon av temperatur er faren for et økt utslipp av partikler [25].
- **Karbonmonoksid (CO):** Hovedkilden til utslipp av CO er ufullstendig forbrenning av fossilt brensel, med påfølgende oksidasjon til CO<sub>2</sub> i atmosfæren etter en langsom reaksjonstid på ca 1-2 mnd. Ved siden av at CO danner klimagasser, kan den føre til helseskader på dyr og mennesker. [35] Ved bruk av biodiesel kan reduksjonen av CO være opptil 50 % sammenlignet med autodiesel, og det kommer av en bedre forbrenning pga oksygenkomponenten som er i biodiesel. Reduksjonen er ikke avhengig av egenskapene til råstoffet benyttet for biodieselproduksjon. [25]
- **Svoveloksid (SO<sub>x</sub>):** Biodiesel har en klar fordel i forhold til autodiesel med sin lave eller ikke eksisterende andel av svovel, og en reduksjon på mellom 78-99 % er observert [61]. Svoveloksid oksiderer i atmosfæren og danner blant annet svovelsyre, noe som igjen fjernes fra luften ved våtavsetning som sur nedbør. I tillegg har svoveloksid uheldig virkning på slimhinner hos mennesker samt planter og materialer. [35]

- **Partikler (PM):** Denne utslippskomponenten består hovedsakelig av sot, polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og uforbrente brenselmolekyler, og reduksjoner på mellom 30-70 % er registrert ved bruk av biodiesel kontra autodiesel [40]. Særlig PAH, som kommer fra ufullstendig forbrenning, er skadelig for arveegenskaper hos mennesker. Den sorte røyken som tradisjonelt kjennetegner dieselmotorer er tilnærmet eliminert med biodiesel pga reduksjonen av sotdannelse, og dermed densiteten til røyken. [35] Det er ikke funnet noen tydelig sammenheng mellom andelen partikkelutslipp og type råstoff som er benyttet, men det er viktig å påpeke at en reduksjon av NO<sub>x</sub>, som også er ønskelig, vil føre til høyere partikkelutslipp [20].
- **Hydrokarboner:** Kilden til hydrokarboner er hovedsakelig ufullstendig forbrenning, og denne utslippskomponenten inneholder blant annet aldehyder, ketoner og eter. Biodiesel har som nevnt en bedre forbrenning enn autodiesel, og signifikante reduksjoner av hydrokarboner mellom 30-67 % er funnet. [25]
- **Karbondioksid (CO<sub>2</sub>):** Denne gassen gir det største menneskeskapte bidraget til drivhuseffekten, med global oppvarming som et resultat. Utslipp av CO<sub>2</sub> kan ikke reduseres i særlig grad selv om forbrenningen er komplett, men pga av at biodiesel er produsert fra fornybare kilder vil det teoretisk være mulig å redusere utslippene med 100 % i forhold til forbrenning av autodiesel. [40] Vel å merke hvis en ikke tar ut mer biomasse enn det som produseres. Praktisk reduksjon sett ut fra en livsløpsanalyse vil være mellom 60-80 %, pga at det blant annet benyttes energi fra fossilt brensel til framstillingsprosessen [2].

Endringer av de ulike utslippskomponentene, fra bruk av biodiesel kontra autodiesel, varierer en god del ut fra forskjellige undersøkelser, men det er i hvert fall entydighet angående hvilke fortegn som skal benyttes. Figur 3.4 viser et bilde på endring i utslipp for NO<sub>x</sub>, partikler (PM), CO og hydrokarboner (HC) etter andel biodiesel. 100 % biodiesel er helt til høyre i diagrammet, mens vanlig autodiesel er sammenligningsgrunnlaget til venstre i diagrammet [61]



**Figur 3.4:** Utslipp i forhold til andel av biodiesel [61].

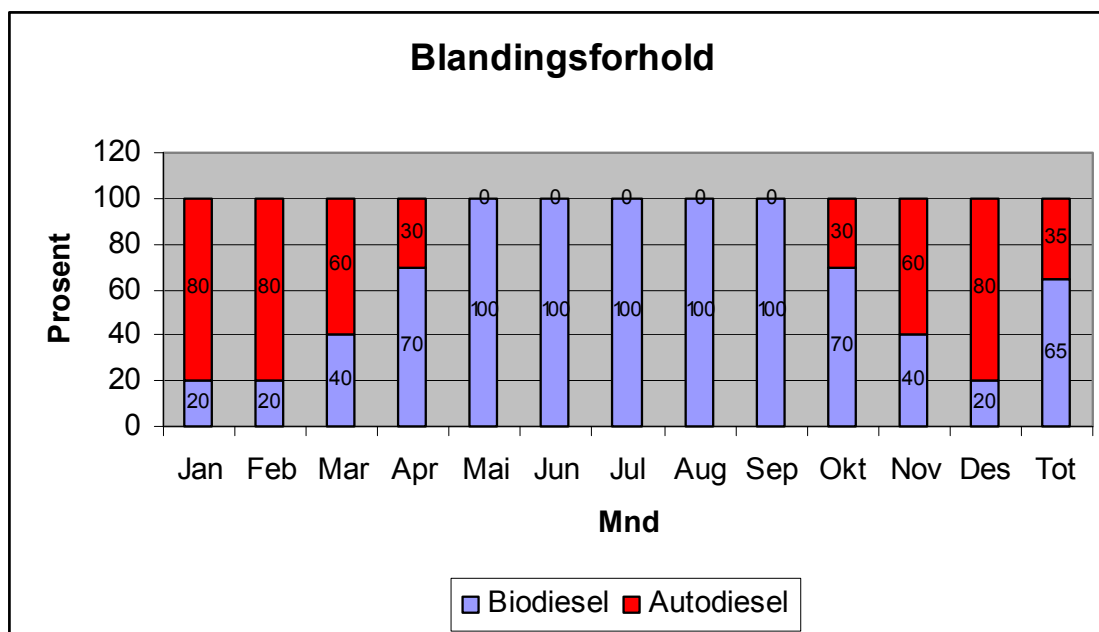


### 3.3.3 Kuldeegenskaper

Den største ulempen med biodiesel er de dårlige kuldeegenskapene. Dette kommer av at biodiesel vil bli geleaktig og gå over i fast form ved en langt høyere temperaturer enn autodiesel, og tilførselen av biodiesel til motoren vil dermed stoppe opp i dieselfiltre, slanger eller pumper [43]. Temperaturen dette skjer ved bestemmes i stor grad av distribusjonen av fettsyrer i råstoffet, der råstoff med en lav andel av mettede- og frie fettsyrer har de beste kuldeegenskaper. Her er det raps/rybs og fiskeolje som kommer klart best ut i forhold til aktuelle råstoffer produsert i Norge (4-9 % mettede fettsyrer), mens yellow- og brown grease er dårligst med en høy andel av både mettede- og frie fettsyrer (40-64 %) [40]. Det benyttes en rekke temperaturmål som beskriver biodieselegenskapene, noe som skyldes ulike standarder og vaner i forskjellige land. De mest vanlige metodene beskrives nærmere her:

- **Cloud point:** Dette er temperaturen når biodieselen begynner å bli uklar og grumsete pga vokskrystalldannelse, og den måles ved at biodieselen overvåkes visuelt under nedkjøling. Allerede ved dette punktet kan dieselen begynne hope seg opp i filtret og hemme frammatning til motor og forbrenningskammeret. [54] Cloud point for biodiesel fra raps- og fiskeolje er på ca -4 °C, fra animalsk fett på ca 13 °C og autodiesel på ca -19 °C [tabell 4.2]. Det sier seg selv at biodiesel produsert av animalsk fett ikke kan benyttes særlig mange av årets måneder i Norge i ren form.
- **Pour point:** Ved denne temperaturen begynner andelen av vokskrystaller å bli så stor at biodieselen blir geleaktig og dermed opphører å flyte. Dette gjør biodieselen ubrukelig siden den vil stoppe opp i både slanger og pumper [61]. Målemetoden er nesten den samme som for å finne cloud point, med unntak av at flytbarheten måles for hver gang temperaturen reduseres med tre grader celsius. Når temperaturen hvor fast form er oppnådd, adderes 3 °C og pour point er definert [54]. Pour point ligger grovt sett 4-6 °C lavere enn cloud point. Ingen av de nevnte metodene måler eksakt hvor biodieselen opphører å fungere i drivstoffsystemet, siden cloud point ofte er et underestimat og pour point et for optimistisk anslag. Derfor er en tredje testmetode utarbeidet (CFPP).
- **Cold Filter Plugging Point (CFPP):** Denne metoden måler den høyeste temperaturen før biodieselen stopper eller reduserer flyten betraktelig gjennom et standardfilter. Denne testen er mest benyttet og akseptert i Europa, og temperaturen fra denne testmetoden ligger mellom cloud- og pour point [43].

De vanligste metodene for å forbedre kuldeegenskapene er enten å tilsette diverse additiver eller å blande biodieselen med vanlig autodiesel. Additiver forhindrer ikke vokskrystallformasjon eller påvirker cloud point, men de forhindrer at krystallene kombinerer og blir så store at de hindrer filtergjennomløpning. Disse additivene består oftest av andre vokstyper som omringer krystallene i biodieselen, og danner barrierer mot sammenvoksing [54]. Den mest utbredte metoden er å blande inn autodiesel, og figur 3.5 viser hvordan den norske biodieselprodusenten Estra AS blander biodieselen etter årstid.



**Figur 3.5:** Blandingsforhold mellom autodiesel og biodiesel [41].

### 3.3.4 Lagring av biodiesel

Stabiliteten til biodiesel er influert av luft, temperatur, kontakt med metall, lys og sammensetning av fettsyrer. Biodiesel er biologisk nedbrytbart, og tilgang til luft og jern vil framskynde oksidering og dermed nedbryting. Nedbrytingshastigheten er ca fire ganger raskere enn for autodiesel, og det er en stor fordel ved utslipp eller spill men en ulempe med tanke på langtidslagring [43]. Estra AS anbefaler for eksempel ikke lagring lenger enn seks måneder [41]. Oksidering vil føre til dannelse av hydrogenperoksider (ustabil, vannløslig superoksidationsmiddel som spaltes ved oppvarming, lys og kontakt med tungmetall), som igjen former uløselige partikler som kan tette filtre og slanger [61]. Tilgang til luft i lagringstankene vil føre til vanddannelse med påfølgende korrosjonsproblemer, spesielt i et miljø som inneholder syre og peroksider. I tillegg vil vannkonsentrasjoner sammen med en høy temperatur skape bakteriefloraer, noe som gjør at biodieselen får en grønn slimaktig hinne [43]. For å redusere virkningene av elementene nevnt ovenfor bør lagring av biodiesel utføres på denne måten:

- Benytte lagringstanker av syrefast stål for å unngå korrosjon.
- Unngå temperaturer over 30 °C og lavere enn cloud point.
- Unngå lys pga oksidering og bakterieframvekst.
- Fyll opp tankene mest mulig for hindre oksygentilgang.
- Mulig å tilsette antioksidanter og bakteriedreper.

Sammensetningen av fettsyrer er viktig pga av lagringsegenskapene, og dette styres i hovedsak av hva slags råstoff som er benyttet til biodieselproduksjon. Det viser seg at jo flere karbondobbelbindinger det er i råstoffet (høy andel umettede fettsyrer), desto mer mottagelig er biodieselen for oksidasjon og nedbryting. Et vanlig mål på andelen av umettede fettsyrer kalles **jod tall**, og en høy verdi betyr en stor andel [61]. Europeisk standard krever at jod tallet er lavere enn 120, og dermed kommer biodiesel fra raps/rybs så vidt under kravet mens biodiesel fra fiskeolje er i grenseland [tabell 4.2]. Det vil si at biodiesel med de beste kuldeegenskapene har de dårligste lagringsegenskapene.

En stor fordel med biodiesel i forhold til autodiesel er det mye høyere **flammepunktet** (minimumstemperatur der det kommer tilstrekkelig med damp fra væsken til å kunne antennes av en tennkilde) [54]. Det vil si at biodiesel ikke antenner før mellom 117-185 °C, mens autodiesel antenner ved ca 60 °C. Dette gjør biodieselen mer sikker ved både transport og lagring under normale forhold.

### *3.3.5 Andre egenskaper*

Smøring av selve injeksjonssystemet og dieselmotoren har de senere årene blitt et problem pga av stadig strengere krav i forhold til mengde svovelinnhold i autodiesel. Tilførsel av smøring er essensielt for reduksjon av slitasje på motorkomponenter og dermed økt levetid. Mange raffinerier tilsetter additiver i autodieselen for å erstatte smøringsegenskapene til svovel, med en fordyring av produktet som resultat. Derimot viser det seg at biodiesel har meget gode smøreegenskaper, og benyttet enten i ren form eller innblandet i autodiesel vil kunne løse smøringsproblemene. [53]

Biodiesel vil forringe kvaliteten på plast og gummi i injeksjonssystem og motor pga alkoholinnhold. Dette problemet kan løses ved at all plast/gummi erstattes med syntetiske materialer (viton er mye brukt). Pr i dag er de fleste bilprodusentene villige til å endre materialspesifikasjonene slik at garantien gjelder selv om bileieren velger å benytte biodiesel i stedet for autodiesel, men for eldre bilmodeller kan det være lurt å innblande autodiesel (ca 20 % autodiesel vil nærmest eliminerer problemet). [43] Av øvrige egenskaper kan følgende nevnes:

- Biodiesel er ikke giftig.
- Biodiesel kan blandes med autodiesel i alle slags blandingsforhold.
- Positiv energibalanse (mer energi er lagret i biodiesel enn det som er benyttet til råstoff, produksjon, lagring og transport).

## 4.0 Råstoff og kjemikalier for produksjon av biodiesel

### 4.1 Råstoff

Produksjon av biodiesel krever et råstoff som har triglyserid-struktur, og det gjør utvalget av råstoffer for biodiesel av god kvalitet ganske omfattende. Valget av råstoff er et av de viktigste valgene med hensyn til produksjonsprosess, tilgjengelighet, marked, biodieselegenskap og økonomi. Særlig det siste er avgjørende siden kostnadene til råstoff typisk representerer 60-80 % av totale produksjonskostnader [8].

I USA er det soyaolje som er det dominerende råstoffet (ca 70 % av den totale planteoljeproduksjonen i USA), mens det i Europa er rapsolje som er mest utbredt. I tillegg benyttes olje fra planter som peanøtt, oliven, solsikke, mais, rybs, lin, palme, sennep, bomull, og alger, olje fra fiskeavfall og tall og fett fra destruksjon av storfe, fjærfe og gris, brukt frityr og matavfall. [48]

Videre i dette delkapitlet vil de mest hensiktsmessige råstoffene for produksjon av biodiesel i Norge bli presentert, der det diskuteres fordeler og ulemper ved hvert enkelt råstoff. Det vil også nevnes råstoffer som ikke naturlig produseres i Norge, men som benyttes i andre verdensdeler.

#### 4.1.1 Raps/rybs

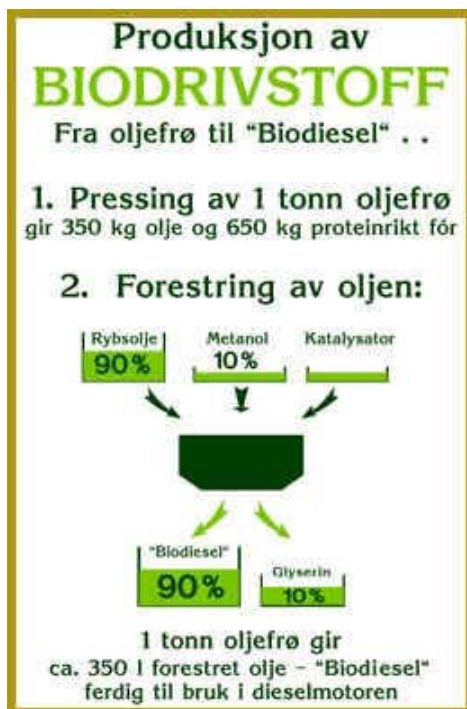
Raps og rybs er de dominerende oljevekstene i Norge. Rybs har en veksttid på ca 115 vekstdøgn, mens raps har en veksttid lik sene hvetesorter på ca 125-130 vekstdøgn. Det vil si at med det klimaet som er i Norge kan raps bare dyrkes i jordbruksområdene omkring Oslofjorden. En god rybsavling gir 200 kg frø pr dekar, mens raps gir opptil 400 kg frø pr dekar. Dyrking av oljevekster gir et godt vekstskifte til en ensidig korndyrking, og øker hveteavlingen med 5-10 % året etter en oljevekstsesong. Felles for alle oljevekster er det høye innholdet av fett eller olje i frøet (30-50 % av frøvekten). Oljen må utvinnes fra frøene, og det skilles mellom tre metoder for dette. Kald- og varmpressing er enklest der frøene presses, i kald eller varm tilstand, i en presse til oljen renner ut. Disse metodene er skånsomme for oljen, og den pressede oljen kalles jomfruolje. Ekstraksjon er en kjemisk prosess, for eksempel med bruk av heksanol, og denne metoden blir oftest benyttet i forbindelse med større industrianlegg pga det økte oljeutbyttet i forhold til pressing. For alle tre metodene må oljen raffineres før den går til forestringprosessen. Rensing skjer ved membranfiltre, sentrifuge eller gravitasjon. Restene av frøene etter at oljen er tatt ut (gjelder bare ved pressing) kan benyttes som proteinrikt dyrefor. [23] [57]

Fra ett tonn oljefrø får en ca 350 liter med biodiesel ved kaldpressing (figur 4.1) og opptil 500 liter biodiesel ved kjemisk ekstraksjon. Det vil si at for rybs vil en oppnå ca 90 liter biodiesel pr dekar og for raps opptil 180 liter pr dekar ved storskala produksjon (ekstraksjon). Arealet av oljevekster i Norge har variert fra 60-150 000 dekar, men målet er å oppnå 400 000 dekar på sikt. [23] Hvis en antar at det totale potensialet for oljevekster i Norge pr i dag er 150 000 dekar, og at fra den ene halvparten produseres det raps og fra den andre halvparten rybs, vil det kunne produseres ca 20,3 millioner liter biodiesel av råstoffene rybs og raps (med et utbytteforhold fra ekstraksjon på 0,45).

Rapsolje har høy kvalitet og enkel produksjonsprosess sammenlignet med andre råstoffer. Høy kvalitet på rapsolje kommer av en høy andel av umettede fettsyrer (92 %) slik at

biodieselen kan benyttes ned til lavere temperaturer enn noen av de andre råstoffene [40]. Dette er helt klart et fortrinn i Norge med tanke på klimaet. Enklere produksjonsprosess kommer av den lave andelen av frie fettsyrer, det vil si at det ikke dannes såpe gjennom prosessen. En ulempe med rybs og raps som råstoff er den noe høyere konsentrasjonen av svovel i forhold til andre råstoffer, noe som resulterer i høyere utslipp av SO<sub>x</sub> til omgivelsene ved forbrenning. [48] Andre aspekter ved bruk av raps/rybs er at det krever store mengder vann, sprøytemidler og gjødsel for optimal vekst i tillegg til diesel til traktor som brukes til såing, innhøsting osv, noe som må tas hensyn til i en livsløpsanalyse. I tillegg vil en økt dyrking av raps/rybs i Norge gå utover produksjonsvolumet for vekster som korn og gress, siden det aller meste av det optimalt dyrkbare områdene i Norge allerede er i bruk. Det som kan bidra til å øke potensialet for oljevekster i Norge er å motivere bønder til å dyrke raps/rybs som et vekstskifte, slik at de oppnår høyere avling av for eksempel hvete året etter.

Priser på rapsolje er ca 5,2 kr pr kilo [23]. Dette stemmer bra overens med en dansk undersøkelse som viser at rapsfrø koster ca 1,65 kr/kg, der omkostninger til pressing/ekstraksjon kommer på ca en kr/kg olje (inkludert investering, arbeidslønn og energi). Det vil si at ved et utbytte av olje fra frø på 0,40 (gjennomsnitt av pressing og ekstraksjon), vil prisen på rapsolje være ca 5,1 NOK/kg. [50]



#### Produksjon av rybs/rapsolje:

1. Bakken pløyes og såfrøene settes i bakken.
2. Ved hjelp av gjødselen vokser plantene raskere og det fås større avkastning pr areal.
3. Kjemikaliene beskytter mot skadedyr mm.
4. Under innhøstingen lar man halmstrået stå igjen for deretter å nedpløyes til næring for neste plantegenerasjon.
5. Frøet skilles fra resten av planten.
6. Frøene tørkes.
7. Frøene transporteres til et produksjonsanlegg for rybs/rapsolje.
8. Frøene presses for å få ut oljen.
9. Pressresten etterbehandles for å få ut enda mer olje, ekstraksjon, og ender deretter opp som rybsmel som er et dyrefor som erstatter soyaprotein.
10. Oljen renses/filtreres.
11. Oljen blandes med metanol, syre og katalysator i en prosess som kalles forestring.
12. Det ferdige produktet kalles biodiesel, og den kjemiske betegnelsen er Rybs/rapsolje-metylester (RME).
13. Glycerol er et biprodukt som selges til kjemisk industri.

Figur 4.1: Biodiesel fra raps/rybs [57].

#### 4.1.2 *Animalsk fett*

Slakteriavfall og kadavre fra gris, storfe og fjærfe, er råstoff for produksjon av beinmel og destruksjonsfett. Destruksjonsfettet deles inn i flere kvalitetsklasser etter innholdet av frie fettsyrer, der den største mengden gjerne har et innhold av frie fettsyrer på under 8 %. Mengden kjøtt til primærbruk fra et dyr er ca 35-55 % av totalvekten, avhengig av art. Resterende deles inn i bein (16-18 %, organer og kjertler (7-16 %), skinn og hår (6-15 %) og blod (3-4 %). Disse biproduktene fra slakting deles så inn i spiselige og ikke spiselige produkter, der de spiselige produktene blir brukt til diverse matingredienser mens de ikke spiselige brukes til gelatin, klær, smøremidler og farmasøytindustrien. [40] Infrastrukturen for innsamling og distribusjon av slakteriavfall, kadavre og restprodukter fra produksjon og pakking av kjøttprodukter er velutviklet, så tilgjengelig kapasitet i Norge anslås til ca 20 000 tonn årlig [23]. Det går ca 0,9 kg med destruksjonsfett til å produsere en liter med biodiesel, noe som tilsvarer et potensial i Norge på ca 22,2 millioner liter biodiesel.

De første anleggene som bruker dette råstoffet til produksjon av biodiesel har kommet i drift blant annet i USA [23]. I Norge blir slakteriavfall omgjort til fett på Norsk Protein AS i Fredrikstad. Her tømmeres avfallet i en stor silo, og blir deretter sendt gjennom en kvern som maler og knuser avfallet ned til partikler på under 50 millimeter. Til slutt tørkes massen i en trykkoker på 136 °C før benmelet skilles fra det rene fett. Det kan også benyttes ekstraksjon ved hjelp av løsemiddel for å separere fett fra det resterende. Benmel og fett blir pr i dag brukt til pelsdyrfôr, gjødsel, brennstoff, plast, gummi og maling. [55] Forbud mot bruk av kjøttbeinmel og animalsk fett som dyrefôr, på grunn av mulig årsak til sykdommer som kugalskap og skrapesyke, har aktualisert muligheten for å benytte dette råstoffet til produksjon av biodiesel [40].

Ulempen ved å bruke animalsk fett til biodieselproduksjon er det høye innholdet av frie fettsyrer, som gjennom forestringprosessen kan føre til konvertering av fett til såpe i stedet for biodiesel. Dette fører til dårlig produktivitet og produksjonskomplikasjoner. Det er også en stor andel av mettede fettsyrer (40-64 %) i animalsk fett sammenlignet med for eksempel rapsolje (4-9 %). Dette gjør råstoffet uegnet til produksjon av biodiesel beregnet for kaldere klima, med mindre biodieselen blir blandet med autodiesel. [40] Det kan nevnes at glyserolen, som er et biprodukt etter forestringprosessen, har lavere salgsverdi ved bruk av råstoff fra ikke spiselige produkter enn råstoff fra spiselige produkter og vegetabilsk olje [18].

Fordelen ved bruk av animalsk fett er den lave innkjøpsprisen sammenlignet med andre råstoffer, det vil si at kostnadene kan komme helt ned i en krone pr kilo for den dårligste kvaliteten [23]. En annen fordel er det høye cetan tallet pga en stor andel mettede fettsyrer, noe som fører til god forbrenningskarakteristikk i dieselmotoren. I tillegg har biodiesel fra animalsk fett den egenskapen at den fører til mindre NO<sub>x</sub> utslipp fra forbrenning enn både autobiodiesel og biodiesel fra andre råstoff [18]. Sett i perspektiv av en livsløpsanalyse kommer dette råstoffet bra ut i forhold til raps/rybs produksjon, siden eneste energibruk til råstoffproduksjonen kommer fra kverning, trykkoking og tørking av destruksjonsmaterialet, der både utslipp til vann og luft er nøye kontrollert. Utenom denne energibruken har produksjon av animalsk fett liten innvirkning på samfunnet og omgivelsene [42].

### 4.1.3 Yellow- og brown grease

**Yellow grease** blir utvunnet fra brukt frityr- og stekeolje samt andre fett og oljer oppsamlet fra privat og industrielt matavfall. Brukt stekeolje kan være både vegetabilsk olje og animalsk fett som har vært oppvarmet i forbindelse med matlaging. Etter bruk blir yellow grease samlet sammen, filtrert, kokt opp for å fjerne fuktighet og tilberedt industrielt hovedsakelig til teknisk bruk og dyrefôr. [18] Oppsamling av yellow grease må en anta er størst utbredt i byer og andre større befolkete områder, og i Norge er omfanget av fettutvinning fra matavfall forholdsvis lite. Det antas at årsproduksjonen av yellow grease i Norge dreier seg om ca 1 000 tonn [23]. Amerikanske undersøkelser viser at 70-95 % av yellow grease blir samlet inn og brukt i byområder, men at prisen må drives opp for å motivere både befolkning og industri til å bli flinkere til separere matavfallet og levere det inn. Det går med ca 0,92 kg yellow grease pr liter ferdig biodiesel, noe som betyr at potensialet i Norge dreier seg om ca 1,09 millioner liter ferdig biodiesel. [18]

Dette er helt klart et av de rimeligste råstoffene tilgjengelig for biodieselproduksjon, men samtidig et av de dårligste med tanke på bruk i kalde klima og produksjonsvennlighet. Yellow grease inneholder opptil 15 % frie fettsyrer så en estrifisering med syrekatalysator (kapittel 5.1), i tillegg til vanlig forestring, er nødvendig for å konvertere frie fettsyrer til biodiesel. [48]. Det er også en stor andel av mettede fettsyrer i råstoffet (19-40 %), slik at biodiesel produsert fra yellow grease må innblandes med autodiesel for å tilpasses norsk klima. Gjennomsnittelig prisnivå for yellow grease i USA, gjennom 2004, har vært ca 1,7 kr pr kg (kurs på 6,6 NOK/US\$) [18]. Pris for råstoffet og kostnader til preprosessering av yellow grease kommer an på om innkjøpet skjer direkte fra restaurantene eller fra et destruksjonsfirma.

**Brown grease** er betegnelsen på fett som er oppsamlet fra offentlige og industrielle avløps- og kloakkanlegg, der fett og olje atskilles fra avløpsvannet (vektforskjell på vann og fett gjør at de separeres pga gravitasjon ved å presse det tyngre vannet under en oppsamler). Innholdet i brown grease består av store konsentrasjoner av såpe, kjemikalier og vann, så det krever omfattende behandling før det kan benyttes i biodieselproduksjon. Markedsprisen har vært ca halvparten i forhold til yellow grease (0,8 kr pr kg), så det gjør råstoffet til det absolutt rimeligste med tanke på biodieselproduksjon [18]. Men ulempene er en lite utviklet teknologi for forbehandling, høy andel av både mettede fettsyrer og frie fettsyrer (inneholder ofte over 20 % frie fettsyrer). Ved å bruke dette råstoffet til biodiesel vil en redusere metanutslipp fra avfallstomtene som normalt er mottager av brown grease. [61]

Potensialet i Norge er det vanskelig å finne noe tall på, men i USA samles det opp ca 1,82 kg fett med vanninnhold fra kloakkanleggene pr innbygger pr år. Overført til Norge tilsvarer det et potensial på ca 3 300 tonn (justert for et vanninnhold på ca 60 %) av brown grease. Det betyr at det kan produseres ca 3,4 millioner liter biodiesel fra kloakken, men det krever en bra teknologi for oppsamling. Tallene her er selvfølgelig usikre siden det bare er gjort antagelser om at tallverdiene kan overføres direkte fra USA til Norge. [18]

#### 4.1.4 Olje fra fiskeavfall

Fiskeolje er et biprodukt fra produksjon av fiskemel, og er et svært interessant råstoff med tanke på biodieselproduksjon pga det store volumet på verdensbasis. Fiskemel er karakterisert som et fast stoff som produseres ved å fjerne olje og vann fra fisken eller fiskeavfallet, og det brukes hovedsakelig til proteinrikt fôr for gris, kylling og fisk. Oljen kan produseres fra både fiskeavfall og fisk som fiskes kun med det til formål å lage olje. [23]

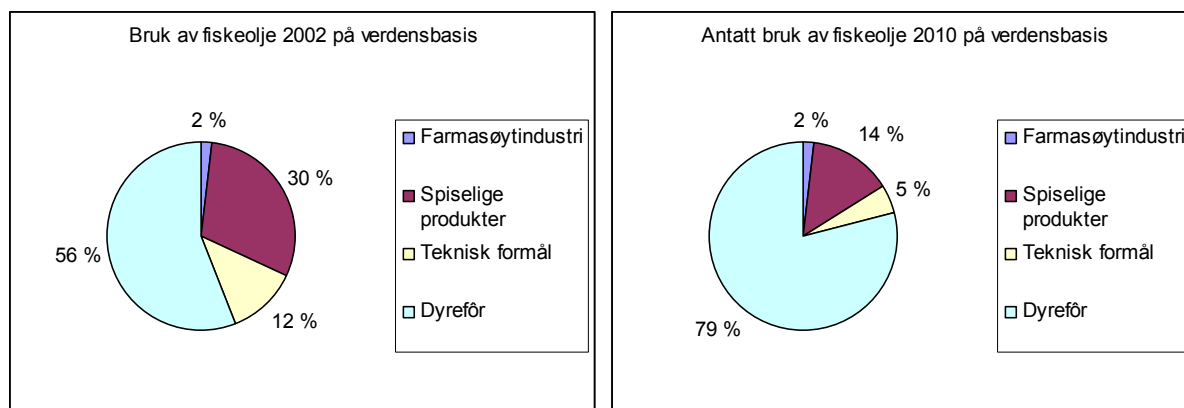
Det produseres i dag ca 150 000 tonn fiskeolje i Norge, der ca 55 % blir brukt i næringsmiddelindustrien (tran og omega-3 fettsyrer for eksempel), ca 35 % til fiskefôr og ca 10 % til teknisk formål [23]. Teknisk formål innebærer produksjon av såpe, glyserol og andre ikke spiselige produkter. De fleste fiskearter kan benyttes til å lage fiskeolje, men utbyttet av olje varierer stort i tillegg til at separasjonsprosessen av olje og mel varierer etter art. Torsk, sild, makrell, tunfisk og laks (ikke benyttet til dyre/fiskefôr, bare til olje) anses som de artene med størst fettinnhold, og som det er naturlig å benytte til fiskeoljeproduksjon i Norge. [8]

En rekke teknologier muliggjør konvertering av fiskeavfall til etterspurte produkter. Den mest vanlige metoden er kverning og deretter koking av fisken/avfallet for å separere det faste stoffet fra det flytende. Utstyret for denne prosessen er gjerne en vertikal sylinder der fisken/avfallet helles oppi sammen med noe vann. Sylindren har en konisk bunn hvor varm damp koker opp innholdet slik at separasjonen kan starte. Denne prosessen foregår i fire til seks timer, der til slutt fett og oljen flyter opp til toppen av sylindren hvor uttaket kan skje. Deretter renses oljen for vann og andre rester via en sentrifuge. Fordelen med denne metoden er høy effektivitet med et forholdsvis enkelt utstyr, men ulempen er høyt forbruk av energi. Andelen frie fettsyrer produsert kommer an på tid, temperatur og lagringstid. [61] Andre teknologier er blant annet hydrolyse [8]. I Norge produseres det biodiesel av dette råstoffet ved ESTRA AS i Trondheim.

