

## Bioforsk Rapport

Vol. 7 (112) 2012

# Produksjon av 2. generasjons- biodrivstoff via termokjemiske prosesser

Kunnskapsstatus, kostnader, og potensial for  
klimagassreduksjon i Norge

O'Toole, A. og Grønlund, A.

Bioforsk Jord og Miljø

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





<i>Tittel/Title:</i> Produksjon av 2. generasjons biodrivstoff fra termiske prosesser
<i>Forfatter(e)/Author(s):</i> Adam O'Toole og Arne Grønlund

<i>Dato/Date:</i> August 6, 2012	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i>	<i>Saksnr./Archive No.:</i>
<i>Rapport nr./Report No.:</i> 7(112)	<i>ISBN-nr./ISBN-no:</i> 978-82-17-00965-8	<i>Antall sider/Number of pages:</i> 31	<i>Antall vedlegg/Number of appendices:</i> 0

<i>Oppdragsgiver/Employer:</i> Klima- og forurensings direktorat (Klif)	<i>Kontaktperson/Contact person:</i> Per Fjedahl
--	---

<i>Stikkord/Keywords:</i> Biodrivstoff, biokull, bioolje Biofuels, biochar, biooil	<i>Fagområde/Field of work:</i> Bioenergi Bioenergy
--	---

Godkjent / Approved

Prosjektleder / Project leader

---

Adam O'Toole

# Forord

---

Termisk behandling av biomasse for produksjon av biodrivstoff og biokull antas å være en strategi med stort potensial som klimatiltak. Det er stort behov for kunnskap om kostnader ved slik produksjon og mulighet til utnyttelse av biokull og pyrolyseolje med tanke på størst mulig klimaeffekt. Denne rapporten er finansiert av Klima og forurensningsdirektoratet (Klif) og gir en oppdatering av kunnskapsstatus om lovende termiske prosesser som produserer 2.generasjons biodrivstoff.

## Innhold

1.	Innledning .....	4
2.	Bakgrunn .....	6
2.1	Hvorfor flytende og gas biodrivstoff? .....	6
2.2	Pyrolyse .....	6
2.3	Bruksområde til pyrolyseprodukter .....	7
2.4	Pyrolyseprosesser .....	8
2.4.1	Hurtig pyrolyse .....	8
2.4.2	Mikrobølgepyrolyse (MBP) .....	9
2.4.3	Hydropyrolyse og katalytisk pyrolyse .....	11
2.5	Gassifisering .....	11
2.5.1	Syntetisk diesel - Biomass to Liquids (BTL) .....	13
2.5.2	Syntetisk framstilling av syngas til biometan (BioSNG) .....	14
2.5.3	Case studie: GoBiGas - BioSNG prosjekt i Göteborg .....	15
3.	Verdikjedene: Fra biomasse til drivstoff .....	17
	Scenarier .....	17
3.1	Ledd i verdikjedene .....	17
4.	Råstoffkostnader .....	18
4.1	GROT .....	18
4.1.1	GROT - kostnader fra skog til bioraffeneri .....	18
4.2	Halm .....	19
4.2.1	Halm - Kostnader .....	20
5.	Produksjons kostnader og CO <sub>2</sub> reduksjons potensial .....	21
5.1	Produksjonskostnader for et Mikrobølge pyrolyse anlegg .....	21
5.2	CO <sub>2</sub> for MBP bioolje som erstatning for fossil fyringsolje i industri .....	22
5.3	Co <sub>2</sub> kostnader av syntetisk diesel .....	22
5.4	Sammendrag av kostnader .....	22
6.	Tiltak og virkemidler for økt andre-gen. biodrivstoff fra trevirke .....	25
7.	Andre klimatiltak ved bruk av biokull .....	26
7.1	Biokull som erstatning av koks i prosessindustrien .....	26
7.2	Biokull som metode for lagring av stabilt karbon i jord .....	27
8.	Referanse .....	28

# 1. Innledning

---

Global oppvarming og sikkerhet for framtidig tilgang på olje er blant de viktigste driverne for en innsats mot en reduksjon i forbruket av fossilt drivstoff. Utfordringen er stor fordi verdens transportsystemer og infrastruktur har blitt bygget rundt billig tilgang til fossile ressurser, mens fornybare alternativer fortsatt har høyere pris og er mindre utviklet.

Norge har store skogressurser som til nå har blitt lite utnyttet som bioenergi sammenlignet med nabolandene Finland og Sverige. Skogsressurser kan spille en viktig rolle framover i å hjelpe Norge til å nå sitt mål om å være klimanøytralt innen 2030, som er nevnt i (Klimaforliket, 2008) og den nylig lanserte Klimameldingen (St. Meld. 21).

I transportsektoren, som i hovedsak er basert på forbrenning av fossilt brensel, har det blitt utredet at det er teoretisk mulig å redusere utslippene med opp til 3-4,5 millioner tonn CO<sub>2</sub> (Klif, 2010). Klimakur 2020 har foreslått flere mulige tiltak for å redusere utslippene i transportsektoren. Et av dem er å erstatte av fossilt drivstoff med biodrivstoff.

