



# Norsk skog i skip

ZERO-RAPPORT juli 2010

Olav Andreas Opdal



## **Om ZERO**

Zero Emission Resource Organisation er en miljøstiftelse som skal bidra til å begrense de menneskeskapte klimaendringene. Vårt utgangspunkt er at det finnes utslippsfrie alternativer til de fleste utslippskilder. ZERO har som mål å være en pådriver for de utslippsfrie løsningene og jobbe for at de realiseres framfor de forurensende.

Spørsmål om denne rapporten kan rettes til:  
ZERO – Zero Emission Resoruce Organisation  
Maridalsveien 10  
0178 Oslo  
[www.zero.no](http://www.zero.no)  
[zero@zero.no](mailto:zero@zero.no)



## Forord

Denne rapporten er en prosjektrapport basert på prosjektet ”Norsk skog i skip”. ”Norsk skog i skip” er en studie omkring mulighetene til å bruke pyrolyseolje i skip. Studien ser nærmere på ideen om å benytte skogråstoff omgjort til flytende brensel på skip, og omhandler i særdeleshet mulighetene for en stor norsk skogsindustri med fallende produksjon, samt en stor norsk skipssektor med et ønske om å bli mer miljøvennlig.

ZERO har også foretatt en studie omkring mulighetene rundt bruk av pyrolyseolje som fyringsolje: ”Biofyrinsoljer av lav kvalitet til fjernvarme”. Denne publikasjonen er tilgjengelig på ZEROs nettsider.

Rapporten er skrevet av siv. ing. Olav Andreas Opdal i miljøstiftelsen ZERO. ZERO ønsker å takke alle som har bidratt med informasjon til rapporten. Rapporten er skrevet med finansiell støtte fra Borregaard, Xynergo og prosjektet Biostigen.

Olav A. Opdal  
Oslo, 15.03.2010

## Sammendrag

Utslipp fra transportsektoren bidrar sterkt og i en økende grad til menneskeskapte klimaendringer. For å redusere klimagassutslippene må vi erstatte de fossile drivstoffene vi bruker i dag med klimavennlige drivstoff. Den marine sektoren har foreløpig kommet svært kort hva gjelder overgang til utslippsfrie løsninger. Det er anslått at klimagassutslippene fra verdens handelsflåte kan være så høye som 1,12 milliarder tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år eller om lag 4,5 % av verdens klimagassutslipp.

Norge er rikt på skogressurser. Bare en del av tilveksten i norske skoger avvirkes årlig, og volumet av norsk skog er dobbelt så stort nå som i 1930. Det er anslått at potensialet for økt bruk av bioenergi med skog som innsatsfaktor er om lag 20 TWh.

Pyrolyseolje er en mørk brun væske laget av karbonholdig materiale, som for eksempel biomasse. Oljen fremstilles ved teknologien pyrolysing, som betyr oppvarming av et materiale i en tilnærmet oksygenfri atmosfære til temperaturer på over 300 grader celsius. Ved å benytte såkalt hurtig pyrolysing vil man kunne optimalisere den kondenserbare fraksjonen som gir bioolje som produkt. Forholdsvis god energieffektivitet, lav kostnad og bruk av eksisterende infrastruktur er interessante aspekter ved pyrolyseoljeteknologi.

Ved bruk av trevirke eller GROT (topper og hugstavfall) og en temperatur på om lag 500 grader °C, får man et energiutbytte i form av pyrolyseolje på 65 – 75 %, der de resterende produktene er trekull og gass. Gassen og noe av trekullet benyttes til fyring og drift av anlegget, mens noe av trekullet også vil kunne prosesseres, avhengig av den valgte pyrolyseprosess. Pyrolyseoljen har en tetthet på 1,2 kg/liter og et energiinnhold på 16 – 19 MJ/kg, eller på volumbasis om lag 60 % av energien i fossil olje.

Pyrolyseolje er et produkt som så langt ikke har hatt et stort marked, men det har blitt fremhevet som en mulig løsning på skipsfartens klimautfordringer. Andre mulige bruksområder for pyrolyseoljen er for eksempel som fyringsolje, til bruk i gassturbiner og i stirlingmotorer. Det viktigste biproduktet fra pyrolyseoljeprosessen er trekull, som kan selges kommersielt til industrien og/eller spille en rolle i ytterlige klimagassreduksjoner ved bruk som jordforbedringsmiddel i jordbruket.

Produksjon av pyrolyseolje har så langt ikke hatt stor utbredelse i Norge, men i Canada er pyrolyseoljeproduksjon allerede en realitet. Heller enn å transportere energivirket i original form, blir det omgjort til pyro-

lyseolje. Transformasjonen reduserer transportbehovet omtrent 8 ganger. Små pyrolyseanlegg kan være aktuelle i distrikter, for eksempel produksjon av pyrolyseolje fra bjørk i Nord-Norge.

Ubehandlet pyrolyseolje er svært forskjellig fra konvensjonelt fossilt marint drivstoff. Samtidig er marine motorer til en viss grad drivstoffleksible. Ved bruk av pyrolyseolje vil noen av materialene i dagens motorer måtte skiftes ut til mer høyverdige materialer, og trolig må enkelte deler modifiseres. I tillegg må pyrolyseoljen til en viss grad videreføres for å kunne benyttes i motorer.

En slik videre oppgradering vil som minimum måtte omfatte reduksjon faststoff og askekomponentene i pyrolyseoljen. Det er også ønskelig å redusere oksygeninnholdet i oljen og andelen av umettede forbindelser for dermed å bedre både energiinnholdet og lagringsegenskapene til oljen. Ved hydrogenering og annen prosessmessig behandling vil slik oppgradering og forbedring av oljens egenskaper kunne oppnås.

Det er ikke gjennomført tester av pyrolyseolje på skip etter det ZERO kjenner til. Det er imidlertid kjørt flere forsøk med pyrolyseolje på motorer. Resultatene viser at det er store utfordringer knyttet til bruk av pyrolyseolje på motorer, men disse testene er stort sett kjørt med rå pyrolyseolje som ikke er oppgradert.

Fossile marine drivstoff er i dag billige og vanskelig å konkurrere med. Spotpris for bunkersolje 380 Cst var 26. januar 442 USD/tonn eller 0,22 Nok/kWh på energibasis. Norsk markedspris på bunkersolje (IF180 – IF380) hos en leverandør var på samme tid 0,65 NOK/kWh. Spotpris på destillatdrivstoff (MGO) var 26. januar 585,3 USD/tonn eller 0,29 NOK/kWh på energibasis. Markedsprisen på destillatdrivstoff (MGO) var på samme tid 0,65 NOK/kWh.

En grov økonomisk analyse er gjennomført, men vi anbefaler at informasjonen fra denne betraktes som en pekepinn, da grunnlaget for beregningene er tynt. Dette kommer av lite tilgjengelig informasjon og få kommersielle teknologileverandører.

Produksjonsprisen på rå pyrolyseolje er beregnet med hjelp av informasjon fra en canadisk teknologileverandør og beregnet til 0,34 NOK/kWh. Det er tatt utgangspunkt i en gjennomsnittlig pris på GROT og et 200 tpd-anlegg. Oppgradert pyrolyseolje til transportdrivstoffkvalitet vil kunne produseres til 0,92 NOK/kWh. Det er dermed for tiden lite sannsynlig at denne oppgraderte pyrolyseoljen vil kunne konkurrere med konvensjonelle marine drivstoff.

For å kutte utgifter knyttet til transport kan pyrolyseolje produseres lokalt der skogsavfallet blir produsert. Skogsdrift med bruk av taubaner samler GROT på oppsamlingssteder. Her kan mobile pyrolyseringsanlegg plasseres og den resulterendes pyrolyseoljen kan transporteres til sentrale oppgraderingsanlegg. Fordelen med dette er at energitettheten er mye større i rå pyrolyseolje enn i GROT, og transportutgiftene kan dermed betydelig reduseres. Produksjonsprisen for rå pyrolyseolje med denne verdikjeden er beregnet til 0,24 NOK/kWh, mens oppgradert pyrolyseolje er beregnet til 0,72 NOK/kWh. Våre beregninger viste at forskjellen i pris ikke var veldig stor, og at det ikke med sikkerhet kan fastslås at små desentraliserte anlegg vil være økonomisk lønnsomt sammenlignet med sentralisert produksjon.

Det er ZEROs oppfatning at både industriell og mobil pyrolyseproduksjon har kommet kort, og at mer forskning og utvikling sannsynligvis må til før den optimale konfigurasjonen er på plass. Interesserte aktører anbefales å ta direkte kontakt med teknologileverandører for å sikre seg oppdatert informasjon, siden utviklingen på dette feltet skjer raskt.

### **Forkortelser**

CSt - centistokes

TPD – tonn per dag (tonnes per day)

BDT – bone dry tonnes

Fm<sup>3</sup> = fastkubikkmeter

GROT = grener, rot og topper

MGO = marin gassolje

MDO = marin dieselolje

# Innhold

Forord .....	3
Sammendrag.....	4
1 Innledning.....	8
1.1 Bakgrunn.....	8
1.2 Konvensjonelle marine drivstoff.....	9
1.3 Klimagassutslipp fra sjøtransport.....	9
1.4 Rapportens oppbygning.....	9
2 Teknologisk gjennomgang av pyrolyseoljeproduksjon.....	10
2.1 Potensial .....	10
2.2 Hurtig pyrolyse .....	11
Teknologier for hurtig pyrolyse .....	12
2.2.1 "Bubbling fluidized bed" .....	13
2.2.2 "Circulating fluidized bed/transported bed" .....	13
2.2.3 "Rotating cone" Sentrifugale krefter driver prosessen. ....	14
2.2.4 "Ablative pyrolyzer" .....	14
2.2.5 "Auger" .....	15
2.2.6 "Mikrobølgeassistert" .....	15
2.3 Egenskaper.....	16
2.4 Pyrolyseoljeoppgradering.....	18
2.4.1 Hydrogenering .....	19
2.4.2 Katalytisk cracking.....	19
2.5 Bruksområder for pyrolyseolje.....	20
2.6 Anvendelse av biprodukter fra prosessen .....	20
2.6.1 Bruk av biokull som energiprodukt .....	20
2.6.2 Bruk av biokull for økt karbonbinding i jord .....	20
2.7 Helse, miljø og sikkerhet ved behandling av pyrolyseolje .....	22
2.8 Miljø og klima .....	23
2.8.1 Klima .....	23
2.8.2 Biologisk mangfold .....	23
3 Kompatibilitet med marine motorer.....	24
3.1 Utfordringer ved bruk av pyrolyseolje på skip .....	24
3.2 Erfaringer.....	25
4 Økonomiske vurderinger ved produksjon og bruk av pyrolyseolje.....	27
4.1 Priser på konvensjonelle marine drivstoff.....	27
4.2 Produksjonskostnader ved industrielt anlegg.....	27
4.3 Markedspris .....	29
4.4 Prissammenligning av biodiesel og pyrolyseolje .....	29
5 Case-studie med mobile pyrolyseanlegg.....	30
5.1 Mobile pyrolyseanlegg.....	30
5.2 Verdikjede med lokal produksjon av rå pyrolyseolje .....	30
5.2.1 Utfordringer .....	31
5.2.2 Skogsbilveier .....	31
5.2.3 Krav til råstoffkvalitet .....	31
5.2.4 Råstoffstørrelse .....	31

5.3 Økonomisk kalkyle .....	31
5.3.1 Krav til mengde råstoff.....	32
5.3.2 Arbeidskraft.....	32
6 Avsluttende bemerkninger .....	33
7 Referanseliste.....	34
Vedlegg 1 : Kort gjennomgang av teknologiselskaper.....	36

## Figurer

Figur 1: Flytskjema for termisk konvertering av biomasse (A. V. Bridgewater, 2004) .....	10
Figur 2: Prosessflytdiagram for et anlegg for hurtig pyrolyse (Mahfud, 2007) .....	11
Figur 3: Fluidized Bed (Brown & Holmgren, 2006) .....	13
Figur 4: "Circulating Fluidized Bed" (Brown & Holmgren, 2006) .....	13
Figur 5: "Rotating Cone" (Brown & Holmgren, 2006) .....	14
Figur 6: "Ablative pyrolyzer" (Brown & Holmgren, 2006).....	14
Figur 7: Auger reactor (Brown & Holmgren, 2006) .....	15
Figur 8: Mikrobølgeassistert pyrolyse .....	15
Figur 9: Mikrobølgeassistert flash pyrolyse.....	15
Figur 10: Eksempel på produksjonsanlegg (Dynamotive, 2010) .....	16
Figur 11: Pyrolyseolje (Dynamotive, 2009) .....	18
Figur 12: Forenklet kjemisk fremstilling av HDO-behandling av pyrolyseolje (Mahfud, 2007) .....	19
Figur 13: Anvendelsesområder for pyrolyseolje (A. V. Bridgewater, 2004) .....	20
Figur 14: Biokull og dens evne til å binde karbon i jord (International Biochar Initiative, 2010)....	21
Figur 15: Bilde fra testforsøk med spredning av biokull på landbruksjord (BlueLeaf, 2009).....	21
Figur 16: MAN Diesel lavhastighets skipsmotor (MAN Diesel, 2010) .....	24
Figur 17: Fordeling av produksjonskostnad for planlagt pyrolyseoljeproduksjon (Bradley, 2006) .	27
Figur 18: Råstoffprisens innvirkning på total anleggskostnad.....	28
Figur 19: Produksjonskostnad for oppgradert pyrolyseolje basert på økende råstoffpris .....	28
Figur 20: Eksempel på et mobilt pyrolyseringsanlegg (Agri-Therm, 2009) .....	30
Figur 21: Verdikjede med mobile pyrolyseringsanlegg til ferdig transportdrivstoff .....	31

## Tabeller

Tabell 1: Masse- og energibalanse (Bradley 2006).....	12
Tabell 2: Teknologioversikt for hurtig pyrolyse (Mahfud, 2007).....	12
Tabell 3: Relativ sammenligning av reaktorteknologier (IEA Bioenergy, 2009) .....	17
Tabell 4: Sammenligning av egenskaper ved pyrolyseolje, destillat og tungolje .....	17
Tabell 5: Egenskaper til oppgradert pyrolyseolje UBB (Radlein & Bouchard, 2009) .....	19
Tabell 6: Nedbrytbarhet for biooljer og fossile oljer (Blien m.fl., 2007).....	22
Tabell 7: Fordeling av produksjonskostnad for planlagt pyrolyseoljeproduksjon i Canada .....	32
Tabell 8: Oversikt over produksjonskostnad ved varierende utnyttelse av kapasitet .....	32

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Norge har satt som mål å begrense klimagassutslipp slik at den globale oppvarmingen ikke blir høyere enn en økning fra førindustriell tid på 2 °C. Forskere har identifisert avgjørende terskler dersom temperaturen stiger mer enn dette: da setter en fullstendig nedsmelting av grønlandsisen inn (Gregory mfl 2004), og en kollaps i Amazonas' økosystem vil kunne omgjøre regnskogen til en savanne (Cox mfl 2004). En norsk studie publisert i tidsskriftet *Climatic Change* i juni 2007 sier sjansen er 50 prosent for å unngå global oppvarming over 2°C, forutsatt at globale utslipp av klimagasser kuttes med 80 prosent fra år 2000 innen 2050 (Berntsen mfl 2007).

Utslipp fra transportsektoren bidrar sterkt og i en økende grad til menneskeskapte klimaendringer. For å redusere klimagassutslippene må vi bytte ut de fossile drivstoffene vi bruker i dag med klimavennlige drivstoff.

Sjøtransport er en av de store sektorene som må omstille seg til bruk av andre energikilder enn fossil olje og gass. Forskning og utvikling på mer energieffektive skip er godt i gang, og mer disse skipene vil hjelpe med å dempe veksten i forbruket av fossile energikilder. For å få til tilstrekkelig store klimagasskutt må også drivstoffet erstattes med klimavennlig drivstoff. Skipsbransjen har til nå gjort for lite angående dette, og derfor er det også viktig å sette i gang mer forskning og utvikling på andre og mer miljøvennlige energikilder til havs. Norge er en stormakt til havs, med verdens femte største handelsflåte. Selv om skipstrafikk er effektiv i forhold til utslipp per transportert enhet, er det store klimagassutslipp knyttet til hvert enkelt skip. Det er også potensial for store klimagasskutt om gode alternativer identifiseres.