Både tilbud og etterspørsel etter fiskeolje bestemmes av en rekke faktorer som blant annet klima, vær, kvoter, verdensøkonomi osv, og figur 4.2 viser verdensbildet av markedet for fiskeolje i 2002 og et estimat for 2010. Estimaten viser at fiskeolje forventes å bli mer og mer brukt til dyre- og fiskefôr i framtiden, på bekostning av spiselige produkter og tekniske formål som eksempelvis biodiesel. Store eksportører av fiskeolje er Peru (deres enorme fiskeoljeproduksjon styrer prisene), USA, Island, Danmark og Norge. [8] Prisen på fiskeolje i Norge pr i dag ligger på 3,5-4 kr pr liter [41].

Potensialet for biodieselproduksjon fra fiskeolje i Norge er vanskelig å beregne fordi oppdrettsnæringen allerede utnytter en stor andel av tilgjengelig fiskeolje, og prognoser på verdensbasis viser at denne andelen bare vil øke framover. Hvis en antar at den andelen som går med til teknisk formål kan anses som potensialet pr i dag, og en benytter en konverteringsfaktor på 0,9 kg råstoff pr liter biodiesel, vil totalt potensial fra fiskeolje være ca 16,7 millioner liter biodiesel.





Figur 4.2: Bruk av fiskeolje [8].

#### 4.1.5 Alger

Mikroalger er mikroskopiske encelleplanter som må vokse i vann, og veksten kan under optimale forhold fordobles i løpet av ti timer [23]. Forskning viser at det kan vokse 50 kg alger pr dag på ett dekar, noe som gir ca 30 kg olje pr dag på ett dekar. Sammenlignet med raps (180 liter biodiesel pr år på ett dekar) er dette overlegent, og gjør dermed alger til den mest effektive kilden til biomasse [38]. Alger reproducerer seg via celledeling, og de deler seg opp helt til de fyller opp innhegningen de er dyrket i eller blir høstet. De kan dyrkes både i salt- og ferskvann og veksten øker med omgivelsestemperatur. [43] Ca 60 % av råvekten av mikroalgene er triglyserid, og det gjør plantene godt egnet til produksjon av biodiesel. Andre bruksområder i energisammenheng kan være produksjon av metangass (biologisk) eller fra gassifisering og produksjon av etanol ved fermentering.

Fordeler med dette råstoffet for biodieselproduksjon er at arealet som blir brukt til algedyrking ikke konkurrerer med landområder brukt til oljevekster og andre landbruksprodukter, og at karbondioksid produsert ved brenning av fossilt brensel kan benyttes til dyrking av alger i stedet for direkte utslipp til omgivelsene (dyrking av alger krever tilskudd av CO<sub>2</sub> for optimal vekst). En god kontroll av pH nivået samt andre fysiske betingelser gjør at utnyttelsesgraden av karbondioksid kan komme opp i hele 90 %, og siden potensialet på verdensbasis er enormt for algedyrking vil store deponimengder av CO<sub>2</sub> kunne benyttes. [38]

Hovedproblemet med dette råstoffet i forhold til industrielt bruk er kostnadene knyttet til dyrking, innhøsting, ekstraksjon av olje og ikke minst fjerning av overflødig vann i algene [38]. På grunn av kostnadene og teknologiutvikling er dette pr i dag et ulønnsomt råstoff, men ved en høyere energipris på fossilt brensel, storskaladrift og mer forskning/utvikling kan alger være et bra energialternativ i framtiden. Forskning viser at alger enkelt kan erstatte behovet for tradisjonell autodiesel i USA pga arealpotensialet, og at produksjonskostnadene for biodiesel produsert av alger kan komme ned i ca tre kroner pr liter på sikt. [43]

#### 4.1.6 Tallolje

Tallolje er et biprodukt fra treforedlingsindustrien, det vil si fra produksjon av mekanisk og kjemisk masse. Kjemisk masse blir framstilt ved at veden kokes med kjemikalier slik at bindemidlet lignin løser seg opp og frigjør trefibrene, og mekanisk masse ved at trefibrene slites fra hverandre. Kjemikaliene som benyttes til koking avhenger av hvilken kjemisk prosess som benyttes. Det kan være enten kalsium, magnesium eller natriumsulfitt ved produksjon av sulfittcellulose, og lut ved produksjon av sulfatcellulose. Energien fra restproduktene fra treforedlingsindustrien fordeler seg på forbrenning av avlut (brukte kokekjemikalier), og forbrenning av bark (fra mekanisk masse). Fra denne avluten (svartlut) kan det framstilles råttallolje ved at skummet fra avluten opphetes og forsures med fortynt svovelsyre. Fra denne råttalloljen kan det framstilles 20-25 % med tallfettsyre (TOFA) via raffinering under lavt trykk, og tallfettsyren kan benyttes til biodieselproduksjon. [23] I Canada kalles biodiesel fra tallolje for supercetan pga det høye cetan tallet [33].

Teknisk sett betraktes ikke råttallolje som verken vegetabilsk olje eller animalsk fett pga at den ikke inneholder triglyserider. I stedet består den av en stor andel umettede fettsyrer, noe planteekstrakt og harpikssyre [62]. Råttalloljen er ansett som en rimelig olje og benyttes i dag hovedsakelig til smøremidler og tilsetning i kjemisk industri. Det anslåtte potensialet i Norge er ca 11 000 tonn i året, noe som tilsvarer ca 12,2 millioner liter biodiesel. [23]

#### 4.1.7 Andre råstoffer

Inn under denne kategorien kommer råstoffer som det ikke er naturlig å dyrke i Norge pga klima, egenskaper og økonomiske årsaker: [43]

- Oljepalmer i Afrika er de beste oljeproduserende trær i verden, der det fra et dekar kan produseres opptil 500 kg olje pr år. Oljen kommer fra den kjøttfulle delen av fruktene på treet, og brukes til å lage såpe, margarin og stekeolje.
- Kokosnøttpalmer fra tropiske regnskoger produserer olje på samme måte som oljepalmer, og fra disse palmene kommer ca en tredjedel av all planteolje i verden. Både olje fra kokosnøtt- og oljepalme er i fast form ved romtemperatur.
- Peanøttolje dyrkes i varmere klimaer med sandfull grunn som for eksempel i Sør Amerika. Utbyttet pr dekar er omkring 90 kg olje pr år.
- Solsikkeolje må også dyrkes i varmere strøk, og er den andre mest spiselige oljen som finnes i verden. Derfor er den mye brukt til stekeolje, margarin og dressing. Det kan dyrkes opptil 80 kg olje pr dekar.
- Soyabønnyrking er mest utbredt i USA, der det fra bønnene kan framstille ca 20 % olje. Mesteparten av biodieselproduksjonen i USA benytter dette råstoffet, enten fra jomfruolje eller brukt stekeolje fra soya. Det finnes et veletablert marked for kjøp og salg av denne oljen. Egenskapene kan sammenlignes med solsikkeolje når det gjelder sammensetning av fettsyrer, og de betraktes derfor som ensartet. Et dekar gir ca 37 kg olje pr år, og prisen pr i dag er ca 3 kr pr kg.
- Mais dyrkes hovedsakelig i USA og Sør Amerika, og er den tredje viktigste kornarten etter hvete og ris. Andelen olje fra mais er bare på ca 7-8 % av råvekten og betraktes derfor bare som et biprodukt. Dermed gir det forholdsvis lavt utbytte (15 kg olje, pr dekar og år).
- I tillegg til råstoffene beskrevet ovenfor kan det nevnes råstoffer som hamp, ris, lin, bomull, sennep samt ca 350 oljeproduserende arter til.

## 4.2 Oppsummering av råstoff

Valget av råstoff avhenger av tilgjengelighet, pris, arealutnyttelse, produksjonskomplikasjoner og distribusjonen av fettsyrer som i stor grad innvirker på kvaliteten på biodieselen. I tabell 4.1 nedenfor er det satt opp en oversikt over tenntemperatur, arealutnyttelse for råstoff som dyrkes, jodtall, cetantall (for ferdig biodiesel produsert med metanol) og andel mettede fettsyrer for ulike oljer/fett.

	Tenn-temperatur i olje (°C)	Antall liter biodiesel pr dekar	Mettede fettsyrer i olje (%)	Jod tall for olje	Cetan tall i biodiesel (metanol)
Raps	246	180	4-9	96-115	45-59
Rybs		90	4-9	100-110	45-59
Animalsk fett	201		40-64	35-48	58-59
Yellow grease			19-40	80-91	60-61
Brown grease			30-60		
Fiskeolje			lavt	140-160	Min 51
Alger		11 000	7-10		
TOFA				165	60-64
Palmeolje		500	44-53	35-57	56-62
Peanøttolje	271	90		83-100	
Kokosnøttolje		226		8-10	
Solsikkeolje	274	80	8-16	127-142	46-49
Soyaolje	254	38	11-17	121-143	46-51
Maisolje	277	15	11-15	103-128	

**Tabell 4.1:** Data for ulike råstoff [43] [48] [40] [23] [18] [25] [19] [38] [66].

	Cetan tall	Densitet (g/cm <sup>3</sup> )	Jod tall	Viskosit. ved 40 °C	Brennv. MJ/kg	Cloud point (°C)	Pour point (°C)	Flash point (°C)
Soya ME	46-51	0,885	133,2	4,08	40,2	-0,5	-4,0	131
Soya EE	48	0,881	123,0	4,41	40,0	-1,0	-4,0	160
Soya BE	51			5,24		-3,0	-7,0	
Raps ME	45-59	0,881	97,4	4,83	37-40,7	-4,0	-10,8	170
Raps EE	65	0,876	99,7	6,17	40,5	-2,0	-15,0	185
Animalsk ME	58-59	0,882		4,80	40,0	13,0	9,0	117
Fiskeolje ME	Min 51	0,880	140,0	3,5-5,0		-5,0		150
Yellow EE	60-61	0,872		5,78	40,5	9,0	8,0	124
Palme ME	56-62	0,880		5,70	37,8	13,0		
Solsikke ME	46-49	0,880		4,60	38,1	1,0		
Am. Standard ME	>47			1,9-6,0				>130
Eur. Standard ME	>51	0,86-0,9	<120,0	3,5-5,0				>120
Autodiesel	40-52	0,85	8,6	2,39-2,6	45,0	-19,0	-23,0	60-72

**Tabell 4.2:** Data for ulike råstoff i forhold til autodiesel og standarder [43] [48] [40] [23] [18] [25] [19] [38] [66] [60].

Tabell 4.2 viser egenskaper for biodiesel produsert fra forskjellige råstoffer og alkoholer sammenlignet med autodiesel samt europeisk og amerikansk standard for biodiesel. Denne tabellen er satt sammen av data fra en rekke undersøkelser angående biodiesel. Tabellen er ikke komplett pga at det i de forskjellige undersøkelsene ikke er oppgitt fullstendige oversikter, og samtidig vil noen rubrikker inneholde intervaller siden det er variasjon i testresultatene. På neste side følger en forklaring til tabell:

- ME: metanolester, det vil si at biodieselen er produsert med metanol.
- EE: etanolester, det vil si at biodieselen er produsert med etanol.
- BE: butanolester, det vil si at biodieselen er produsert med butanol.
- Europeisk standard ME: EN 14214 fra 2003 med hensyn til biodiesel fra metylester.
- Amerikansk standard ME: ASTM D-6751 fra 2002 med hensyn til metylester.

De røde rubrikkene i tabell 4.2 indikerer egenskaper ved biodieselen fra ulike råstoffer som er i grenseland eller utenfor den europeiske standarden. Den eneste biodieselen som holder seg innenfor standarden er den som er produsert av rapsolje og metanol. Intervallet for cetan tall for raps ME indikerer at den noen ganger ikke overholder standarden, men de fleste rapporter viser cetan tall på over 51. Biodiesel fra andre råstoffer som kommer nærmest standarden er de som er produsert av animalsk fett og fiskeolje, der avviket for animalsk fett er i forhold til flash point og for fiskeolje i forhold til jod tall. Disse avvikene er muligens så små at det lar seg gjøre å korrigere under produksjon slik at standarden overholdes. Dette er trolig siden Habiol AS (se kapittel 7.4.1) har planer om biodieselproduksjon fra slakteriavfall og Estra AS allerede produserer og selger biodiesel fra fiskeolje. De råstoffene som er minst egnet i forhold til standarden er soyaolje, palmeolje og solsikkeolje, og dette er råstoffer som er uaktuelle både å importere og produsere til/i Norge pga klima, råstoffpris i USA og fraktkostnader fra USA/Amerika. Ellers ser en at biodiesel fra rapsolje/fiskeolje og metanol kommer veldig bra ut sammenlignet med biodiesel fra andre råstoffer når det gjelder cloud- og pour point, noe som er viktig med tanke på bruk i Norge på vinterstid. Konklusjonen er at det i Norge er mest hensiktsmessig å konsentrere seg om råstoffer som raps/rybs, fiskeolje og kanskje animalsk fett. I tillegg kan kanskje yellow/brown grease, tallolje og alger være alternativer i framtiden.

### 4.3 Potensial for biodieselproduksjon

Totalt praktisk potensial for biodieselproduksjon i Norge kan beregnes ved å summere opp potensialet for de ulike råstoffene tilgjengelig i Norge, og ca 76 millioner liter er pr i dag potensialet. Det teoretiske potensialet er selvfølgelig mye høyere. Det kommer av at det for eksempel kan dyrkes oljevekster på alt tilgjengelig jordbruksareal i Norge, all produsert fiskeolje kan benyttes til biodiesel, mer brown grease kan gjenvinnes ved bedre utbygging av avløpssystemer osv. Det vil si at for å oppnå teoretisk potensial må det oppgis dyrking av eksempelvis hvete og gress, samt produksjon av tran og såpe fra norsk fisk. Dette scenarioet er ikke sannsynlig, så derfor antas det at det praktiske potensialet her er reelt.

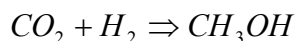
Type råstoff	Millioner l biodiesel
Raps og rybs	20,3
Animalsk fett	22,2
Yellow grease	1,1
Brown grease	3,4
Fiskeolje	16,7
Alger	?
Tallolje	12,2
<b>Sum</b>	<b>75,9</b>

*Tabell 4.3: Potensial.*

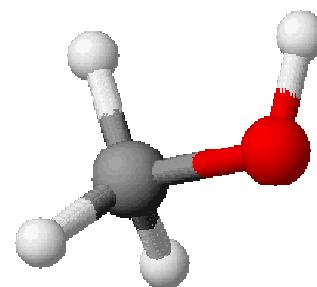
## 4.4 Kjemikalier til produksjonsprosessen

### 4.4.1 Metanol

Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) kalles ofte tresprit fordi den kan lages ved tørrdestillasjon av tre uten tilgang på oksygen (lages også av metangass). Ved  $300\text{ }^\circ\text{C}$  og 300 atmosfærers trykk dannes metanol, fra karbondioksid og hydrogengass via en katalysator, gjennom denne reaksjonen:



Metanolemolekylet (figur 4.3) er bygget opp på samme måte som metan, men et av hydrogenatomene er byttet ut med en OH gruppe. Selve metanolen er en fargeløs og giftig væske, og ved inntak kan man bli blind eller i verste fall dø. Den reagerer lett og danner dermed nye organiske stoffer med ulike egenskaper, og bruksområdene er hovedsakelig teknisk sprit, løsemiddel og drivstoff. [64]



*Figur 4.3: Metanol.*

I Norge er det hovedsakelig Statoil på Tjeldbergodden i Møre og Romsdal som produserer metanol til industrielt formål. Prisen pr liter for metanol avhenger av kvantum, og ved innkjøp av fat (200 liter) er prisen i dag 14 kroner pr liter inkludert mva og mellom 6,2-7,4 kroner inkludert mva pr liter ved innkjøp av hele tankbillass. Prisene er nå veldig høye sett i historisk sammenheng, og forventes å synke noe på sikt. [29]

For oppbevaring og behandling av metanol er det viktig å være klar over at væsken er giftig og meget brannfarlig (dampen er tyngre enn luft og sprer seg derfor langs bakken og kan danne en eksplosiv blanding med luft). Den skal lagres kjølig i godt ventilerte omgivelser, med beskyttelse mot direkte sollys og varme. [59] Dette er viktig å tenke på ved layout av fabrikk for biodieselproduksjon.

### 4.4.2 Etanol

Etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) er den mest kjente alkoholen, og framstilles ved at stoffer som inneholder druesukker, sukker eller stivelse gjærer og dermed omdannes til etanol og karbondioksidgass (kan også framstilles etanol ved å hydrere eten). Gjærsoppene overlever bare et alkoholinnhold på 13 %, så destillering må til for å få en høyere alkoholprosent. Reaksjonsligningen er som følger:



I likhet med metanol benyttes etanol til teknisk sprit, medisinsk bruk og løsemiddel, men den er ikke like giftig som metanol. [64] I Norge er det Arcus AS som hovedsakelig produserer etanol og prisen pr liter på fat er ca 12,4 kr inkludert mva. Det opereres også her med kvantumrabatter, men prisen pr liter er ikke konkurransedyktig med prisen på metanol ved store kvantum.

I følge datablad på etanol beskrives væsken som meget brannfarlig og helseskadelig, men er ikke miljøskadelig og kan behandles i vannrenseanlegg. Den skal i likhet med metanol lagres kjølig og mørkt med god ventilasjon. [59]

#### 4.4.3 *Sammenligning av metanol og etanol*

En sammenligning av etanol og metanol som middel for å kjemisk bryte ned triglyseridene til metyl- eller etylestere er utført ved University of Idaho [42]. Undersøkelsen er utført ved å benytte etanol og metanol til råstoffer som rapsolje, animalsk fett og soyaolje. Generelt er det liten forskjell på etyl- og metylestere fysisk og kjemisk sett, men noen viktige forskjeller beskrives her:

- Gjennomsnittelig omdanning i forestringprosessen basert på etanol er på 94,3 % og basert på metanol hele 97,5 %, med dertil høyere restdannelser av glyserol fra bruk av etanol. Et storskalaanlegg vil høyne disse prosentandelene, men differansen vil fortsatt være i favør av metanol når det gjelder effektivitet [42]. Metanol som input skaper også en mer stabil produksjonsprosess [43].
- Viskositeten til etylestere er noe høyere enn for metylestere (tabell 4.2), mens cloud- og pour point er noe lavere for etylestere. Differansen i cloud- og pour point er så liten at det vil ikke utgjøre noe avgjørende forskjell for bruk i Norge.
- Motortester viser at metylester produserer noe høyere kraft og moment i motoren enn fra etylester, mens drivstofforbruket fra de to er tilnærmet likt [25].
- En fordel med etylestere er at det produseres mindre røyk og lavere eksosstemperatur ved forbrenning [42].
- Metanol oksiderer senere i vann (fra olje og fett) og karbondioksid enn etanol (som derimot ved sin senere oksideringsevne danner metanal som er svært giftig), og skaper dermed en mer forutsigbar produksjonsprosess pga den lavere reaktiviteten [43].

En oppsummering av egenskaper og pris for produktene etanol og metanol viser at det er absolutt flest fordeler med bruk av metanol sett i forhold til produksjonseffektivitet og økonomi. For det første gir metanol et større utbytte av biodiesel fra råstoffet enn ved bruk av etanol, samtidig som metanol er rimeligere i innkjøp. I tillegg yter motoren en større kraft ved bruk av metanol, noe som er viktig med tanke på at en motor som går på biodiesel generelt yter noe mindre effekt enn ved bruk av autodiesel. Selv om bruk av etanol er bedre med tanke på miljøet, vil de positive effektene ved metanol foretrekkes når industriell produksjon vurderes.

#### 4.4.4 *Katalysator*

Til å initiere og øke farten på den kjemiske reaksjonen mellom triglyserid og alkohol brukes katalysator, og de mest vanlige stoffene (baser) benyttet til katalysator er kaliumhydroksid (KOH, kalilut), natriumhydroksid (NaOH, kausisk soda) og sodium methoxide (NaOCH<sub>3</sub>). Det kan også brukes syrekatalysatorer, men baser er mest brukt pga: [30]

- Lavere temperatur og trykk i prosessen.
- Gir høyere utbytte av biodiesel i produksjonsprosessen, med minimale reaksjonstider og sidereaksjoner.
- Direkte konvertering til biodiesel i stedet for flere prosesser.
- Rimeligere i innkjøp.

Det som egentlig skjer er at katalysatoren bryter opp triglyseridene slik at hydrokarbonkjedene frigjøres fra glyserolmolekylet, og de frigjorte kjedene vil knytte seg til alkoholene og danne biodiesel (etylestere og metylestere stort sett), mens katalysatoren vil knytte seg til biproduktet glyserolen [43]. En suksessfull forestringprosess krever at råstoffet

inneholder mindre enn 0,5 % med frie fettsyrer, korrekt blandingsforhold av råstoff, katalysator og alkohol samt at de korte kjedene med alkoholer skal være fri for fuktighet. Hvis ikke vil prosessen kreve en større andel av basekatalysator og dermed føre til en lavere konverteringsgrad av råstoff til biodiesel. Det vil si at et høyt vanninnhold og frie fettsyrer konsumerer katalysator og produserer uønsket såpe, noe som innvirker negativt på separasjonen av estere og glyserol. [48]

Noen fordeler og ulemper ved de ulike basene til katalysatorbruk:

- **Kaliumhydroksid:** Et rimelig og lett tilgjengelig stoff, men det trengs en større mengde av denne katalysatoren for oppnå samme utbytteforhold som de to natriumbaserte basene. Dette kommer av at det dannes kaliumioner og dermed kaliumsaltkrystaller i glyserolen (lav løselighet i glyserol). Disse saltkrystallene er ikke heldig for produksjonsutstyret, samtidig som de skaper et problem når biproduktet glyserol skal etterbehandles. [30] Prisen på kaliumhydroksid i Norge er omkring 3-4 kroner pr kg avhengig av kvantum [5].
- **Natriumhydroksid:** Oppløsning av natriumhydroksid er en eksoterm reaksjon, så reaksjonstanken som prosessen foregår i bør kjøles ned for å forhindre fordampning av for mye alkohol. Krystaller av denne basen vil også trekke fuktigheten ut av luften omkring seg, og de tenderer til å hope seg opp. [30] Ved en nøye planlagt produksjonsprosess er kausisk soda et bedre alternativ enn kaliumhydroksid, og prisen i Norge er omkring den samme for begge disse basene (3-4 kr pr kg avhengig av kvantum)[5].
- **Sodium methoxide:** Denne basen benyttes aldri i 100 % ren form pga det høye flammepunktet, men blandes vanligvis med metanol slik at den blir flytende. Det at denne basen gjøres flytende utgjør en stor fordel sammenlignet med de to forannevnte basene fordi den kan lagres på samme sted som etanol/metanol. I tillegg er den mest effektiv av disse tre basene når det gjelder antall kg benyttet for å oppnå en optimal forestringprosess. Ulempen er dårlig tilgjengelighet på markedet og dertil høy pris. [30]

Alle tre basene diskutert ovenfor har en hvit substans og fås i pulver- eller pelletsform. Dette er sterke baser som må behandles strengt etter sikkerhetsforskriftene pga sterkt etsende egenskaper. [43] Lagring av disse stoffene bør foregå på et tørt og kjølig sted siden både natrium- og kaliumhydroksid hurtig absorberer fuktighet fra luften omkring, og dermed kan klumpe seg og bli ubrukbar [30]. Miljømessig skal disse basene ikke slippes ut i grunnvann eller vannavløp. Som nevnt tidligere er lagringsproblematikken enklere med sodium methoxide fordi den er i flytende form. Ut fra disse opplysningene er det natriumhydroksid og sodium methoxide som er de beste alternativene, og særlig førstnevnte pga rimelig pris og god tilgjengelighet.

## 5.0 Produksjon

I dette kapitlet om produksjon vil det blant annet drøftes hva som er optimalt med tanke på om råstoffet skal preprosesserer som en integrert del av produksjonsanlegget eller kjøpes inn ferdigbehandlet. Preprosessering og forestringprosessen vil bli beskrevet i detalj samt hvilke produksjonskrav som gjelder for biodiesel. I tillegg vil noen kriterier og aspekter for design av produksjonsanlegget nevnes.

### 5.1 Preprosessering av råstoff

Kalkulering av massebalanser viser at kvaliteten på den vegetabiliske oljen eller animalske fettene er svært viktig for utbyttegraden, økonomien og kompleksiteten i produksjonsprosessen. Det er derfor en utfordring å optimalisere disse parametrene sammen med prisen på råstoff, kostnader til preprosessering av råstoffene og produksjonskostnader. De beste råstoffene med tanke på en stabil prosess med høy utbyttegrad og få komplikasjoner er vegetabiliske oljer, mens eksempelvis animalsk fett og yellow- og brown grease er veldig inhomogene og krever mye forbehandling og mer kvalitets- og prosesskontroll som til sammen kan oppveie den lavere innkjøpsprisen. En mulighet for en biodieselprodusent er selvfølgelig å kjøpe inn råstoff som er ferdigbehandlet og klart for direkte injeksjon i reaksjonstanken, men da med tilhørende økte priser. Et annet alternativ er å ha tilgjengelig utstyr for preprosessering integrert i produksjonslinjen, men det krever kostbare investeringer i forhold til en produksjon basert på et Multi-Feed-Stock system. Dette systemet innebærer høy grad av fleksibilitet angående valg av råstoff til biodieselproduksjon, der en til enhver tid kan følge med råstoffmarkedene for å kjøpe inn det råstoffet med lavest pris og likevel være sikret at det er tilpasset til produksjonsteknologien. Fleksibilitet med hensyn til valg av råvarer, i tillegg til mulighet for raske omstillinger i produksjonen, vil kunne skape en betydelig merverdi for et biodieselprosjekt. Noen viktige fordyrende og kompliserende elementer å være klar over i forhold til råstoff er følgende:

- **Frie fettsyrer** i råstoffet fører til et økt forbruk av katalysator i forestringprosessen, med dertil høyere vann- og saltkonsentrasjon i glyserolen som vil forringe kvaliteten. I tillegg til økte kostnader til innkjøp av kjemikalier vil frie fettsyrer skape problemer i produksjonen pga såpeforming, og med det menes problemer med å få en distinkt separasjon av estere og glyserol, dårlig utbyttegrad samt ekstraarbeid med å rengjøre produksjonsutstyret. Det er viktig å ha kontroll på prosessen med å redusere andelen av frie fettsyrer i produktet pga strenge krav i henhold til standardene for biodiesel. [19] [48]
- **Vanninnhold** i råstoffet øker såpeproduksjonen og skaper de samme problemene som nevnt ovenfor og som er nærmere beskrevet tidligere i rapporten.
- **Fosfor** i råstoffet fører til vanskeligheter med å skille fasene mellom biodiesel og glyserol pga dannelse av emulsjoner. Disse emulsjonene må tas med blant glyserolen, og det innebærer tap av biodiesel og dermed redusert utbyttegrad pga at en separerer ut biodieselen på et for høyt nivå i tanken. Undersøkelser viser at et fosforinnhold på mer enn 5 ppm (parts per million) innebærer emuleringsproblemer, og at en konsentrasjon på over 20 ppm kan føre til en komplett reaksjonsstopp. [30]
- **Svovel** i råstoffet blir i sin helhet med over i biodieselen, og standarden setter strenge krav til svovelinhold pga miljøhensyn. Derfor må råstoff som i utgangspunktet inneholder for mye svovel blandes med andre råstoffer med et lavere innhold, eller ikke benyttes i det hele tatt. [19]

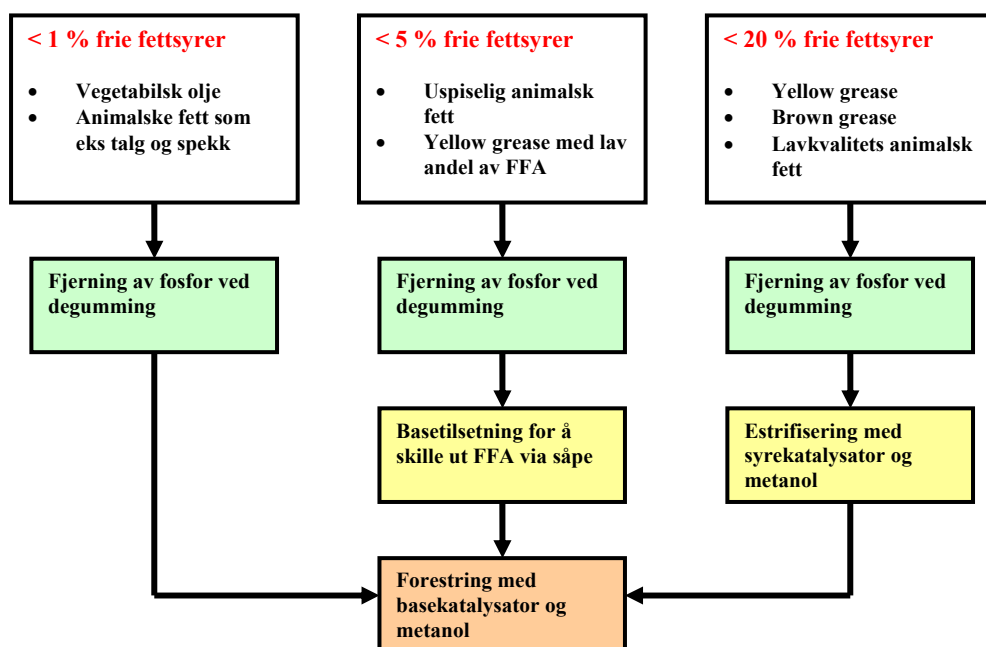


- **Uopløselige partikler** deltar ikke i forestringprosessen og vil bli gjenfunnet i laget av estere. Standardene for biodiesel krever at maksimalt innhold ikke overstiger 0,8 %. [30]

En strategi for å øke konkurransevnen til biodiesel med hensyn til pris er å benytte rimelige råstoff som yellow- og brown grease og uspiselig animalsk fett. Men for å kunne framstille biodiesel med godkjent kvalitet fra disse lavkvalitetsråstoffene kreves det som regel en kjemisk forbehandling, i motsetning til raffinerte vegetabiliske oljer som ofte går direkte inn i produksjonsprosessen. Grunnen til at råstoffet trenger forbehandling skyldes stort sett innhold av vann og frie fettsyrer, og hvis råstoffet har en konsentrasjon av vann over 0,3 % og frie fettsyrer over 0,5-1 % må tiltak settes i gang (et høyere trykk i forestringprosessen kan takle en større andel frie fettsyrer enn 1 %) [19].

En vanlig forbehandling for alle typer råstoff (unntatt raffinert vegetabilisk olje) er degumming, noe som innebærer at en fjerner fettstoffer som inneholder fosfor. Vanligvis benyttes degummed vegetabilisk olje i stedet for raffinert pga at prisen er ca 10-15 % rimeligere og kvaliteten er tilfredsstillende. Råstoff som inneholder mellom 1-5 % frie fettsyrer (animalsk fett og noen typer yellow grease) kan forbehandles ved å tilsette base (katalysator), slik at de frie fettsyrene binder seg til basen og danner såpe. Denne såpen kan deretter fjernes og råstoffet er klart til å injiseres i reaksjonstanken for forestring. For råstoff med en andel av frie fettsyrer mellom 5-20 % (lavkvalitet animalsk fett, yellow- og brown grease), er det ikke optimalt å produsere og separere såpe for å fjerne frie fettsyrer. Dette kommer av et for stort tap av potensiell biodiesel samt ekstra kostnader til base. [19] I stedet benyttes en metode som kalles estrifisering, der en syrekatalysator (svovelsyre er mest benyttet pga lav pris) blandes med alkohol (metanol) og de til sammen tilføres råstoffet under oppvarming ved

atmosfærisk trykk [40]. Her dannes det biodiesel av de frie fettsyrene med vann som biprodukt. Vannet og biodieselen fjernes, mens resterende triglyserider går til forestringprosessen. En oppsummering av prosessene for forbehandling av råstoff med ulik andel av frie fettsyrer er vist i figur 5.1.



*Figur 5.1: Forbehandling av råstoff.*

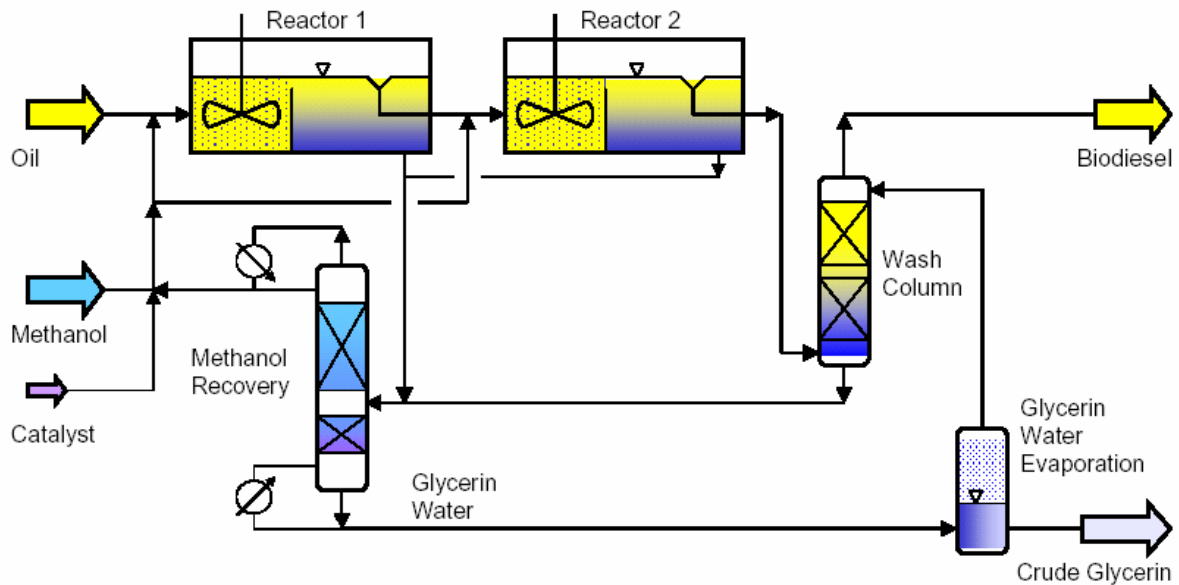
## 5.2 Produksjonsprosessen

En generell industriell framstilling av biodiesel og biprodukter består vanligvis av fem delprosesser som kan ses i figur 5.2. Alle delprosessene må ses på som separate enheter, men er likevel helt avhengig av hverandre. Hver prosess forklares her nærmere:

- 1. Tostegs reaksjonsprosess for selve biodieselproduksjonen.** Etter at råstoffet er forbehandlet til riktige kravspesifikasjoner, er det klart for å bryte opp triglyseridmolekylene og separere fettsyremolekylene og glyserolmolekylene ved å tilsette en mikstur av alkohol og katalysator. Katalysator og alkohol er blandet sammen med en standard mikser før blandingen føres inn i en lukket reaksjonstank. Deretter tilføres så den vegetabiliske oljen eller det animalske fettene sammen med blandingen i reaksjonstanken, som holder en temperatur på 60-80 °C (rett over kokepunktet for alkoholen slik at prosessen akselereres) og er uten tilførsel av luft for å bevare alkoholen. Reaksjonen som oppstår mellom disse tre stoffene innebærer at en type ester binder seg til en hydrokarbonkjede og alkohol, og danner en ny type ester som har samlebetegnelsen biodiesel. Biproduktet er glyserol med rester av vann, såpe, emulsjoner, alkoholrester og ubrukt katalysator. Reaksjonstiden varierer så mye som fra en til åtte timer, avhengig av reaksjonstemperatur (kan være helt ned i 20 °C) og type katalysator som benyttes. Et overskudd av alkohol benyttes ofte for å sikre en total konvertering av olje/fett til estere. Hele denne prosessen gjentas så en gang til for å oppnå optimal utbyttegrad, men mellom prosessene tilføres rå-biodieselen små mengder av konsentrert fosforsyre for å bryte opp såpeforbindelser og ammoniumhydroksid for å nøytralisere resterende frie fettsyrer. [30] [48] Denne metoden har vist seg å fungere bra for et vidt spekter av råstoffer, som for eksempel alle vegetabiliske oljer, yellow grease og animalsk fett, der utbyttegrader helt opptil 99 % er oppnådd [19]. En vanlig sammensetning av de tre hovedingrediensene ved bruk av vegetabilisk olje, metanol og NaOH (kausisk soda), ved 60 °C og en reaksjonstid på 1,5 timer, er 1 000 kg olje, 150 kg metanol og 10 kg katalysator. Med en utbyttegrad på 98 % vil en oppnå ca 980 kg (1 100 liter) biodiesel, 120 kg rå-glyserol, 30 kg resirkulert metanol (3-4 % vanninnhold) samt noe utfiltrert masse. [30] [61]
- 2. Separasjon av biodiesel etter hvert av stegene i foregående prosess.** Etter en optimal forestringprosess vil sluttblandingene bestå av to produkter, biproduktet glyserol og rå-biodiesel. Disse er klart lagdelte i reaksjonstanken med rå-biodiesel på toppen og glyserol på bunnen, og begge produktene vil inneholde en del alkohol som ikke er brukt opp under konverteringen av estere. I tillegg vil rå-biodieselen ha rester av glyserol. Før rå-biodieselen blir separert ut er det vanlig å nøytralisere hele blandingen, og selve separasjonen av glyserol og rå-biodiesel skjer enten ved at glyserolen dreneres ut fra bunnen av reaksjonstanken eller ved sentrifugering (her fjernes også andre partikler som er tyngre enn biodiesel, og separeringen går hurtigere enn ved utdrenering). Dette er mulig fordi glyserol har en betydelig høyere densitet enn rå-biodiesel. [30] [48]
- 3. Renseprosess av rå-biodieselen.** Etter separasjonsprosessen blir rå-biodieselen renses, oftest i to trinn, ved først å bli tilført syreholdig vann (valget av type syre til vannet er viktig på grunn av pris og type salt en kan tolerere pga korrosjon, og mest brukt er en syre som danner klorider pga at det gir større andel glyserol men den korroderer utstyret raskere) og deretter nøytralt vann. Dette gjøres for å fjerne rester av katalysator, glyserol og såpe. Til industriell produksjon benyttes en kontinuerlig vaskeprosess, enten ved at vann og rå-biodiesel blir tilført i hver sin ende av en tank med dertil motgående strøm for optimal kontakt eller ved sentrifugering som er en

bedre og langt dyrere prosess. Vannet fra disse prosessene inneholder dermed store mengder glyserol, noe alkohol og andre urenheter, og på grunn av det høye glyserolinnholdet er vannet for verdifullt til å la gå til spille. Derfor er det optimalt om restvannet tilføres glyserolen fra separasjonen til videre foredling. Det er viktig å dosere vannmengden til rensing korrekt for å slippe å fordampe ekstra mye vann i foredlingsprosessen av glyserolen. Etter denne foredlingsprosessen for glyserol kan vannet fint brukes om igjen til den kontinuerlige vaskeprosessen for rå-biodieselen, og det betyr at biodieselproduksjon er tilnærmet fri for avløpsvann. [30] [26] [48]

4. **Vann- og metanolutskilling fra rå-biodiesel.** Etter renseprosessen må overskudd av alkohol og vann fra både forestringprosessen og vasking fjernes fra rå-biodieselen. Dette kan gjøres med konvensjonelle metoder som for eksempel fordamping under vakuum eller oppvarming av rå-biodieselen i en ekstern varmeveksler. For begge metodene kondenseres dampen som regel i et rør. Temperatur, vakuum og resirkuleringsgrad må kunne justeres i forhold til vann- og alkoholmengde i rå-biodieselen. Den utskilte alkoholen kan brukes om igjen i prosessen, men det må sikres at alkoholen er helt fri for vanninnhold. Deretter blir den ferdige biodieselen avkjølt og pumpet på lagertanker. Additiver for å bedre egenskapene til biodiesel ved bruk i kaldt vær bør passes på å tilsettes i denne pumpeoperasjonen. Normalt er dette siste steg i produksjonsprosessen for biodiesel, der produktet har en klar gulaktig farge, og viskositeten er redusert ca åtte ganger i forhold til råstoffet. Analyse av den ferdige biodieselen er nødvendig for å sjekke om den tilfredsstiller kravene i standarden. [30] [60]
5. **Vann- og metanoldestillering fra glyserol.** Biproduktet glyserol inneholder ubrukt katalysator, såperester, vann og alkohol etter separasjonen. Normalt er første steget i glyserolbehandlingen å tilsette en syre for å splitte opp såpeformasjoner som er formet gjennom forestringprosessen. Ved valg av type syre som skal benyttes gjelder samme kriterier som under punktet om ”renseprosess for rå-biodiesel”, men det er vanlig å benytte kun en type til begge prosessene pga innkjøp og for å forme kun en type salt i glyserolen. Etter å ha tilsatt syre vil det flyte opp en del fettsyrer som kan felles ut. Deretter blir glyserolen nøytralisert til pH 7, varmet opp, og vann og alkohol kan fordampes ut. I denne prosessen blir glyserolen justert til den konsentrasjonen som er ønsket fra kunden, eller til høyest mulig densitet pga lavere transportkostnader. I noen tilfeller blir også saltkrystallene fjernet. Etter fordampingen sitter en igjen med et produkt som inneholder ca 80-88 % ren glyserol, og som kan selges som rå-glyserol. Men den kan også foredles (destilleres) opp til 99 % ren glyserol som kan selges til langt høyere pris til kosmetikk- og farmasøytindustri. [30] [43] Et scenario som er viktig å tenke på er at en omfattende biodieselproduksjon vil skape store mengder glyserol, og prisen vil mest sannsynlig falle som en konsekvens av økt tilgjengelig mengde på markedet. [61]



*Figur 5.2: Produksjonsprosess av biodiesel [51].*

### 5.2.1 Produksjonsprosess etter europeisk standard EN 14214

En del viktige parametere må være under kontroll under produksjonsprosessen for å sikre at kravene i den europeiske standarden overholdes. Her beskrives noen av de viktigste parametrene, samt hva som kan gjøres for å justere prosessen for å oppnå godkjent kvalitet på biodieselen: [30] [60] [48] [43]

- **Metanolkonsentrasjonen** må være lavere enn 0,1 %, og den kan justeres ved å endre temperatur og vakuüm ved fordampings- eller destilleringsprosess.
- **Vanninnholdet** skal ikke overstige 200 ppm (parts pr million). Selv om vanninnholdet ser godkjent ut rett etter ferdig produksjonsprosess, så vil biodieselen under lagring ta til seg opptil 20 ppm pr dag hvis luften omkring er fuktig. I tillegg vil hver etterfylling av lagringstankene med ny biodiesel tilføre fuktighet til tankene. For å redusere dette problemet bør biodieselen lagres under et nitrogenfritt miljø.
- **Monoglyserid**-innhold må være lavere enn 0,8 %, **diglyserid** lavere enn 0,2 % og **triglyserid** lavere enn 0,2 %. Innhold av disse glyseridene viser at reaksjonen ikke har vært komplett, og en måte å redusere disse verdiene på er å tilføre en større mengde katalysator.
- **Fri glyserol** må ikke overstige 0,02 %, og det er sjelden et problem så lenge rensprosessen fungerer som den skal. En helt sikker metode for å fjerne praktisk talt alle glyserolrester er å la rå-biodieselen passere en reaktor med harpiksinnhold, der glyserolen blir absorbert av harpiksen. Harpiksen kan fjernes igjen ved en motstrøm av oppvarmet alkohol, og alkoholen med glyserolrester kan behandles slik at alkoholen kan brukes på ny.
- **Pour point** i biodieselen er avhengig av råstoff og klima hvor biodieselen skal brukes. Eneste metode for å redusere pour point er ved å innblande autodiesel eller andre additiver som for eksempel PPD (pour point depressor).
- **Oksidasjonsstabilitet** kan oppnås ved tilsetning av antioksidanter, men i mangel av pålitelige målemetoder for biodiesel må en utføre en rekke tester for å vite riktig mengde som skal tilsettes.

### **5.2.2 Gjenvinning og utbyttegrad**

For å produsere biodiesel er det tre hovedingredienser som trengs. En standard oppskrift for en utbyttegrad på 98 %, som benyttes ved kontinuerlig produksjon er; 1 000 kg bio-olje, 150 kg metanol og 10 kg katalysator. Man går ut fra at ca 30 kg metanol kan gjenvinnes fra prosessen, så forbruket er dermed 120 kg pr 1 000 kg bio-olje. Mesteparten av katalysatoren kan gjenvinnes, og i beregningene her forutsettes det at ca 10 % av de 10 kg i opprinnelig oppskrift trengs å tilsettes kontinuerlig. [30] Output fra prosessen blir ca 980 kg biodiesel (1 000 liter), 120 kg rå-glyserol og som nevnt noe metanol. Rå-glyserolen må behandles slik at den oppnår et innhold av minst 80 % glyserol slik at den kan selges, dermed forutsettes det at ca 100 av de 120 kg kan selges. Utbyttegraden her settes til 99 % for raps- og fiskeolje og 97 % for animalsk fett/olje, noe som begrunnes med bruk av preprosessering, kontinuerlig produksjonsprosess og valg av råstoff [48].

### **5.2.3 Alternativ produksjonsprosess**

Et alternativ til forestringprosessen som er beskrevet foran er en prosess kalt hydrogenisering, og er utviklet i Canada. Denne prosessen består av flere reaksjoner under høyt trykk og temperatur, der de viktigste er fjerning av oksygen, metting av dobbeltbindingene for karbonatomene, og hydrokraking. [61] Hydrokraking er en kjent metode fra tradisjonell petrokjemi, der utbyttegraden av bensin økes ved å knuse lange karbonmolekyler til bensinmolekyler under økende trykk og temperatur [35]. Dermed ligner hydrogeniseringsprosessen på raffinering av petroleumsprodukter. Fordelen med denne prosessen er at produksjonskostnadene kan reduseres sammenlignet med forestring, men ulempene er veldig høye cetan tall (uheldig i kaldt vær) i biodieselen og liten kommersiell utbredelse [61]. Det mest kjente råstoffet benyttet som input til hydrogenisering er tallolje.

## **5.3 Design av fabrikk**

Det må tas hensyn til en rekke elementer ved bygging av en ny produksjonsbedrift. Tekniske krav, helhetlig logistikk, økonomi, marked, tilgang på ansatte, framtidssutsikter osv, er ting som nøye må overveies før en endelig beslutning kan tas. Det tekniske må i første rekke ta hensyn til en optimering av massebalanse, utbyttegrad, fleksibilitet i valg av råstoff, kapasitet, helhetlig integrering av preprosessering, selve forestringprosessen, etterbehandling osv.

De fleste anlegg som er designet for biodieselproduksjon er konstruert for å utføre alle prosesser fra preprosessering til ferdig biodiesel, noe som kan være en stor fordel sett i perspektiv av den totale verdikjede. I Norge vil det antagelig være mange små leverandører av råstoff til biodieselproduksjon, med stor geografisk spredning, slik at en oppsamling av råstoff ved produksjonsanlegget for preprosessering vil gi storskalafordele. Preprosesseringen kunne selvfølgelig vært gjort av et ekstra oppstrømsledd i verdikjeden, men ville ført til økt lagring av råstoff, mer bruk av ressurser til kommunikasjon, økt transport og håndtering. Dermed vil tendensen, med en helhetlig prosessering av råstoff til ferdig produkt, fra internasjonale anlegg passe bra for en potensiell produksjon i Norge. Vel å merke hvis man baserer seg på innenlandsk råvaretilførsel.



**Figur 5.3:** Biodieselfabrikk [3].

Et moderne produksjonsanlegg bør designes med tanke på høy grad av automatisering og en kontinuerlig prosess (figur 5.3). Med automatisert menes at alle ventiler, sylindere, pumper, elektriske motorer, varme/kjøleanlegg og lignende er integrert via et PLS-system (programmerbare logiske systemer). Dette systemet kan eksempelvis ha ulike programmer for ulike råstoff, slik at mengden alkohol, mengden katalysator, tid før ferdig rå-biodiesel kan felles ut osv endres ved et tastetrykk på kontrollpanelet ved et skifte av råstoff. Systemet kan også eksempelvis måle vanninnhold og innhold av frie fettsyrer i råstoffet slik at andre innsatsprodukter kalibreres innenfor programmert verdi i PLS-systemet. Automatisk kvalitetskontroll i henhold til standard og overvåking av produksjonssystemet med sensorer lar seg også gjøre med et slikt system, i tillegg til at et grafisk brukergrensesnitt gjør det enkelt for personen som operer produksjonen å følge med på hva som foregår. Automatisering er en nødvendighet for storskaladrift av biodieselproduksjon i Norge pga det høye lønnsnivået, og det innebærer å designe anlegget for en minimal arbeidsintensiv prosess.

Kontinuerlig prosess i stedet for batch-produksjon er en fordel pga bedre varmestyring, bedre mulighet for gjenbruk av overskuddsalkohol, lavere kapitalkostnader pr liter biodiesel, redusert betjeningsbehov fra personell og ikke minst at biodieselen kan separeres kontinuerlig fra prosessen uten å måtte bekymre seg for å ”misse” på lagdelingen mellom biodiesel og glyserol. Det siste punktet er viktig fordi ved batch-produksjon må en treffe skillet optimalt for å oppnå optimal utbyttegrad, mens ved en kontinuerlig prosess trenger en bare å ta av en liten del av topplaget hele tiden og likevel ha en optimal prosess. [3]

### **5.3.1 Produksjonsutstyr**

For en kontinuerlig produksjonsprosess trengs det en rekke komponenter. Det vil her bare nevnes hovedkomponentene siden en detaljert oversikt vil kreve mye arbeid med hensyn til dimensjonering og kjennskap til prosessindustri. Konstruksjon av et anlegg i størrelsesorden ti millioner liter biodiesel pr år vil normalt ikke være større enn at en leverandør tar på seg hele

byggeprosessen, og at utvelgelse av leverandør skjer gjennom en anbudsrunde. Generelt er de vanligste hovedkomponentene:

- Blandesentrifuger som kan håndtere en kontinuerlig massestrøm.
- Pumper til å transportere olje, metanol, glyserol, vann, biodiesel osv til de forskjellige stegene i prosessen.
- Hydraulikkmotorer til å drive pumper.
- Mikseenheter til blanding av katalysator og metanol, og blandingen i reaksjonstankene.
- Reaksjonstanker for forestringprosessen.
- Lagringstanker for metanol, katalysator, olje/fett, autodiesel og biodiesel.
- Slinger/rør.
- Måleinstrumenter til å måle strøm av ulike væsker.
- Sentrifuge eller dreneringstank for separering av rå-glyserol og rå-biodiesel.
- Vaskeenhet for rå-biodiesel.
- Gjenvinnings- og foredlingsenheter for glyserol, metanol og katalysator.
- Vannbehandlingsanlegg.
- Forbehandlingsanlegg av ulike råstoffer.
- PLS med tilhørende målere, sensorer, styringsenheter og brukergrensesnitt.

## 6.0 Logistikk

Med logistikk menes her informasjons- og vareflyt gjennom hele verdikjeden fra underleverandører til sluttkunde. Denne helhetlige tankegangen er viktig med hensyn til strategi, økonomi og servicegrad, kvalitet og effektivitet, og ved konstruksjon av en ny produksjonsbedrift er dette parametere som må forstås og optimeres [10]. Videre vil disse parametrene diskuteres mer inngående:

### 6.1 Strategi

Strategiske logistikkutfordringer i forhold til et produksjonsanlegg er mange, og en strategianalyse for logistikk, som samsvarer med den overordnede strategien, bør utarbeides. Noen viktige momenter å ta hensyn til i dette tilfellet:

- Hvor skal et produksjonsanlegg lokaliseres i Norge for å optimere avstander til leverandører og kunder, samt å ha tilgang på kvalifisert arbeidskraft? Det mest fornuftige svaret på et slikt spørsmål er i nærheten av Oslo, og det kan begrunnes med flere ting. For det første dyrkes mesteparten av rapsen omkring oslofjorden pga klima, og foredling av animalsk fett foregår hovedsakelig i Fredrikstad. Ved en eventuell import av råstoff er Oslo et knutepunkt for ulike transportmidler som bane, båt og lastebil. I tillegg er kundegrunnlaget og arbeidsmarkedet absolutt størst i dette området av Norge. Eneste ulempen er lokaliseringen i forhold til markedet for fiskeolje produsert i Norge, men den lave prisen på dette råstoffet i forhold til rapsolje mer enn oppveier transportkostnader med dagens priser.
- Transportbehovet kan enten dekkes ved å investere i en egen lastebilflåte eller outsources til et eksternt firma. Trenden den siste tiden er outsourcing av denne tjenesten, fordi det frigjør kapital til andre formål samt at en drar nytte av stordriftsfordeler som et mer spesialisert transportfirma kan oppnå [27]. I analysen her velges det derfor å kjøpe transporttjenester.
- Hva slags type råstoff skal produksjonen baseres på, og skal den baseres på import eller innkjøp i Norge? For å oppnå optimal fleksibilitet er det her valgt et såkalt multi feedstock anlegg, der det råstoffet som er best tilgjengelig, rimeligst i innkjøp eller med best kvalitet til enhver tid kan benyttes.
- Et viktig spørsmål er hvordan råstofftilgangen i Norge skal koordineres. Skal det for eksempel kjøpes inn rapsfrø fra lokale bønder slik at selve ekstraksjonen/pressingen utføres ved biodieselanlegget som en integrert prosess, eller skal rapsolje kjøpes inn fra et grossistledd. Det første alternativet vil kreve et omfattende apparat for informasjonsutveksling med en rekke bønder. Den beste måten å løse dette på ville kanskje være å opprette et nært samarbeid med en form for grossist av rapsolje, noe som ville ligne på situasjonen for innkjøp av både animalsk fett/olje og fiskeolje.
- Et annet viktig moment i forhold til råvareleverandører er om man skal basere seg på en eller flere leverandør av eksempelvis fiskeolje. Et nært samarbeid med en leverandør vil kanskje føre til høy grad av service, men også økt avhengighet. Derimot vil et samarbeid med flere leverandører gjøre det mulig å utøve prispress, samtidig som graden av pålitelige leveranser øker [10].
- Distribusjonsnett for drivstoff er godt utviklet i Norge, og å bygge et eget kun for salg av biodiesel vil bli svært kostbart i en startfase. De to biodieselleverandørene i Norge har løst dette problemet på ulike måter, der Estra AS utvikler egne ubemannede stasjoner mens Habiol AS samarbeider med Hydro Texaco angående distribusjon. I denne grovanalysen forutsettes et samarbeid med en eksisterende kjede som



distribuerer fossilt drivstoff, og der det antas at en slik kjede ser det som positivt å profilere seg som miljøvennlig ved å også kunne tilby biodiesel i sitt sortiment.

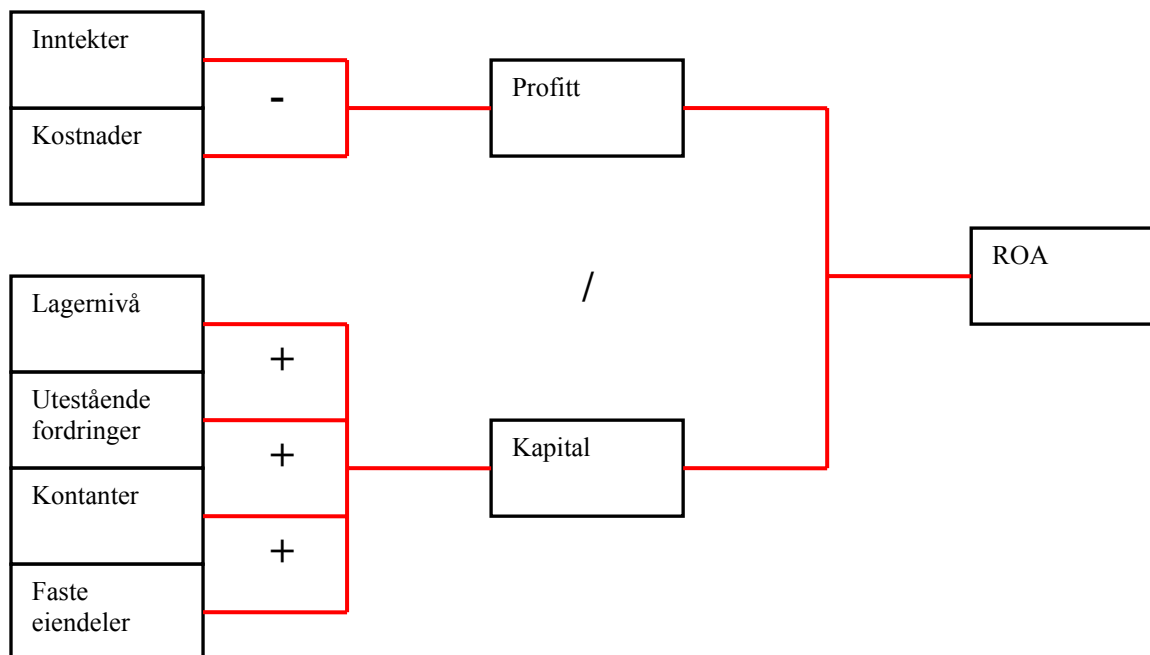
- Skal det investeres i kostbare gjenvinningsenheter for glyserol, katalysator og metanol integrert i produksjonsanlegget? Dette er avveininger som må gjøres opp mot utslippsregler, pris på metanol og katalysator og marked for glyserol. Trenden for biodieselanlegg er at det foretas investeringer i komplett gjenvinningsutstyr [48]. Med høy pris på metanol og katalysator, i tillegg til strenge utslippskrav i Norge, antas det her at det investeres i den type utstyr.