ZERO gjennomførte i 2007 en studie for å avklare hvorvidt introduksjon og bruk av biodrivstoff i den nasjonale skipsfarten er mulig. Mulighetsstudien "Biofuels in Ships" konkluderte med at biodrivstoff i form av biodiesel ville være godt egnet for skip. Samtidig er det lite trolig at tradisjonell biodiesel vil kunne konkurrere med maritime drivstoff dersom de fortsatt blir avgiftsbelagt på nåværende nivå. ZEROs studie viste at biodrivstoff av lavere kvalitet enn biodiesel også kan være teknisk mulig å bruke i skip. Pyrolyseolje utnytter et annet råstoff enn konvensjonell biodiesel, med større ressursgrunnlag, noe som kan gi et billigere drivstoff. Norsk skog i skip vil omhandle i særdeleshet bruk av pyrolyseolje i skip.

Norge er rikt på skogressurser. Bare en del av tilveksten i norske skoger avvirknes årlig, og volumet av norsk skog er dobbelt så stort nå som i 1930. Med en nedadgående trend innenfor tradisjonell bruk av skog, som papirproduksjon, vil skognæringen være nødt til å se på alternative bruksområder for de ressursene de forvalter. Biodrivstoffproduksjon med norsk skog som råstoffkilde er en mulig kilde til avsetning. Samtidig er det klart at kostnadene ved hogst og utnytting av skogsvirke er høye i Norge. Dette skyldes både topografi og et generelt høyt lønnsnivå.

Syntetisk biodieselproduksjon er av mange regnet som en mulig næringsvei for de som allerede innehar skogressurser. Teknologien er imidlertid umoden, selv om det allerede er bygd et anlegg i Nord-Tyskland med blant annet Shell som medeier. Det mest aktuelle produksjonsinstrumentet for de fleste skogeiere vil være småskalaanlegg. Teknologien for syntetisk biodieselproduksjon eksisterer, men slike anlegg er kapitalintensivt og vil komme til å kreve store anlegg for å være lønnsomme. Anleggene bør trolig også lokaliseres nært ved eller integrert inn i tilsvarende industri.

ZERO ønsker derfor i denne rapporten å se nærmere på en produksjonsløsning som allerede er tilgjengelig og som har en lavere kostnad: pyrolyseolje. Pyrolyseolje kalles gjerne bio-crude, og kan produseres fra trevirke. Pyrolyseolje består av tyngre komponenter med brennbarhetsegenskaper som ligner vanlig olje og tjære og som kan fremstilles fra biomasse. Pyrolyseolje har per i dag ikke et kommersielt marked, men kan ha egenskaper som gjør det anvendbart i blant annet større skipsmotorer, som kan gi et marked for slik produksjon i Norge. Ideen bak prosjektet "Norsk skog i skip" er å undersøke om pyrolyseolje kan benyttes i skip og i neste omgang stimulere til ny næringsutvikling for skogeiere, mens den nasjonale skipsflåten kan utstyres med et klimanøytralt og relativt rimelig fornybart drivstoff.

Pyrolyse av biomasse har en lang historie bak seg og er en godt kjent teknologi. Det er uvisst når pyrolysering ble brukt til å fremstille trekull første gang, men man har indikasjoner på at det ble fremstilt så tidlig som 1100 f.Kr. Likevel var det først da den svenske ingeniøren Nordenskiöld og tyskeren Reichenbach designet den første kommersielle pyrolysereaktoren i 1820-årene, at det ble skikkelig fart i utviklingen av pyrolyseoljeteknologi (Emrich, 1985). Etter oljekrisen midt på 1970-tallet ble arbeidet med å utvikle transportdrivstoff fra biomasse intensivert. Dette gjaldt også forskningen på pyrolyseolje fra hurtig pyrolyse, også kalt "flash pyrolyse" eller "fast pyrolyse" (A. V. Bridgewater, 2004).

Selv om pyrolyseolje til skip eller til andre transportformål ikke er blitt prøvd ut i noen særlig grad, blir det fremhevet som en mulig løsning på skipsfartens klimautfordringer (Biofuelsdigest, 2010). Det er også en del utprøving av pyrolyseolje til andre motorformål; mye av aktiviteten på området skjer i dag i Canada og USA, blant annet gjennom teknologiselskapene Dynomotive, Honeywell, UOP og BTGs aktive satsning. I tillegg har mange FoU-prosjekter blitt finansiert i EU, blant annet gjennom Joule, Thermie og Fair-programmer.

Bruk av pyrolyseolje som erstatning til fyringsolje i industrien har den siste tiden fått økt oppmerksomhet spesielt i Nord-Amerika, der flere kommersielle aktører produserer pyrolyseolje fra biomasse. Fordelene med pyrolyseolje er råstoffleksibilitet, forholdsvis god energieffektivitet, lav kostnad og bruk av eksisterende infrastruktur (A. V. Bridgewater, 2004).

## 1.2 Konvensjonelle marine drivstoff

Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen har standardisert 19 forskjellige marine drivstoff. De viktigste drivstoffene er IFO380, IFO180, MDO og MGO. Den viktigste forskjellen mellom de forskjellige drivstoffene er hvorvidt de har vært gjennom destillering eller er restprodukt etter destillering. IFO380 er et rent restprodukt, mens IFO180 er iblandet litt gassolje.

## 1.3 Klimagassutslipp fra sjøtransport

Utslipp fra norsk innenrikssjøtransport inkludert fiske er om lag 3,6 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (SSB, 2010). Norge har i tillegg en stor internasjonal

skipsflåte som ikke blir tatt med i det norske klimagassregnskapet.

Det er anslått at klimagassutslippene fra verdens handelsflåte kan være så høye som 1,12 milliarder tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, eller om lag 4,5 % av verdens klimagassutslipp (Guardian, 2008).

## 1.4 Rapportens oppbygning

Kapittel 2 omhandler den tekniske status på produksjon av pyrolyseolje. I kapittel 3 gjennomgås pyrolyseoljens tekniske kompatibilitet med marine motorer, hvor blant annet muligheten med oppgradering av pyrolyseolje til transportdrivstoffkvalitet presenteres. I kapittel 4 presenteres en økonomisk gjennomgang av å bygge et pyrolyseanlegg. I kapittel 5 presenteres et case med mobile pyrolyseanlegg og en økonomisk vurdering av konseptet. Kapittel 6 presenterer en generell vurdering og anbefalinger for videre arbeid.



## 2 Teknologisk gjennomgang av pyrolyseoljeproduksjon

Figur 1 viser tre forskjellige former for termisk konvertering av biomasse. Den mest brukte og mest kjente er forbrenningsteknologi. Forbrenningsteknologi er en svært godt kjent og enkel teknologi som har sine klare fordeler og begrensninger. De mest fremtredende begrensningen er mulige bruksområder og logistikutfordringer knyttet til lav energitetthet. Fast biomasse kan først og fremst brukes i forbrenningsanlegg og i utgangspunktet ikke til drivstoff. Gassifisering er en lovende teknologi for termisk konvertering av biomasse. Teknologien er lovende, men har fortsatt en del utfordringer med hensyn til gasskvalitet på produktet og behov for rensing. Gassifisering benyttes ved produksjon av såkalt andregenerasjons biodiesel.

Pyrolyseringsteknologien er en mye enklere teknologi enn gassifiseringen, blant annet fordi man trenger langt lavere temperaturer til oppvarmingen enn til gassifiseringen. Selv om teknologien er gammel, er produksjon av pyrolyseolje til energiformål fortsatt et forholdsvis nytt fenomen. Pyrolyseolje kan vise seg å spille en viktig rolle for konvertering av biomasse. Forholdsvis god energieffektivitet, lav kostnad og bruk av eksisterende infrastruktur er interessante aspekter ved pyrolyseoljeteknologi (A. V. Bridgewater, 2004).

Pyrolyseolje er en mørk brun væske produsert fra karbonholdig materiale, som for eksempel biomasse. Oljen fremstilles ved pyrolysering, som er oppvarming av et materiale i en tilnærmet oksygenfri atmosfære til temperaturer på over 300 grader celsius. Ved tilgang på oksygen vil prosessen føre til forbrenning. Med biomasse som råstoff gir pyrolysering produktene trekull, flytende bioolje og en biogassfraksjon. Ved

å benytte såkalt hurtig pyrolysering vil man kunne optimalisere den kondenserbare fraksjonen som gir bioolje som produkt. Hurtig pyrolyse gir typisk 65 – 75 prosent bioolje og 15-20 prosent trekull og andre ikke-kondenserbare gasser, men dette avhenger av råstoff og prosessbetingelser (Bradley, 2006). Sakte pyrolysering ved lav temperatur fører til økt utbytte av trekull, som historisk sett har vært mest etterspurt som brensel på verdensmarkedet, samt økt gassproduksjon.

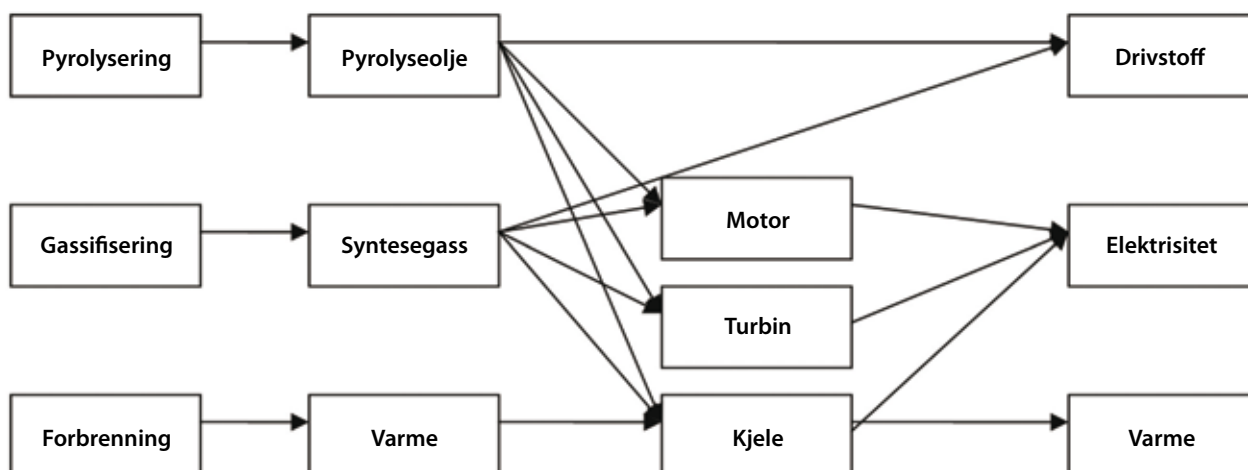
### 2.1 Potensial

Potensialet for produksjon av pyrolyseolje i Norge er stort, siden det er store ubenyttede biomasseressurser i Norge. Verdens forbruk av marine drivstoff er om lag 400 millioner tonn (Guardian, 2008). Norges forbruk av marine drivstoff i innenrikstrafikken er om lag 1,2 millioner tonn årlig (SSB, 2008).

Norges teoretiske årlige uttakspotensial av biomasse er 425 TWh hvorav 64 TWh er skog. For tiden er avvirkningen omtrent 12 millioner fm<sup>3</sup> (tilsvarende en energimengde på om lag 24 TWh). Dette gjør at det er et mulig økningspotensial på avvirkningen på om lag 40 TWh, hvor det er anslått at omtrent halvparten (20 TWh) kan utnyttes til bioenergiformål (ZERO et al., 2007). Det må legges til at marine biomasseressurser som alger ikke er inkludert i dette tallet.

Dersom hele dette potensialet brukes til pyrolyseolje med en gjennomsnittlig pyrolyseoljeprosess (70,6 prosent utbytte av bioolje), vil dette gi om lag 2,8 mill tonn pyrolyseolje i året (ZERO et al., 2007). I tillegg er det mulig å utnytte en del av prosessvarmen til varmemål i for eksempel et fjernvarmeverk. Det er imidlertid ikke sikkert dette vil være lønnsomt siden det vil kreve frakt av tømmeret til et område med varmebehov før prosessering til bioolje.

Forbruket av marine drivstoff tilsvarer energimessig



Figur 1: Flytskjema for termisk konvertering av biomasse (A. V. Bridgewater, 2004)

om lag 2,8 millioner tonn pyrolyseolje. Det tilsvarer omtrent det norske potensialet for produksjon av pyrolyseolje. Dette illustrerer at pyrolyseolje har et potensial til å spille en stor rolle i sjøtransport. Likevel er det viktig å bemerke at i beregningen av dette potensialet er det ikke tatt høyde for annen bioenergi bruk av norske biomasseresurser.

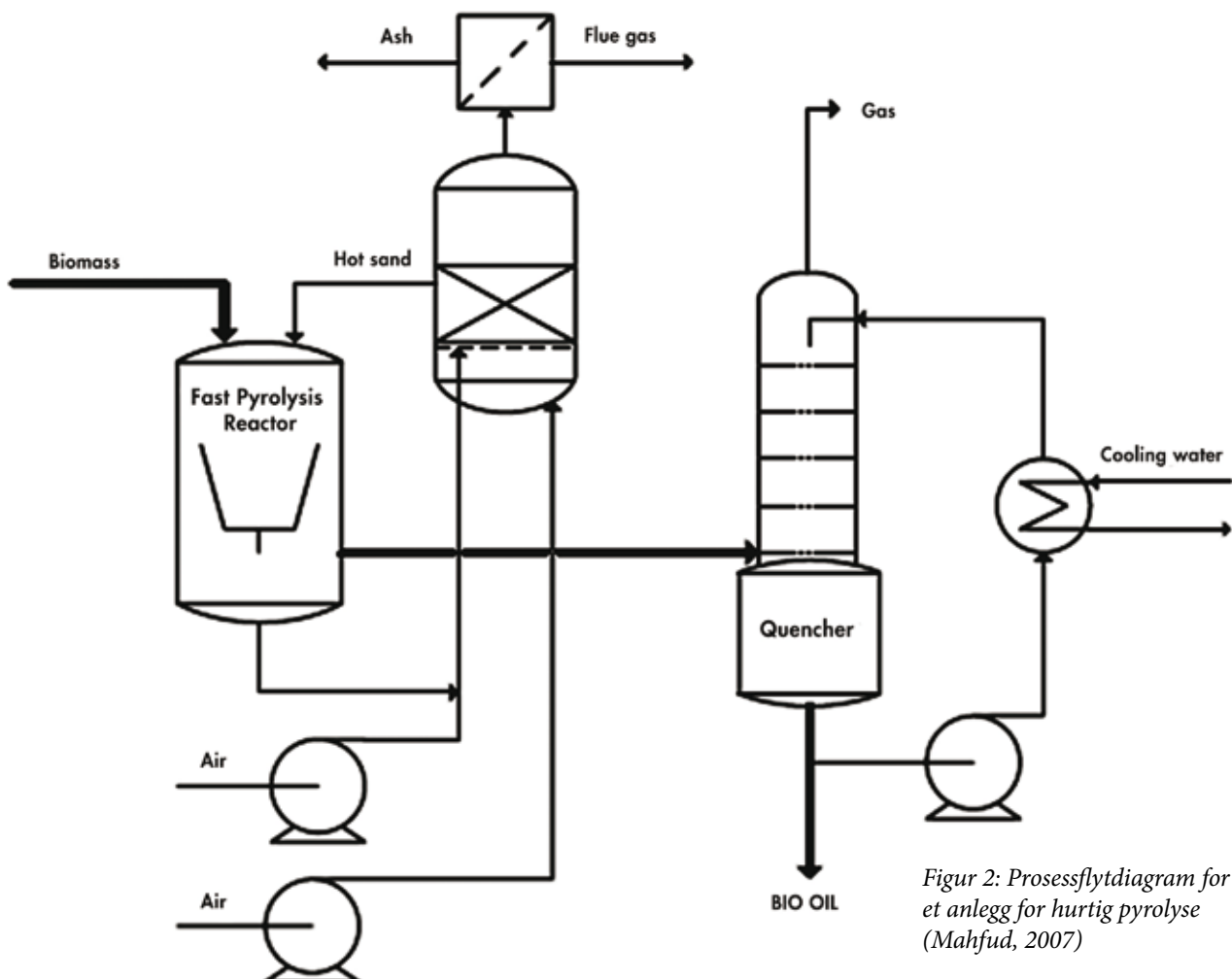
## 2.2 Hurtig pyrolyse

Hurtig pyrolyse går ut på å dekomponere biomassestrukturen ved bruk av rask oppvarming uten tilgang på oksygen, slik at massen går over til gassform, for så å nedkjøles og delvis kondenseres til pyrolyseolje. De resulterende produktene er, som nevnt, kondensert bioolje, trekull og ikke-kondenserbare gasser. Biooljen, som i hurtig pyrolyse utgjør omtrent 65 – 75 prosent av de resulterende produktene, inneholder en god del vann og kan derfor ikke betraktes som en "olje" slik vi kjenner vegetabilsk olje og petroleumsoljer. Prosessen har ingen restprodukter, siden både biooljen og trekullet har kommersiell verdi og de ikke-kondenserbare gassene kan brukes i prosessen som energi. Ifølge Bradley et al. står de ikke-kondenserbare gassene for omtrent 75 prosent av energien som trengs i selve prosessen (Bradley, 2006). Den hurtige pyrolysen foregår på bare noen få sekunder. Kjemisk reaksjonskinetikk er ikke det eneste viktige

aspektet i prosessen: vel så viktig er varme- og massetransport og faseovergangs fenomener. Det viktige er å sørge for at biomassen raskt blir varmet opp til riktig temperatur, at den kondenserbare gassen blir raskt nedkjølt til olje og at råstoff og produsert olje ikke blir utsatt for mellomtemperaturer over en noe lengre tid, siden dette vil føre til dannelse av trekull (A. V. Bridgewater, 2004).