## 6.2 Økonomi og servicegrad

Økonomisk sett kan det være mye å hente ved en effektivt verdikjede, men for å oppnå dette krever det kontinuerlig oppfølging og kontroll. Faktorer innen logistikk som i hovedsak påvirker økonomi og finans kan deles inn i lagernivå, omløpshastighet, ledetid og kundeservice, der alle disse igjen er avhengige av hverandre.

Endringer i kundeetterspørsel, påvente av å kunne fylle opp transportkapasitet og produksjonssikkerhet er alle grunner til omfattende lagerbeholdning i mange bedrifter. Lager binder opp kapital og fører til en redusert avkastning på eiendeler (ROA), noe som kan ses av figur 6.1. [10] En kontinuerlig produksjon av biodiesel ved full kapasitet på ti millioner liter pr år vil kreve ca 39 tonn råstoff daglig (230 produksjonsdager pr år), noe som tilsvarer omtrent 1,4 lastebillass. Utgående transport, inkludert innblanding av autodiesel, vil tilsvare ca 2,1 lastebillass. Dette er et ideelt scenario med hensyn til å minimere lagerbeholdning, men her er det flere utfordringer. Erfaringene til Estra AS er at de selger mer biodiesel på sommerstid enn om vinteren, antageligvis pga kundenes mistroiskhet til kuldeegenskapene, selv om tilstrekkelig autodiesel er tilsatt for å eliminere problemene. Dermed er det risiko for en opphopning av lagerbeholdning gjennom vinteren, vel og merke hvis maksimal produksjon skal opprettholdes og/eller at kundenes oppfatninger angående egenskapene til biodiesel ikke endres. Inngående lager kan også oppstå, men vil antageligvis være enklere å styre pga fleksibilitet med hensyn til type råstoff som benyttes.

For å minimere total lagerbeholdning i verdikjeden kan det være optimalt å benytte rapsolje en periode utover høsten (rett etter innhøsting), mens eksempelvis fiskeolje kan være optimalt på senvinteren etter forventet topp på fiskesesongen [71]. I tillegg kan god kommunikasjons- og informasjonsflyt mellom aktørene i verdikjeden være med å redusere lager. Dette oppnås ved at aktørene i distribusjonsleddet deler sine prognoser og salgstall med produsenten på et tidligst mulig stadium, samtidig som produsenten formidler denne informasjonen videre oppstrøms i kjeden. Denne prosedyren vil redusere tidsforskyvning mellom etterspørsel og leveranse, og dermed lageroppbygging, ledetid (tid det tar for en vare er bestilt og til den er betalt) og omløpshastighet (årlig salg dividert med gjennomsnittlig lagernivå) [39]. Samtidig kan leverandørene formidle sine forventninger til eksempelvis rapshøstingen, areal med raps som er dyrket på våren, fiskesesongen, etterspørsel etter fiskeolje til andre formål og innmeldt slakt fra bøndene, noe som vil være til god hjelp for produksjons- og lagerplanlegging.



**Figur 6.1:** ROA (Return On Assets) [10].

Det andre som kan gjøres for å øke ROA er å øke overskudd, og sett fra et logistisk ståsted kan det best gjøres ved å forbedre kundeservice. Det vil stort sett være analogt med å kunne levere riktig vare og kvantum til rett tid og sted. Riktig vare skulle la seg gjøre å levere i dette tilfellet siden det kun er biodiesel som produseres som primærprodukt.

### 6.3 Kvalitet

Selve produktkvaliteten på biodieselen er beskrevet gjennom EN 14214, som beskrevet under kapitlet om produksjon, men kvalitetssikring av selve prosessen og distribusjonen kan gjøres med ISO sertifisering gjennom ISO 9001. Dette er en internasjonal standard for å sikre dokumentasjon og prosedyrer, samt å kunne vedlikeholde et kvalitetssystem innen en organisasjon. Implementering av et slikt kvalitetssystem skal kunne føre til kvalitetsforbedringer, bedre effektivitet, forhindring av feil og reduksjon av risiko, slik at konkurransefordeler kan oppnås i markedet. Mange kunder krever i dag at leverandøren kan skilte med en ISO sertifisering, og det er dermed nødvendig for både ledelse og produksjonsarbeider å etterleve de krav som standarden setter. Dette kan gjelde for eksempel prosedyrer for hvordan lagertankene skal rengjøres, behandling av farlige råstoffer som metanol og katalysator, trucksertifikater til alle brukerne, datasikkerhet osv. Aksept og oppfølging av brukerne av rutiner og prosedyrer vil kunne føre til en kontinuerlig forbedring av prosessen, og gjøre at en bedrift hele tiden kan ligge i forkant av utviklingen. [17]

### 6.4 Effektivitet

Grad av samarbeid og informasjonsutveksling angående lagernivå, prognoser, ordrer og salgstall med både leverandører og kunder er viktig, som nevnt tidligere, med tanke på å optimalisere en verdikjede. Tanken er god på papiret, men fungerer i praksis dårlig uten et bra verktøy. Utveksling av informasjon på en hurtig og effektiv måte samtidig som den er synlig for alle aktørene i nettverket, gjøres best ved et EDI system (Electronic Data Interchange). Dette systemet kalles et verdiskapende nettverk (mange til mange applikasjon), og det kan

ved riktig bruk gi store fordeler i forhold til hurtig informasjonsutveksling, mindre ressursbruk til ordre- og bestillingsbehandling og lave administrasjonskostnader. [39] Et annet alternativt system kan være et såkalt ERP2 (Enterprise Resource Planning), som er en felles integrert applikasjon for de fleste prosesser det er interessant å vite noe om hos de andre leddene i verdikjeden. Dette er et mer ressurskrevende system å utvikle enn EDI, og krever mer tid og kostnader til opplæring. [10]

JIT (Just In Time) kan være en teknikk for å effektivisere verdikjeden, der prinsippet er at produktet ikke skal produseres før det foreligger en spesifikk ordre. Det essensielle her er at etterspørsel skal skape et sug gjennom verdikjeden i stedet for den tradisjonelle metoden der produkter forsøkes dyttet nedstrøms i kjeden uten at det er en reell etterspørsel. Dette gjelder for alle ledd i kjeden og setter dermed store krav til aktørene. JIT filosofien er utviklet i Japan og inneholder en rekke viktige momenter, som for eksempel å eliminere sløsing, minimere lagernivå, fjerne flaskehals, redusere omstillingstid, kanban osv. [39]

VMI (Vendor Managed Inventory) er et relativt nytt fenomen, der leverandøren tar ansvaret for lagernivået hos kunden. Fordelen for kunden er reduserte lagernivå og redusert risiko for mangel på råstoff, mens fordelene for leverandøren gjenspeiles i mer sikre salgsprognoser. Sånne typer allianser og samarbeid kan være effektive, men forutsetningen er at begge parter har noe å hente på det [11]. En type partnerskap for en biodieselprodusent kan være å inngå langsiktige avtaler med bønder angående dyrking av raps, mot en kontraktsfestet pris for eksempel.

## 7.0 Marked

### 7.1 Markedsandel

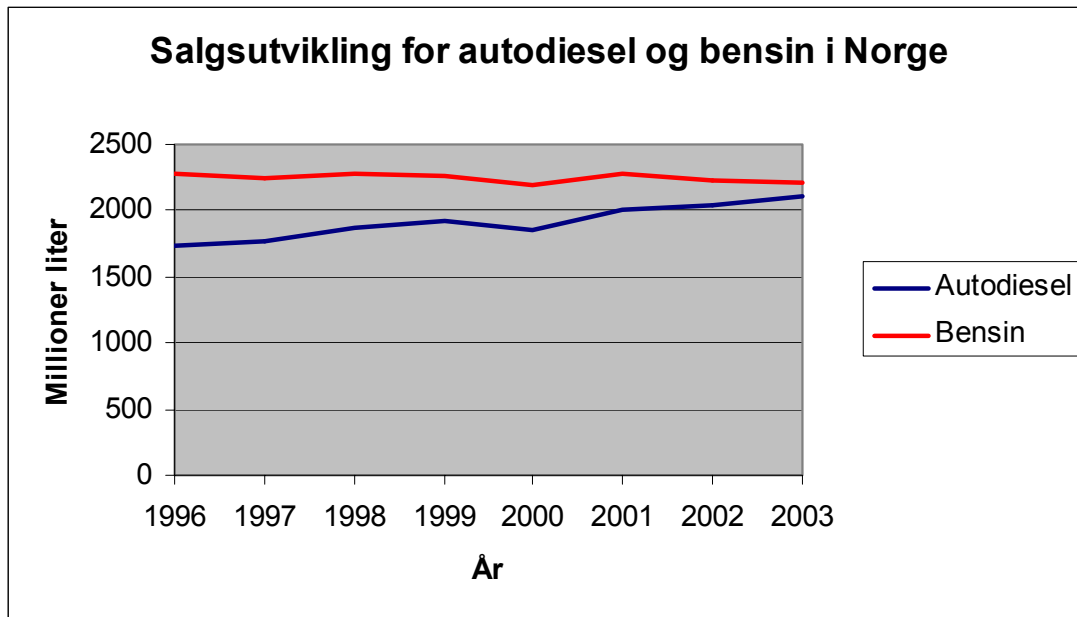
Ut fra beregningene som er gjort i forbindelse med råvaretilgangen for biodiesel i Norge, er det et praktisk potensial på ca 76 millioner liter biodiesel. Norske kilder som beskriver biodieselpotensial opererer med et maksimalt potensial på ca 100-130 millioner liter [23] [92]. Det virker dermed fornuftig å operere med praktisk potensial som er framkommet i analysen her. EU direktiver sier at innen 2005 skal minimum to prosent av alt drivstoffet som forbrukes i medlemslandene være biologisk, og minimum 5,75 % innen 2010 [87]. Dette forventes også å gjelde for Norge etter hvert. Når en vet at det siste tolv måneder er solgt 2220 millioner liter bensin og 2227 millioner liter autodiesel i Norge fra pumpestasjoner [72], vil en måtte selge ca 87 millioner liter 100 % biodiesel for å oppnå 2 % andel av totalt drivstoff i henhold til direktivet for 2005. Det vil si at Norge allerede i første fase sliter med kravet i forhold til praktisk kapasitet, hvis en da ikke importerer biodiesel. Antall liter biodiesel som selges i Norge er vanskelig å anslå, men de to selskapene som leverer ren biodiesel anslår salget i 2004 til ca 3,2 millioner liter [41]. I tillegg kommer det som selges som inntil 5 % innblanding i autodiesel, så et realistisk anslag totalt sett vil kanskje være et sted mellom 4-5 millioner liter. Det betyr en markedsandel pr i dag på ca 0,1 % biodiesel.

### 7.2 Markedsutvikling

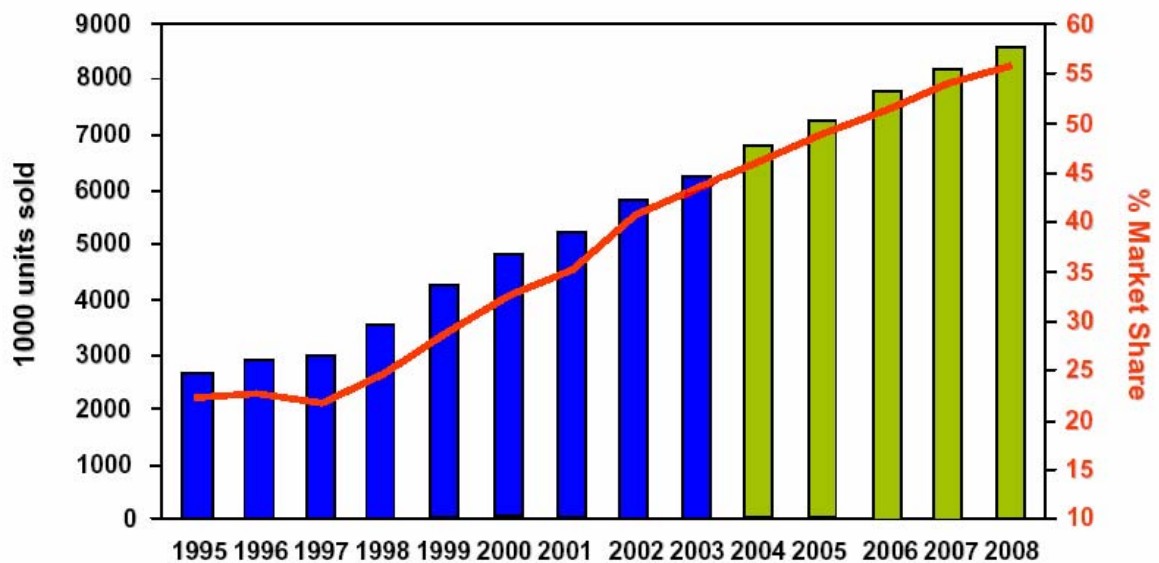
Ser en på utviklingen av salgsvolum for autodiesel i Norge fra 1996 og fram til i dag observeres det en økning på ca 21 % (figur 7.1). Salget av bensin viser en motsatt trend med en svakt hellende salgskurve, og krysningpunktet mellom salg av bensin og autodiesel er allerede oppnådd hvis en ser på salget de siste tolv månedene [65]. Denne økningen i salg av autodiesel kan forklares med flere grunner (disse grunnene henger sammen i ulik grad):

- Et betydelig antall tonn gods er overført til vei på bekostning av sjøtransport og jernbane de siste 20 årene. Dette resulterer i et økt antall lastebiler, med tilhørende økt dieselforbruk siden hovedtyngden av godstransportmidler benytter autodiesel som brensel. Grunnen til den eksplosive veksten i godstransport på vei kommer av blant annet fleksibiliteten til lastebilen med hensyn til framkommelighet og størrelse, lett tilgjengelig kapasitet for kunden, pålitelighet, dør til dør levering (slipper kostbare omlastinger), høy hastighet ved avstander under 40 mil og frakt av mindre partistørrelser som er helt i tråd med JIT (Just In Time). [27]
- Diesebiler bruker i størrelsesorden 30-50 % mindre drivstoff sammenlignet med bensinbiler, og dieselmotoren varer generelt noe lenger. I tillegg vil den høyere energieffektiviteten i diesel føre til mindre utslipp av CO<sub>2</sub> enn fra en bensinmotor. [20] En forbedret teknologi for dieselmotorer har gjort dem mer fleksible med hensyn til turtall, mindre støy i form av banking og tikking samt et lavere sotutslipp [74].
- Prisen er generelt lavere for autodiesel enn bensin, ikke bare i Norge men også rundt om i Europa [75].
- En eksplosiv salgsvekst av dieselpersonbiler både i Norge og særlig Europa. I Norge var diesebilandelen av totalt solgte personbiler 6,8 % i 1998, men forventes å nå 26,1 % i 2004. [74] I Europa derimot ligger andelen diesebiler på godt over 60 % i land som Frankrike, Spania og Nederland, og med et gjennomsnitt på ca 44 % i Vest Europa for 2003 (figur 7.2). I samme figur er det også prognoser for salget fram til 2008, der dieselsalget forventes å oppnå en markedsandel på ca 55 %. Modellene som øker mest med dieselmotor er småbilene (nedover Europa) og de større SUV-

bilene (Sports Utility Vehicle) i Norge og USA. [34] Hvis Norge følger denne antatte utviklingen, og nærmer seg europeisk gjennomsnitt i antall dieselmotorer, vil også salget av autodiesel og biodiesel øke betydelig.

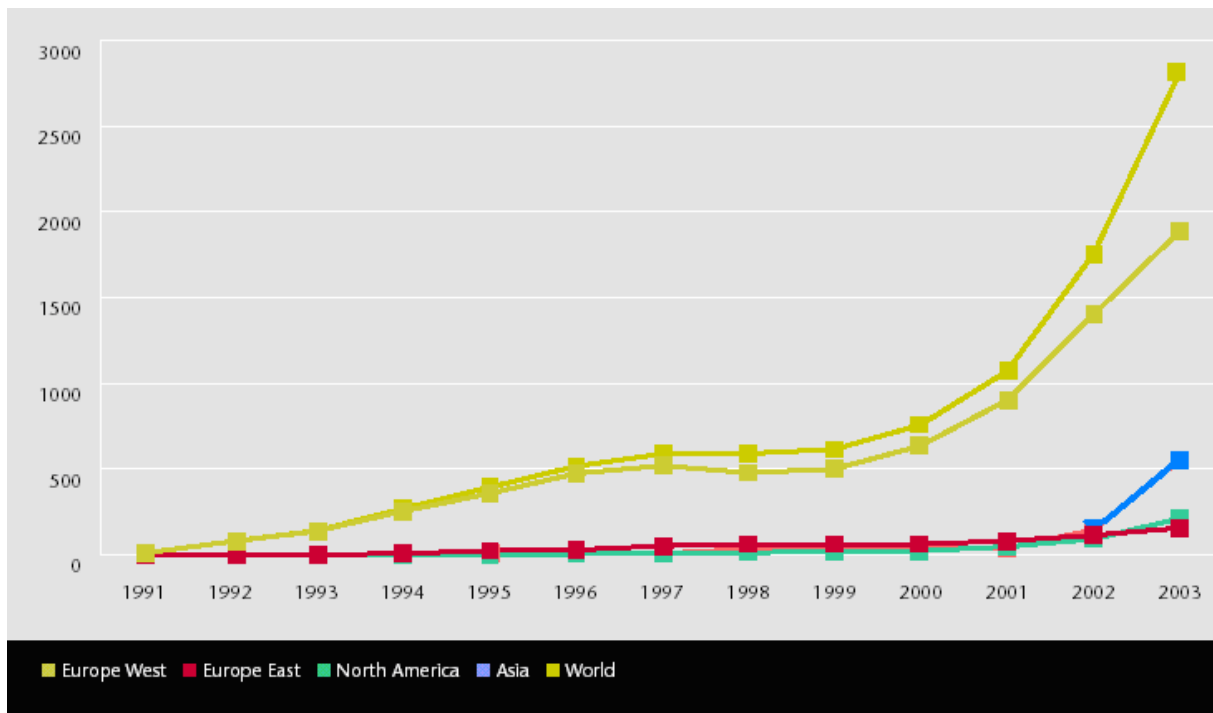


Figur 7.1: Salgsutviklingen for autodiesel og bensin [65].



Figur 7.2: Salg av dieselmotorer i Vest Europa [34].

Når det gjelder salg av biodiesel på verdensbasis er det spesielt Asia og Vest Europa som skiller seg positivt ut (figur 7.3) [26]. I Europa er det i stor grad Tyskland (produserer ca en milliard liter biodiesel) og Østerrike som bidrar til veksten, og dette er de landene med best utbygd distribusjonsnett og hvor forskning og utvikling har kommet lengst [78]. For Norge sin del er det vanskelig å finne totale salgstall for biodiesel og dermed anslå en utvikling, men i følge Estra AS ligner deres salgskurve fra 2002-2004 til forveksling på salgstallene for Vest Europa i figur 7.3 [41]. Denne positive utviklingen for biodieselsalg forventes å fortsette framover pga EU direktiver og Kyoto-avtalen, som henholdsvis pålegger en minimumsinnblanding av biodiesel i drivstoff og CO<sub>2</sub> kvoter for hvert enkelt land.



**Figur 7.3:** Salg av biodiesel på verdensbasis [26].

### 7.3 Barrierer mot biodiesel

Barrierer mot biodiesel kan deles inn i to grupper, det vil si forbrukernivå (lastebileiere, lastebilsjåførere og privatbilister) og nasjonalt nivå (myndigheter og interesseorganisasjoner). Disse to gruppene vil bli diskutert mer inngående nedenfor: [2] [41] [43]

- **Nasjonalt nivå:**

- Usikkerhet med hensyn til avgiftsbeleggingen for både biodiesel og autodiesel skaper en betydelig risiko for biodieselprosjekter. Pr i dag er biodiesel og andre biodrivstoffer fritatt for avgifter, samtidig som autodiesel for lastebiler, busser og personbiler er pålagt en såkalt fossil drivstoffavgift. I tillegg er råoljeprisen rekordhøy. Summen av dette gjør at biodiesel er rimeligere enn autodiesel, og har dermed et sterkt konkurransefortrinn. Hvis dette scenarioet forblir på lang sikt er en viktig barriere for biodiesel i Norge overvunnet. Derimot er det lite trolig at myndighetene ønsker å subsidiere et produkt på lang sikt, og hvis bruken av biodiesel tar seg kraftig opp kan avgifter bli pålagt pga veislitasje, ulykker og miljø. Det er antageligvis bare fritaket for CO<sub>2</sub> avgiften som forventes å bli opprettholdt permanent.

- Produksjon og bruk av biodiesel i europeiske land er som regel tett knyttet til EU sin landbrukspolitikk, og for å redusere overproduksjon av mat føres nå en politikk for å brakklegge jord. Dette innebærer at bøndene i EU mottar subsidier for å dyrke for eksempel oljevekster til biodieselproduksjon. Dette er også med på opprettholde og skape arbeidsplasser i distriktene. Norge har ingen politikk for å brakklegge jord, men derimot stimulerer myndighetene til produksjon av mat fra landbruksjord. Dette betyr at potensialet for dyrking av raps og rybs i Norge er svært begrenset.
- Norge skiller seg ut fra mange EU land med sin større eksport av fossilt brensel enn import, noe som gjør at kravet om en forbedret handelsbalanse ikke står like sterkt her som i EU. Det er dermed få sterke drivkrefter for å introdusere biodiesel i stort omfang, og eksempelvis så har myndighetene i sin plan for hvordan Kyoto-avtalen skal oppfylles ikke vurdert tiltak på drivstoffsidene. Dette kommer av at de anser biodiesel som et for kostbart alternativ, og at råvarekapasiteten i Norge er svært begrenset. Den tilsynelatende rådende oppfatningen hos myndighetene er at det er opp til markedet selv å bestemme hvilke alternative drivstoffer som skal fases inn på markedet.
- Store transportbedrifter i Norge og deres tilhørende interesseorganisasjoner har også vist en lite proaktiv holdning til alternative drivstoffer, for de mener det er opp til myndighetene å dra i gang en satsning på biodrivstoffer. Denne avventende holdningen hos både myndigheter og interesseorganisasjoner danner en barriere mot økt bruk av biodiesel.
- **Forbrukernivå:**
  - Hvis en spør ledelsen i transportfirmaer i Norge er pris helt klart det viktigste argumentet for å velge biodiesel framfor autodiesel. Biodiesel må derfor være rimeligere for få fotfeste i markedet. Drivstoffkostnadene for et transportfirma er den største kostnadskomponenten, og den teller derfor langt mer enn at firmaet får en grønn profil ved å benytte biodiesel.
  - Derimot vil sjåførene ofte ha en annen innstilling til biodiesel enn ledelsen i transportfirmaer. Sjåføren har ofte en avtale med innehaveren av en pumpestasjon om eksempelvis en gratis middag pr femte dieseltanking. Denne formen for smøring er utbredt blant yrkessjåførere, og disse personlige godene teller ofte mer enn å tenke på kostnadene for firmaet. I tillegg merker de nok at motoreffekten er noe svakere ved bruk av biodiesel kontra autodiesel, noe som ikke oppfattes som positivt.
  - En annen barriere som må overvinnes for å øke bruken av biodiesel er utbygging av distribusjonsnett. Det koster mye penger å utvikle en omfattende infrastruktur, og den mest nærliggende tanken pr i dag er å benytte eksisterende pumpenettverk til leverandørene av fossilt drivstoff. De vil nok også kreve en kompensasjon for bruken, men kan samtidig profilere seg som leverandør av et miljøvennlig alternativ. For storskala biodieselproduksjon i Norge er det nok sannsynlig at et samarbeid med de fire store (Esso, Statoil, Hydro Texaco og Shell) er nødvendig for å få til en effektiv og kostnadsbesparende logistikk-løsning.
  - Et fortsatt mye brukt argument mot biodiesel er at garantien på kjøretøyet kan ha restriksjoner mot en høy andel av biodiesel i drivstoffet. Dette kommer av at biodiesel tærer på komponenter av plast/gummi, som for eksempel kan være slanger og pakninger i henholdsvis injeksjonssystem og motor. Dette problemet har de fleste bilprodusenter tatt på alvor etter hvert, så denne

- barrieren vil nok viskes ut med tiden. Leverandørene av biodiesel i Norge hjelper kunder med å sjekke ut om deres kjøretøy er godkjent for biodiesel.
- Biodiesel fører ofte til økte vedlikeholdskostnader på kjøretøy i form av at dieselfiltre må skiftes opptil fem ganger oftere enn ved bruk av autodiesel. Dette er oftest en jobb for verksteder, noe som innebærer at lastebilen, i tillegg til verkstedkostnadene, er uproduktiv og dermed skaper mindre verdi for firmaet.
  - Den siste barrieren som nevnes her er det økte NO<sub>x</sub> utslippet fra biodiesel i forhold til autodiesel. Dette gjør seg spesielt gjeldende i byer og tettbebygde strøk pga smogdannelser og forsurening av jordsmonn og vassdrag.

## **7.4 Leverandører av biodiesel i Norge**

Det er kun to leverandører av 100 % ren biodiesel i Norge, og det er Habiol AS på Hadeland og Estra AS nord for Trondheim. Disse selskapene selger foreløpig mikroskopiske mengder sammenlignet med autodiesel, men begge har store planer om kapasitetsutvidelser. I tillegg selges det diesel i Norge med inntil 5 % biodieselinnblanding ved ca 200 pumpestasjoner [73].

### **7.4.1 Habiol AS (Hadeland bioolje)**

Dette er et selskap som ble stiftet i 1994 og som markedsfører og selger biodiesel i Norge. Foreløpig er leveransene i hovedsak basert på import fra andre europeiske land i tillegg til noe selvproduksjon, og det leveres til kundene enten i form av bulk eller fra pumpestasjon. [23] Pumpestasjonen er en Hydro texaco-stasjon som ligger på Gran, og den forsyner ca 200 000 liter drivstoff til ca 100 forbrukere i området.

Habiol AS har store planer om utvikling av et produksjonsanlegg i størrelsesorden ti millioner liter pr år på Hadeland, som skal være basert på flere typer råstoff. Råstoffene som er tiltenkt produksjonen er i hovedsak raps/rybs og animalsk fett i form av slakteriavfall, og norske råvarer så vel som import fra Europa er aktuelt. [76] Disse planene ser ut til å kunne realiseres om ikke så lenge pga at det på statsbudsjettet for 2005 er satt av fem millioner kroner til utviklingsprosjekt for biodiesel basert på råvarer fra norsk landbruk. Det er ikke Habiol som får pengene direkte (det er en del av prosjekt "Innlandet 2010"), men det viser at regjeringen viser interesse for biodrivstoff og gir dermed Habiol sterk drahjelp i startfasen av et planlagt produksjonsanlegg og i forhold til nye investorer [77]. I tillegg hadde selskapet 16. mars i år en ekstraordinær generalforsamling, der frisk kapital ble tilført via en aksjeutvidelse. Ny tung investor er Jan Otto Ringdal, som har vært personen bak oppbyggingen av elbilen Think gjennom etableringen av Think-forløperen Pivco i 1992 og siden Think helt til salget til Ford i 1999. Dette styrker satsingen, kompetansen og kontaktnettet til Habiol [76].

### **7.4.2 Estra AS**

Scanbio AS som er morselskapet til Estra foredler fiskeavfall til en rekke produkter (fiskemel, fiskeprotein, fiskeolje, biodiesel og glyserol). Det er Estra AS som står for produktet biodiesel, og selskapet ble startet opp høsten 2002 etter at prisene på fiskeolje hadde falt dramatisk over en periode og biodiesel ble i stedet vurdert som en mer lønnsom foredling av fiskeavfallet. Fabrikken ligger i Lysøysund i Bjugn kommune ca 12 mil nord for Trondheim, mens salg og administrasjon ligger i Trondheim. Hovedandelen av fiskeavfallet blir foredlet til fiskefôr/fiskeprotein for lakseoppdrettsindustrien, men avfallet fra laksen kan ikke benyttes



til dyrefôr pga fare for utbredelse av laksesykdommer. Derfor er det stort sett lakseolje som går til biodieselproduksjon. Likevel er produksjonsutstyret dimensjonert for ulike typer råstoff, selv om denne fleksibiliteten ikke er benyttet pr i dag. [79] [41]

Kapasiteten er pr i dag på ca 3,5 millioner liter biodiesel, men de har planer om å utvide til ca 9,1 millioner liter på kort sikt ved å øke antall reaksjonstanker og 15 millioner liter på lengre sikt. Produksjonen bærer lite preg av automatisering selv om fabrikken er forholdsvis ny, noe som kommer av at kapasiteten er å anse som småskala i europeisk sammenheng. Det jobber fire personer i produksjonen og to i administrasjon. [41] [76] Salgskurven har steget bratt siden oppstarten i 2002, noe som innebærer en økning fra ca 200 000 liter i 2002 til ca 3 millioner liter biodiesel i 2004 [76].

Hovedkundene til Estra er større transportfirmaer. Denne markedssegmenteringen kommer av at Estra AS mener det tar like lang tid å overtale en lastebileier (konsumerer kanskje 100 liter/døgn), som en privatbilist (konsumerer kanskje fem liter/døgn), om at biodiesel er et fornuftig alternativ til autodiesel. Estra har to pumpestasjoner i Trondheim, to kunder har egne pumpestasjoner og det er to stasjoner under planlegging (en i Oslo og en til i Trondheim). Transportfirmaene etterspør et mer omfattende nettverk av stasjoner, så derfor er blant annet Oslo med i planene. [41] Privatpersoner som vil benytte biodiesel må henvende seg hos Estra for å få et eget betalingskort [76].

#### **7.4.3 Konkurrenter til Biodieselleverandører**

Seks kjeder for salg av drivstoff er representert i Norge, og disse er Statoil, Shell, Hydro Texaco, Esso, Jet og Rema 1000. De to sistnevnte selger langt mindre volum enn de andre i tillegg til at de ikke forhandler autodiesel. De fire førstnevnte driver utsalg etter franchisekonseptet, der hver forhandler har frihet til å sette prisen selv men ofte med en maksimumspris satt av oljeselskapet. Som en følge av at drivstoffstasjonene i landet er organisert gjennom kjedekonstellasjonen, skjer deler av konkurransen mellom dem også på landsbasis. Dette skjer gjennom markedsføring i landsdekkende aviser eller tv-reklame, men ofte med fokus på andre produkter enn bensin eller autodiesel. [89]

Autodiesel anses som et homogent produkt, så pris vil derfor være det viktigste strategiske virkemidlet i konkurranse med andre [32]. Situasjonen i et slik marked er ofte at prisene reflekterer marginalkostnadene selv med såpass få aktører på tilbudssiden. Gode marginer oppnås da best ved å ha en viss geografisk avstand til nærmeste konkurrent eller ved pris- og markedssamarbeid mellom konkurrenter, slik at markedsmakt oppnås.

Det er dermed helt klart at biodiesel må være konkurransedyktig på pris for å ta opp kampen mot de fire store konkurrentene på dieselmarkedet. Selv om biodiesel har en grønn profil, er det en del barrierer som må nedkjempes før den gjennomsnittlige norske forbruker tanker biodiesel automatisk uten å spørre seg selv hva konsekvensene kan bli. Konkurransen mellom de to biodieselleverandørene i Norge pr i dag er knapt merkbar. Dette pga at eksisterende distribusjonsnett ikke overlapper hverandre enda, og at salgsvolumet fortsatt er mikroskopisk. I tillegg retter Estra AS seg hovedsakelig mot større aktører innen transportnæringen i motsetning til Habiol AS som selger mest til privatbilister.

## 8.0 Nåverdianalyse

For å finne nåverdien av et investeringsprosjekt må det gjøres mange antagelser om kostnader, inntekter og investeringer både på kort- og lang sikt. I Norge er biodieselproduksjon helt i startgropen, så tallmateriale og erfaringsverdier er mangelfullt. Derfor vil det her benyttes erfaringsverdier hovedsakelig fra Tyskland, Østerrike, Canada og USA, der biodiesel har vært produsert og forsket på i mange år allerede. Tre ulike scenarioer med hensyn til type hovedråstoff (fett/olje) vil beskrives i tillegg til en følsomhetsanalyse for hele prosjektet.

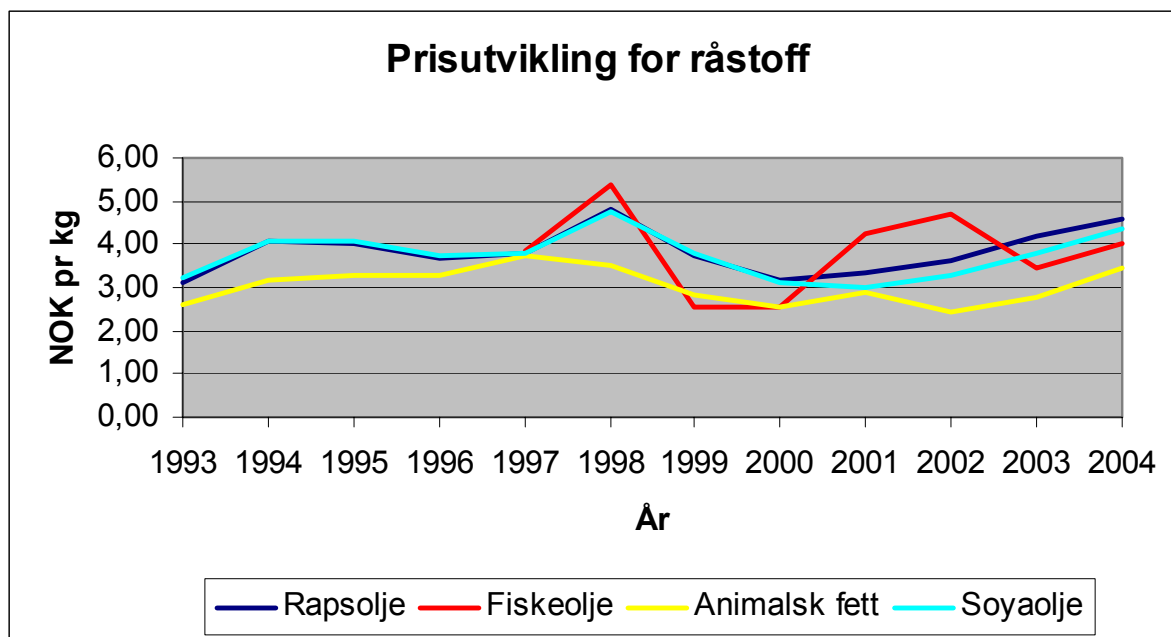
### 8.1 Kostnader

En grovvurdering av et prosjekt innebærer at alle framtidige kostnader ikke kartlegges eksakt, men at alle hovedelementene bør være representert. For å oppnå oversikt over hovedelementene, slik at budsjettering kan gjøres, er det viktig å gruppere bedriftens kostnader. Nedenfor vises kostnadsinndelingene som vil bli beskrevet nærmere i dette delkapitlet:

- Råvarekostnader
- Lønnskostnader
- Andre variable kostnader
- Andre faste kostnader

#### Råvarekostnader

Input til produksjon av biodiesel er råstoffene vegetabilsk olje eller animalsk fett og kjemikaliene katalysator og alkohol. Pga Norges klima og geografiske plassering ble det under kapitlet om råstoff konkludert med at raps/rybs, animalsk fett og fiskeolje er de mest hensiktsmessige hovedingrediensene. Metanol velges som alkohol og natriumhydroksid som katalysator pga pris, utbytte og tilgjengelighet. Råvarekostnadene er i flere produksjonsanlegg observert til å variere mellom 60-80 % av totale kostnader ettersom hvilke olje/fett som benyttes [8], og praktisk kapasitet ut fra de tre råstoffene som er valgt her dreier seg om ca 59 millioner liter biodiesel. Det skulle tilsi at et produksjonsanlegg med kapasitet på 10 millioner liter skulle være sikret forsyning fra Norge. Det er sannsynlig at prisene på fiskeolje og slakteriavfall vil øke ved en større etterspørsel pga biodieselproduksjon, noe som begrunnes med at disse råstoffene allerede i stor grad benyttes til dyre- og fiskefôr og andre produkter. Dermed settes en årlig prisvekst på disse to råstoffene til en prosent. Alternativet til råstofftilgang i Norge er import, og da er det mest naturlig å handle fra børsene og eksporthavnene i Rotterdam eller Hamburg, der det er velfungerende markeder for alle de tre aktuelle råstoffene. Historiske priser (årlige gjennomsnitt på verdensbasis) vises i figur 8.1, der prisen på soya- og rapsolje følger hverandre tilnærmet likt, prisen på fiskeolje er mest variabel og animalsk fett (ferdig raffinert fett og talg) er det rimeligste alternativet.



**Figur 8.1:** Historiske priser på råstoff [94] [81] [16].

Prisutviklingen viser at dagens pris for rapsolje, fiskeolje og animalsk fett ligger noe høyere enn gjennomsnittet siden 1993 (tabell 8.1), og de stemmer bra overens med kostnadene norske produsenter opererer med. Estra AS oppgir sine råstoffkostnader til fiskeolje til ca 3,5-4 NOK/kg [estra], og norskprodusert rapsolje til produksjon hos Habiol [23] er beregnet til ca 5,1 NOK/kg.

	Rapsolje	Fiskeolje	Animalsk fett (raffinert)
Gjennomsnittpris (NOK/kg, 1993-2004).	3,9	3,8	3,1
Dagens pris (NOK/kg) på verdensmarkedet.	4,6	4,0	3,4
Pris oppgitt hos norske produsenter.	5,1	3,5-4	?

**Tabell 8.1:** Priser på råstoff.

Ved eventuell import av råstoffer må en ta i betraktning fraktkostnader. Vanlige transportmidler fra Europa er båt, bane eller bil, og eksempelvis vil fraktkostnader med bil fra Rotterdam til Oslo (ferge Oslo-Kiel pluss Kiel-Rotterdam 465 km) øke kostnadene betydelig. En tanktransport kan frakte 28 tonn, og med en kilometerpris på 13,5 kr og fergekostnad på 12 000 kr tur-retur, vil en tur med bil koste ca 0,88 kr pr kilogram råstoff [58]. Det vil si at ved import overstiges eksempelvis prisen på den norskproduserte rapsoljen med ca 0,5 kr/kg. Dermed må andre transportmidler som tar større kvantum benyttes før en eventuell import er aktuell. Den høyeste prisen på råvarer oppgitt i Norge benyttes for videre beregninger siden de stemmer bra overens med internasjonale priser, og fordi prisene historisk sett er noe over gjennomsnittet.

I følge leverandøren av metanol er prisen pr i dag veldig høy historisk sett, og den forventes å synke noe på sikt. Her velges prisen på 6,8 kr/liter (snitt av de to prisene oppgitt) for videre beregninger. Prisen på natriumhydroksid ligger på ca 3-4 kr/kg avhengig av kvantum, så her velges 3,5 kr/kg som input til nåverdiberegninger. For begge disse produktene er det

internasjonale markeder og prisen vil svinge etter tilbud og etterspørsel etc, men det vil bli for omfattende å analysere disse markedene i denne grovanalysen.

Det er også nødvendig å betrakte autodiesel som et råstoff til biodiesel ved produksjon i Norge pga egenskapene ved kulde. Andel innblanding av autodiesel i biodiesel som Estra AS opererer med er 35 % som et årlig gjennomsnitt, og dette er overførbart til biodiesel fra raps siden egenskapene for disse to råstoffene er tilnærmet identisk. Derimot vil en høyere prosentsats være nødvendig for biodiesel fra animalsk fett/olje, og andelen er antatt å være ca 50 %. På grunn av denne innblandingen blir salgsvolumet av biodiesel proporsjonalt større enn produksjonskapasitet i forhold til innblandingsprosenten. For biodiesel fra rapsolje og fiskeolje vil totalt salgsvolum dermed bli 15,4 millioner liter pr år.

### **Variable lønnskostnader**

Lønnskostnadene vil foruten råvarekostnadene være en av bedriftens betydeligste kostnader i dette tilfellet, og det er en viktig beslutning å bestemme hvor mange ansatte som er nødvendig for å drive en produksjonsprosess i forhold til effektivitet, trivsel, kostnader og lover/regler. Produksjonslinjen for biodiesel må være basert på en kontinuerlig helautomatisert prosess for å være lønnsom og driveverdig i Norge pga høye lønninger, og trenden i typiske biodieselland som Tyskland og Østerrike er at produksjonsanleggene blir større og mer automatisert [4]. Det vil ikke dermed si at operatører i produksjonen er overflødig. Det kreves tilgjengelig personell for å overvåke anlegget, igangsette anlegget etter en planlagt/ikke planlagt stopp, kvalitetssikring og til omstillinger ved for eksempel endring av type råstoff for produksjonsprosessen.

Antall ansatte er vanskelig å anslå, men en sammenligning med driften av produksjonsanlegget hos Estra AS kan være fornuftig. De har pr i dag fire ansatte i produksjonen, og selv om kapasiteten er noe lavere enn det anlegget som her prosjekteres så vil det antageligvis oppveies av at anlegget hos Estra AS er lite automatisert. Det anslås dermed at fire personer er nødvendig, og de vil fordeles på en toskiftsordning. De første to årene er produksjonsvolumet redusert, og det antas derfor at det holder med to personer i produksjonen. Til sammenligning drives en fabrikk i Tyskland (NEW, Natural Energy West GmbH), med kapasitet på 100 millioner liter biodiesel, av 12 produksjonsarbeidere og to personer i administrasjonen [80]. Denne sammenligningen viser at jobbmengden ikke øker proporsjonalt med produksjonskapasitet, og at storskaladrift reduserer kostnadene.

Lønn for industriarbeidere er avhengig av skiftordninger og ansiennitet, men i denne sammenheng benyttes gjennomsnittelig lønn for industriarbeider som i 2003 var på 309 700 kr [65]. I tillegg kommer sosiale kostnader, som inkluderer tillegg for bevegelige dager, feriepenger, arbeidsgiveravgift, forsikring og lignende, og som beløper seg til 50 % av bruttolønn [22]. Dermed blir totalkostnadene pr ansatt i produksjon 464 550 kr. I tillegg vil det påbeløpe kostnader til vaktmester, renhold og vedlikehold, og totalsummen for dette beregnes ved å anta at disse til sammen utgjør en tredjedels stilling (154 850 kr).

### **Faste lønnskostnader**

I administrasjonen antas det at det holder med to personer. Begrunnelsen for dette er at produksjonskapasitet ligger mellom den tyske biodieselprodusenten NEW og Estra AS, som begge begrenser seg til to personer i ledelsen [41] [80]. En naturlig arbeidsfordeling er

eksempelvis at en person har ansvaret for verdikjede, produksjon og lignende, mens en har det overordnede ansvar for bedriften i tillegg til marked og økonomi.

Lønnsnivå er vanskelig å anslå for personer med lederansvar pga individuell forhandlinger, bakgrunn og ansiennitet. Men et anslag på 450 000 kr brutto i året for produksjonssjef og 550 000 kr for administrerende leder er ikke så usannsynlig. På bruttoinntektene gjøres et påslag på 36 % for sosiale kostnader [13].

### **Framtidige lønnskostnader**

Lønnsveksten på kort sikt er i følge konjunkturtendensene fra Statistisk Sentralbyrå forventet å bli 3,9 % årlig for de neste fire årene [65]. Det gjøres her en forenkling, og det antas at denne utviklingen vil følge prosjektets levetid for både ansatte i produksjonen og for administrasjonen.

### **Andre variable kostnader**

De mest hensiktsmessige andre variable kostnadene å inkludere i en tidlig fase av dette prosjektet er forbundet med transport og energi. I selve produksjonen vil det kreves energi i form av elektrisitet til en rekke formål, og særlig til oppvarmingselementer, pumper, separeringsenheter og rensutstyr som sentrifuger etc. I tillegg kommer energi til oppvarming av lokaler og lys. Det kreves også store mengder vann til biodieselproduksjon, og det slås sammen med energiposten. Energikostnadene for et produksjonsanlegg avhenger av blant annet pris, kvalitet på råstoff og størrelse på anlegg. Tallene i tabell 8.2 viser at det helt klart er stordriftsfordeler med hensyn til energi siden kostnadene faller med økende kapasitet. Ved å anta at disse kostnadene er overførbare til et norsk anlegg, og samtidig ta i beregning at Norge er et høykostland, vil en verdi på 0,25 kr/liter biodiesel benyttes videre uavhengig av type råstoff (6,6 NOK/US\$).

Kapasitet (million liter)	5	15	57
Type råstoff	Vegetabilsk olje	Vegetabilsk olje	Animalsk fett
Kostnad (NOK/liter)	0,25	0,18	0,1

**Tabell 8.2:** Energikostnader for et biodieselanlegg [45] [15] [47].

Når det gjelder transport og generelle logistikkostnader, vil det variere veldig etter type råstoff som benyttes. Rapsolje vil det være naturlig å enten produsere fra rapsfrø i kombinasjon med selve biodieselproduksjonen eller ved å kjøpe ferdig olje fra en underleverandør. Uansett vil transportkostnadene bli minimale siden både biodieselfabrikk og rapsdyrking vil skje på det sentrale Østlandet. For animalsk fett er det naturlig å kjøpe det fra Fredrikstad, der en av landets få foredlingsanlegg for slakteriavfall er lokalisert. Fiskeolje derimot må mest sannsynlig transporteres fra Vestlandet eller Nord Norge, noe som vil føre til betydelige kostnader. Foredlingsanlegg for fisk som det er mest hensiktsmessig å hente fra er antatt lokalisert fra Ålesund til Bodø. Frakt med bil vil være det beste alternativet for råstoffene rapsolje og animalsk fett, siden veitransport er rimeligere enn både båt og bane på strekninger kortere enn 50-60 mil [27]. For fiskeolje begynner distansene å nærme seg et grensetilfelle der eksempelvis bane og båt er gode alternativer, men det vil igjen kreve større innkjøpskvantum og flere omlastinger med dertil økende lagerbeholdning og kostnader. Denne avveiningen er for omfattende å gå inn på her, så veitransport velges også for fiskeolje. Tabell 8.3 viser anslag på transportkostnader for de tre aktuelle råstoffene, gitt at kilometerprisen for

veittransport er på 13,5 kr [58]. Prisene kan reduseres noe hvis transportør er sikret returlast. For natriumhydroksid og metanol er frakt inkludert i prisene som er oppgitt fra leverandøren.

	Rapsolje	Animalsk fett	Fiskeolje
Fredrikstad-Oslo (km)		88	
Østlandet-Oslo (km)	40		
Ålesund-Oslo (km)			533
Trondheim-Oslo (km)			496
Bodø-Oslo (km)			1214
Gjennomsnitt (km)			747
Transportkostnad pr kg råstoff (kr/kg)	0,039	0,086	0,726

**Tabell 8.3:** Transportdistanse for råstoff [91] [58].

Utgående transport for ferdig biodiesel er helt avhengig av et distribusjonsnett, men med sentral beliggenhet av produksjonsanlegg på Østlandet vil distansene være begrenset for å levere ti millioner liter biodiesel. Dette antallet er mikroskopisk i forhold til salg av autodiesel i østlandsområdet, så en gjennomsnittelig leveringsradius på 40 km burde være realistisk for å selge full produksjonskapasitet. Dermed blir kostnaden for distribusjon pr liter biodiesel ca 0,039 kr, noe som gjelder uavhengig av råstoff. Logistikkostnader som pakking, godshåndtering og merking er ikke tatt med pga at både råstoff og ferdig biodiesel pumpes fra/til transportmiddel og lagertanker i det helautomatiserte produksjonsanlegget.

### Andre faste kostnader

De viktigste faste kostnadene i dette prosjektet er forsikringer, renter på lån, salgs- og administrative kostnader og avskrivninger. Årlige forsikringer for prosessindustri kan som en tommelfingerregel beregnes som 0,75 % av anskaffelsespris på investeringer, og første års forsikringspremie vil da bli 195 000 kr [13]. Salgs- og administrasjonskostnader, som skal dekke kostnader til telefon, post, reklame, salg, reiser/diett, revisor, kontingenter, programvareoppgraderinger og lignende, for to lignende biodieselanlegg i USA dreier seg om henholdsvis ca 900 000 kr/år og 1 274 000 kr/år, mens et tysk anlegg opererer med ca 820 000 i kostnader til dette formålet [47] [46] [15]. Konkluderer dermed med at en sannsynlig salgs- og administrasjonskostnad vil være på ca en million kroner pr år, og at denne kostnaden også er inkludert i år null i prosjektet.

For avskrivninger vil Statens maksimalsatser for ulike saldogrupper benyttes, det vil si at for bygninger brukes 5 % og for maskiner/utstyr brukes 20 % [22]. Siden totale investeringskostnader er beregnet ut fra lignende prosjekter, er det ikke separert ut hvor stor andel av investeringene som er tiltenkt bygg/tomt og maskiner/utstyr. En antagelse er at en komplett bygningsmasse vil måtte være på ca 400 m<sup>2</sup>, og med en kvadratmeterpris på 12 000 kr vil bygningsinvesteringen komme på ca 4,8 millioner kroner [13]. Ergo så er resterende investering på 25,2 millioner kroner beregnet til maskiner og utstyr. Tabell 8.4 viser avskrivningene over prosjektets levetid på 10 år. Bokført restverdi etter ti år er på ca 5,6 millioner kroner, og for å unngå skattespørsmål angående dette settes utraneringsverdi (salg av bygg og maskiner) også til 5,6 millioner kroner. Dermed blir differansen mellom bokført verdi og utraneringsverdi lik null [7].

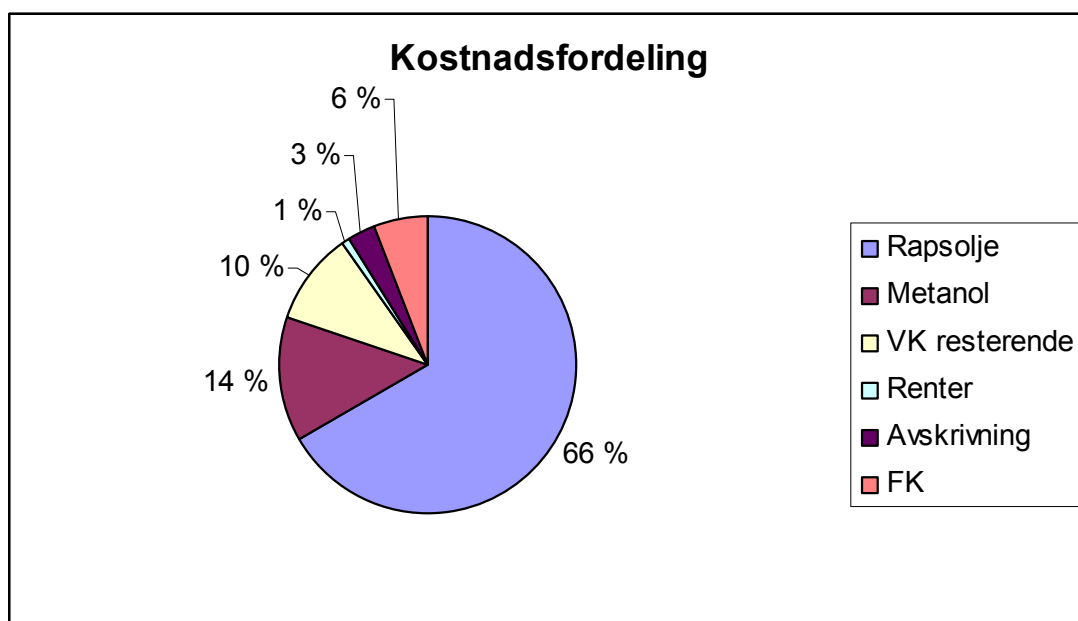
	År 0	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 6	År 7	År 8	År 9	År 10
Restverdi bygg	4800000	4560000	4332000	4115400	3909630	3714149	3528441	3352019	3184418	3025197	2873937
Årlig avskrivning (5 %)		240000	228000	216600	205770	195482	185707	176422	167601	159221	151260
Restverdi maskiner/utstyr	25200000	20160000	16128000	12902400	10321920	8257536	6606029	5284823	4227858	3382287	2705829
Årlig avskrivning (20 %)		5040000	4032000	3225600	2580480	2064384	1651507	1321206	1056965	845572	676457
<b>Sum årlige avskrivninger</b>		<b>5280000</b>	<b>4260000</b>	<b>3442200</b>	<b>2786250</b>	<b>2259866</b>	<b>1837215</b>	<b>1497628</b>	<b>1224566</b>	<b>1004793</b>	<b>827717</b>

**Tabell 8.4:** Avskrivninger.

Rentekostnadene er ikke viktig å beregne for å finne netto nåverdi etter totalkapitalmetoden, men tas med for å estimere kostnadsbildet og beregne forventede resultater etter skatt i løpet av prosjektets levetid. Antar her at rentebærende gjeld vil være ca 50 % av total investeringskostnad, noe som tilsvarer 15 millioner kroner. For en mer detaljert analyse enn denne grovanalysen ville det være naturlig å diskutere andelen av gjeldsgrad i forhold til skattespørsmål og risiko. Her forenkles det, og lånet beregnes som et serielån med en rentesats på 5,5 %.

### Kostnadsandel

En kvalitetssikring av kostnadsbildet for biodieselproduksjon kan gjøres ved å summere opp gjennomsnittet av de ulike kostnadselementene over prosjektperioden, finne andelen av hvert element, og deretter sammenligne med lignende prosjekter. Figur 8.2 nedenfor viser gjennomsnittlig kostnadsfordeling over en tiårsperiode for en prosess basert på rapsolje som input. En kostnadsandel for rapsolje på 66 % er helt i tråd med andre prosjekter, der andeler er målt til mellom 60-80 %. Grunnen til at andre prosjekter opererer med en høyere andel av vegetabilsk olje kan være en høyere produksjonskapasitet, og dermed flere liter biodiesel å fordele faste kostnader på. Ellers viser en undersøkelse at andel av avskrivninger og metanolkostnad er konsistent med andeler som er framkommet i dette forprosjektet på henholdsvis 3 % og 14 % [49]. Ellers så viser samme undersøkelse at kostnadene til katalysator vil gjøre andelen av resterende variable kostnader noe høyere enn i figur 8.2, men det kan komme av at fullstendig resirkulering av katalysatoren ikke er inkludert. Disse sammenligningene skulle tilsi at kostnadsbildet i denne analysen er fornuftig og reelt.



**Figur 8.2:** Kostnadsfordeling.

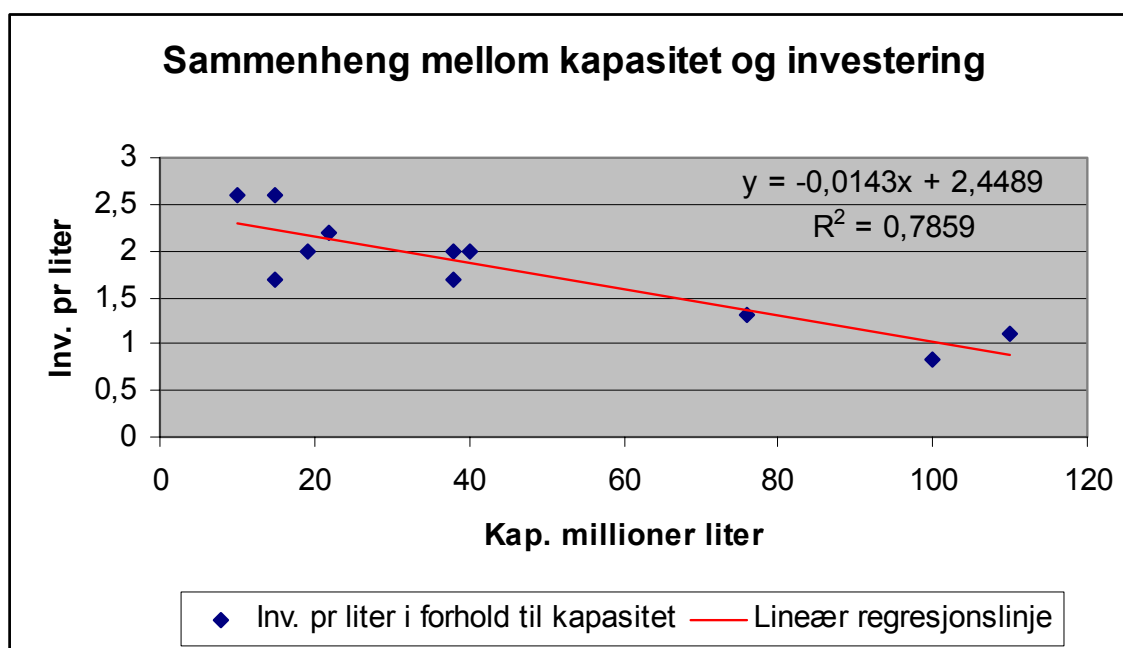
## 8.2 Investeringer

Til et komplett anlegg som inkluderer preprosesseringsanlegg, produksjon av biodiesel fra ulike råstoffer, bygg/tomt og infrastruktur kreves det mange store og små investeringer. Det vil dermed bli mange antagelser med hensyn til tall og erfaringsverdier, siden det ikke tidligere er bygget et selvstendig biodieselanlegg i Norge (Fabrikken til Estra AS er bygd inn i eksisterende anlegg til Scanbio AS). En studie av sammenlignbare prosjekter i utlandet vil her ligge til grunn for beregningene, og tabell 8.5 viser investeringskostnad, kapasitet og investeringskostnad pr liter biodiesel. Alle anleggene er konstruert for en kontinuerlig produksjonsprosess, men med noe ulike krav til råstoff. Nedenfor tabellen er forutsetningene for anleggene, etter nummer, beskrevet.

Anlegg	1	2	3 <sub>1</sub>	3 <sub>2</sub>	4 <sub>1</sub>	4 <sub>2</sub>	4 <sub>3</sub>	5	6	7	8
Kapasitet (millioner liter biodiesel)	10	100	15	110	22	38	76	15	19	40	38
Investeringskostnad (millioner NOK)	26	82	39	121	48	65	99	26	38	79	76
Investeringskostnad (NOK/liter biodiesel)	2,6	0,82	2,6	1,1	2,2	1,7	1,3	1,7	2	2	2

**Tabell 8.5:** Investeringskostnad i forhold til kapasitet.

1. Bruk av ulike vegetabiliske oljer [82].
2. forutsetter ferdig infrastruktur med vei, vann, elektrisitet, avløpsvannbehandling osv, og bruk av vegetabilisk olje[30].
3. Ingen begrensning på type råstoff eller innhold av frie fettsyrer, og anlegg for gjenvinning av glyserol er inkludert [66].
4. Opp til 30 % frie fettsyrer, det vil si et vidt spekter av råstoffer [66].
5. Opp til 20 % frie fettsyrer, med utstyr for gjenvinning av glyserol [47].
6. Ikke den nyeste teknologien, men prosessen takler ulike råstoffer [85].
7. Multi Feedstock system [24].
8. Basert på soyaolje og glyserolgjenvinning [21].



**Figur 8.3:** Regresjonslinje for investeringskostnad og kapasitet.



Ut fra tabell 8.5 og figur 8.3 (relativt bra sammenheng mellom kapasitet og investeringskostnad, med en korrelasjon på ca 0,89) ser en at investeringskostnadene varierer fra 1,7 til 2,6 kr/liter for anlegg med produksjonskapasitet på mellom 10-20 millioner liter biodiesel, og at disse kostnadene vil reduseres ned til mellom 0,8-1,3 kr/liter for anlegg med kapasitet over 75 millioner liter. Ved å anta at investeringskostnadene for bygg og produksjonsutstyr ikke er lavere i Norge enn for de anleggene presentert i tabellen, og at kostnadene faktisk er noe større pga dimensjonering for snø og kulde (bedre lagringsbetingelser), vil 3 kr/liter benyttes som investeringskostnad i videre analyser. Dette inkluderer tomt, konstruksjon/bygging, prosjektering, bygg med kontorer og tilhørende utstyr, produksjonsutstyr, lagringstanker, trucker, kran, infrastruktur etc, og det blir da totalt 30 millioner kroner for et anlegg med en kapasitet på 10 millioner liter biodiesel. I tillegg antas en større oppgradering/vedlikehold i år 6 på ca 1,5 millioner kroner, og som avskrives samme år.