Selv om hurtigpyrolyse er teknologisk beslektet med pyrolysing til trekull, er hurtigpyrolysing betydelig mer avansert. Forskeren A. Bridgewater har oppsummert de viktigste prinsippene for vellykket hurtig pyrolyse og optimalisering av biooljeandelen på følgende måte (A. V. Bridgewater, 2004):

- Høy temperatur og varmeoverføring ved reaksjonens kontaktflate, noe som krever generelt finmalt biomasse.
- Nøy kontrollert pyrolyseringsreaksjonstemperatur på omtrent 500 °C og dampfasetemperatur på omtrent 400 °C – 450 °C.
- Kort oppholdstid i dampfase på under to sekunder.
- Hurtig nedkjøling av pyrolysedamp slik at det dannes bioolje.



Figur 2: Prosessflytdiagram for et anlegg for hurtig pyrolyse (Mahfud, 2007)

Tabell 1 viser masse- og energibalansen i en typisk hurtig pyrolyseoljeprosess.

### Teknologier for hurtig pyrolyse

Det finnes i dag flere forskjellige mulige teknologier som ivaretar behovet for en vellykket hurtig pyrolyseringsprosess. Det er i utformingen av reaktoren vi finner de store forskjellene mellom de forskjellige konseptene. Utviklingen på dette området har vært betydelig, og flere av teknologiene nærmer seg nå kommersialisering. I tabell 2 er det gjengitt noen eksempler på teknologier for hurtig pyrolyse.

Reaktorene er det trinnet i prosessen hvor oppvarmingen av biomassen skjer. Det som er viktig er å sikre korrekt varmeoverføring og temperaturøkning. Vi skal kort se fordeler og ulemper ved de viktigste teknologiene som finnes for dette formålet.

Masse- og energibalanse				
	Vektfordeling (%)	Furu/gran (Vektfordeling)	Furu/gran (Energifordeling)	Energifordeling (Gj/tonn)
Pyrolyseolje	65 – 72 %	70,3 %	70,6 %	17,8
Trekull	15 – 20 %	14,3 %	22,6 %	28
Kondenserbare gasser	12 – 18 %	13,4 %	6,8 %	9
		98 %	100 %	

Tabell 1: Masse- og energibalanse (Bradley 2006)

Firma/Institusjon	Land	Teknologi	Kapasitet (kg/t)
BTG/KARA	Nederland	"Rotating Cone"	200
ENEL/Ensyn	Italia	"Circulating transported bed"	625
Universitet i Hamburg	Tyskland	"Fluidized bed"	50
VTT/Ensyn	Finland	"Circulating transported bed"	20
Wellman Proc. Eng. Ltd.	Storbritannia	"Fluidized bed"	250
BTG/Genting Sanyen Bhd	Malaysia	"Rotating Cone"	1200
Dynamotive	Canada	"Fluidized bed"	8000

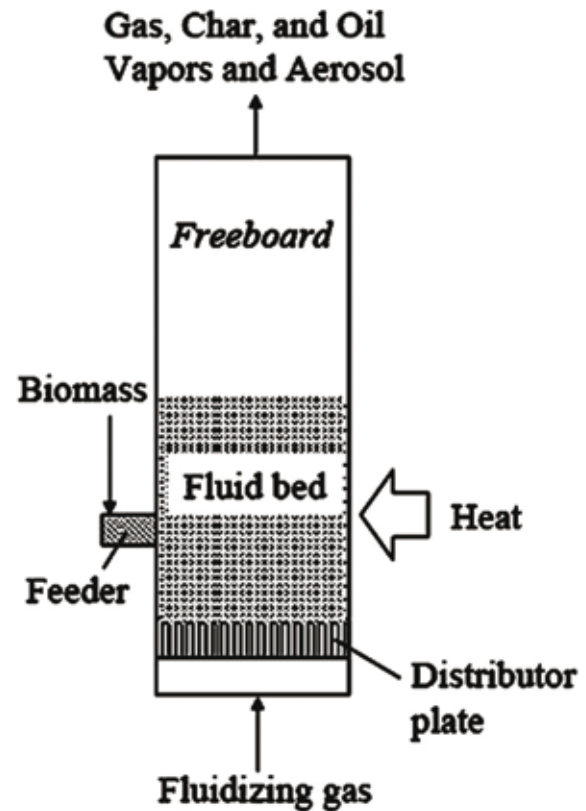
Tabell 2: Teknologioversikt for hurtig pyrolyse (Mahfud, 2007)

### 2.2.1 "Bubbling fluidized bed"

- En teknologi som er enkel å konstruere og bruke.
- Teknologien gir god mulighet for temperaturregulering og åpner for veldig effektiv varmeoverføring.
- Teknologien behøver veldig små partikler av biomasse (2-3 mm) for å oppnå hurtig varmeoverføring.

(IEA Bioenergy, 2009)

Figur 3: Fluidized Bed (Brown & Holmgren, 2006)

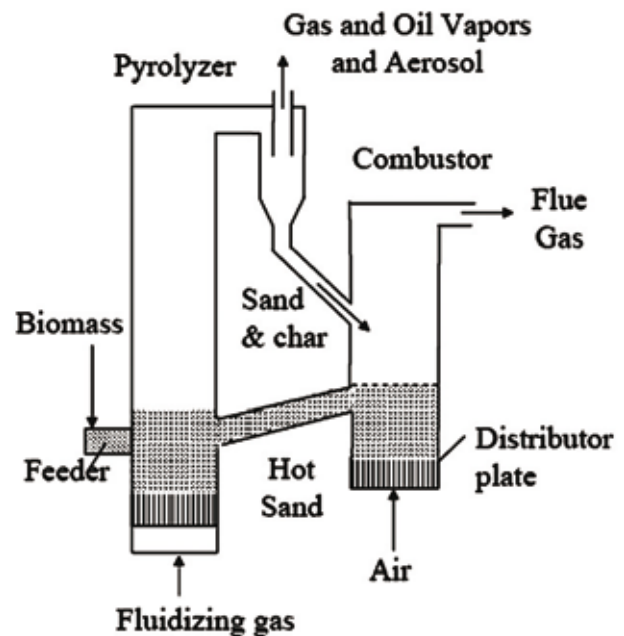


Figur 3: Fluidized Bed (Brown & Holmgren, 2006)

### 2.2.2 "Circulating fluidized bed/transported bed"

- Trekull tilbakeføres til reaktoren og gir varme til prosessen.
- Oppholdstiden for trekull er omtrent den samme som for kondenserbare gasser, noe som kan føre til større andel trekull i biooljen.
- Har mulighet for å behandle stor gjennomstrømning.

(IEA Bioenergy, 2009)

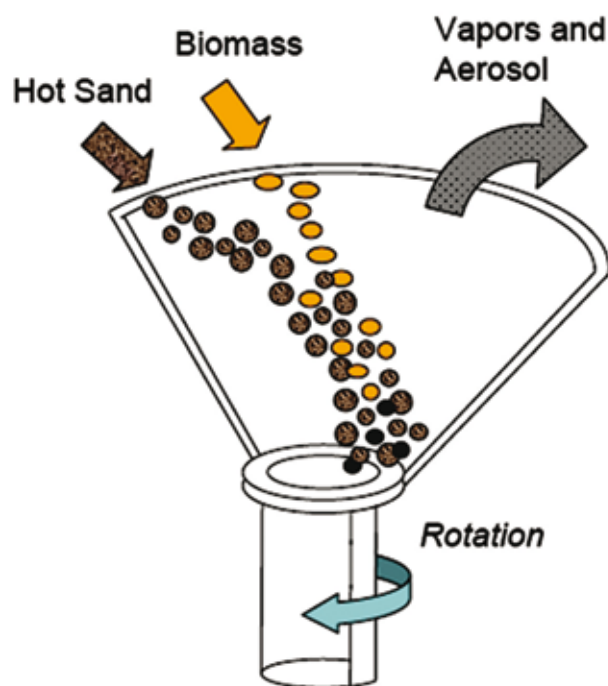


Figur 4: "Circulating Fluidized Bed"  
(Brown & Holmgren, 2006)

### 2.2.3 "Rotating cone" Sentrifugale krefter driver prosessen.

- Trenger ikke transporterende gass.
- Trenger svært små biomassepartikler, og reaktoren er vanskelig å skalere opp.

(IEA Bioenergy, 2009)

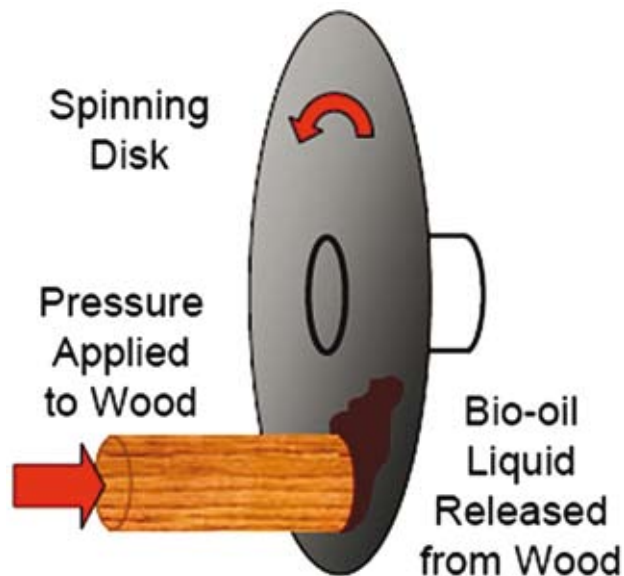


Figur 5: "Rotating Cone" (Brown & Holmgren, 2006)

### 2.2.4 "Ablative pyrolyzer"

- "Ablative pyrolyzer" kan behandle store biomassepartikler.
- Skiller seg mye fra de andre reaktorene, hvor prosessen begrenses av varmeoverføringstakten – noe som fører til at små partikler behøves.
- Behøver ikke transporterende gass.
- Teknologien er kompleks og vanskelig å skalere opp.

(IEA Bioenergy, 2009)

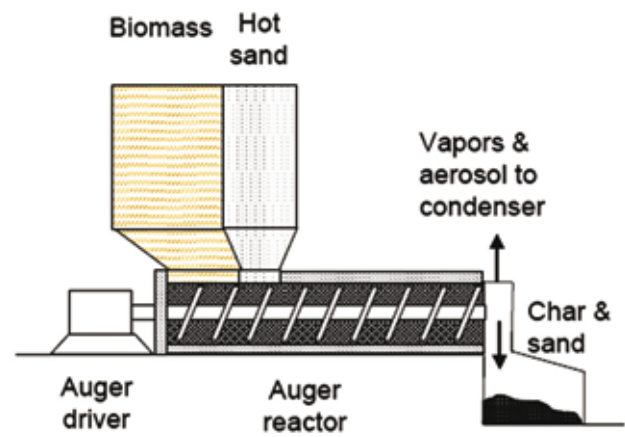


Figur 6: "Ablative pyrolyzer" (Brown & Holmgren, 2006)

## 2.2.5 "Auger"

- Passer bra for små anlegg.
- Behøver sirkulasjonssystem og oppvarming for sand.

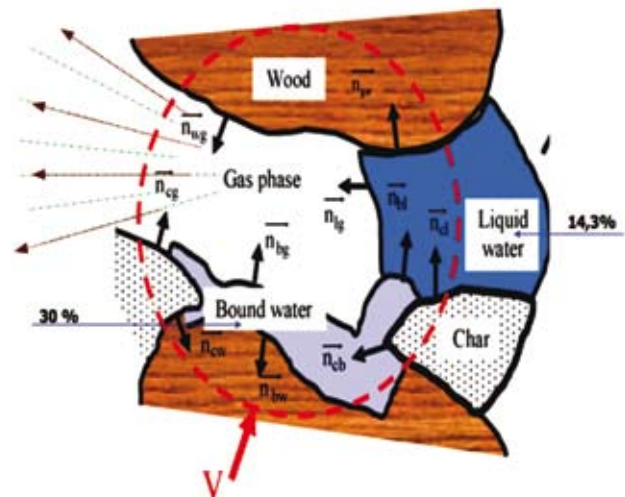
(IEA Bioenergy, 2009)



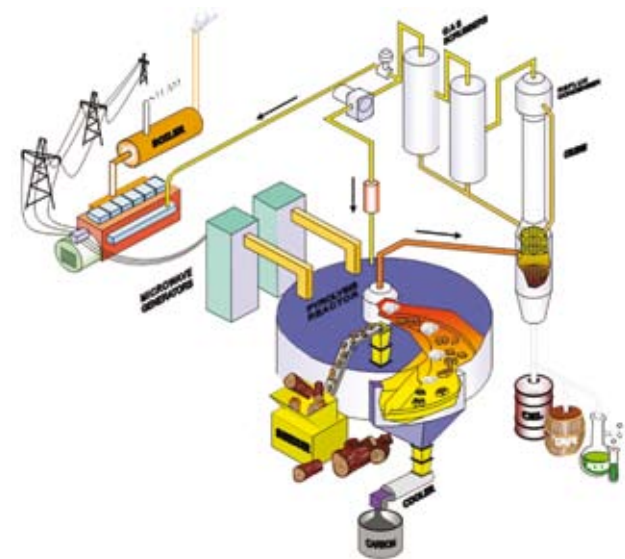
Figur 7: Auger reactor (Brown & Holmgren, 2006)

## 2.2.6 "Mikrobølgeassistert"

- Skiller seg fra de andre teknologiene ved at varmeoverføringsmekanismen baserer seg på radiobølger. Radiobølger setter råstoffets molekyler i bevegelse og denne bevegelsen skaper friksjon mellom molekylene og gir en hurtig oppvarming.
- Ved å kun «bestråle» fritt og bundet vann i råstoffet uten å varme opp selve trestrukturen synes dette å være en svært energieffektiv teknologi.
- Teknologien gir god mulighet for temperaturregulering og effektiv varmeoverføring.
- "Mikrobølgeassistert flash pyrolyse" kan behandle store biomassepartikler og samtidig gi homogen oppvarming av råstoffet. (MicroFuel, 2010).



Figur 8: Mikrobølgeassistert pyrolyse



Figur 9: Mikrobølgeassistert flash pyrolyse



Figur 10: Eksempel på produksjonsanlegg (Dynamotive, 2010)

Det finnes i tillegg en rekke teknologier på tegnebrettet. Det såkalte Pyne-nettverket tilknyttet. Tabell 4 viser en skjematisk oppsummering hva gjelder status og tilgjengelighet for disse forskjellige teknologiene, laget av Det internasjonale energibyrået IEA.

### 2.3 Egenskaper

Pyrolyseolje kan transporteres og brukes i fyringsanlegg, motorer eller turbiner akkurat som petroleumprodukter. Det finnes likevel en del forskjeller i egenskapene til petroleumprodukter og pyrolyseolje som gjør at bruk av pyrolyseolje til energiformål kan være utfordrende.

Pyrolyseoljen er syreholdig med en pH på 2-3, noe som gjør at spesielle hensyn må tas ved valg av materialer som skal ha kontakt med pyrolyseoljen. Pyrolyseolje er brennbar med et flashpunkt på 55 – 65 grader C, men ikke brannfarlig. Oljen må forvarmes og forstøves før den antennes. Pyrolyseolje er ikke homogen. Dersom den blir stående en stund, begynner en tung ligninholdig fraksjon å skilles ut. Den kan imidlertid blandes tilbake. Oljen kan ikke blandes med petroleumprodukter (Bradley, 2006). Den kan heller ikke blandes med vann, men den kan blandes

med alkoholprodukter. I tabell 4 har vi gjort en sammenligning av egenskapene til typisk pyrolyseolje laget av biomasse og vanlig fyringsolje.

Pyrolyseoljen inneholder komponenter med stor variasjon i forbrenningskarakteristikk. Noen komponenter er lett antenkelige, mens andre, særlig enkelte ligninforbindelser, er nokså stabile og må opp i høy temperatur (> 1000 grader) før de dekomponerer og oksideres. Generelt har pyrolyseoljen en mer langsom forbrenningskarakteristikk enn fossile oljer.

Pyrolyseolje inneholder ikke svovel og gir dermed ingen utslipp av SO<sub>2</sub> ved forbrenning. Ifølge studien gjennomført av Bradley gir den normalt omtrent halvparten av NO<sub>x</sub>-utslippene til vanlig fyringsolje (Bradley, 2006). Pyrolyseolje er enda ikke et kommersielt produkt og det finnes derfor ingen standard for pyrolyseolje. Et standardisert produkt ville gjort det lettere for brukere.

	Status	Bioolje-vekt %	Kompleksitet	Tilførselsstørrelse	Inert gass behov	Spesifikk størrelse	Oppskalering
"Fluidized Bed"	Demo	75	Medium	Liten	Høy	Medium	Lett
"CFB"	Pilot	75	Høy	Medium	Høy	Stor	Lett
"Rotating Cone"	Pilot	65	Høy	Veldig liten	Lav	Liten	Vanskelig
"Ablative"	Lab	75	Høy	Stor	Lav	Liten	Vanskelig
"Auger"	Lab	65	Lav	Liten	Lav	Medium	Lett
"Mikrobølger"	Demo	70	Høy	Stor	Lav	Medium	Lett
"Vacuum"	Demo	60	Høy	Stor	Lav	Stor	Vanskelig

Mørkere celler betyr mindre ønskede effekter

Lab: 1 – 20 kg/t  
Pilot: 20 – 200 kg/t  
Demo: 200 – 2000 kg/t

Tabell 3: Relativ sammenligning av reaktorteknologier (IEA Bioenergy, 2009)

		Pyrolyseolje	Destillatolje	Tungolje	Biodiesel
Vanninnhold	Vekt %	15-30	Maks. 0,2	Maks 0,8 vol %	Maks 0,05 vol %
pH		2,5	-	-	-
Spesifikk tetthet	Kg/l	1,2	0,82-0,86	0,98	0,86 – 0,9
C	Vekt %	56,4	87 – 87	85	-
H	Vekt %	6,2	13 – 14	11	-
O	Vekt %	37,3	-	1,0	-
N	Vekt %	0,1	-	0,3	-
Aske	Vekt %	0,1	-	Maks. 0,1	Maks 0,02
Brennverdi	MJ/kg	16 – 19	~ 40	~ 40	37
Viskositet (40°C, 25% vann)	cSt	25 – 100	1,5 – 4,0	Maks 440	3,5 – 5,0
Koksrest	Vekt %	1		Maks 18	Maks 0,3 vol %

Tabell 4: Sammenligning av egenskaper ved pyrolyseolje, destillat og tungolje (Mahfud, 2007), (Zhang, m.fl., 2007)

\* - betyr ukjent verdi

### Oksygeninnhold:

Oksygeninnholdet i pyrolyseoljer er vanligvis 35-40 %, fordelt på mer enn 300 forbindelser avhengig av type råstoff og valgt pyrolyseprosess (temperatur i prosessen, oppholdstid og oppvarmingshastighet) (Zhang m.fl., 2007).

### Vann

Bioolje har et innhold av vann så høyt som 15-30 % (vektprosent). Det høye vanninnholdet stammer fra den opprinnelige fuktigheten i råstoffet og fra vann dannet i forbindelse med pyrolyseprosessen og lagring (Zhang m.fl., 2007).

### Sure komponenter

Biooljer inneholder betydelige mengder karboksylsyre, som for eksempel eddiksyre og maursyre, som fører til lave pH-verdier på 2-3 (Zhang m.fl., 2007). Oljen inneholder fenolforbindelser.

### Lav energitetthet

Pyrolyseolje har lav energitetthet, men høy massetetthet på omtrent 1,2 kg/l mot vanlig diesel, som har om lag 0,85 kg/l. Dette gjør at pyrolyseoljen har om lag 42 % av energiinnholdet til vanlig diesel på vektbasis, mot 61 % på volumbasis (A. V. Bridgewater, 2004).

### Faststoff og askeinnhold

Pyrolyseolje inneholder visse mengder faste partikler, typisk i området 1 %. Dette er trekull og noe delvis omsatte trepartikler. I tillegg vil oljen inneholde oppløste alkalimetaller, typisk 0,1 - 0,2 %. Alkalimetallene skilles ut som støv når oljen forbrennes, mens kullpartiklene forbrennes.

### Aldring av pyrolyseolje

Pyrolyseolje laget av biomasse er et biologisk nedbrytbart produkt. Kompleksiteten til pyrolyseolje fører til at enkelte egenskaper har en tendens til å forandre seg over tid. De viktigste forandringene over tid er at viskositeten øker, volatiliteten avtar, i tillegg at fase separasjon og deponering av tørrstoff kan oppstå (A. V. Bridgewater, 2004).

## 2.4 Pyrolyseoljeoppgradering

Rå pyrolyseolje er et meget utfordrende produkt for konvensjonelle motorer, og det er overveiende sannsynlig at en eller annen form for oppgradering vil trenge før man kan bruke pyrolyseoljen som drivstoff i motorer.

Det foregår betydelig forskningsaktivitet for å oppgradere produktet pyrolyseolje til både kjemiske produkter og til energi. Formålet med denne forskningen er å bedre egenskapene som kan være problematiske



Figur 11: Pyrolyseolje (Dynamotive, 2009)

for eksisterende infrastruktur tilpasset oljeprodukter. Det finnes hovedsakelig to typer oppgradering av pyrolyseolje: det er fysisk og kjemisk oppgradering. Fysisk oppgradering foretas ved å fjerne partikler og/eller blende inn komponenter som eksempelvis alkohol for å bedre egenskapene til oljen. Oljen kan også oppgraderes kjemisk ved at komponenter i oljen blir kjemisk endret og at oljen dermed får mer ønskede egenskaper, for eksempel ved at fenoler og syrer blir hydrogenert og omdannet til hydrokarboner. Herved reduseres oksygeninnholdet, energitettheten øker og oljen har dermed fått bedre egenskaper.

Det kan være flere formål med oppgradering. Ikke alle oppgraderinger av pyrolyseolje leder til formålet med et drivstoff tilpasset bruk i motorer (Mahfud, 2007). En av teknologiene som benyttes er oppgradering av pyrolyseolje ved bruk av alkohol. Denne teknologien er enkel, men ifølge Mahfud, er det usikkert om den produserte oljen vil ha god nok kvalitet.

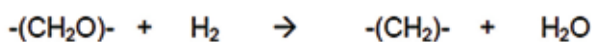
For å oppnå et stabilt produkt av kvalitet som kan være tilpasset motorer, trengs kjemisk oppgradering for å fjerne oksygen fra oljen. Fjerning av oksygen kan foretas ved hydrogenering hvor oksygen skilles ut som vann, eller ved dekarboksylering hvor oksygen skil-

les ut som CO<sub>2</sub>. Oksygen kan også fjernes gjennom å skille ut de mest oksygenrike organiske forbindelsene på andre og ofte mer kompliserte måter. Katalytisk cracking er et eksempel på en lovende kombinasjon av hydrogenering og dekarboksylering.

Det er flere selskaper som i dag arbeider med oppgradering av pyrolyseolje. Spesielt kan amerikanske Honeywell UOP nevnes, verdens største utviklings- og lisensselskap innen kjemisk prosesseteknologi, samt det fransk-amerikanske Axen som også arbeider aktivt på dette området. Dynamotive arbeider også innen dette feltet og har satset på hydrogeneringsteknologi.

### 2.4.1 Hydrogenering

Hensikten med HDO-teknologi (Hydrodeoxygenation-teknologi) er å tilsette hydrogen for å få laget hydrokarboner ved å fjerne oksygenet og binde det i vann (Se figur 16) (Mahfud, 2007). Det er behov for en katalysator for å få denne prosessen til å gå. Et av de store problemene ved denne typen oppgradering har vært å holde stabiliteten i produktet oppe, siden pyrolyseolje er termisk ustabil og veldig utsatt for nedbrytning som kan skape problemer for reaktoren og katalysatoren. Dynamotive hevder å ha overvunnet disse problemene med sin nye BINGO-prosess (Radlein & Bouchard, 2009). Oppgradering ved hjelp av denne prosessen vil ifølge Dynamotive produsere pyrolyseolje av så god kvalitet at den kan brukes som transportdrivstoff.



Figur 12: Forenklet kjemisk fremstilling av HDO-behandling av pyrolyseolje (Mahfud, 2007)

Etter oppgradering av pyrolyseoljen med Dynamotives teknologi, vil pyrolyseoljen ha følgende egenskaper:

Egenskaper til oppgradert pyrolyseolje	
Vanninnhold	0,05 %
Oksygeninnhold	Ca. 1 %
Høyere brennverdi, MJ	45
Spesifikk tetthet	0,87
TAN, mg KOH/g	0,9

Tabell 5: Egenskaper til oppgradert pyrolyseolje UBB (Radlein & Bouchard, 2009)

### 2.4.2 Katalytisk cracking

Katalytisk cracking går ut på samtidig hydrogenering og dekarbonisering over en katalysator ved 450 °C og atmosfærisk trykk. Oksygen blir skilt ut som H<sub>2</sub>O, CO og CO<sub>2</sub>. Det lave H/C forholdet i den resulterende biooljen indikerer et lavt hydrokarbonutbytte. I tillegg er ikke, ifølge Bridgewater, denne teknologien fullt ut bevist (A. V. Bridgewater, 2004).

Selv om oppgradering av bioolje kan vise seg å bli meget viktig med tiden, er det en avveining hvor mye av oppgraderingen som skal gjøres på oljen og hvor mye som skal gjøres på motorer. Dette vil bli et kostnads-spørsmål.

Fra en prosess er demonstrert i liten skala frem til prosessen representerer en teknisk og kommersiell mulighet, er det behov for et omfattende utviklingsløp. Oppgradering av pyrolyseolje er i dag på demonstrasjonsnivå. Det gjenstår betydelig utviklingsarbeid før dette er en aktuell industrimulighet.

## 2.5 Bruksområder for pyrolyseolje

Denne rapporten undersøker muligheten for bruk av pyrolyseolje til skip, men det finnes en rekke andre mulige bruksområder for pyrolyseolje. Blant annet er pyrolyseolje som fyringsolje et spesielt interessant område. ZERO har gjennomført en studie på dette: ”Biofyringsolje - En gjennomgang av mulighetene for økt bruk av biofyringsolje av lav kvalitet i fjernvarmeanlegg i Norge”.

Andre interessante bruksområder for pyrolyseolje som erstatning for fossile drivstoff er for eksempel gassturbiner og stirlingmotorer. Selskapet Orenda har gjort forsøk med pyrolyseolje på gassturbiner, og forsøk er også gjennomført ved universitet i Rostock. Bridgewater (2004) påpeker at om pyrolyseolje skal kunne brukes på gassturbiner, må modifikasjoner gjøres på turbinen for å ta høyde for forskjell på forstøvning, forbrenningseffektivitet etc. Stirlingmotorer som er tilpasset små kraft- og varmeverk er også blitt vurdert som godt tilpasset for pyrolyseolje. En tysk studie utført av ZSW viste at pyrolyseolje kunne brukes på slike motorer med avfall og utslipp innenfor tyske standarder. (A. V. Bridgewater, 2004).

Pyrolyseolje kan også brukes som kjemikalie: Vannfraksjonen av pyrolyseolje (Liquid smoke) brukes i dag som smakstilsetning i næringsmiddelindustrien (Mahfud, 2007).

## 2.6 Anvendelse av biprodukter fra prosessen

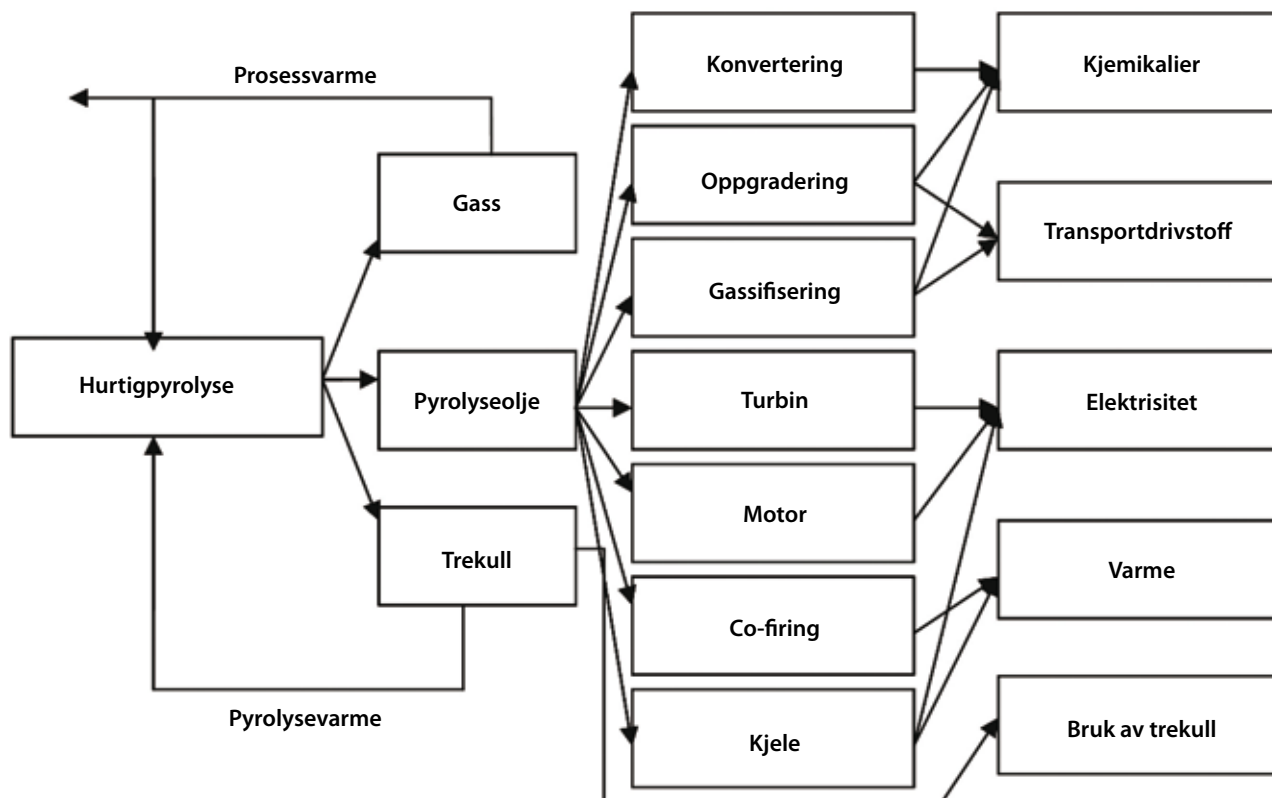
I noen av de eksisterende prosessene vil hovedmengdene av trekull kunne skilles ut som et biprodukt, mens i enkelte prosesser er dette ikke mulig. I tillegg til mulig produksjon av trekull vil det kunne produseres varme som biprodukt fra prosessen. De ikke-kondenserbare gassene vil normalt benyttes som varme for å drive prosessen. Alternativ utnyttelse kan for eksempel være elektrisitetsproduksjon. Normalt vil også noe av trekullet som dannes i prosessen bli benyttet til nødvendig varme for drift av prosessen.