### **Arbeidskapital**

Selv om produksjonen er lagt opp med hensyn til å minimere lagerhold, vil det alltid være varer i arbeid, råvarelager og noe ferdigvarelager. I tillegg betaler ikke kundene kontant slik at kapital bindes i kundefordringer, samt at noen kontanter er nødvendig for den daglige driften. Til å finansiere alle disse forannevnte kostnadene trengs det arbeidskapital, og gjennomsnittelig arbeidskapital for typiske industribedrifter ligger på ca 15,5 % av omsetning [13]. Endring i arbeidskapital fra år til år vil budsjetteres lineært i forhold til endring i omsetning, selv om all erfaring tilsier at når omsetning reduseres er det vanskelig å redusere arbeidskapitalen tilsvarende [6].

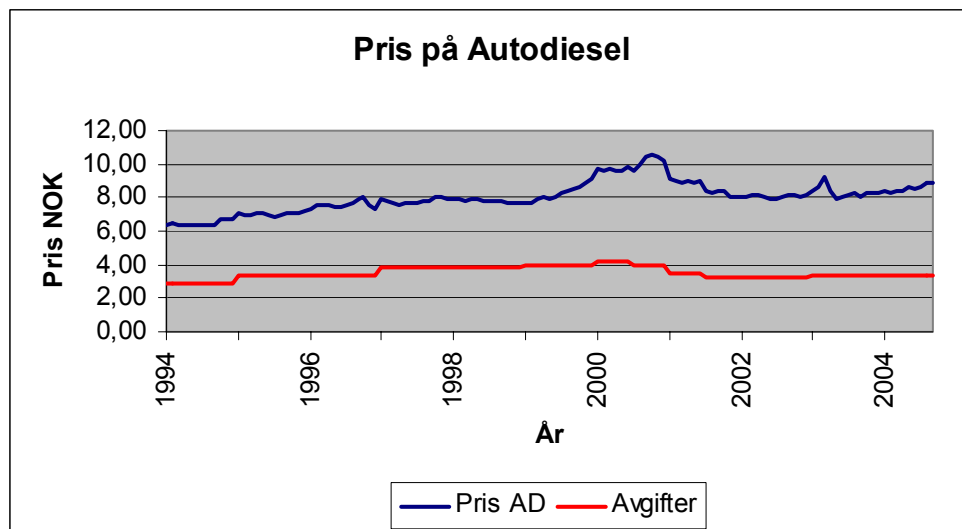
### **8.3 Inntekter**

Prisen pr liter biodiesel antas å måtte ligge lavere enn for autodiesel for at forbrukeren skal vurdere å endre sine vaner, og dette begrunnes med barrierene nevnt i kapittel 7.3 om marked samt at egenskapene til biodiesel med hensyn til motorytelse og kulde er dårligere enn for autodiesel. Eksempelvis har Estra AS benyttet en fast pris på 7,45 kr/liter for biodiesel ut til privatpersoner (noe lavere for transportfirmaer) siden oppstart høsten 2002 [41], mens gjennomsnittelig månedspris i samme periode for autodiesel har ligget på 8,4 kr/liter [1]. Det vil si at biodiesel prises ca en krone rimeligere pr liter enn for autodiesel i snitt. Det samme gjelder for Habiol AS, der utsalgsprisen har variert mellom 1-2 kroner/liter lavere enn prisen for autodiesel [23]. Ut fra dette antas det at biodieselpriisen settes en krone pr liter lavere enn antatt pris på autodiesel i videre beregninger.

Pris på autodiesel i Norge avhenger i stor grad av tilbud og etterspørsel i det internasjonale oljemarkedet, men også noe av avgiftsnivået som politikerne i Norge bestemmer i tillegg til lokal geografisk priskonkurranse. Figur 8.4 viser prisutviklingen på autodiesel og avgiftsnivået siden 1994 og fram til september måned 2004, og årlig prisvekst i denne perioden tilsvarer ca 3,34 % [1]. I en statisk nåverdianalyse benyttes en noe lavere forventet prisstigning pga at mye av den permanente økningen skjedde mellom 1994 og 1997, for senere å ligge noe i overkant av åtte kr pr liter. Dermed benyttes ca 2 % årlig prisstigning med utgangspunkt i en biodieselpriis pr i dag på 7,45 kr/liter.

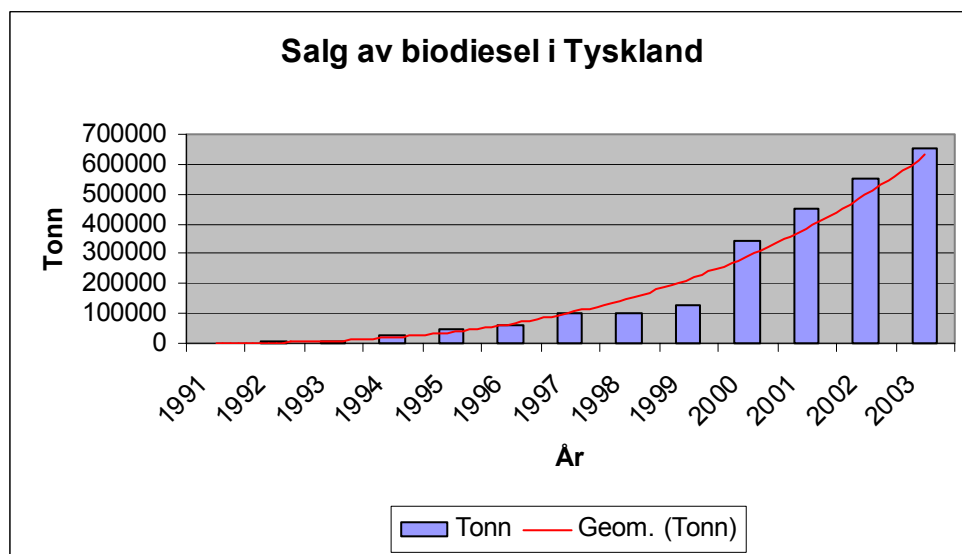
Produksjonsanlegget planlegges ut fra at glyserolen kan gjenvinnes fra produksjonsprosessen og raffineres til et produkt som inneholder 80 % ren glyserol. Dette er en vare som kan selges videre til produsenter av eksempelvis tannpasta, maling, kosmetikk, eksplosiver osv, og

gjennomsnittspris de siste 20 årene i USA har vært ca 10 kr/kg men har vært helt nede i 2-3 kr/kg de senere årene [47]. En utstrakt biodieselproduksjon i Norge vil sannsynligvis overmette markedet, med dertil fallende priser som resultat. Samtidig er det stor usikkerhet angående hvem som eventuelt kan være villige til kjøpe dette biproduktet, slik at i denne analysen vil en salgspris på glyserol estimeres til ca 2 kr/kg.



Figur 8.4: Prisutvikling på autodiesel og avgifter i Norge [1].

Kapasiteten på anlegget vil være på 10 millioner liter biodiesel, men det vil være unaturlig å tro at salgstallene vil nå denne grensen allerede etter ett eller to år. I følge Estra AS har de opplevd at salgstallene deres har økt nærmest eksponentielt, sett månedsbasis, gjennom de to årene de har solgt biodiesel. De kan sammenligne sine salgstall på månedsbasis med salgstall i Tyskland på årsbasis. [41] Figur 8.5 viser salgsøkningen i Tyskland fra 1991 til 2003 [4]. Ut fra disse sammenligningene antas det at salgstallene for et biodieselanlegg på Østlandet vil følge en lignende utvikling, og at maksimumskapasitet nås etter ca tre års drift. Salgstall første driftsår antas å bli ca en millioner liter, for deretter å bli henholdsvis 2,5 og 5,5 millioner liter ren biodiesel for andre og tredje driftsår. Deretter settes salg lik full kapasitetsutnyttelse.



Figur 8.5: Salgsutvikling av biodiesel i Tyskland [4].

## 8.4 Diskonteringsrente

Netto nåverdi (NNV) er et viktig begrep for å beregne lønnsomhet i et prosjekt, og det kan defineres som vekst i formue som oppnås ved et tidspunkt null, ved å velge et prosjekt framfor å investere pengene i noe som gir avkastning lik diskonteringsrenten [6]. Det vil si at framtidige kontantstrømmer gjøres sammenlignbare på ett gitt tidspunkt, noe som regel er starttidspunktet for prosjektet. Et prosjekt som er estimert til å vare over en lengre tidsperiode vil alltid være forbundet med risiko, og en omfattende risikoanalyse vil måtte inkludere en rekke faktorer som for eksempel råvarepriser, lønnskostnader, energipriser, rentenivå, valutakurser, markedsendringer osv. Diskonteringsrenten skal gjenspeile risikoen for disse faktorene, men i tillegg skal den også ta hensyn til inflasjonskostnaden som kommer av at kjøpekraften faller ved prisstigning og utålmodighetskostnaden som er ulempen ved å utsette et eventuelt forbruk eller andre investeringer [6].

Prosjekter kan i mange tilfeller se veldig bra ut på papiret i en tidlig fase, med positiv netto nåverdi, men det kan komme av feilaktige prognoser eller overvurdert inntjeningssevne. Hvis nåverdianalysen viser et eksepsjonelt godt resultat, bør en stille seg spørsmålet hvorfor ingen andre tenker å sette i gang lignende prosjekter. Ser en på denne problemstillingen i et mikroøkonomisk perspektiv, antas det at i et velfungerende marked med fri konkurranse vil alle prosjekter innenfor samme bransje tjene samme alternative kapitalkostnad i et likevektspunkt. Hvis noen skulle tjene mer enn denne kapitalkostnaden, ville andre firmaer i bransjen utvide sin kapasitet eller nye firmaer ville forsøke å entre markedet, helt til ny likevekt oppnås. [9] Ut fra disse resonnementene vil en bedrift kun oppnå positiv netto nåverdi ved å ha eksempelvis konkurransefordeler i form av markedsrett, overlegen teknologi, patenter, lavere produksjonskostnader enn konkurrentene og særegent produkt i form av funksjonalitet, kvalitet og lignende. Uansett vil disse konkurransefordelene antageligvis bare vare midlertidig, og utfordringen blir da å hele tiden være i front av de andre aktørene i bransjen. Pga dette vil budsjetteringen av priser og kostnader mot en uendelig tidshorisont være vanskelig.

Biodieselanlegget som budsjetteres her antas å ha fordelene av å være tidlig ute på markedet i Norge, og dermed være i førersetet med hensyn til forskning/kompetanse, teknologi, geografisk beliggenhet i forhold til befolkningstetthet og statsstøtte til forprosjektering. Denne fordelene forventes å vare en god stund framover, og en rimelig tidshorisont for nåverdianalysen settes dermed til ti år.

En vanlig metode for beregning av diskonteringsrente er kapitalverdimodellen (KVM), og denne modellen summerer komponentene skattejustert risikofri rente og risikopremie. Risikopremien er produktet av forventet avkastning utover risikofri rente og samvariasjon mellom prosjektet og en veldiversifisert portefølje. [7] Beregning av diskonteringsrente etter KVM for en ny bransje, som biodieselproduksjon i Norge, er vanskelig pga mangelfullt sammenligningsgrunnlag angående risiko en påtar seg ved å investere. En annen metode er derfor å benytte KVM for å se på sannsynlige kapitalkostnader hos aktørene i autodieselmarkedet. For eksempel er Statoil en stor konkurrent i dieselmarkedet, og selskapets hovedfokus er oljeutvinning i tillegg til råstofforedling, distribusjon og salg av drivstoff. Det er selvfølgelig store ulikheter i størrelse med hensyn til markedsverdi og omsetning, samt at Statoil foredler flere produkter enn en planlagt biodieselaktør. I tillegg vil kanskje Statoil ilegge en større risikopremie pga letevirkosomhet i forhold et selskap som baserer seg på innkjøp av alle råvarer, men alternativkostnaden til Statoil kan i det minste være et

utgangspunkt for å definere en diskonteringsrente for dette prosjektet (base case). Første skritt i KVM metoden er å beregne forventet avkastning på egenkapitalen:

$$E(r_E) = r_f \cdot s^* + \beta_E \cdot [E(r_m) - r_f \cdot s^*]$$

- Risikofri rente har notasjonen  $r_f$  og kan finnes ved å se på historiske data, eller ved å se på utstedte norske stasobligasjoner/sertifikater. Her velges sistnevnte metode, og ut fra en statsobligasjon med løpetid til 2015 defineres den risikofrie renten til å være 4,09 % [86].
- Skattejusteringsfaktor  $s^*$  skal rette opp skjevheten i investorbeskatning, og med dagens norske skattesystem er denne faktoren p på 0,72 (vel å merke hvis investor er i skatteposisjon) [6].
- Samvariasjon mellom et prosjekt og en veldiversifisert portefølje benevnes  $\beta_E$  (Beta egenkapital), og denne parameteren forteller hvor mye prosjektets verdi øker eller reduseres i forhold til eksempelvis hovedindeksen på Oslo børs. Pr 13. November 2004 var Betaverdien for Statoil på 1,17, basert på siste 12 måneder [86].
- Forventet avkastning på markedsporteføljen noteres som  $E(r_m)$ , og finnes ved å se på historisk avkastning på eksempelvis hovedindeksen på Oslo børs. Gjennomsnittelig nominell avkastning på hovedindeksen siden 1983 er på ca 12,6 % [67], det vil i dette tilfellet tilsi en risikopremie på 9,7 %. I følge Brealey og Myers er det flere undersøkelser som viser at dette er en for høy risikopremie, og at ca 8 % er et mer fornuftig estimat [9]. Det vil si at forventet avkastning på markedsporteføljen estimeres til 10,95 %.
- Dermed er forventet avkastning på egenkapitalen  $E(r_E)$  for Statoil ca 12,3 %.

Neste skritt i analysen er å beregne renter på rentebærende gjeld, og det kan gjøres på samme måte som for avkastning på egenkapital. Det er i praksis vanlig å anta at gjeldsbeta  $\beta_G$  er lik null, noe som innebærer at gjeldsrente settes lik risikofri rente på 4,09 %. Likevel er det vanlig i kalkyler å operere med en gjeldsrente som er høyere, og det vil her benyttes en langsiktig gjeldsrente  $E(r_G)$  på 5,5 % [13].

Siste skritt i analysen er å beregne selve diskonteringsrenten som et vektet gjennomsnitt av kapitalkostnaden for egenkapital og gjeld:

$$E(r_T) = E(r_E) \cdot \frac{EK}{EK + G} + E(r_G) \cdot s^* \cdot \frac{G}{EK + G}$$

- Egenkapital forkortes som  $EK$ , og er markedsverdien av innskutt kapital fra eierne, og verdien for Statoil 13. November 2004 var på 198 157 millioner kroner [86].
- Gjelden forkortes som  $G$ , og rentebærende gjeld for Statoil tredje kvartal 2004 var på 40 700 millioner kroner [68]. I dette tilfellet er gjeldsgraden på 17 %, noe som et nystartet selskap for biodieselproduksjon nok ikke kan matche i en oppstartsfase.
- Dermed kan den nominelle diskonteringsrenten  $E(r_T)$  kalkuleres til ca 10,9 %, noe som vil benyttes videre i nåverdianalysen.

## 8.5 Nåverdiberegning

Til å beregne netto nåverdi er det i denne sammenheng utviklet en detaljert modell i Excel som omfatter en rekke input [vedlegg 1]. I tabell 8.6 vises noen av parametrene som kan endres i tillegg til at alle priser, kostnader, antall ansatte, kilometer transport, årlig vekst, rentesats, avskrivningssatser, størrelse på bygg osv kan plottes inn. Denne modellen gjør det enkelt å se endringer i netto nåverdi og internrente ved å endre på disse parametrene, og den viser separat endring etter hvilke type råstoff som velges.

Tilleggs-parametere		Verdi
Utbyttegrad (output kg/input kg)		0,99
Kapasitet biodiesel liter pr år		10000000
Diskonteringsrente		0,109
Andel glyserol av biodiesel kg output		0,10
Andel kg metanol av input olje (inkl gjenvinning)		0,12
Andel katalysator av input olje		0,01
Andel gjenvinning av katalysator		0,90
Inflasjon estimert		0,025
Ferettransport Oslo-Kiel tur retur		12000
Tur/retur kan bare være 1 eller 2 (tilbaketransp.=1)		
Innblanding av autodiesel		0,35
Andel lån av total investering		0,50
Salg år 1 av kapasitet		0,10
Salg år 2 av kapasitet		0,25
Salg år 3 av kapasitet		0,55
Resterende (maks 1)		1
Antall ansatte i prod. første 2 år.		2

**Tabell 8.6:** Utdrag av parametere fra Excel modell.

Netto nåverdi (NNV) er beregnet etter totalkapitalmetoden, der prosjektets kontantstrøm (KS) etter skatt neddiskonteres til år null med en konstant diskonteringsrente. Selve kontantstrømmen tar ikke hensyn til gjeldsopptak, gjeldsgrad eller renter, fordi dette er inkludert i diskonteringsrenten [6]. Internrente (IRR) er den diskonteringsrenten som gir prosjektets kontantstrøm en verdi lik null. Formlene for netto nåverdi og internrente er:

$$NNV = \sum_{t=0}^T \frac{KS}{(1 + E(r_T))^t} \quad \sum_{t=0}^T \frac{KS}{(1 + IRR)^t} = 0$$

Ved å benytte alle verdiene og betraktningene om kostnader, investeringer, inntekter og diskonteringsrente som er diskutert i foregående delkapitler, kan NNV og IRR beregnes ut fra et mest sannsynlig base case. Tabell 8.7 viser disse verdiene for et prosjekt basert kun på produksjon av biodiesel fra de respektive råstoffene.

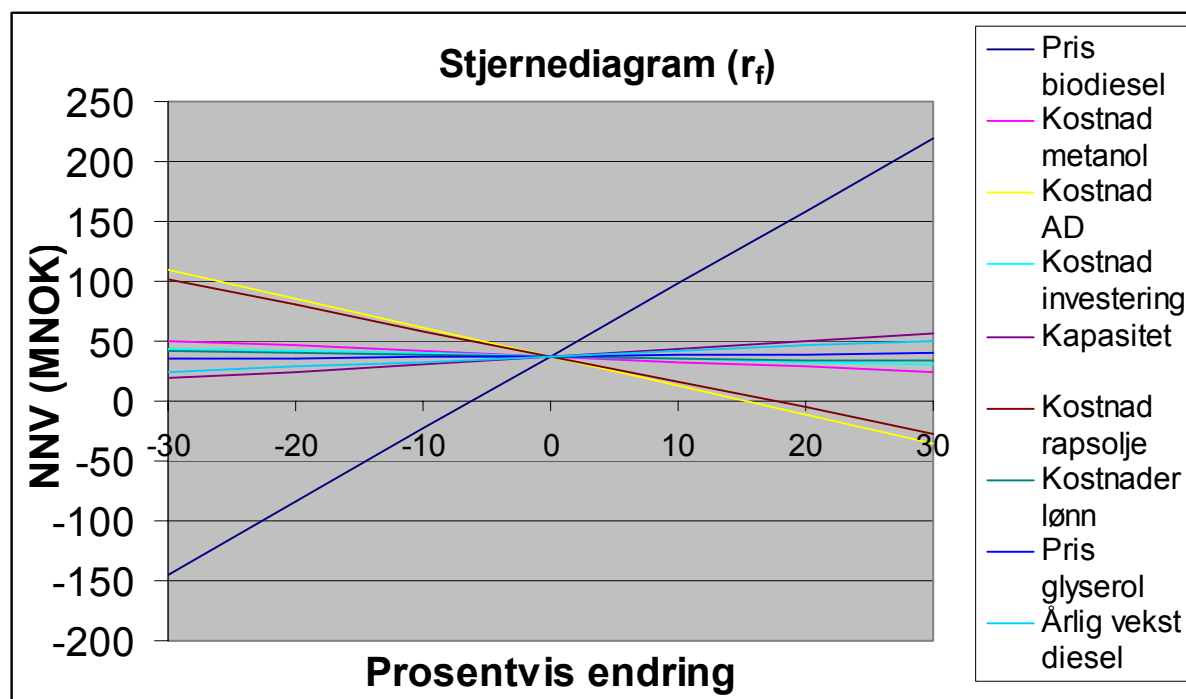
	Rapsolje	Fiskeolje	Animalsk fett/olje
<b>NNV (NOK)</b>	2 661 399	4 604 444	17 659 027
<b>IRR (%)</b>	11,82	12,54	16,41

**Tabell 8.7:** Resultater fra nåverdianalyse for tre ulike scenarioer.

Ut fra base case kan en konkludere med positiv netto nåverdi for alle tre alternativene, men betydelig nære null for produksjon basert på råstoffene rapsolje og fiskeolje (tabell 8.7). En betydelig høyere verdi observeres fra et prosjekt basert kun på animalsk fett/olje. Det siste kommer selvfølgelig av den lavere kostnaden på råvare sammenlignet med de to andre alternativene, i tillegg til det større kvantum som selges pga den større innblandingen av autodiesel. Prosjektet her skal ta utgangspunkt i et multi feedstock anlegg, og det vil si at en netto nåverdi for et slikt anlegg vil ligge mellom ytterpunktene 2,7 og 17,7 millioner kroner siden alle kombinasjoner av råstoffandeler vil havne innenfor dette intervallet. Dermed konkluderes det med at prosjektet er verdt å utredes videre i detalj siden denne grovanalysen viser en positiv netto nåverdi.

### 8.5.1 Følsomhetsanalyse

Det er mange estimater som er usikre i en nåverdiberegning, og det kan derfor være interessant å se på hva som skjer med NNV ved endringer av estimatene fra base case gjennom en følsomhetsanalyse. Ved netto nåverdianalyse inkluderes risikoen i diskonteringsrenten, det vil si i nevneren, mens følsomhetsanalyse anskueliggjør risikoen gjennom endring i kontantstrømmen og dermed i telleren i formelen for NNV. Derfor må det benyttes en skattejustert risikofri rente som diskonteringsrente i denne analysen, og den blir på 2,95 % ( $4,09 \cdot 0,72$ ). [6] Endringer i kontantstrøm på X-akse gjøres prosentvis for å få plass til mange typer estimater i samme diagram, og NNV i millioner kroner kan avleses på Y-akse. Helningsgraden på kurvene for estimatene avgjør følsomheten til estimatet i forhold til endring i NNV, det vil si at en større tallverdi på helningsgraden betyr større følsomhet for prosjektets NNV.



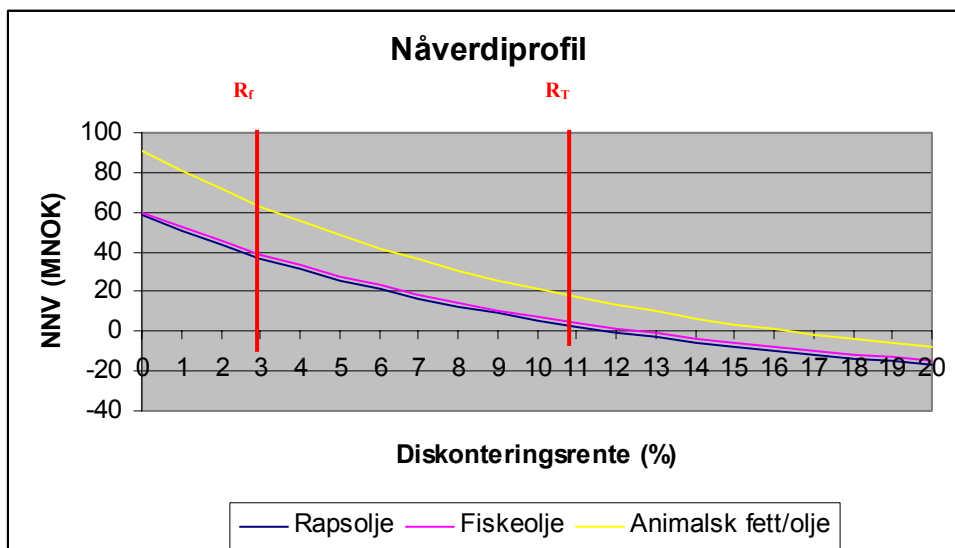
Figur 8.6: Stjernediagram for biodiesel av råstoffet rapsolje.

Figur 8.6 viser følsomheten til en rekke estimater for et prosjekt basert kun på råstoffet rapsolje, og en ser at estimatene for pris på biodiesel, autodieselkostnad og kostnad til rapsolje har de bratteste kurvene og dermed har størst innvirkning på NNV ved endring i estimat. Resterende estimater som er valgt ut i denne analysen vil gi mindre utslag på NNV, og positiv

NNV oppnås innenfor et endringsintervall på  $\pm 30\%$  av opprinnelig basisestimat. Denne analysen er kun utført for produksjon basert på rapsolje, siden stjernediagrammet for produksjon basert på de andre råstoffalternativene forventes å se tilnærmet likt ut som figur 8.6. Begrensningen i en følsomhetsanalyse er at kun ett enkelt estimat kan endres av gangen, og pga dette vil ikke analysen for eksempel ta hensyn til at en høyere salgspris kan innvirke på salgsvolum.

### **8.5.2 Nåverdiprofil**

Det knytter seg stor usikkerhet til hvilken diskonteringsrente som skal benyttes for dette prosjektet, og en sammenligning med Statoil kan være misvisende med tanke på en rekke faktorer. Dette gjelder faktorer som gjeldsgrad, systematisk og usystematisk risiko, prosjektportefølje osv, men det er et bra alternativ sett i forhold til andre aktører som et biodieselprosjekt kan sammenlignes med. For et biodieselprosjekt kan det være forbundet mye risiko i forhold til om myndighetene vil innføre avgift på biodiesel på lik linje med autodiesel i framtiden. Denne komponenten er det sett bort fra i denne analysen, pga at Norge ligger dårlig an i forhold til å oppfylle sine forpliktelser med hensyn til en eventuell Kyoto avtale og EU direktiv angående henholdsvis CO<sub>2</sub> utslipp og innfasing av biobrensel i drivstoffet. Dermed antas det at avgiftsfritak må opprettholdes for å legge til rette incentiver for prosjekter som dette over en tiårs horisont. Legges det på en avgift på 3,4 kr/liter til biodieselen, slik som det er på autodiesel pr i dag, vil et produksjonsprosjekt for biodiesel være dødfødt. Figur 8.7 viser NNV for prosjekter basert på ulike råstofftilgang, der et multi feedstock anlegg med de forutsetninger som er antatt for dette prosjektet vil ha en profil som ligger mellom den gule og blå linjen. Røde vertikale streker viser risikofri rente og diskonteringsrente for kontantstrømmene til dette prosjektet. Det er helt klart at hvis den reelle risikoen ligger mye høyere enn det som er innbakt i diskonteringsrenten på 10,9 %, vil prosjektet raskt havne opp med negativ netto nåverdi. Faktoren som vil gjøre dette prosjektet atskillig mer attraktivt er en høyere forventet pris på autodiesel og dermed også på biodiesel. For eksempel hvis den årlige prisveksten på 3,34 % for autodiesel siste to år er et mer korrekt estimat enn en årlig økning på 2 %, vil NNV for et prosjekt basert på rapsolje bli ca 21,8 millioner kroner. Dette er en dramatisk økning fra de 2,7 MNOK som her er beregnet i base case.



Figur 8.7: Nåverdiprofil av prosjektet med tre ulike råstoff som input.

### 8.5.3 Import av råstoff

Kjøp av råstoff i form av olje eller fett fra utlandet må mest sannsynlig baseres på leveranser fra Tyskland eller Nederland, og en betydelig transportkostnad må påregnes. Ved å benytte modellen i Excel til å beregne netto nåverdi for et prosjekt kun basert på import av rapsolje, kommer en ut med en negativ NNV på ca 3,1 millioner kroner og en IRR på 9,78 %. Her er det satt forutsetninger om at rapsoljeprisen er på 4,6 kr/kg, og at transportfirmaet kan koordinere returlast av varer fra Norge til eksportsted slik at fraktkostnadene tilnærmet halveres. For å oppnå samme NNV basert på import av rapsolje i stedet for innkjøp i Norge, må transportkostnadene reduseres fra 13,5 kr/kilometer til ca 2,3 kr/kilometer. Denne store reduksjonen er det tvilsomt om noen transportleverandør, bane eller båt, er villig til ta på seg. I tillegg vil bruk av en rimeligere transporttype kreve større innkjøp, med dertil krav om større lagertanker og økt kapital bundet i råstoff på lager. Ut fra dette konkluderes det med følgende: med de forutsetninger som ligger til grunn for dette prosjektet er ikke import av råstoff med på øke NNV uansett type transport.



## 9.0 Realopsjonsanalyse

Netto nåverdiberegninger er basert på et forventet scenario, og at så snart prosjektet er i gang så er man låst med hensyn til framtidige avgjørelser. Det vil si at NNV analysen ikke tar hensyn til fleksibilitet i form av eksempelvis muligheten til å utsette et prosjekt, utvidelser underveis, midlertidig nedleggelse og slutføring før forventet tid. Kontantstrømmen fra et prosjekt vil med stor sannsynlighet bli annerledes enn først antatt, og verdien av å kunne vente på mer og bedre informasjon om markeder, konkurrenter osv kan ikke undervurderes. Denne verdien kan beregnes ved hjelp av opsjonsteori, og i denne grovanalysen vil det vurderes verdien av å kunne utsette investeringen samt ved hvilken pris for autodiesel/biodiesel det er optimalt å utøve realopsjonen.

En investeringsbeslutning deler i varierende grad tre karakteristikk: [12]

1. Investeringen er delvis eller totalt irreversibel, det vil si at den kan anses som en ”sunk cost”. I mange analyser gjøres det grove feil i forhold til å anta at ved lav inntjening så kan hele produksjonsanlegget selges til tilnærmet investeringskostnad. Dette overvurderer prosjektet siden i et velutviklet marked vil ingen gi en høy pris for et anlegg så lenge årsaken til nedgangstider er gjeldende for hele bransjen.
2. Når skal investeringen gjøres er et sentralt spørsmål. Firmaer kan ha strategiske grunner til å investere på et gitt tidspunkt pga overlegen teknologi, konsesjonstid for utvinning av eksempelvis olje eller gass eller være innehaver av et patent på et bestemt produkt.
3. Usikkerhet i forhold til framtidige kontantstrømmer fra et prosjekt.