### 2.6.1 Bruk av biokull som energiprodukt

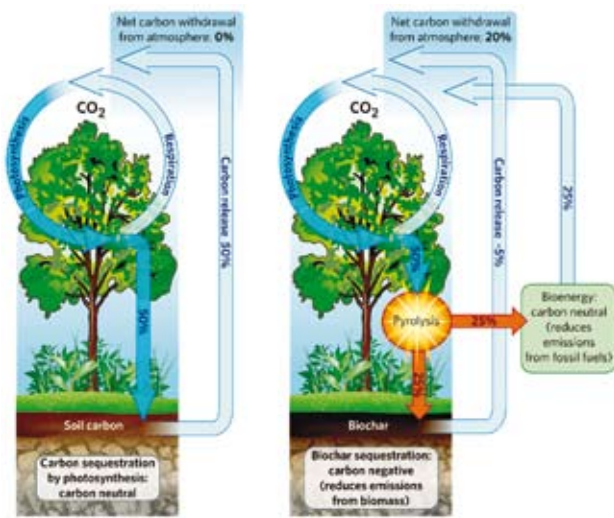
Trekull er et produkt som har mange kommersielle bruksområder. Etter pyrolysen vil ca. 50 prosent av det opprinnelige karbonet finnes i biokullet. Trekull har lenge blitt brukt som brensel i for eksempel smier og metallindustriell industri. Det viktigste bruksområdet for trekull i Norge i dag er grillen.

### 2.6.2 Bruk av biokull for økt karbonbinding i jord

Bruk av biokull er en lovende metode for økt karbonbinding i jord i Norge, og internasjonale studier mener det kan binde karbon i tusenvis av år (International Biochar Initiative, 2010). Biokull forbedrer binding av karbon fra atmosfæren og forlenger oppholdstiden i jorda.



Figur 13: Anvendelsesområder for pyrolyseolje (A. V. Bridgewater, 2004)



Figur 14: Biokull og dens evne til å binde karbon i jord (International Biochar Initiative, 2010)

Det er antatt at biokull vil kunne føre til bedring av jordstrukturen, ha biologiske egenskaper og gi fruktbarhet som til sammen vil gi positive utslag på produksjon (Lehmann, 2007). Selskapet BlueLeaf gjennomførte i 2009 tester med bruk av biokull i jordsmonn i Canada, på en gård som produserer melkeprodukter, korn og fôr. Resultatene fra testene viste at det ble høyere produktivitet på landbruksproduktene. Ifølge BlueLeaf gir bruk av trekkull i landbruket både en for-

del for økt produksjon av landbruksprodukter i tillegg til at det er en mulig måte å lagre karbon i bakken (BlueLeaf, 2009).

Bruk av biokull gir dermed økt planteproduksjon, som er en positiv økonomisk gevinst for bøndene. En annen positiv konsekvens av biokull er at på grunn av stor overfalte og kationbyttekapasitet, vil tilførsel av biokull øke jordas negative ladning. Dette kan bidra til å øke jordas pH-verdi og dermed motvirke aluminiumforgiftning av planter og stabilisere tilført organisk materiale. Dette er noe av det samme som skjer ved kalking, noe vi vil beskrive nedenfor.

Biokull har fått økt oppmerksomhet i landbruket den siste tiden, nettopp på grunn av mulighetene som ligger i å øke karbonlagringen i jorden ved å blande biokull i jorden ved pløying. Derfor har biokull fått økt oppmerksomhet også i de internasjonale klimaforhandlingene. Resultatene vil variere i forhold til jordkvalitet og klima. Det er derfor viktig at Norge setter fokus på mer forskning på bruk av biokull i dyrket mark under norske forhold og kartlegger regionale forskjeller. Spørsmål som om det er giftige forbindelser i biokullet som vil virke negativt på jorda, biokullets innflytelse på jordas evne til å holde på vann og hvordan biokullet reagerer på andre mikroorganismer i jorda, er viktige spørsmål vi trenger flere svar på.



Figur 15: Bilde fra testforsøk med spredning av biokull på landbruksjord (BlueLeaf, 2009)

Lagringskapasiteten i jord nærmest ubegrenset. Karbonlagring fra biokull vil derfor være begrenset av tilgangen på biomasse og ikke av jordas lagringskapasitet.

## 2.7 Helse, miljø og sikkerhet ved behandling av pyrolyseolje

En omfattende studie gjennomført av James P. Diebold omhandler helse- og miljørisiko knyttet til pyrolyseolje, og slår fast at det finnes en del potensielt skadelige substanser i pyrolyseoljen. Man bør unngå å få pyrolyseolje på øyet, men pyrolyseolje i normale doseringer er ikke skadelig ved inhalering. Ved bruk av anbefalt utstyr ved behandling av pyrolyseolje, som gummihansker, beskyttelsesbriller og -klær, er det ikke fare for akutte plager ved behandling av pyrolyseolje. Når det gjelder kroniske plager er det mye verre å fastslå årsakssammenheng, og det er lite forskningsmateriale på området. To forskningsprosjekter i 1986 og 1988 kunne ikke påvise noen sammenheng mellom pyrolyseolje og økt kreft- og sykdomsrisiko (Diebold, 1997).

Diebold fremholder at det er ønskelig med mer forskningsmateriale på dette området siden det faglige grunnlaget for konklusjonene er nokså tynt. Siden det er stor forskjell på pyrolyseoljen basert på produksjonsmåte og råstoff, samt at ferdig pyrolyseolje er meget ustabil, anbefaler Diebold mer forskning på dette området. Med utvikling over tid blir også pyrolyseoljen degradert og slipper gasser ut til atmosfæren.

Ifølge Garcia-Perez (2008) har det til nå ikke vært god nok forskning på tilstedeværelsen av dioksiner i pyrolyseolje (Garcia-Perez, 2008).

I en studie gjennomført av Blien et al. er nedbrytbarheten av pyrolyseolje sammenlignet med vanlig dieselolje. Dette kan gi en antydning på hvor lett håndterbart pyrolyseolje er i forbindelse med et stort utslipp i naturen. Forsøkene viste at ni forskjellige pyrolyseoljer var nedbrutt etter omtrent samme nedbrytbarhetskurver etter 28 dager og var mellom 41 % og 50 % nedbrutt, mens dieselolje var bare 24 % nedbrutt etter 28 dager. Blien et al. konkluderer med at pyrolyseolje dermed vil være bedre enn dieselolje i forbindelse med et utslipp i naturen, men ikke like bra som vegetabilsk olje og biodiesel (Blien, m.fl., 2007). Resultatene fra studien er gjengitt under:

Type olje	Andel nedbrutt etter 28 dager
<b>Fossil olje</b>	
Dieselolje	24 – 36 %
Syntetisk diesel	60 %
Bensin 91 Oktan	28 %
Tungolje Bunker C olje	11 %
<b>Biodrivstoff</b>	
Pyrolyseolje	41 – 50 %
Rapsolje	83 %
Soyalje	76 %
Rapsbasert biodiesel	87 %
Solsikkebasert biodiesel	90 %
Soyabasert biodiesel	85,4 %

Tabell 6: Nedbrytbarhet for biooljer og fossile oljer (Blien m.fl., 2007)

## 2.8 Miljø og klima

### 2.8.1 Klima

Bruk av pyrolyseolje som erstatning for annet fossil transportdrivstoff gir i utgangspunktet 100 % reduksjon av klimagassutslipp. Utslipp i forbindelse med produksjon gjør likevel at det er et lite utslipp. Hovedvekten av disse utslippene kommer fra bruk av fossile drivstoff i transport og ved produksjonsanleggene. Dette er likevel små utslipp i forhold til totalt erstattet fossile drivstoff.

Inngrep i naturen, som hogst av skog, vil påvirke det lagrede karbonet i jordsmonnet i skogen. For å minke disse utslippene bør mest mulig skånsomt skogbruk benyttes. Utifra både et økonomisk og et klimatisk perspektiv er det ønskelig at skog som ikke binder mye ny karbon prioriteres til avvikling.

### 2.8.2 Biologisk mangfold

NINA skrev i 2007 en rapport om bioenergitiltak og effekter for biologisk mangfold (Framstad, m.fl., 2007). De gjorde en rekke vurderinger av aktuelle tiltak for å øke produksjonen av bioenergi. Konklusjonen var at uttak av GROT og tynningstrevirke ikke er problematisk for det biologiske mangfoldet. Samtidig påpeker rapporten at det er nødvendig med retningslinjer for å bevare viktige habitatressurser. Rapporten konkluderer med at rydding av gjengroingsarealer i jordbruket er akseptabelt og enkelte steder kan gi en positiv effekt for biologisk mangfold. Inngrep i rike skogtyper, truede vegetasjonstyper eller områder med mange rødlistede arter er et tiltak som vil gi betydelige negative konsekvenser for biologisk mangfold. Dette gjelder også økt avvirking i nye områder som til nå er relativt urørt. Dette er en problemstilling det er viktig å være oppmerksom på når en skal øke produksjonen av bioenergi, blant annet til pyrolyseolje (Framstad m.fl., 2007).

### 3 Kompatibilitet med marine motorer

Rå uprossert pyrolyseolje er svært forskjellig fra konvensjonelt fossilt marint drivstoff. Dette gjør at det finnes store utfordringer ved bruk på marine motorer. Vi vil i dette kapitlet se på hva som er de største utfordringene og hva som kan gjøres for å likevel benytte pyrolyseolje som marint drivstoff.

Det er stor variasjon i størrelse og type av marint motorutstyr. Det er to hovedtyper av dieselmotorer som benyttes som hoved- og tilleggsmotor i skip: lavhastighets to-taktsmotorer og mediumhastighets fire-taktsmotorer. Lavhastighets to-taktsmotorer driver som regel propellakselen direkte mens mediumhastighetsmotorer kan drive akselen gjennom et gir eller via en generator/elektrisk motor (Diesel-elektrisk drift).

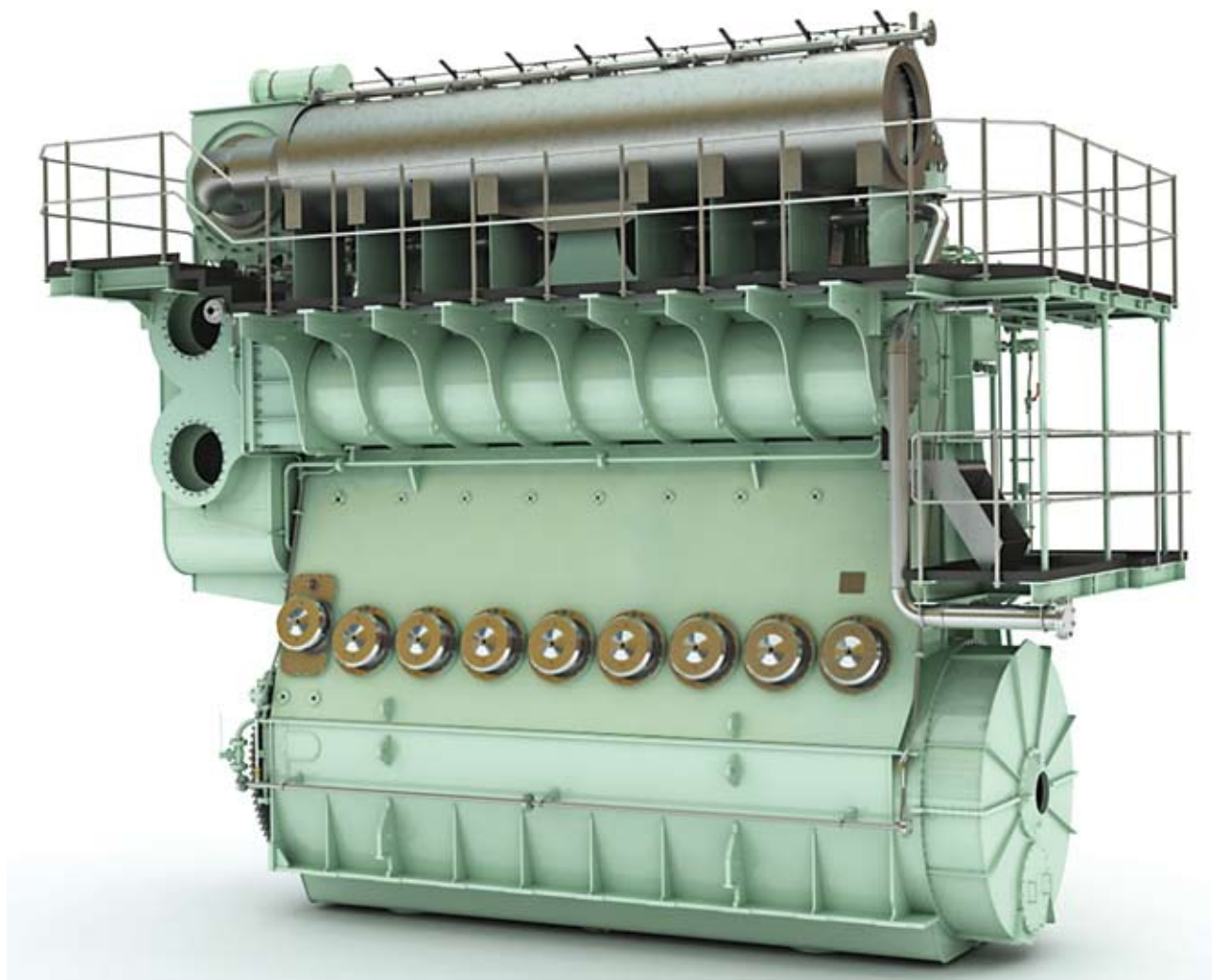
Store dieselmotorer som skipsmotorer er generelt svært drivstoffleksible, både lavhastighets og medi-

umhastighetsmotorer kan operere på lavkvalitetsdrivstoff som tungolje. Når det er sagt så er pyrolyseolje et drivstoff som skiller seg ganske mye fra dagens konvensjonelle drivstoff. Det er store utfordringer knyttet til å bruke pyrolyseolje på motorer. I hovedtrekk er det oksygeninnholdet, det høye vanninnholdet i pyrolyseoljen, sammen med høyt syrenivå, som skaper de største utfordringene. Under følger en gjennomgang av de viktigste utfordringene med å benytte rå pyrolyseolje på motorer:

#### 3.1 Utfordringer ved bruk av pyrolyseolje på skip

##### Oksygeninnhold

For effektivforbrenning av pyrolyseolje i motorer er det høye oksygeninnholdet i pyrolyseolje utfordrende. Forskjellen i oksygeninnhold danner hovedforskjellen mellom fossile drivstoff og pyrolyseolje. Det høye oksygeninnholdet fører til ca. 50 % lavere energitetthet i pyrolyseolje enn i vanlig olje. Men enda viktigere er det at det høye oksygeninnholdet fører til



Figur 16: MAN Diesel lavhastighets skipsmotor (MAN Diesel, 2010)

at pyrolyseoljen er svært ustabil (Zhang m.fl., 2007), (A. V. Bridgewater, 2004).

### **Syrenivå**

Syrenivået i pyrolyseolje (pH 2-3) er en stor utfordring for motorer. Surhetsgraden gjør pyrolyseolje meget etsende og dette er spesielt alvorlig ved høye temperaturer. Syrenivået stiller strenge krav til materialer brukt i motorer og infrastruktur. Vanlige motormaterialer som aluminium og karbonstål kan ikke benyttes i direkte kontakt med pyrolyseolje. Rustfritt stål vil normalt kunne anvendes (A. V. Bridgewater, 2004).

### **Høyt vanninnhold**

Tilstedeværelsen av vann senker brennverdi og flammetemperatur til pyrolyseoljen. Samtidig reduserer vann viskositeten og gir bedre flyteegenskaper, noe som er bra for atomiseringen og forbrenningen av pyrolyseolje i motoren. Vann i pyrolyseoljen bidrar også til lavere NO<sub>x</sub>-utslipp (A. V. Bridgewater, 2004).

### **Lav energitetthet**

Den lave energitettheten som skyldes vann og det høye oksygeninnholdet har innvirkning på design av motorsystemer og spesifikasjoner på motorer. Hele motorsystemet må klargjøres for en større strøm av drivstoff. Sammen med vanninnholdet spiller også den lave energitettheten inn som et problem ved tenning av motoren (A. V. Bridgewater, 2004).

### **Partikler og aske**

Kullpartikler og oppløste alkaliemetaller i biooljen er problematisk. De oppløste metallene skiller ut som oksyder og karbonater når oljen forbrennes. Natrium, kalium og vanadium kan skape korrosjon og avsetninger i motoren, mens kalsium også skaper avsetninger. Disse avsetningene kan skape driftsproblemer for motoren, spesielt knyttet tilinjeksjonspumpe og dyser (Zhang m.fl., 2007).

### **Aldring**

Pyrolyseolje inneholder en rekke umettede forbindelser. Disse vil delvis polymerisere over tid ved lagring. Bruk av pyrolyseolje bør skje innen noen måneder etter produksjon. Den kjemiske komposisjonen av pyrolyseolje er kompleks og varierende, avhengig av råstoff og produksjonsmåte.

## **3.2 Erfaringer**

Så langt ZERO kjenner til har ingen testet ut bruk av pyrolyseolje til skip, så erfaringer som refereres til er hentet fra tester på stasjonære motorer. Ettersom marine motorsystemer kan ha noen særtrekk, er ikke alle disse testene direkte overførbare, men mye er likt og kan også benyttes som erfaringer til marine mot-

orsystemer.

Siden pyrolyseolje ikke er et standardisert produkt og pyrolyseolje varierer med produksjonsmåte og råstoff, er det brukt en stor variasjon av pyrolyseolje i testene. Dette fører til stor variasjon i testresultater.

### **MIT, USA**

Forskere ved MIT har testet forbrenningsegenskapene til pyrolyseolje ved å bruke en 0,45 l Ricardo ensylindret dieselmotor med direkte innsprøytning som opererer på kompresjonsforhold mellom 19,8 og 2400 rpm. Den termiske effektiviteten til forbrenningen var tilsynelatende tilsvarende den for vanlig diesel. Pyrolyseoljen ble opplyst å trenge luftforvarming til omtrent 55 °C for antenning, men motoren fungerte fint selv med en viss tenningsforsinkelse. Filtrert pyrolyseolje viste forbedrede forbrenningsegenskaper (mindre tenningsforsinkelse, kortere forbrenningstid, mindre koksing) trolig på grunn av lavere molekylær vekt og lavere vanninnhold (A. V. Bridgewater, 2004).

### **VTT Energy**

I 1993 testet VTT Energy pyrolyseolje på en høyhastighets ensylindret motor (Maksimal effekt 4,8 kW), men de klarte ikke oppnå autoantenning. Det var også problemer med koksformasjon som førte til tetting av innsprøytningsdyser. CO, NO<sub>x</sub> og hydrokarbonutslipp var tilsvarende de for diesel. De største identifiserte problemene med bruken av pyrolyseolje i motoren var å få innstilt injeksjonssystemet (grunnet stor variasjon i komposisjonen av pyrolyseolje), slitasje, korrosjon av komponenter i injeksjonssystemet og pumpesystemet og høye CO-utslipp. Ifølge en studie av Bridgewater er disse problemene mulig å løse med forbedring av pyrolyseoljeprosessen og investering av bedre materialer i injeksjonssystemet (A. V. Bridgewater, 2004).

### **Universitet i Kansas, USA**

Ved universitet i Kansas har det blitt gjennomført tester med pyrolyseolje på en luftkjølt Lister-Pettermotor. De fant ut at filtrert pyrolyseolje hadde samme antenningsforsinkelse som diesel med cetantall 27. Testene var utført på en blanding av pyrolyseolje, metanol og et cetanøkende middel og viste at ytelsen var tilsvarende som for en dieseloilje. Studien fra testene konkluderer med at bruk av ren pyrolyseolje bør begrenses til lavhastighetsmotorer med høyt kompresjonsforhold, men at blandinger av metanol og pyrolyseolje kan benyttes på høyhastighetsmotorer (A. V. Bridgewater, 2004).

### **Ormrod Diesel**

Ormrod Diesel har samlet mer enn 400 timers drift på en modifisert dual-fuel lavhastighets dieselmotor. Tre

sylindre av den sekssylindrede 250 kW's motoren har blitt endret til å kjøre på pyrolyseolje med oppstart på fossil diesel for å initiere forbrenning. På alle utslipp så nær som CO var det nedgang ved bruk av pyrolyseolje. Motoren har også vært drevet utelukkende av pyrolyseolje ved å skru av tilgangen på diesel på de tre umodifiserte sylindrene. Minimumsbidrag av fossil diesel for å oppnå tilfredsstillende forbrenning var 5 % på energibasis (A. V. Bridgewater, 2004).

### **Pasquali Macchine Agricole, Italia**

Ved Pasquali Macchine Agricole i Italia har det vært gjennomført en rekke tester på emulsjoner av pyrolyseolje i diesel på en 6,25 kW ensylindret motor (Lombardini 6LD400) ved bruk av pyrolyseolje på dieselmotorer. De var i stand til å kjøre motoren med emulsjoner med opptil 50 % av bioolje. De største problemene var avsetninger og erosjon av innsprøytningssystemene (A. V. Bridgewater, 2004).

### **Wärtsilä**

Motorleverandøren Wärtsilä gjorde tester på pyrolyseolje på 1990-tallet, men opplevde store problemer med oljen. Blant annet merket de problemer med høyt syrenivå/korrosjon, høyt vanninnhold, høyt sedimentinnhold og tjære som blokkerte filtre. Alle disse problemene kombinert gjorde at Wärtsilä valgte å ikke inkludere pyrolyseolje i deres strategi for diesel-drivstoff. Wärtsilä ser i stedet på pyrolyseolje som et mulig brensel for kjeler. Likevel kan utviklingen i følge Wärtsilä på produksjon av pyrolyseolje de siste årene ha ført til bedre kvalitet på drivstoffet (Juoperi, 2009).

## 4 Økonomiske vurderinger ved produksjon og bruk av pyrolyseolje

I dette kapitlet vil vi presentere kostnader og konkurransekraft til pyrolyseolje ved produksjon på industrianlegg, med kjøp av virke.

### 4.1 Priser på konvensjonelle marine drivstoff

Som sammenligningsgrunnlag presenterer vi først priser på konvensjonelle marine drivstoff.

Spotpris for bunkersolje 380 Cst var 26. januar 2010 på 442 USD/tonn eller 0,22 NOK/kWh på energibasis (Dagens Næringsliv, 2010). Prisene for bunkersolje i det norske markedet er høyere, siden det her også er svovelavgift og CO<sub>2</sub>-avgift. Ved en gjennomgang ser vi at listepriisen for bunkersolje (IF180 – IF380) hos en leverandør i samme tidsrom ligger på 0,65 NOK/kWh for norsk innenrikssjøtransport (Statoil, 2010). Ved inngåelse av kontrakter er det nok mulig å forhandle ned denne prisen.

For marine gassoljer (MGO), rene destillater, er det generelt et høyere prisnivå. Spotprisen var 26. januar 2010 på 585,3 USD/tonn eller 0,29 NOK/kWh (Dagens Næringsliv, 2010). Prisene i det norske markedet med avgifter er, som for bunkersoljen, en del høyere, men på grunn av blant annet lavere svovelnivå betales noe mindre avgift. Prisen for MGO på samme tid var 0,65 NOK/kWh (Statoil, 2010), altså lik pris som for bunkersoljen. Dette varierer over tid. Dette skyldes blant annet lavere svovelavgift og at volumomsetnin-

gen av MGO er høyere enn omsetningen av bunkersolje.

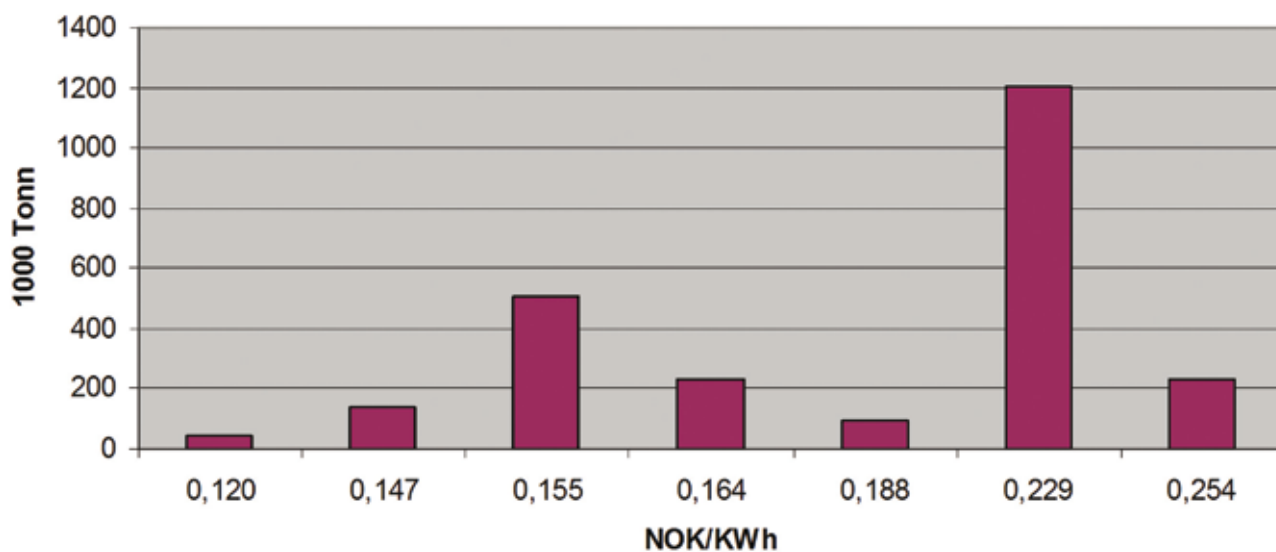
### 4.2 Produksjonskostnader ved industrielt anlegg

Kostnadene ved produksjon av pyrolyseolje varierer både med nærhet til biomasseressursene og avstand til kunden, men aller mest med kostnaden på biomassen som benyttes i prosessen. Bradley (2006) har gjennomgått alle planer for pyrolyseoljeproduksjon i Canada frem til 2012 og på bakgrunn av dette laget en oversikt over produksjonskostnader. Oversikten er gjengitt i figur 14 og viser stor variasjon i produksjonskostnader ut fra nærheten til og typen av råstoff. Produksjonskostnaden som er beregnet ligger i området 0,12 – 0,25 Nok/kWh for anlegg med kapasitet mindre enn 200 t/dag. Tallene inkluderer ikke frakt-kostnader og eventuelle avgifter.

Dynamotive oppgir at deres egen produksjonskostnad for pyrolyseolje ligger på 0,59 USD/Gallon noe som med kurs av 9. april 2010 tilsvarer 0,17 NOK/kWh (Radlein & Bouchard, 2009).

Tilgangen på råstoff til lav pris i Norge er forholdsvis god, men det kan komme til å bli økende etterspørsel etter denne type råstoff. Det er også stor variasjon i totalkostnaden for uttak og transport av GROT. Langerud et. al anslår at denne kostnaden ligger på mellom 0,079 – 0,261 NOK/kWh. Dette tilsvarer en pris på om lag 350 – 1200 NOK/BDT.

Produksjonskostnader i Norge vil, som i Canada, variere stort og avhenge av hvilken biomasse som benyttes. Prisen på norsk skogsvirke av mindre god



Figur 17: Fordeling av produksjonskostnad for planlagt pyrolyseoljeproduksjon (200 tpd) i Canada (Bradley, 2006)

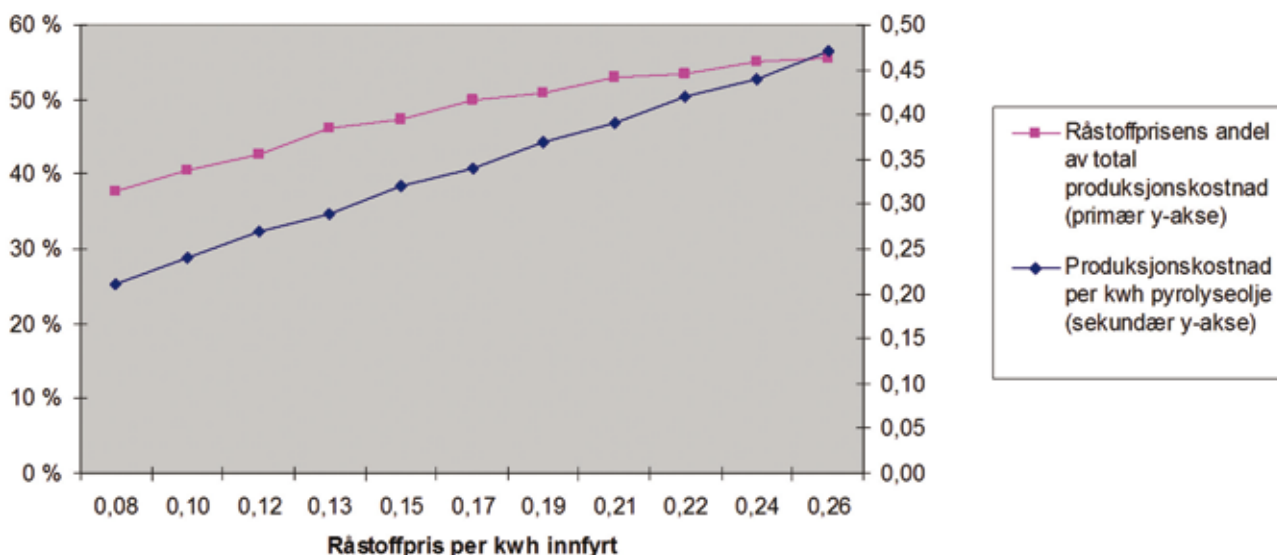
kvalitet er rundt 200 kr/fm<sup>3</sup> hvilket vil gi en energi-innsatsfaktorkostnad på omtrent 0,10 NOK/kWh eller om lag 450 NOK/BDT (Storø & Sand, 2008). Dette er en del høyere enn for canadiske forhold (ca. 0,045 NOK/kWh). Det er sannsynlig at restvirke (skogsavfall og halm) vil kunne være billigere. Råstoffprisen utgjør omtrent 1/3 – 1/2 av utgiftene til produksjon av pyrolyseolje, mens resten knytter seg til vedlikehold, driftsutgifter og avskrivningsutgifter avhengig av størrelsen på anlegget og type teknologi (Kingston, 2009). For beregning av kalkylene er det ikke tatt med avanse, så dette er rene produksjonskostnader og ved videresalg vil det forekomme et prispåslag.

Basert på gjennomsnittlig pris på GROT vil norsk-

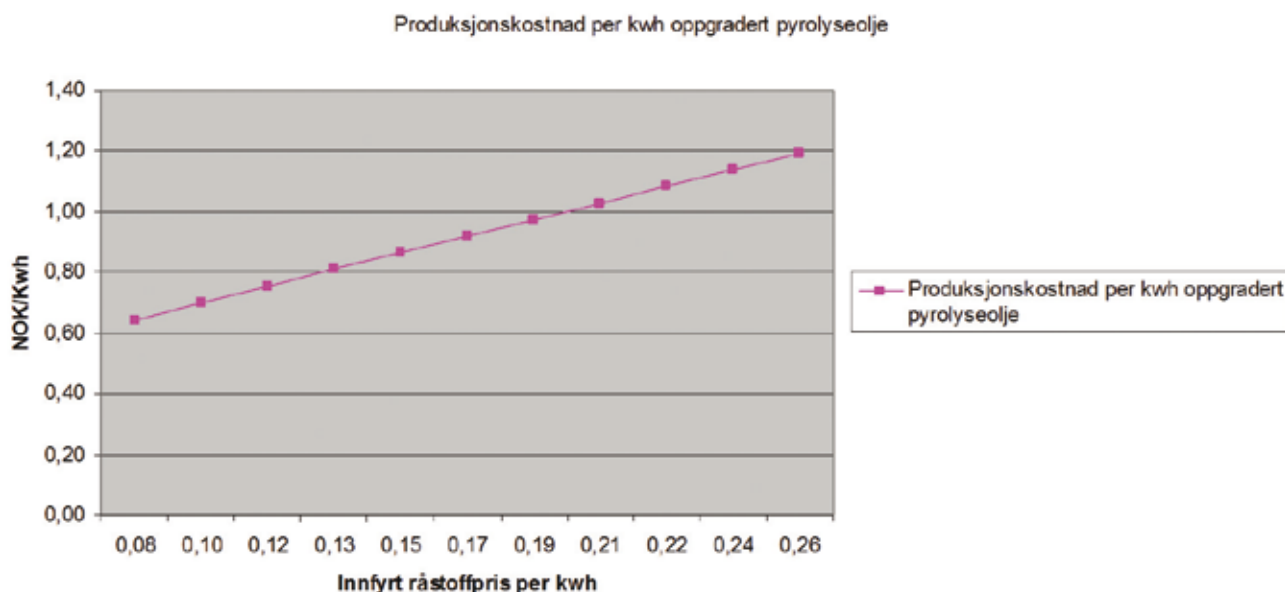
produsert rå pyrolyseolje kunne produseres til 0,34 NOK/kWh. Prisen er beregnet ut fra informasjon om et anlegg dimensjonert til 200 tpd og med et råstoffbehov på om lag 154 400 fm<sup>3</sup> (301 GWh) råstoffbehov. Kapitalkostnader, og vedlikeholdskostnader m.m., er innhentet fra en canadisk teknologileverandør (Radlein & Bouchard, 2009). Råstoffpris (GROT-uttakspris) er beregnet fra Langerud et. al. (Langerud m.fl., 2007). I anslaget er det beregnet at man får solgt trekull og det kommer som fratrukk i produksjonskostnaden. I figur 18 ser vi hvor stor innvirkning økt råstoffpris har for den totale produksjonskostnaden.