Her antas det at et firma vurderer å investere i et produksjonsanlegg for biodiesel, og at de gjennom flere år har ervervet seg mye kunnskap angående marked og teknologi samt opparbeidet seg en bred kontaktflate hos myndighetene. Markedet for biodiesel i Norge er helt i startfasen, og den kunnskapen og kontaktene som dette firmaet har opparbeidet seg gir det et forsprang på eventuelle konkurrenter på flere år. Dermed oppstår en tilnærmet enestående mulighet til å investere i prosjektet. Dette kan sammenlignes med en finansiell call opsjon, der firmaet har en rett (realopsjonsverdi) til å betale ”sunk cost” innen en bestemt tidsperiode (investeringskostnad) mot å få kontantstrømmen fra prosjektet (verdi).

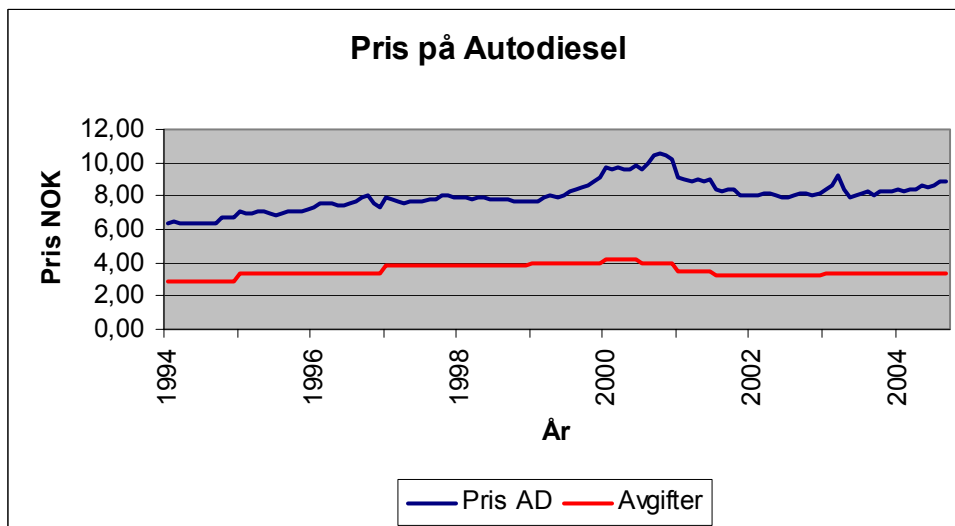
### 9.1 Replikerende handelsvare

Til å løse et realopsjonsproblem som beskrevet ovenfor vil det her benyttes en metode som kalles contingent claims analysis. Begrunnelsen for det er en antagelse om at outputprisen på autodiesel/biodiesel er bra korrelert med spotprisen på råolje, og dermed at output kan sikres gjennom handel i et futuresmarked. Det vil si at risikoen forbundet med en stokastisk prisutvikling for biodiesel kan replikeres med en vare som har likeartet usikkerhet [12]. Ved NNV beregninger i kapittel åtte ble det antatt en risikojustert rente, for base case, som er identisk med hva Statoil sannsynligvis opererer med, noe som selvsagt er en forenkling av virkeligheten. Ved en realopsjonstilnærming kan en benytte fordelene med at råolje kan handles i et futuresmarked, og at inntektssiden fra et biodieselprosjekt dermed antas risikofri og kan diskonteres med en risikofri rente. Dette forenkler og forbedrer beregningene av opsjonsverdien og optimal investeringsstrategi. Sammenhengen mellom den risikonøytrale (RN) og risikojusterte (RJ) verdisetningen kan skrives på denne måten [37]:

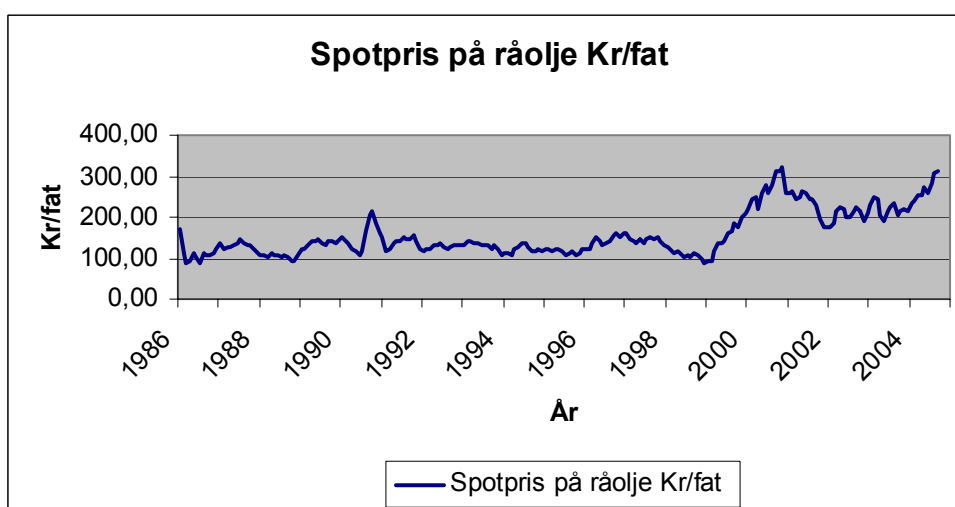
$$E_t(RN)[KS]e^{-r(T-t)} = \frac{E_t(RJ)[KS]}{(1 + E(r_T))}$$

### 9.1.1 Sammenheng mellom pris på råolje og autodiesel

For å se på sammenhengen mellom spotpris på råolje (Light Sweet Crude Oil ved NYMEX) og pris på autodiesel er det utført to regresjonsanalyser, en for råolje og autodiesel ut fra pumpe og en for råolje og autodiesel fri for avgifter og skatt. Dataene for råolje er daglige observasjoner av spotpris (US\$/fat) siden 1986 og er hentet fra US Department of Energi, mens autodieselpriser (NOK/liter) er hentet fra observasjoner gjort av Norsk Petroleumsinstitutt helt siden 1979 [84] [1]. Disse datasettene er ikke direkte kompatible pga ulik benevning i valuta og at dataene for autodiesel ikke er basert på daglige observasjoner men mellom fem og ti observasjoner pr måned. Derfor er først alle prisobservasjoner for både råolje og autodiesel omgjort til månedlige gjennomsnitt, for deretter å konvertere råoljeprisene til NOK ved å benytte historiske valutakurser (NOK/US\$) fra Norges Bank [83]. Figurene 9.1 og 9.2 nedenfor viser prisutviklingen for de to produktene.

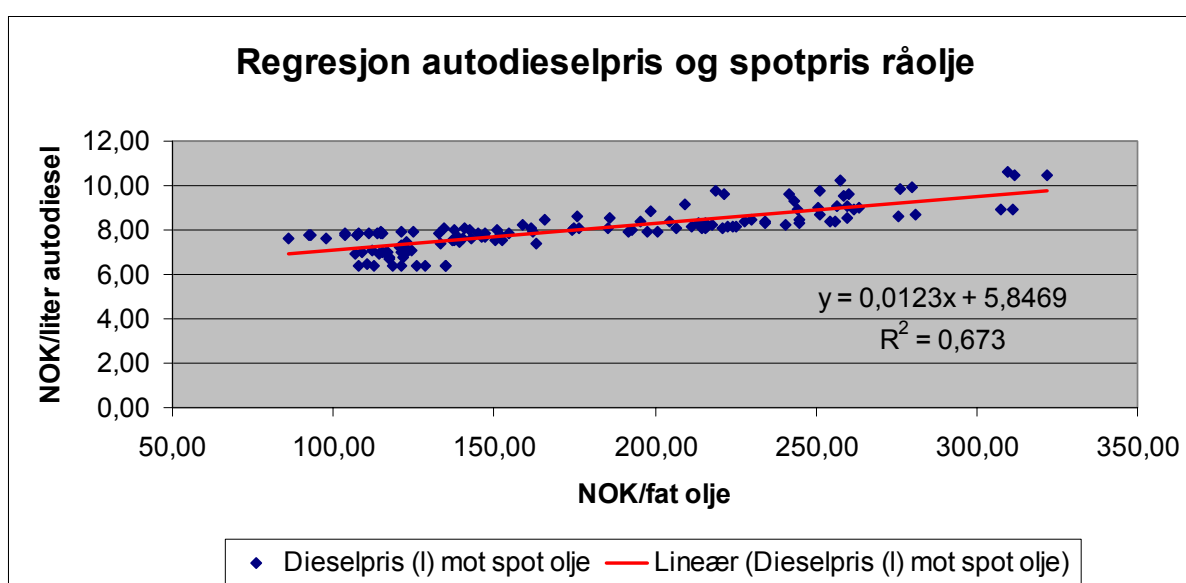


Figur 9.1: Prisutvikling på autodiesel og avgifter i Norge.

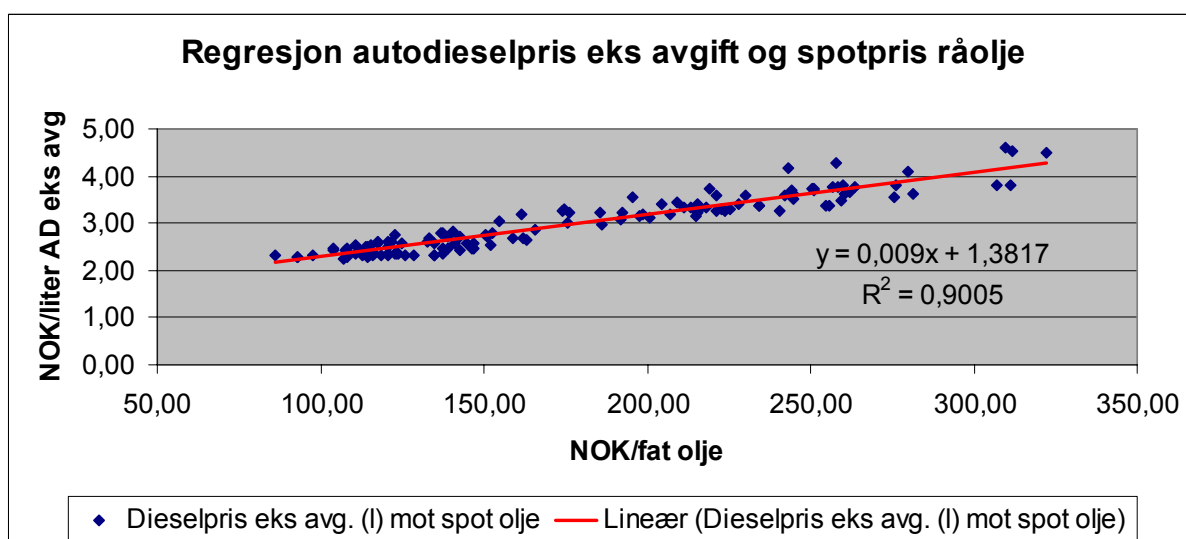


Figur 9.2: Prisutvikling på spot råolje.

Regresjonsanalysene er utført for data mellom januar 1994 og til og med september 2004. Grunnen til at ikke et lengre tidsintervall er benyttet, siden en lengre periode er tilgjengelig, er at avgiften på autodiesel i oktober 1993 økte dramatisk fra ca 0,5 til 2,7 kroner. Ellers kan det ses fra figur 9.1 at avgiftene har holdt seg forholdsvis stabile siden, men med en topp omkring år 2000. Resultatene fra regresjonsanalysen viser at korrelasjonen mellom spotpris på råolje og pris på autodiesel er på 0,82, og at modellen forklarer ca 67 % av variansen ut fra en lineær sammenheng (figur 9.3). Et bedre resultat oppnås ved å se på sammenhengen mellom spotpris på råolje og autodieselpris eksklusiv skatt og avgifter, der det er en korrelasjon på 0,95 og at ca 90 % av variansen forklares av modellen (figur 9.4). Residualene eller feilleddene for begge modellene viser stor grad av uavhengighet og er tilnærmet normalfordelte. Denne analysen viser en god sammenheng mellom prisene, men de er ikke perfekt korrelert slik som det kreves av en "spanning asset". Likevel antas det godt nok til bruk i denne grovanalysen, men en må være klar over den mulige ekstra risikoen en påtar seg ved at det ikke er perfekt korrelasjon.



Figur 9.3: Regresjonsanalyse 1.



Figur 9.4: Regresjonsanalyse 2.

## 9.2 Pris- og verdimodellering

Det finnes en rekke modeller for beskrivelse av prisutvikling av en råvare, aksje eller lignende, og de fleste stammer fra en wiener prosess. Det vil si en kontinuerlig stokastisk prosess som har tre viktige forutsetninger: [12]

1. Det er en Markow prosess, noe som innebærer at sannsynlighetsfordelingen for  $V_{t+1}$  avhenger kun av  $V_t$  og ikke hva som skjedde før tid  $t$ .
2. Prosessen har uavhengige inkremitter, og det betyr at sannsynlighetsfordelingen for en endring over et tidsintervall er uavhengig av andre tidsintervaller.
3. Endringer i prosessen over et bestemt tidsintervall er normalfordelt, med en varians som øker lineært med tidsintervallet.

Eksempler på ulike modeller som har disse karakteristikene er Geometric Brownian Motion (GBM), Mean-Reverting Process (MRP) og Jump Prosesser (JP). MRP beskriver en prisprosess der prisen hele tiden vil tendere mot å gå tilbake til et bestemt prisnivå med en gitt hastighet, mens JP modellerer inn sannsynligheten for at prisen vil falle med en bestemt prosentdel hvis en hendelse inntreffer [12]. I denne grovanalysen vil det antas at prisen på råolje, og dermed prosjektets verdi, følger en GBM, selv om det kan argumenteres for at oljepriser på lang sikt vil tendere mot marginalkostnaden for å produsere olje [12]. GBM er som følger:

$$dV = \alpha \cdot V dt + \sigma \cdot V dz$$

Forklaring til denne prosessen er at endring i verdi ( $V$ ) eller pris er lik summen av driftsleddet ( $\alpha$ ) multiplisert med den tidsderiverte og variansen ( $\sigma$ ) multiplisert med inkrementet for wienerprosessen. På lang sikt vil trendleddet være dominerende for prisutviklingen, mens på kort sikt vil volatiliteten ha betydelig innvirkning.

### 9.2.1 Formel for verdisetting av prosjektet

Det som kompliserer bruk av realopsjonsteori for å verdsette muligheten en har med å kunne utsette et prosjekt som dette, er at prosjektet inkluderer både faste og variable kostnader. Disse kostnadene har ingen direkte sammenheng med prisen på autodiesel (variable kostnader er naturligvis lik null når prisen er for lav til at produksjon er optimalt), og vil her bli innbakt i investeringskostnaden for anlegget ved å diskonteres med risikojustert rente benyttet for base case. Dette er ingen optimal løsning, men antas som en god nok forenkling for en grovanalyse. Det som kunne være et naturlig skritt i en mer omfattende analyse er å se på markedet for råstoffene raps (canola) og fiskeolje, der det er mulig å handle i futureskontrakter. Siden råstoff står for en så stor andel av totale kostnader ved biodieselproduksjon, kunne det vært interessant og gjort beregninger for en spread opsjon.

Eneste kostnaden som er direkte avhengig av prisen på autodiesel er innkjøp av autodiesel til å blande inn i biodiesel under kalde perioder. Dermed blir verdien  $V$  av prosjektet en funksjon av pris på autodiesel  $P$ , med konstanter som innblandingsandel, forventet salgstall, kapasitet, prisvekst og diskonteringsrente:

$$V = \left[ \varphi_1 K (1 + \zeta) (P_1 e^{\alpha_1} - 1) - \varphi_1 K \zeta P_1 e^{\alpha_1} \right] e^{-r t_1} + \left[ \varphi_2 K (1 + \zeta) (P_2 e^{\alpha_2} - 1) - \varphi_2 K \zeta P_2 e^{\alpha_2} \right] e^{-r t_2} \\ + \left[ \varphi_3 K (1 + \zeta) (P_3 e^{\alpha_3} - 1) - \varphi_3 K \zeta P_3 e^{\alpha_3} \right] e^{-r t_3} + \varphi_{4-10} K \sum_{t=4}^{10} \left[ (1 + \zeta) (P e^{\alpha} - 1) - \zeta P e^{\alpha} \right] e^{-r t}$$

- $\varphi$  er salg av biodiesel i liter som andel av kapasitet, og som forventes å øke med samme takt som beskrevet under NNV kalkulering.
- $K$  er kapasitet på produksjonsanlegg i liter biodiesel.
- $P$  er pris på autodiesel pr liter, der  $(P-1)$  er prisen på biodiesel satt som konstant til å være en krone lavere enn autodiesel.
- $\alpha$  er den risikonøytrale prisveksten.
- $r$  er den risikofrie renten.
- $\zeta$  er årlig gjennomsnittlig blandingsfaktor mellom biodiesel og autodiesel som igjen er en funksjon av blandingsforhold. Ved et årlig snitt på 35 % innblandet autodiesel blir blandingsfaktoren  $0,35/(1-0,35)$ .

Grunnen til en inndeling av funksjonen i fire ledd er at salgshallene ikke forventes å være konstante før etter tre års drift som beskrevet tidligere.

### 9.2.2 Formel for verdisetting av opsjon

Ved bruk av contingent claims analysis må en konstruere en portefølje ved tidspunkt  $t$  som inneholder en enhet av opsjonen  $F(V)$  og en posisjon hvor en shorter  $N$  enheter av output fra prosjektet  $NV$ . Verdien på denne porteføljen må være  $F(V) - NV$ . For at noen skal være interessert i ta en long posisjon må short posisjonen i porteføljen betale convenience yield  $\delta$ , det vil si verdien av å fysisk ha varen/aksjen på hånden, og betalingen blir da over et tidsintervall  $\delta NV dt$ . I tillegg antas det at inntil investering foreligger utbetales det lønn  $L$  til administrerende direktør for bedriften. Dermed blir total avkastning fra portefølje over et kort tidsintervall:

$$dF(V) - NdV - \delta NV dt - L dt$$

Uttrykket for  $dF(V)$  utvides ved hjelp av Ito's Lemma slik at funksjonen for  $dV$  blir differensierbar, og avkastningen blir da:

$$\frac{1}{2} F''(V) \sigma^2 V^2 dt + \alpha V dt (F'(V) - N) + \sigma V dz (F'(V) - N) - \delta NV dt - L dt$$

Setter  $F'(V)$  lik  $N$  slik at  $dz$  forsvinner fra uttrykket, og porteføljen blir risikofri. Når porteføljen blir risikofri må den også få en risikofri avkastning:

$$\frac{1}{2} F''(V) \sigma^2 V^2 dt - \delta NV dt - L dt = r [F(V) - NV] dt$$

Ved å dividere med  $dt$  over hele ligningen og omorganisere får en denne andre ordens inhomogene differensialligningen:

$$\frac{1}{2} F''(V) \sigma^2 V^2 + F'(V) V (r - \delta) - r F(V) - L = 0$$

Ligningen kan løses med ubestemte koeffisienters metode, der løsningen kan skrives som summen av løsningene for den homogene (**H**) og partielle (**P**) delen av ligningen:

$$F(V) = F_H(V) + F_P(V)$$

Det kan vises at denne løsningen er på formen:

$$F(V) = B_1 V^{\beta_1} + B_2 V^{\beta_2} + A \rightarrow A = -\frac{L}{r}$$

Ved å finne både den første- og andrederiverte av løsningen og substituere inn i differensialligningen vil  $\beta$  bli:

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{(r-\delta)}{\sigma^2} \pm \sqrt{\left[\frac{(r-\delta)}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right]^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} \rightarrow \beta_1 > 1 \rightarrow \beta_2 < 0$$

Samtidig må løsningen for **F(V)** oppfylle tre grensebetingelser. Den første er at verdien på opsjonen er lik  $-L/r$  når **V** er lik null. I tillegg må verdimatching og smooth-pasting betingelsene oppfylles, og dette kommer fra økonomiske resonnementer angående optimal verdi **V\*** for investering.

$$F(0) = -\frac{L}{r}$$

$$F(V^*) = V^* - I$$

$$F'(V^*) = 1$$

Ut fra første grensebetingelse kan  $B_2$  i løsningen settes lik null, fordi når verdien **V** blir veldig liten vil den negative betaverdien gjøre at uttrykket går mot uendelig stort. Dermed vil løsningen bli:

$$F(V) = B_1 V^{\beta_1} - \frac{L}{r}$$

Ved å sette sammen løsningen med de to siste grensebetingelsene kan en utlede et uttrykk for optimal verdi **V\*** for å foreta investeringen i et biodieselanlegg:

$$V^* = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \cdot \left( I - \frac{L}{r} \right)$$

Intuisjonen bak dette uttrykket er at hvis det ikke løper på lønnskostnader kontinuerlig inntil opsjonen innløses (Investering foretas), så vil brøken  $\beta/(\beta-1)$  være en slags kile mellom verdi **V** og investering **I**. Dette strider mot tradisjonell NNV analyse der regelen tilsier at investering bør foretas så lenge den er mindre enn verdi. Derimot når lønnskostnadene påløper vil det være gunstig å investere på et tidligere tidspunkt enn uten lønnskostnader.

Nå finnes det to uttrykk for verdien av prosjektet **V** (som er en funksjon av pris) og **V\***, og prisen på autodiesel og biodiesel ved optimal investeringspris **P\*** kan bestemmes ved å sette

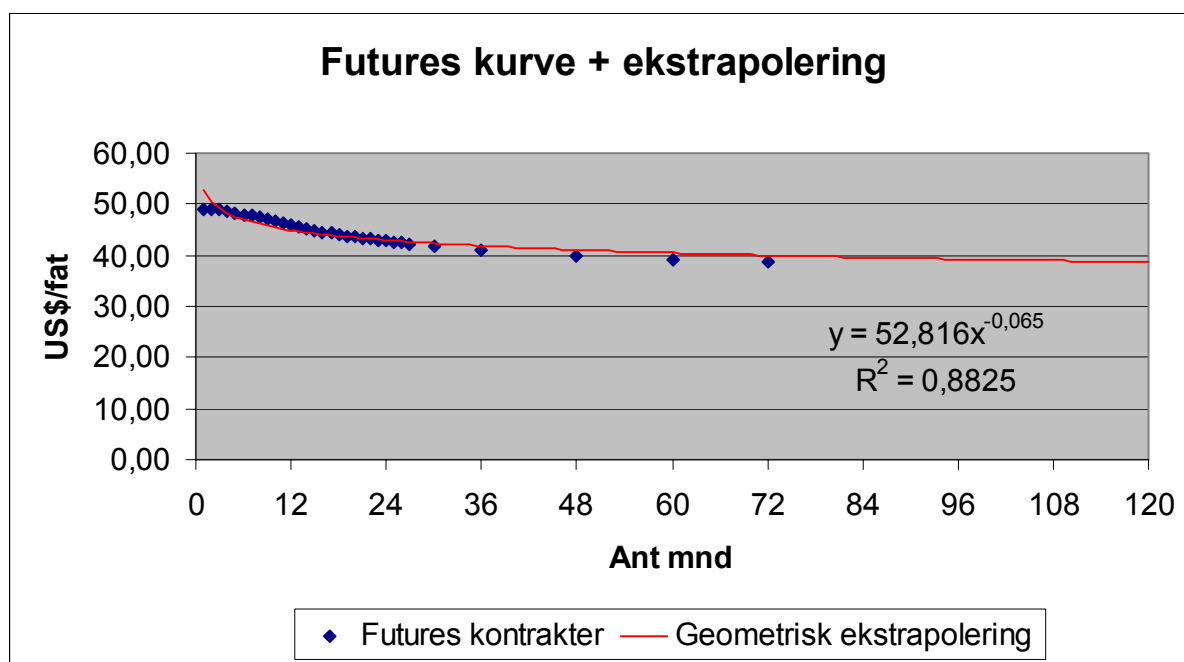
disse to uttrykkene lik hverandre. Dette gjøres best ved hjelp av målsøkerfunksjon i Excel siden uttrykket for  $V$  er litt ”uryddig”. Investeringen  $I$  er som tidligere nevnt summen av investeringskostnad pluss diskonterte variable og faste kostnader ved base case.

### 9.3 Estimering av konstanter

Fra løsningen av opsjonsverdien gjenstår det å bestemme konstantene  $r$ ,  $\alpha$ ,  $\sigma$  og  $\delta$ .

Risikofri rente  $r$  ble bestemt under delkapittelet diskonteringsrente, og utstedte norske statsobligasjoner med løpetid fram til 2015 har en rente på 4,09 %. Skattejusteringsfaktor  $s^*$  er lik 0,72.

Risikonøytral drift  $\alpha$  defineres ved å se på futuresmarkedet for råolje (Light Sweet Crude Oil ved NYMEX). Alle kontrakter som ble handlet den 26.12.04, der nærmeste kontrakt er for januar 2005 og lengste kontrakt gjelder for desember 2010, ble plottet inn i et diagram (figur 9.5) [69]. I alt 32 kontrakter ble handlet og det gir et bra grunnlag for estimering av den risikonøytrale driften. Det er derimot ønskelig med en lengre tidshorison for å bestemme  $\alpha$ , og det er derfor utført en geometrisk ekstrapolering av kurven opp til en totalt tiårs horison. Ekstrapoleringen gir en prognose for futureskontrakter med lengre tidshorison enn de som er handlet, og sluttverdien ved tid lik  $T$  (ti år) er beregnet ut fra funksjonen i figur 9.5.



**Figur 9.5:** Pris på futureskontrakter ved ulik  $T$ , med en prognose.

Forskjellen i futurespriser  $F$  og spotpriser  $S$  reflekterer kostnadene og fordelene ved å utsette både betalingen og mottagelse av en vare [31]:

$$F_{0,T} = S_0 e^{(r-\delta)T} = S_0 e^{(\alpha)T} = f$$

For å finne den årlige risikonøytrale driften benyttes denne formelen [44]:

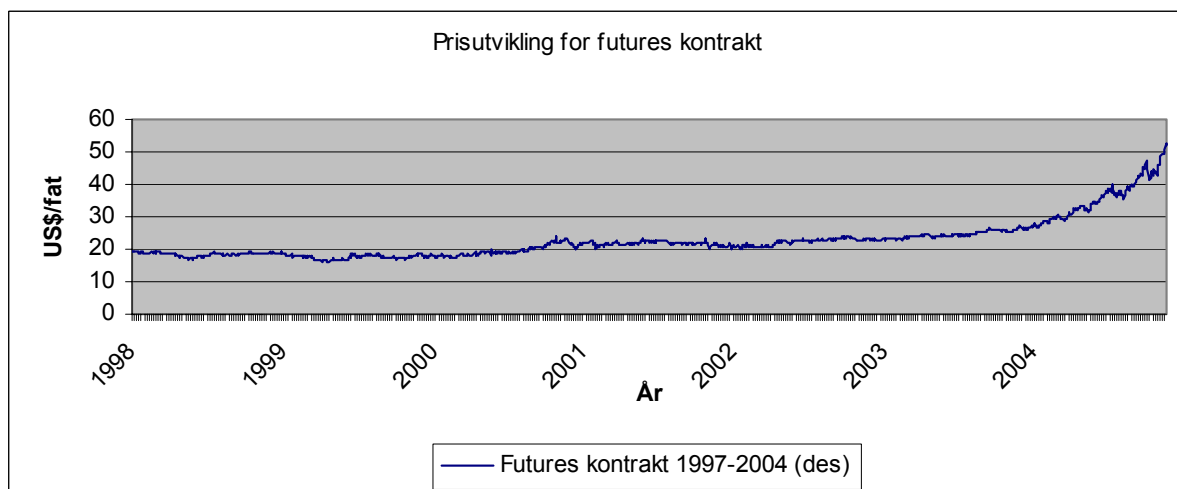
$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}{t_2 - t_1} = \frac{\ln\left(\frac{38,69}{48,91}\right)}{\frac{120}{12}} = -0,023$$

Ved å ha estimert  $\alpha$  er det greit å finne  $\delta$  med å bruke formelen:

$$\delta = r - \alpha = 0,0409 - (-0,023) = 0,064$$

Betingelsen om at  $\delta > 0$  og  $\alpha < r$  er dermed oppfylt.

Volatiliteten  $\sigma$  estimeres ut fra historiske data for sju langtidskontrakter i futuresmarkedet. Disse kontraktene utløper i desember med en maksimal lengde på sju år, det vil si at den kontrakten med lengst tidshorison, pr siste uken i november 2004, utløper i desember 2010. Et eksempel på en futureskontrakt (1997-2004) som utløper nå i desember 2004 er vist i figur 9.6, der en ser at prisutviklingen konvergerer mot spotpris når tiden  $t$  nærmer seg  $T$ . Datoen for siste observasjon i figur 9.6 er 08.10.04, med historisk høy pris på råolje.



**Figur 9.6:** Futures kontrakt [70].

Dataene for beregning av volatilitet er basert på 6754 futurespriser observert daglig ved NYMEX for de sju langtidskontraktene [70]. Formelen som er benyttet:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \hat{u})^2}$$

- $n$  er lik antall observasjoner.
- $\tau$  er tidsintervall mellom observasjoner, det vil her si 1/249 siden det i snitt er 249 dager med handel pr år.
- $u_i$  er lik  $\ln\left(\frac{f_i}{f_{i-1}}\right)$



- $\hat{u}$  er gjennomsnitt av alle  $u_i$ .