For utnyttelse til transportdrivstoff må pyrolyseoljen oppgraderes, og det finnes som vi har nevnt mange

### Pyrolyseanlegg (200 tpd) produksjonskostnader i NOK



Figur 18: Råstoffprisens innvirkning på total anleggskostnad (NOK/kWh på råstoff og produkt)



Figur 19: Produksjonskostnad for oppgradert pyrolyseolje basert på økende råstoffpris

mulige prosesser for dette og kostnadene er knyttet til teknologivalg. Vi har hentet inn kostnadsdata fra en leverandør og lager et estimat basert på det. Teknologien for denne oppgraderingen er presentert i 3.3 og er ikke så vidt ZERO kjenner til prøvd ut i stor skala, så følgende produksjonskostnadsestimat er basert på antagelser. Total produksjonskostnad basert på en gjennomsnittlig råstoffpris kan da anslås til 0,92 NOK/kWh. I figur 19 ser vi utviklingen av produksjonskostnaden med økende råstoffpris. Det er også verdt å bemerke seg at dette produksjonsestimatet forutsetter maksimal produksjon på et 200 tpd per anlegg.

Sammenligner vi med de marine drivstoffene som tilbys i dagens marked, ser vi at produksjonskostnaden for fullt oppgradert pyrolyseolje i vårt estimat i beste fall kommer ut på 0,64 NOK/kWh. Dette er bare så vidt under markedsprisen 0,65 NOK/kWh for MGO, og det er før det er beregnet noe avanse. I tillegg er det viktig å bemerke at den beregnede pyrolyseoljeprisen er basert på antagelser, blant annet hydrogenpris, arbeidskraft, vedlikehold, og rente.

#### **4.3 Markedspris**

Ifølge Bradley (2006) kan pyrolyseolje leveres fra verdensmarkedet til det europeiske markedet med store tankskip fra Canada til et prisnivå på 0,15 – 0,24 NOK/kWh. Om små tankskip benyttes, vil prisnivået være 0,20 – 0,33 NOK/kWh (Bradley, 2006). Bradley viser her til uprosessert pyrolyseolje som må gjennomgå oppgradering før bruk på skip.

#### **4.4 Prissammenligning av biodiesel og pyrolyseolje**

Bruk av biodiesel krever i utgangspunktet mindre justeringer på fyringsanlegg enn ved bruk av pyrolyseolje. Større industrianlegg kan konvertere til bruk av biodiesel uten større modifikasjoner og kostnader, mens kostnader på flere hundre tusen kroner må påregnes ved bruk av pyrolyseolje.

Markedsprisen på biodiesel anslås til 0,59 NOK/kWh. Markedsprisen på pyrolyseolje er altså til sammenligning 0,15 – 0,33 NOK/kWh (Dagens Næringsliv, 2010). Det er omtrent samme, eller lavere, pris enn estimatet på oppgradert pyrolyseolje. Dersom uprosessert pyrolyseolje kan brukes direkte, vil prisen på det være under det halve av biodieselpriisen.

## 5 Case-studie med mobile pyrolyseanlegg

En av de potensielt store fordelene med pyrolyseolje er mulighetene til å komprimere energitettheten før slik at kostnadene og utfordringene knyttet til transport og infrastruktur minskes. Tradisjonelt har kostnaden for transport av restprodukter fra skogdrift så som GROT ført til at ressursen i liten grad har blitt tatt i bruk. Mobile pyrolyseringsanlegg for uttak av bioenergi i en mer komprimert form kan være en mulighet for betydelig reduserte kostnader for transport.

Det finnes enkelte deler av landet der taubaner benyttes for uttak av tømmer. Her samles GROT opp på uttaksplassen. Per i dag er det begrensede muligheter for å benytte denne ressursen. Disse områdene kan være spesielt godt tilpasset for mobile pyrolyseanlegg.

### 5.1 Mobile pyrolyseanlegg

Et mobilt pyrolyseringsanlegg er en komprimert versjon av tilsvarende industrieanlegg. Fordelen er at anleggene kan flyttes med hogstfeltene og dermed lage pyrolyseolje lokalt. Det vil redusere volumet og øke energitettheten til restskogvirke betraktelig. Mobile anlegg finnes i varierende størrelser. Størrelsen avgjør hvor mobile anleggene er: noen legger opp til hyppig flytting, andre anlegg er mer tilpasset et og to flytt i løpet av et år. I figur 20 ser vi Agri-Therms anlegg som er et lite og veldig mobilt anlegg som kan flyttes hyppig. Dette anlegget mates manuelt og opereres av én person.



Figur 20: Eksempel på et mobilt pyrolyseringsanlegg (Agri-Therm, 2009)

Selv om det for tiden skjer en utvikling på området, er fortsatt ikke mobile pyrolyseringsanlegg tilgjengelig i

stor skala. Anleggene finnes å få kjøpt stort sett som demonstrasjonsanlegg for forskningsformål.

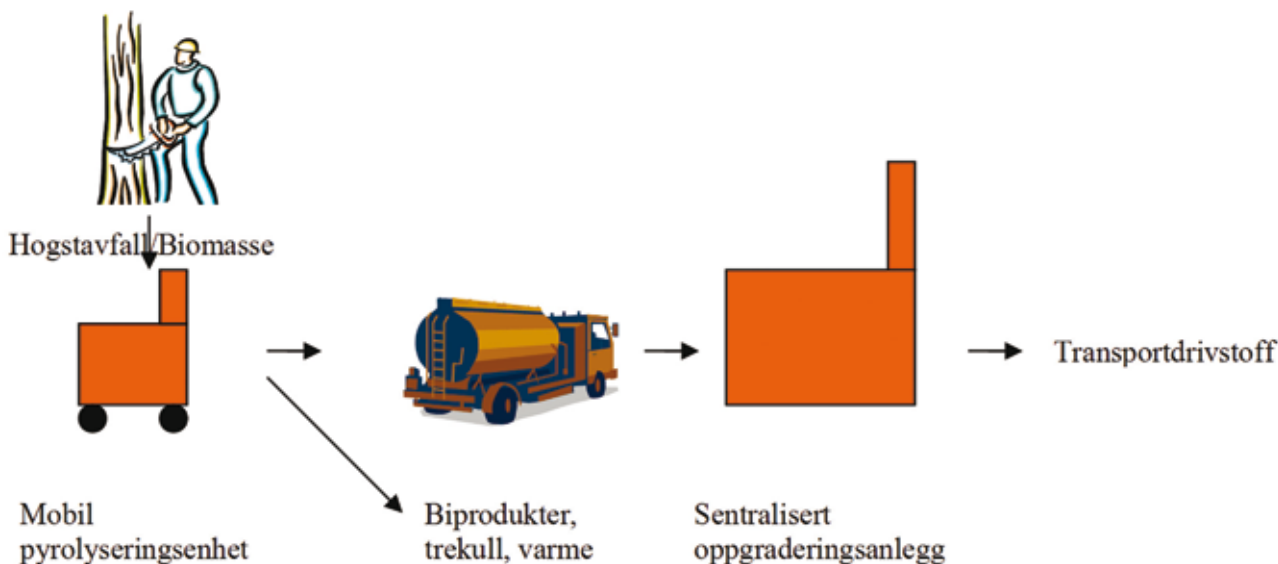
### 5.2 Verdikjede med lokal produksjon av rå pyrolyseolje

Ideen om at pyrolysing skal skje nært hogstfeltene i stedet for på sentraliserte anlegg legger grunnlaget for en ny verdikjede for pyrolyseoljeuttak. Vi har gjennomgått momentene og innhentet informasjon om hvert enkelt ledd i prosessen. Dette arbeidet må sees på som et innledningsvis forsøk på å konkretisere ideen. Markedet er fortsatt for umodent til at gode økonomiske kalkyler kan legges frem, spesielt for norske særforhold. Det meste av tall på kostnader til utstyr er innhentet fra Canada.

I figur 21 ser vi et eksempel på hvordan en verdikjede skogsavfall med lokal produksjon av pyrolyseolje kan foregå. På desentraliserte hogstfelt eller eventuelle oppsamlingsplasser, hvor det er mulig å komme til med tankbiler, kan de mobile pyrolyseanleggene lokaliseres. Hogstområder med taubaner er et eksempel på en slik lokalitet hvor større mengder skogsavfall samles og per i dag ikke utnyttes. På disse lokalitetene hvor skogsavfall er samlet må biomassen kappes i små biter. Størrelsen kan variere avhengig av type pyrolyseringsanlegg men Badger et al. anbefaler ca. 1,5 – 3 mm størrelse på biomassen (Badger & Fransham, 2006). Etter pyrolysingen mellomlagres biooljen i oppbevaringstanker på stedet, så transporteres pyrolyseoljen til et sentralisert anlegg, mens biproduktene kan utnyttes i varierende grad. Biproduktet trekull har kommersiell verdi, og kan eventuelt også tilbakeføres til skogen. Det er usikkert om det finnes noen mulighet til å benytte restvarmen fra prosessen i slike desentraliserte anlegg; det kan tenkes at varmen kan benyttes til tørking av virke.

Den rå pyrolyseoljen er omtrent 6 – 7 ganger mer energitett enn treflis og gir et tilsvarende redusert transportbehov.

Ved ankomst til det sentraliserte anlegget vil pyrolyseoljen gjennomgå nødvendig oppgradering for å kunne oppnå transportdrivstoffkvalitet. Vi har tatt utgangspunkt i at oppgraderingsanlegget vil dimensjoneres til å kunne behandle olje fra produksjonen til 5-6 mobile anlegg. ZERO har vært i kontakt med en leverandør for et slikt oppgraderingsanlegg for å undersøke økonomiske forhold og kvaliteten til ferdig produkt. I denne prosessen brukes hydrogen for å fjerne oksygenet slik vi har presentert i 2.4. Produktet er klart til levering for bruk som transportdrivstoff.



Figur 21: Verdikjede med mobile pyrolyseringsanlegg til ferdig transportdrivstoff

### 5.2.1 Utfordringer

Slik lokal produksjon av rå pyrolyseolje kan møte praktiske utfordringer som har potensial til å stoppe prosjektet. Slike faktorer er blant annet råstofftilgang, vektbegrensninger og kvalitet på skogsbilveier samt kvaliteten på råstoffet.

### 5.2.2 Skogsbilveier

Transport av mobil produksjonsenhet og av pyrolyseolje setter krav til standard på skogsbilveiene. Agri-Therms mobile anlegg får plass på en trailer og er 8 meter langt og 2,4 meter bredt (Briens m.fl., 2009). Både pyrolyseanlegg og tankbiler bør i alle fall dimensjoneres for å kunne kjøre på skogsbilveiklasse 3. Veiklasse 3 er standarden for skogsbilveier med moderat til lavt trafikkgrunnlag. Veien skal kunne trafikkeres hele året, unntatt i teleløsningsperioden og i perioder med spesielt mye nedbør. Veibredden skal være minimum 4,0 meter.

### 5.2.3 Krav til råstoffkvalitet

I utgangspunktet kan alt biologisk materiale benyttes. Mobile pyrolyseringsanlegg kan benytte skogsavfall, inkludert nåler og bark. Fuktinnholdet bør likevel forsøkes å holdes lavt, på rundt 15 %. Anlegget har en installert tørkeprosess som reduserer fuktinnholdet, så råstoffet som brukes bør ha et fuktinnhold på maksimum 30 % (Badger & Fransham, 2006). I den økonomiske modellen som presenteres er det tatt med kostnader til tørking (Page-Dumroese, 2009). Dette er såpass lavt at det kan være et krav som kan vise seg vanskelig å oppnå utendørs uten industriell tørking. Det er overskuddsenergi i prosessen, noe som muligens kan benyttes til å tørke virket før innmating.

### 5.2.4 Råstoffstørrelse

Et annet viktig punkt er krav til fint oppmalt/opp hugd råstoff. Biomassen må kappes opp i små biter. Diameteren må være 1,5 – 3 mm, men størrelsen kan variere avhengig av type på pyrolyseringsanlegg (Badger & Fransham, 2006).

## 5.3 Økonomisk kalkyle

Det er antatt at seks mobile pyrolyseringsanlegg tilfører nødvendig mengde pyrolyseolje til et sentralisert oppgraderingsanlegg. Det totale råstoffbehovet er ca. 36393 BDT (223 GWh) Mobile pyrolyseringsanlegg vil ha en noe lavere energieffektivitet enn et stort pyrolyseringsanlegg, og i tillegg er det tatt høyde for en noe lavere utnyttelsesgrad av det produserte trekullet. Pris for behandling av GROT er tatt med i beregningen, men det er ikke lagt på noe kostnad på råstoff utover det. Det er i beregningene kalkulert med et inkludert matesystem til flishuggeren og til anlegget. Beregninger viser at rå pyrolyseolje kan produseres til 0,24 NOK/kWh. De viktigste kostnadene er kapitalkostnad og arbeidskostnad. Det er i regnestykket antatt at det kjøpes inn transportbiler for ferdig pyrolyseolje, men dette er mulig at like gjerne kan leies inn. Det er ikke undersøkt kostnader for kjøp kontra leie for slik transport.

ZERO har innehentet disse økonomiske beregningene fra en canadisk leverandør (Page-Dumroese, 2009). ZERO har fått innspill om at kapitalkostnadene i dette regnestykket synes være noe lave. Grunnet til at det for tiden ikke finnes kommersielle anlegg tilgjengelig, er det vanskelig å etterprøve dette. Derfor blir det opp til leseren å vurdere videre og etterprøve tallene.

Etter ankomst til oppgraderingsanlegg er verdikjeden for mobile pyrolyseringsanlegg lik som for det industrielle anlegget. Beregninger viser at pyrolyseolje oppgradert til transportdrivstoff kan produseres for 0,72 NOK/kWh. Sammenligner vi kostnadene ser vi at verdikjeden for mobile anlegg har lavere kostnader knyttet til råstoff (transport og GROT-behandlingskostnader) men høyere kapitalkostnader og arbeidskostnader.

### 5.3.1 Krav til mengde råstoff

Det er viktig at det mobile pyrolyseringsanlegget utnyttes maksimalt gjennom året. Driftstiden for maksimalproduksjon er i Canada satt til 329 dager i året med 12 timers drift. Av hensyn til sannsynlig driftstid i Norge, ikke drift i ferier og helligdager, er driftstiden satt til 280 dager og det vil gi en utnyttelse på 0,85.

Om anlegget hadde gått med full årsproduksjon av bioolje, ville det måtte vært tilgang på om lag 58 Fm<sup>3</sup> GROT i døgnet. Med lavere produksjon øker produksjonskostnadene på grunn av stabile kapitalkostnader. Med halv kapasitet og produksjon gjennom året vil produksjonskostnaden stige til 0,36 Nok/kWh.

### 5.3.2 Arbeidskraft

Det mobile pyrolyseanlegget som er lagt til grunn for beregningen er et arbeidsintensivt anlegg. Det er sannsynlig at enkelte konstruksjoner vil komme på markedet som behøver mindre arbeidskapasitet for å behandle. Det ville vært en fordel siden dette er en betydelig del av kostnadene i regnestykket.