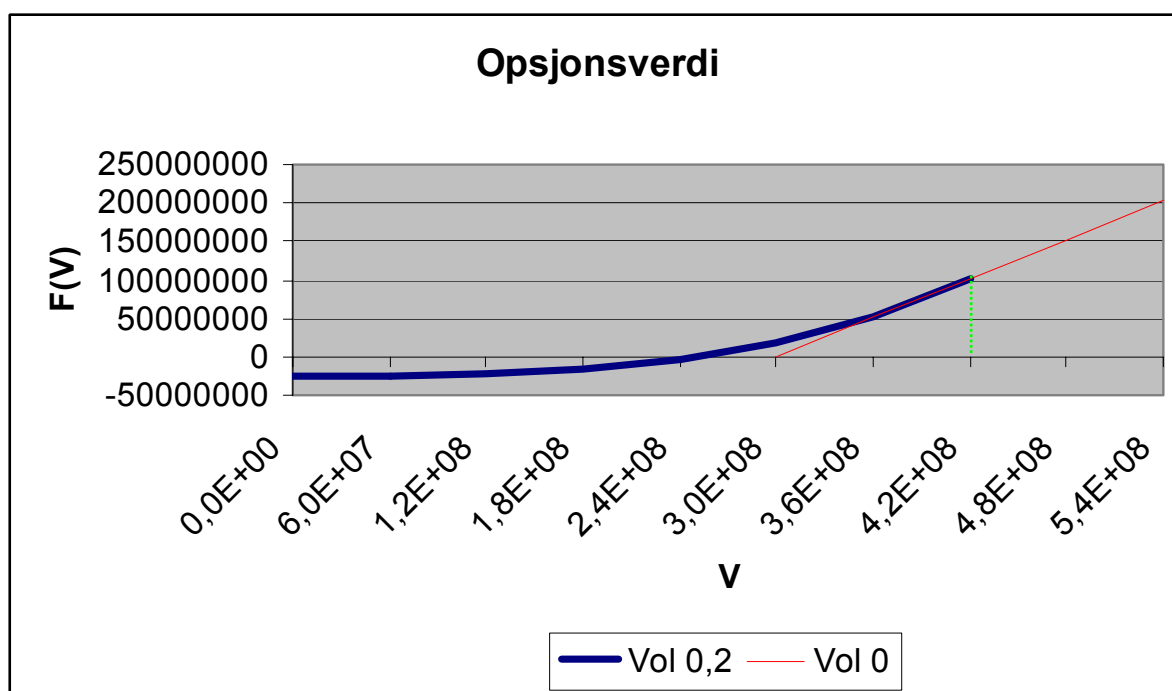
Volatilitet for hver kontrakt er først beregnet, med resultater som varierer mellom 16,4 og 22,7 %. Deretter er alle observasjoner slått sammen og beregnet  $\sigma$ , som vil bli benyttet i opsjonsmodellen, er på 20,1 % eller 0,201.

#### 9.4 Investeringsstrategi

Det eneste som gjenstår å bestemme er investeringskostnaden, og ut fra base case finnes den ved å addere opp diskonterte kostnader og selve investeringen. Dette beløper seg totalt til ca 319 millioner kroner. Deretter kan  $V^*$  beregnes, noe som gir en verdi på ca 428 millioner kroner. Denne verdien  $V^*$  settes lik  $V$ :

$$V = [\varphi_1 K(1 + \zeta)(P_1 e^{\alpha_1} - 1) - \varphi_1 K \zeta P_1 e^{\alpha_1}] e^{-rt_1} + [\varphi_2 K(1 + \zeta)(P_2 e^{\alpha_2} - 1) - \varphi_2 K \zeta P_2 e^{\alpha_2}] e^{-rt_2} \\ + [\varphi_3 K(1 + \zeta)(P_3 e^{\alpha_3} - 1) - \varphi_3 K \zeta P_3 e^{\alpha_3}] e^{-rt_3} + \phi_{4-10} K \sum_{t=4}^{10} [(1 + \zeta)(P e^{\alpha} - 1) - \zeta P e^{\alpha}] e^{-rt}$$

Dette gir en  $P^*$  (pris på autodiesel) på ca 9,35 kr pr liter, og dermed en pris pr liter for biodiesel på ca 8,35 kr. Dette er ca en krone høyere enn dagens pris som Estra AS opererer med. Dette er da optimal pris for å innløse opsjonen og dermed investere i et produksjonsanlegg for biodiesel. Grafisk kan dette vises i figur 9.7 nedenfor der  $V^*$  er det punktet hvor de to kurvene for mest sannsynlige volatilitet og null volatilitet tangerer hverandre (grønn stiplet linje). Alternativkostnaden  $F(V^*)$  eller opsjonsverdien er på ca 109 millioner kroner. Den negative opsjonsverdien i figuren kan forklares med direktørlønnen som betales uavhengig av når prosjektet iverksettes.



Figur 9.7: Opsjonsverdi.

## 10.0 Konklusjon

Ut fra bergningene som er gjort i denne oppgaven anbefales det helt klart å gå videre med en mer detaljerte utredningen angående etablering av en biodieselfabrikk i Norge. Dette begrunnes med blant annet:

- Positiv nåverdi for et fleksibelt anlegg basert på ulike råstoffer som raps/rybs, fiskeolje og animalsk fett.
- Positiv utvikling av dieselmarkedet grunnet økt lastebiltransport, økt salg av personbiler med dieselmotor og lavere drivstofforbruk i dieselmotor kontra bensinmotor.
- Strengere utslippskrav til forbrenningsenheter og forventet redusert tilbud av fossil olje i framtiden gjør biodiesel til et spennende og viktig drivstoffalternativ.

Samtidig må det sies at det ligger en betydelig verdi i å vente på mer informasjon, der en realopsjonsanalyse viser at investeringen er optimal å foreta når prisen på autodiesel øker til et nivå som ligger ca en krone høyere enn pr i dag. Klare begrensinger som en må være klar over forbundet med biodiesel er pr i dag:

- Biodiesel vil ikke kunne erstatte særlig mer enn ca 2 % av drivstofforbruket i Norge basert på innenlandsk praktisk potensial av råstoff.
- Produksjonskostnadene er betydelig høyere enn for framstilling av autodiesel, slik at lønnsomhet er fullstendig avhengig av fortsatt avgiftsfritak.
- Barrierer både på nasjonalt nivå og forbrukernivå må overvinnes for at biodiesel skal bli alminnelig akseptert.

Økonomiske beregningene som er utført her er basert på biodieselprosjekter i land som det er naturlig å sammenligne Norge med, derfor antas det at tallmaterialet er godt nok til en grovanalyse. De største usikkerhetsmomentene er forbundet med diskonteringsrenten benyttet til netto nåverdianalyse, og den ikke helt perfekte korrelasjonen mellom autodieselpris og råolje som er benyttet som grunnlag for realopsjonsanalyse.

## 11.0 Kildeliste

### Bøker, artikler og personer:

- [1] Aadnevik Øystein, Statistikk, Norsk Petroleumsinstitutt.
- [2] Andersen, O. og Lundli, H. E. (2000), Miljøstrategier for små- og mellomstore bedrifter i distriktene, sluttrapport for prosjektet ”Miljøstrategier i Distrikts-SMB”, Vestlandsforskning, Sogndal.
- [3] Anderson, D., Masterson, D., McDonald, B. og Sullivan, L. (2003), Industrial Biodiesel Plant Design and Engineering, Crown Iron Works Company.
- [4] Bockey, D. (2004), Biodiesel Production and Marketing in Germany, the situation and perspective, UFOP.
- [5] Bogetun, Sel Trade.
- [6] Bøhren, Ø. Og Gjørsum, P. I. (2000), Prosjektanalyse, Skarvet forlag.
- [7] Bøhren, Ø. og Michalsen, D. (2002), Finansiell Økonomi, Teori og Praksis, 2. utgave, Skarvet forlag.
- [8] Boyd, M., Murray-Hill, A. og Schaddelee, K. (2004), Biodiesel in British Columbia, Feasibility Study Report, Eco-Literacy Canada.
- [9] Brealey, A. R. og Myers, S. C. (2003), Principles of corporate finance, 7. edition, McGraw-Hill.
- [10] Christopher, M. (1998), Logistics and Supply Chain Management, second edition, Prentice Hall.
- [11] Coyle, J. J., Bardi, E. J. og Novack, R. A. (1999), Transportation, fifth edition, South-Western College Publishing.
- [12] Dixit, A. K. og Pindyck, R. S (1994), Investment under Uncertainty, Princeton University Press, New Jersey.
- [13] Dolven Håkon, Controller, Hydro Automotive.
- [14] Duncan, R. C. og Youngquist, W. (1998), The world petroleum life-cycle, PTTC Workshop “OPEC Oil Pricing and Independent Oil Producers”, University of Southern California.
- [15] Enguidanos, M., Soria, A., Kavalov, B. Og Jensen, P. (2002), Techno-economic analysis of biodiesel production in the EU: A short summary for decision makers, European Commission, Institute for Prospective Technological Studies.
- [16] Fold, N. (2004), Markets and Trade, University of Copenhagen.
- [17] Gerpen, J. V. (2004), Business Management for Biodiesel producers, Iowa State University.
- [18] Groschen, R. (2002), Overview of: The Feasibility of Biodiesel from Waste/Recycled Greases and Animal Fats, Marketing Services Division, Minnesota Department of Agriculture.
- [19] Haas, M. J. (2004), The interplay between feedstock quality and esterification technology in biodiesel production, U.S. Department of Agriculture at the Eastern Regional Research Center.
- [20] Hagman, R. (2002), Rene og effektive naturgassmotorer for tunge kjøretøy, Studie av ny teknologi for naturgassmotorer utført på oppdrag fra Vegdirektoratet/Samferdselsdepartementet.
- [21] Helminger, A. (2004), An Introduction to Technology Pathways Used in the Production of Transportation Biofuels, The Solution Network, Rochester, New York.
- [22] Hoff, K. G. (2000), Bedriftens økonomi, 4. utgave, Universitetsforlaget.
- [23] Hohle, E. E. (2001), Bioenergi, Miljø, teknikk og marked, PDC Tangen AS.

- [24] IAG (2002), Supply and Demand Factors Relevant to Biodiesel Production in Alberta, Alberta Agricultural Research Institute.
- [25] Knothe, G., Dunn, R. O. og Bagby, M. O. (2003), Biodiesel: The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels, Oil Chemical Research, National Center for Agricultural Utilization Research, Peoria.
- [26] Körbitz, W. (2004), Production and use of Biodiesel, Austrian Biofuels Institute, Wien.
- [27] Lumsden, K. R. (2003), Fundamental of logistics, Chalmers University of Technology, Department of Transportation and Logistics.
- [28] Lund, A. og Rolfsnes, N. A. (2001), Termodynamikk for maskinfag, Fagbokforlaget.
- [29] Magnussen Jan, Statoil Kjemi.
- [30] Matthys, D. (2003), Producing Biodiesel: A Simple Affair, a Practical Guide To Read Before Building Your Plant, Ghent, Belgia.
- [31] McDonald, R. L. (2003), Derivatives Markets, International edition, Addison Wesley.
- [32] Pindyck, R. S. og Rubinfeld, D. L. (2000), Microeconomics, fifth edition, Prentice Hall, New Jersey.
- [33] Prakash, C. B. (1998), A critical review of biodiesel as a transportation fuel in Canada, Air pollution Prevention Directorate environment Canada.
- [34] Pytte, P. (2003), Global Trends in Transport Fuels and the Role of Natural gas, Australian Institute of Energy, Perth.
- [35] Rystad, B. og Lauritzen, O. (1996), Kjemi og miljøkunnskap, 2. utgave, NKI.
- [36] Schmidt, L. (2004), Biodiesel Vehicle Fuel: GHG Reductions, Air Emissions, Supply and Economic Overview, Climate Change Central, Canada.
- [37] Seppi, D. J. Risk-Neutral Stochastic Processes for Commodity Derivative Pricing: An Introduction and Survey, Carnegie Mellon University.
- [38] Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J. og Roessler, P. (1998), Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae, U.S. Department of Energy's Office of Fuels Development.
- [39] Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. og Simchi-Levi, E. (2003), Designing and Managing the Supply Chain, Strategies and Case Studies, McGraw-Hill, New York.
- [40] Stevens, C. V. og Verhè, R. (2004), Renewable Bioresources, John Wiley & Sons Ltd.
- [41] Stokke Geir Ivar, Markedssjef, Estra AS.
- [42] Tat, M. E. (2003), Investigation of oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fueled engines, Iowa State University.
- [43] Tickell, J. (2003), From the Fryer to the Fuel Tank, The complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel, third edition, J. T. Media Productions, New Orleans.
- [44] Trigeorgis, L. (2002), Real Options, Managerial flexibility and strategy in resource allocations, sixth printing, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [45] Tyson, S. K., Bozell, J., Wallace, R., Petersen, E. og Moens, L. (2004), Biomass Oil Analysis: Research Needs and Recommendations, National Renewable Energy Laboratory.
- [46] Van Dyne, D. L. og Raymer, P. M. (1998), Biodiesel Production Potential from Industrial Rapeseed in the Southeastern U.S., Department of Agricultural Economics University of Missouri.
- [47] VanWechel, T., Gustafson, C. R. og Leistritz, L. F. (2002), Economic Feasibility of Biodiesel production in North Dakota, Department of Agribusiness and Applied Economics, North Dakota State University.
- [48] Zappi, M., Hernandez, R., Sparks, D., Horne, J. og Brough, M. (2003), A review of the Engineering Aspects of the Biodiesel Industry, Mississippi State University.

- [49] Zygarlicke, C. J. (2003), Renewable Energy 101, Energy & Environmental Research Center, North Dakota.

**Nettsider (mellom dato 13.09.04 og 08.12.04):**

- [50] <http://www.folkecenter.dk/plant-oil/>  
[51] <http://www.aie.org.au/melb/material/hamilton/Biofuels.pdf>  
[52] [http://www.marinediesels.info/Basics/the\\_4\\_stroke\\_engine\\_explanation.htm](http://www.marinediesels.info/Basics/the_4_stroke_engine_explanation.htm)  
[53] <http://www.nexant.com/services/PetrolChem/index.asp>  
[54] <http://www.me.iastate.edu/biodiesel/index.html>  
[55] <http://www.vg.no/pub/vgart.hbs?artid=22638>  
[56] <http://www.bioreg.no/energivekster.htm>  
[57] [http://www.energigarden.no/EG-informasjon/biodrivstoff\\_til\\_transport.htm](http://www.energigarden.no/EG-informasjon/biodrivstoff_til_transport.htm)  
[58] <http://www.borstad.no>  
[59] <http://www.arcus-kjemi.no>  
[60] <http://www.astm.org>  
[61] <http://www.ec.gc.ca/transport/home.htm>  
[62] <http://www.mst.dk/homepage/default.asp?Sub=http://www.mst.dk/udgiv/publications/2004/87-7614-097-0/html/kap02.htm>  
[63] [http://journeytoforever.org/biodiesel\\_yield2.html](http://journeytoforever.org/biodiesel_yield2.html)  
[64] <http://02casu.norsknettskole.no/metanol.htm>  
[65] <http://www.ssb.no>  
[66] <http://www.rendermagazine.com>  
[67] <http://www.holbergforvaltning.no>  
[68] <http://www.dn.no>  
[69] <http://www.nymex.com>  
[70] <http://www.normanshistoricaldata.com>  
[71] <http://www.godfisk.no/>  
[72] <http://www.adressa.no>  
[73] <http://www.np.no/index.php?PHPSESSID=&KID=31&page=KID&PHPSESSID=5ee076f6e0a433cf9413f189bc61297b>  
[74] <http://www.nationen.no>  
[75] <http://www.dieselforum.org/index.html>  
[76] <http://www.zero/index.no>  
[77] <http://www.hadeland.net/>  
[78] <http://www.ufop.de/>  
[79] <http://www.estra.net>  
[80] <http://www.thywissen.de/eng/index.htm>  
[81] <http://www.iffa.org.uk/index.htm>  
[82] <http://www.unido.org/doc/18256>  
[83] <http://www.norges-bank.no/front/statistikk/no/>  
[84] <http://www.energy.gov/engine/content.do>  
[85] <http://www.landinstitute.org/pages/MB-Biodiesel-tables.pdf>

**Diverse:**

- [86] Dagens Næringsliv, 13. November 2004.  
[87] Ekspertgruppe nedsatt av Samferdselsdepartementet (2004), Hydrogen i Transportsektor, Hvorfor og hvordan.

- [88] International Energy Agency Bioenergy Agreement, Task 32: Biomass Combustion and Co-Firing (2002), Handbook of biomass combustion and co-firing, Twente U. Press.
- [89] Konkurransetilsynet (2001), Prisspredning bensin og autodiesel.
- [90] Market Potential in the U.S. (U.S. Department of Energy, 3003).
- [91] NAF (1998), Veibok, Aktietrykkeriet, Oslo.
- [92] NoBio, Biomasse – en Energikilde, Faktaark 2, 2001.
- [93] Norsk Bioenergi Nettverk, BioNett 1998-2000, Sluttrapport.
- [94] Oilseeds (2004), World Markets and Trade, U.S. Department of Agriculture.

## Vedlegg

### Vedlegg 1 (del 1 av Excel modell)

<b>Netto nåverdiberegning</b>						
<b>Inntekter</b>	Type	Pris/enhet	Tot mengde	Densitet	Tot. pris	Årlig vekst
	Biodiesel (l)	7,40	15384615,4	0,881	113846154	0,02
	Glyserol (kg)	2,00	889899,0		1779798	
<b>Råstoffkostnader</b>	Type	Pris/enhet	Tot mengde	Densitet	Tot. Kost.	Årlig vekst
	Raps (kg)	5,10	8898989,9	0,881	45384848,5	0,00
	Fisk (kg)	4,00	8888888,9	0,880	35555555,6	0,00
	Animalsk (kg)	3,40	8909090,9	0,882	30290909,1	0,00
	Metanol (l)	6,80	1388659,0	0,769	9442881,3	
	Katalysator (kg)	3,50	8899,0		31146,5	
	Autodiesel	8,40	5384615,4		45230769,2	0,020
<b>Variable lønnekost</b>	Type	Pris/enhet	Tot mengde	Sos. kost	Tot. Kost.	Årlig vekst
	Lønn prod (kr)	309700,0	4,0	0,5	1858200,0	0,039
	Lønn div (kr)	309700,0	0,3	0,5	154834,5	0,039
<b>Andre var. Kost.</b>	Type	Pris/enhet	Ant. km	Tur/retur	Tot. Kost.	Årlig vekst
	Energi (l biod.)	0,25			2500000,0	0,025
	Transport (km)	13,50				
	Transp. Raps	13,50	40	2	343246,8	0,025
	Transp. Fisk	13,50	747	2	6402857,1	0,025
	Transp. Anima.	13,50	88	2	756000,0	0,025
	Transp. Biod.	13,50	40	2	522791,2	0,025
	Import	13,50	465	2	7851932,7	0,025
<b>Faste kostnader</b>	Type	Pris/enhet	Tot mengde	Sos. Kost	Tot. Kost.	Årlig vekst
	Lønn prodsjef	450000	1	0,36	612000	0,039
	Lønn adm. dir.	550000	1	0,36	748000	0,039
	Forsikring	Andel inv.	0,0075		225000	0,025
	Renter	Rentesats	0,055	Se egen beregning		
	Salgs og adm.	Andel kap.	0,1		1000000	
	Avskrivninger	Se egen beregning				
<b>Investeringer</b>	Type	Kost pr (l)	SalDOSats	m2 pris	Tot. Kost.	m2
	Komplett	3,0			30000000	
	Maskiner/utst.		0,20		25200000	
	Bygg		0,05	12000	4800000	400
	Oppgradering				1500000	
	Utrangeringsverd				5579767	
	Arbeidskapital	Andel oms.	0,155			

## Vedlegg 1 (del 2 av Excel modell)

Tilleggs-parametere		Verdi
Utbyttegrad (output kg/input kg)		0,99
Kapasitet biodiesel liter pr år		10000000
Diskonteringsrente		0,109
Andel glyserol av biodiesel kg output		0,10
Andel kg metanol av input olje (inkl gjenvinning)		0,12
Andel katalysator av input olje		0,01
Andel gjenvinning av katalysator		0,90
Inflasjon estimert		0,025
Fergetransport Oslo-Kiel tur retur		12000
Tur/retur kan bare være 1 eller 2 (tilbake transp.=1)		
Innblanding av autodiesel		0,35
Andel lån av total investering		0,50
Salg år 1 av kapasitet		0,10
Salg år 2 av kapasitet		0,25
Salg år 3 av kapasitet		0,55
Resterende (maks 1)		1
Antall ansatte i prod. første 2 år.		2
	Celler som kan endres ved inntasting	

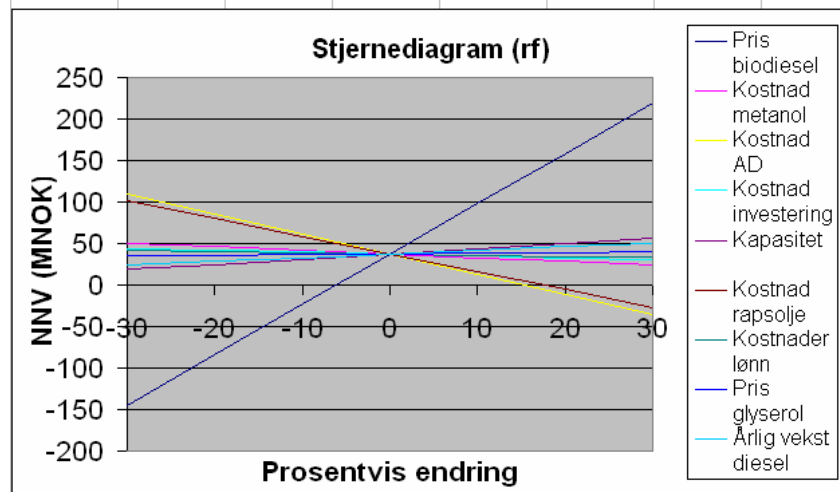


## Vedlegg 1 (del 3 av Excel modell)

Avskrivninger	År 0	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 6	År 7	År 8	År 9	År 10
Restverdi bygg	4800000	4560000	4332000	4115400	3909630	3714149	3528441	3352019	3184418	3025197	2873937
Årlig avskrivning		240000	228000	216600	205770	195482	185707	176422	167601	159221	151260
Restverdi maskiner/utst	25200000	20160000	16128000	12902400	10321920	8257536	6606029	5284823	4227858	3382287	2705829
Årlig avskrivning		5040000	4032000	3225600	2580480	2064384	1651507	1321206	1056965	845572	676457
<b>Sun årlige avskrivninger</b>		<b>5280000</b>	<b>4260000</b>	<b>3442200</b>	<b>2786250</b>	<b>2259866</b>	<b>1837215</b>	<b>1497628</b>	<b>1224566</b>	<b>1004793</b>	<b>827717</b>
<b>Renter</b>											
	År 0	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 6	År 7	År 8	År 9	År 10
Låneopptak	15000000										
Avdrag		1500000	1500000	1500000	1500000	1500000	1500000	1500000	1500000	1500000	1500000
Restlån		13500000	12000000	10500000	9000000	7500000	6000000	4500000	3000000	1500000	0
<b>Renter</b>		<b>825000</b>	<b>742500</b>	<b>660000</b>	<b>577500</b>	<b>495000</b>	<b>412500</b>	<b>330000</b>	<b>247500</b>	<b>165000</b>	<b>82500</b>
<b>Nåverdberegning</b>											
	År 0	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 6	År 7	År 8	År 9	År 10
Biodiesel		11612308	29611385	66447947	123230738	125695353	128209260	130773445	133388914	136056692	138777826
Glyserol (80 %)		177980	444949	978889	1779798	1779798	1779798	1779798	1779798	1779798	1779798
<b>Inntekter</b>		<b>11790287</b>	<b>30056334</b>	<b>67426836</b>	<b>125010536</b>	<b>127475151</b>	<b>129989058</b>	<b>132553243</b>	<b>135168712</b>	<b>137836490</b>	<b>140557624</b>
Olje		4538485	11346212	24961667	45384848	45384848	45384848	45384848	45384848	45384848	45384848
Metanol		944288	2360720	5193585	9442881	9442881	9442881	9442881	9442881	9442881	9442881
Katalysator		3115	7787	17131	31146	31146	31146	31146	31146	31146	31146
Autodiesel		4613538	11764523	26399590	48959239	49938424	50937193	51955936	52995055	54054956	55136055
Lønn prod.		965335	1002983	2084199	2165482	2249936	2337684	2428853	2523579	2621998	2724256
Lønn div.		160873	167147	173666	180439	187476	194787	202384	210277	218478	226999
Energi		256250	656641	1480725	2759532	2828521	2899234	2971714	3046007	3122157	3200211
Transport inn		35183	90156	203302	378880	388352	398061	408013	418213	428668	439385
Transport ut		53586	137314	309644	577064	591490	606278	621434	636970	652895	669217
<b>Variable kost. (VK)</b>		<b>11570653</b>	<b>27533483</b>	<b>60823506</b>	<b>109879513</b>	<b>111043075</b>	<b>112232112</b>	<b>113447212</b>	<b>114688978</b>	<b>115958029</b>	<b>117255000</b>
<b>Dekningsbidrag (DE)</b>		<b>219635</b>	<b>2522851</b>	<b>6603330</b>	<b>15131023</b>	<b>16432076</b>	<b>17756946</b>	<b>19106032</b>	<b>20479735</b>	<b>21878462</b>	<b>23302625</b>
Forsikring		230625	236391	242300	248358	254567	260931	267454	274141	280994	288019
Salgs- og adm.	1000000	1538462	1538462	1538462	1538462	1538462	1538462	1538462	1538462	1538462	1538462
Lønn adm. direktør	748000	777172	807482	838973	871693	905690	941011	977711	1015842	1055459	1096622
Lønn prodsjef		635868	660667	686433	713204	741019	769918	799945	831143	863558	897236
FK - renter og avdrag	1748000	3182127	3243001	3306168	3371717	3439737	3510322	3583572	3659587	3738473	3820339
Avskrivninger		5280000	4260000	3442200	2786250	2259866	1837215	1497628	1224566	1004793	827717
KS drift før skatt	-1748000	-8242492	-4980150	-145039	8973057	10732473	10909409	14024832	15595582	17135196	18654568
Skatt på KS drift	-489440	-2307898	-1394442	-40611	2512456	3005093	3054635	3926953	4366763	4797855	5223279
KS drift etter skatt	-1258560	-5934594	-3585708	-104428	6460601	7727381	7854774	10097879	11228819	12337341	13431289
Avskrivninger		5280000	4260000	3442200	2786250	2259866	1837215	1497628	1224566	1004793	827717
Investering	30000000						1500000				-5579767
Arbeidskapital	1827495	2831237	5792428	8925474	382015	389656	397449	405398	413506	421776	-21786432
<b>KS til totalkapital</b>	<b>-33086055</b>	<b>-3485831</b>	<b>-5118136</b>	<b>-5587701</b>	<b>8864836</b>	<b>9597591</b>	<b>9294540</b>	<b>11190109</b>	<b>12039879</b>	<b>12920358</b>	<b>41625205</b>
<b>Netto Nåverdi</b>	<b>2661399</b>										
<b>Interrente (%)</b>	<b>11.82</b>										
Renter		825000	742500	660000	577500	495000	412500	330000	247500	165000	82500
Resultat før skatt	-1748000	-9067492	-5722650	-805039	8395557	10237473	10496909	13694832	15348082	16970196	18572068
Skatt	-489440	-2538898	-1602342	-225411	2350756	2866493	2939135	3834553	4297463	4751655	5200179
<b>Årsresultat etter skatt</b>	<b>-1258560</b>	<b>-6528594</b>	<b>-4120308</b>	<b>-579628</b>	<b>6044801</b>	<b>7370981</b>	<b>7557774</b>	<b>9860279</b>	<b>11050619</b>	<b>12218541</b>	<b>13371889</b>

## Vedlegg 1 (del 4 av Excel modell)

Stjernediagram									Kalk
									0,02
<b>Pris biodiesel</b>								<b>Base</b>	37,30
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30	<b>Delta</b>	60,60
NNV	-144,5	-83,9	-23,3	37,3	97,9	158,5	219,1		
<b>Pris metanol</b>								<b>Delta</b>	-4,47
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	50,7	46,23	41,77	37,30	32,83	28,37	23,90		
<b>Pris autodiesel</b>								<b>Delta</b>	-24,23
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	110	85,77	61,53	37,30	13,07	-11,17	-35,40		
<b>Investering</b>								<b>Delta</b>	-2,23
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	44	41,77	39,53	37,30	35,07	32,83	30,60		
<b>Kapasitet</b>								<b>Delta</b>	6,23
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	18,6	24,83	31,07	37,30	43,53	49,77	56,00		
<b>Olje/fett</b>								<b>Delta</b>	-21,43
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	101,6	80,17	58,73	37,30	15,87	-5,57	-27,00		
<b>Lønn operatører</b>								<b>Delta</b>	-1,40
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	41,5	40,10	38,70	37,30	35,90	34,50	33,10		
<b>Energi</b>								<b>Delta</b>	-1,40
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	41,5	40,10	38,70	37,30	35,90	34,50	33,10		
<b>Transport</b>								<b>Delta</b>	-0,50
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	38,8	38,30	37,80	37,30	36,80	36,30	35,80		
<b>Pris Glycerol</b>								<b>Delta</b>	0,83
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	34,8	35,63	36,47	37,30	38,13	38,97	39,80		
<b>Årlig vekst Dieselpriis</b>								<b>Delta</b>	4,50
% endring	-30	-20	-10	0	10	20	30		
NNV	23,8	28,30	32,80	37,30	41,80	46,30	50,80		



## Vedlegg 1 (del 5 av Excel modell)

Rapsolje				4,5384848	4,5384848	4,5384848	4,5384848	4,5384848	4,5384848	4,5384848	4,5384848	4,5384848
Metanol				0,9442881	0,9442881	0,9442881	0,9442881	0,9442881	0,9442881	0,9442881	0,9442881	0,9442881
VK resterende				1	1	1	1	1	1	1	1	1
Renter				0,12	0,05775	0,0495	0,04125	0,033	0,02475	0,0165	0,00825	0,043875
Avskrivning				0,6258545	0,278625	0,2259866	0,1837215	0,1497628	0,1224566	0,10047926	0,0827717	0,2212072
FK				0,6011215	0,3371717	0,3439737	0,3510322	0,3583572	0,3659587	0,37384728	0,3820339	0,389187