Kostnad	Antagelser	Årlig NOK	NOK/ Liter	Nok/ kWh
Direkte produksjonskostnad	Vedlikehold og eks. kost. (4% av kap.kost)	119 927	0,04	0,00
Kapitalkostnad	6 mill per anlegg	2 998 050	0,90	0,15
Rente	8 %	239 844	0,07	0,01
Antatt levetid	10 år			
Utbytte av pyrolyseolje på vektbasis	0,575			
Transport	Sjåfør og drivstoff	282 388	0,08	0,01
Arbeidskostnader	3 ansatte, driftstid 12 timer, 280 dager i året	2 016 000	0,60	0,10
Antall liter produsert for 1 anlegg	3925311			
Salg av trekull 150 USD/tonn	150 USD/tonn	909 218	0,27	0,05
<b>Total kostnad 1 anlegg</b>		<b>3 940 962</b>	<b>1,00</b>	<b>0,17</b>
<b>Total kostnad 6 anlegg</b>		<b>28 481 916</b>	<b>1,42</b>	<b>0,24</b>

Tabell 7: Fordeling av produksjonskostnad for planlagt pyrolyseoljeproduksjon i Canada (Bradley, 2006).

	BDT/år	BDT/dag	Fm <sup>3</sup> /år	Fm <sup>3</sup> /dag	Prod. Kost (NOK/kWh)
Full produksjon	7127,00	21,66	19086,55	58,01	0,21
0,85 produksjon	6065,53	18,44	16243,87	49,37	0,24
Halv produksjon	3563,50	10,83	9543,28	29,01	0,36
1/4 Produksjon	1781,75	5,42	4771,64	14,50	0,67

Tabell 8: Oversikt over produksjonskostnad ved varierende utnyttelse av kapasitet

## 6 Avsluttende bemerkninger

Produksjon av pyrolyseolje basert på biomasse gir interessante muligheter. Studien viser at det er potensial for produksjon av pyrolyseolje i Norge. Det er store biomasseressurser, hvorav blant annet restavfall fra skogsdrift som i dag ikke utnyttes. Pyrolyseoljeproduksjon gir en ny mulighet for utnyttelse av skogsressurser til bioenergiformål.

Som marint drivstoff kan ikke pyrolyseolje benyttes uten oppgradering enten på drivstoff eller fartøy. Pyrolyseoljeteknologi har gjort framskritt de siste årene. Flere teknologiselskap finnes i dag med teknologi som kan produsere pyrolyseolje til en kvalitet som er tilfredsstillende for transportformål, de fleste i Canada og EU.

Gjennomgangen av case-studiet om små desentraliserte anlegg for produksjon av bioolje viser ikke vesentlig høyere eller lavere produksjonskostnad. Det kan se ut som om høye kapitalkostnader og arbeidskostnader veier opp fordelene med komprimert transport, men det er vanskelig å gi en klar konklusjon eller anbefaling basert på dagens situasjon med få teknologileverandører på mobile pyrolyseanlegg og lite informasjon og usikkerhet på kostnader.

I tillegg er det et viktig aspekt om det kommer til å bli et marked for bruk av pyrolyseolje, med de praktiske utfordringene som er med dette drivstoffet, om brukerne vil være villige til å ta de ekstra utfordringene det gir for de besparelsene som det kan gi.

De store usikkerhetene i kostnadsanslagene gjør at resultatene i studien må oppfattes mer som indikasjoner på interessante muligheter, og ikke egnet for å trekke noen endelige konklusjoner. Men produksjonskostnadene som er funnet er såpass lave at det bør være interessant med videre utredninger og forskning på desentraliserte pyrolyseoljeproduksjon.

ZERO anbefaler at mulighetene for desentralisert pyrolyseoljeproduksjon basert på GROT og andre biomasseråstoff utredes videre. Spesielt anbefales det å se nærmere på andre anvendelsesområder for pyrolyseolje, blant annet som fyringsolje i industri der mulighetene for bruk av lavere kvalitets bioolje er tilstede.

## 7 Referanseliste

- ABRI, 2009. ABRI - Advanced Biorefinery Inc. Available at: <http://www.advbiorefineryinc.ca/home/> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- Agri-Therm, 2009. Agri-Therm: a biomass products business in London, Ontario. Available at: <http://www.agri-therm.com/index.htm> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- Badger, P.C. & Fransham, P., 2006. Use of mobile fast pyrolysis plants to densify biomass and reduce biomass handling costs - a preliminary assessment. *Biomass and bioenergy*, 30, 321 - 325.
- Berntsen, T. m.fl, 2007. To what extent can a long-term temperature target guide near-term climate change commitments? *Climate Change*, 82 (3-4), 373-391.
- Biofuelsdigest, 2010. 10 Biofuels Predictions for 2010. Available at: <http://www.biofuelsdigest.com/blog2/2010/01/01/10-biofuels-predictions-for-2010-2-long-range-marine-biofuelsgreen-port-deals-among-fastest-growing-demand-segments/> [Aksessert Januar 12, 2010].
- Blin, J. m.fl, 2007. *Biodegradability of Pyrolysis Oil*, Available at: <http://www.scribd.com/doc/18452191/Biodegradability-of-Pyrolysis-Oil> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- BlueLeaf, 2009. *Preliminary Evaluation of Biochar in a Commercial Farming Operation in Canada*, Available at: [Aksessert Januar 20, 2010].
- Bradley, D., 2006. *European market study for BioOil (pyrolysis oil)*, Available at: <http://www.bioenergytrade.org/downloads/bradleyeuropeanbiooilmarketstudyfinaldec15.pdf> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- Bridgewater, A.V., 2004. Biomass fast pyrolysis. *Thermal Science*, 8(2), 21-49.
- Briens, C., Berruti, F. & Ferrante, L., 2009. A mobile pyrolyzer for the conversion of biomass into Bio-Oil. Available at: [http://www.agri-therm.com/TCBio-mass2009\\_Pyrolysis\\_CBriens.pdf](http://www.agri-therm.com/TCBio-mass2009_Pyrolysis_CBriens.pdf) [Aksessert Mars 8, 2010].
- BTG-BTL, 2009. History - BTG-BTL biomass-to-liquid. Available at: <http://www.btg-btl.com/index.php?id=19&rid=9&r=about> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- Cox, P.A. m.fl, 2004. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Springer Wien*, 78 (1-3), 137-156.
- Dagens Næringsliv 26. januar 2010. Spotpris drivstoff.
- Diebold, J.P., 1997. *A review of the toxicity of Biomass pyrolysis liquids formed at low temperatures*, National Renewable Energy Laboratory. Available at: <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/468520-tjVxeb/webviewable/468520.pdf> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- Dynamotive, 2009a. Dynamotive BioOil - Information Booklet 2009. Available at: <http://www.dynamotive.com/assets/resources/PIB-BioOil.pdf> [Aksessert November 12, 2009].
- Dynamotive, 2009b. Dynamotive Energy Systems » Corporate History. Available at: [http://www.dynamotive.com/about/corporate\\_history/](http://www.dynamotive.com/about/corporate_history/) [Aksessert Oktober 2, 2009].
- Dynamotive, 2010. Dynamotive fabrikk. Available at: <http://www.vecollective.com/images/sce/Dynamotive%20Guelph1.jpg> [Aksessert April 7, 2010].
- Emrich, W., 1985. *Handbook of charcoal making: the ... - Google Bøker*, Available at: [http://books.google.no/books?id=1jV6RAtu7NoC&dq=handbook+of+charcoal+making&printsec=frontcover&source=bl&ots=FHmD-02Boh&sig=5p2agumPRJ2YRvs2fAejQ-RtKK4&hl=no&ei=iev2SXvCx\\_gGmuzspA8&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=7#v=onepage&q=&f=false](http://books.google.no/books?id=1jV6RAtu7NoC&dq=handbook+of+charcoal+making&printsec=frontcover&source=bl&ots=FHmD-02Boh&sig=5p2agumPRJ2YRvs2fAejQ-RtKK4&hl=no&ei=iev2SXvCx_gGmuzspA8&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7#v=onepage&q=&f=false) [Aksessert Oktober 2, 2009].
- Ensyn, 2009. ENSYN - Fueling the future. Available at: <http://www.ensyn.com/> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- Framstad, E. m.fl, 2007. *Evaluering av skogvernet i Norge*, NINA Norsk institutt for naturforskning. Available at: <http://www.nina.no/archive/nina/Ppp-BasePdf/fagrapport/2002/54.pdf> [Aksessert Mars 9, 2010].
- Garcia-Perez, M., 2008. *The Formation of Polyaromatic Hydrocarbons and Dioxins During Pyrolysis*, Washington State University. Available at: <http://www.pacificbiomass.org/documents/TheFormationOfPolyaromaticHydrocarbonsAndDioxinsDuringPyrolysis.pdf> [Aksessert April 9, 2010].
- Gregory, J.M., Huybrechts, P. & Raper, S.C., 2004. Cli-

- matology: threatened loss of the Greenland ice. *Nature*. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15071587> [Aksessert November 12, 2009].
- Guardian, 2008. True scale of CO2 emissions from shipping revealed. Available at: <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/feb/13/climatechange.pollution> [Aksessert Januar 13, 2010].
- International Biochar Initiative, 2010. Climate Change and Carbon Sequestration | International Biochar Initiative. Available at: <http://www.biochar-international.org/biochar/carbon> [Aksessert Januar 21, 2010].
- Juoperi, K., 2009. Mailveksling med Kai Juoperi, Wärtsilä. Available at: [Aksessert Januar 13, 2010].
- Kingston, A., 2009. Intervju med Andrew Kingston. Available at: <http://www.kvasir.no/nyheter?q=motorpsycho> [Aksessert November 10, 2009].
- Langerud, B. mfl, 2007. Bioenergi i Norge potensialer, markeder og virkemidler. Available at: [http://www.regjeringen.no/Upload/OED/Vedlegg/bioenergistrategien/Bioenergi\\_i\\_Norge\\_potensialer\\_markeder\\_og\\_virkemidler.pdf](http://www.regjeringen.no/Upload/OED/Vedlegg/bioenergistrategien/Bioenergi_i_Norge_potensialer_markeder_og_virkemidler.pdf) [Aksessert Januar 28, 2010].
- Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. Available at: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/FrontiersEcolEnv%205,%20381-387,%202007%20Lehmann.pdf> [Aksessert Januar 21, 2010].
- Mahfud, F.H., 2007. *Exploratory studies on fast pyrolysis oil upgrading*. Available at: <http://dissertations.ub.rug.nl/faculties/science/2007/f.h.mahfud/> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- MAN Diesel, 2010. MAN Diesel SE - MARINE POWER. Available at: [http://www.manbw.com/article\\_000532.html](http://www.manbw.com/article_000532.html) [Aksessert Januar 15, 2010].
- MicroFuel, 2010. Microfuel nettside. Available at: <http://www.micro-fuel.eu/> [Aksessert April 7, 2010].
- Page-Dumroese, D., 2009. Portable in-woods pyrolysis: Using forest biomass to reduce forest fuels, increase soil productivity, and sequester carbon . Available at: [http://209.85.129.132/search?q=cache:pAUYNskDW6UJ:cees.colorado.edu/docs/Page-Dumroese%2520et%2520al\\_Production\\_PaperNABC2009.doc+mobile+pyrolysis+price+of+plant&cd=6&hl=no&ct=clnk&gl=no&client=firefox-a](http://209.85.129.132/search?q=cache:pAUYNskDW6UJ:cees.colorado.edu/docs/Page-Dumroese%2520et%2520al_Production_PaperNABC2009.doc+mobile+pyrolysis+price+of+plant&cd=6&hl=no&ct=clnk&gl=no&client=firefox-a) [Aksessert Januar 26, 2010].
- Radlein, D. & Bouchard, A., 2009. *A preliminary look at the economics of a new biomass conversion process by Dynamotive*. Available at: [Aksessert Mai 7, 2009].
- SSB, 2008. Kildefordelte utslipp til luft. 2007. Available at: <http://www.ssb.no/emner/01/04/10/klimagassn/tab-2009-05-19-03.html> [Aksessert Januar 13, 2010].
- SSB, 2010. Utslipp klimagasser - nasjonale tall. Available at: <http://www.ssb.no/emner/01/04/10/klimagassn/> [Aksessert Mars 8, 2010].
- Statoil, 2010. Statoil | Veiledende utsalgspriser Marinégassolje. Available at: [http://www.statoil.no/FrontS ervlet?s=sdh&state=sdh\\_dynamic&viewid=2130783](http://www.statoil.no/FrontS ervlet?s=sdh&state=sdh_dynamic&viewid=2130783) [Aksessert Januar 26, 2010].
- Storø, H.M. & Sand, R., 2008. Potensialet for et bioraffineri i Trøndelag. Available at: <http://www.tfou.no/upload/Rapport22008.pdf> [Aksessert April 9, 2010].
- Telen.no, 2009. Bygger biooljefabrikk. Available at: <http://www.telen.no/article/20090827/NY-HET01/731610103/1072> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- Xynergo, 2009. Xynergo - sustainable and competitive 2nd generation fuels. Available at: <http://www.xynergo.no/> [Aksessert Oktober 2, 2009].
- ZERO et al., 2007. Veikart for biodrivstoff. Available at: <http://www.zero.no/pdf/Veikart%20for%20biodrivstoff.pdf> [Aksessert November 10, 2009].
- Zhang, Q. mfl, 2007. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conversion and Management*, (48), 87 - 92.

## Vedlegg 1 : Kort gjennomgang av teknologiselskaper

Canada regnes som ledende på utviklingen av pyrolyseoljeteknologi og har også de fremste teknologiselskapene i verden. Under følger en kort gjennomgang av de viktigste teknologiutviklerne.

### Internasjonale teknologiselskap

#### Dynamotive (Canada)

Har utviklet verdens største produksjonsanlegg for pyrolyseolje i Guelph i Ontario. Dette anlegget benytter en "fluidized bed"-teknologi og produserer 200 tonn olje per dag. I tillegg har selskapet bygget et anlegg i West Lorne i Ontario som produserer 100 tonn per dag. Dette anlegget har produsert pyrolyseolje som har drevet en turbin for kraftgenerering. Selskapet har også testet bruk av pyrolyseolje på fyringsanlegg med gode resultater (Dynamotive, 2009b)

#### Ensyn (Canada)

Bruker sin selvutviklede teknologi RTP (Rapid thermal processing) til å pyrolysere biomasse og petroleumprodukter til flytende pyrolyseolje. Selskapet har ikke tidligere rettet seg mot energibransjen, men matindustrien, hvor pyrolyseoljen brukes som smaksetting. Det største anlegget deres, i Renfrew i Ontario, har kapasitet til å prosessere 100 tonn biomasse hver dag (Ensyn 2009). De har nå inngått et samarbeid, Envergent, sammen med UOP Honeywell for å videreutvikle teknologien.

#### Advanced Biorefinery Inc. (Canada)

Jobber med å kommersialisere sin teknologi for å pyrolysere biomasse til bioolje. Selskapet har tidligere blant annet drevet et produksjonsanlegg med produksjonskapasitet på 50 tonn per dag, samt en del mindre anlegg for forskning (ABRI, 2009).

#### Agri-Therm (Canada)

Har utviklet en teknologi som er spesialisert for å ta hand om jordbruksavfall og pyrolysere dette. Har utviklet et mobilt anlegg som kan produsere 10 tonn per dag. Kommersielle anlegg er ikke foreløpig til salgs, men Agri-Therm forventer å komme i gang med salg i løpet av 2009 og i tillegg ekspandere internasjonalt (Agri-Therm, 2009).

#### BTG-BTL (Nederland)

BTG-BTL, tidligere kjent som BTG, har utviklet en pyrolyseoljeteknologi basert på "rotating cone"-teknologi. I 2005 ble et anlegg ferdigstilt i Malaysia med denne teknologien. Dette anlegget kan produsere opptil 2 tonn bioolje i timen. Selskapet AkzoNobel

planlegger å benytte denne teknologien på et nytt anlegg som skal kunne prosessere 5 tonn i timen (BTG-BTL, 2009)

#### Norge

Det er per i dag ingen produsenter av pyrolyseolje i Norge, men det er flere konkrete planer. Norske skogs datterselskap Xynergo har planer om å starte produksjon av pyrolyseolje basert på biomasse og jobber nå med finansiering av et anlegg (Xynergo, 2009). Selskapet X-Waste er inkludert i et EU-prosjekt som utreder mulighetene med mikrobølgeassistert pyrolyseolje. De har planer om å etablere et anlegg for pyrolyseolje basert på avfall fra skogsindustrien (Teleno, 2009).







[www.zero.no](http://www.zero.no)

**ZERO**