Å produsere biodrivstoff med tilsvarende kvalitet som fossilt drivstoff er en stor utfordring. Fossilt drivstoff stammer fra biomasse som er sedimentert over millioner år og med hjelp av trykk og varme, er blitt til et brenselprodukt med høy brennverdi (høy H:C og lav O:C). Bioolje fremstilt fra fersk biomasse, har i motsetning, høyere O-innhold og lavere H-innhold og brennverdi. Prosessene for å produsere et høykvalitets biodrivstoff basert på biomasse er derfor en krevende og kompleks oppgave. Bransjen og forskningsfeltet rundt biodrivstoff er i stadig fremmarsj og flere metoder er lovende.

Første generasjons biodrivstoff, basert på oljevekster, mais og sukkerrør fremstilt til biodiesel eller etanol, har kommet lengst kommersielt, men på grunn av konkurranse med produksjon av matvekster har de blitt betraktet som mindre ønskelig på langt sikt.

Det finnes to hovedveier for produksjon av andre generasjons drivstoff:

1. Biokjemisk f.eks. bioetanol
2. Termokjemisk f.eks. syntetisk diesel.

En oppdateringsrapport om andre generasjons biodrivstoff av Eggert et al. (2011) anbefalte FOU fokus på biokjemiske teknologier fordi de mente at det var småmulighet for kostnadsreduksjon i termokjemiske prosesser f. eks. Fischer Tropsch, som har vært i bruk i over 50 år. Vi mener at det finnes flere alternativer blant termokjemiske teknologier som bør vurderes og vil i denne rapporten beskrive alternativer og relaterte kostnader.

Formålet med rapporten er å:

- Beskrive de forskjellige metodene og prosessene innenfor pyrolyse og gassifisering
- Utrede hvordan man kan maksimere produksjon av disse typene biodrivstoff fra termisk behandling av biomasse og hva de kan brukes til
- Estimere kostnader i verdikjeden: Råstoff, produksjon og oppgradering av drivstoff
- Estimere potensial for reduksjon av klimagassutslipp og relaterte kostnader

Utgangspunktet er bruk av norske råvarer med liten alternativ verdi, dvs. skogsavfall (GROT) og halm.

Vi følger verdikjede-scenarier for 3 prosess teknoliger som har enten blitt vurdert eller er i bruk i Norge eller Sverige:

1. Storskala Gassifisering av trevirke til syngas og syntese via Fischer Tropsch for erstatning av diesel i tung kjøretøy
2. Gassifisering og framstilling av Bio-SNG. Dvs. biometan fra gassifisering av trevirke, for erstatning av naturgass og en komplement til biogass produksjon
3. Disktriktsbasert Microbølgepyrolyse for omdanning av biomasse til biolje og evt. oppgradert til biodrivstoff

#### Datagrunnlag

Informasjon og data i denne rapporten er skaffet fra offentlig tilgjengelige kilder, blant annet IPCC rapporter, vitenskapelige artikler, nettsider, og åpne offentlige norske rapporter. I tillegg har mer detaljert informasjon blir innhentet fra bedrifter innenfor bransjen som har gitt tillatelse for publisering av informasjon.

## 2. Bakgrunn

### 2.1 Hvorfor flytende og gas biodrivstoff?

Fly, buss, lastebil, og skip kjører langt og krever mye energi som kun kjemisk energi kan levere. Derfor er utvikling av 2. gen. flytende og gassbasert biodrivstoff nødvendig om samfunnet vil erstatte fossile drivstoff forbruk i transport sektøren. Strøm som energikilde i transportsektoren har mest anvendelse for små bybiler, tog og trikk. Norge har unike muligheter for å lage miljøvennlig hydrokarbondrivstoff med utgangspunkt i store karbonressurser i skogen, hvor H<sub>2</sub> kan lages ved bruk av fornybar elektrisitet via forskjellige prosesser. Kombinasjon av H og C laget fra biologiske og fornybare ressurser i nye biodrivstoffprodukter kan bli stor industri i Norge i framtiden, så lenge produksjon er økonomisk og utviklingen støttes av myndighetene og private investorer.

### 2.2 Pyrolyse

Pyrolyse er en termisk prosess hvor biomasse er oppvarmet i en reaktor uten eller med begrenset O<sub>2</sub> tilgang. Resultat er en fraksjonering av biomasse i tre deler:

1. Pyrolyse-olje (5-80 %)
2. Syngass (5-40 %)
3. Biokull (20-60 %)

Pyrolyse prosessen kan styres med temperatur og oppholdstid for å få ut mer av en av fraksjonene, f. eks. bioolje (Tabell 1).

Pyrolyseolje er den flytende fraksjonen og består av tjære, tyngre hydrokarboner og vann. Utbyttet av pyrolyseolje er avhengig av teknologi og prosessparametere, blant annet temperatur, oppvarmingstid og -hastighet. Pyrolyseolje har ca. halvparten av brennverdien til fossilt olje, og kan ha høyt O<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>O innhold. Uten oppgradering er ikke pyrolyseolje blandbart med fossil olje.

Syngass består av ikke-kondenserbare gasser, som CO, H<sub>2</sub>, og en mindre del av CH<sub>4</sub> (ca. 3-5%). Mengde av syngasser er avhengig av teknologi og prosessvalg. Ved gassifisering produserer man hovedsakelig syngass, en mindre del biokull og ingen bioolje.

Biokull er den faste fraksjonen fra pyrolyse og består av ca 40-80 % C, avhengig av hvilke råstoff som er brukt. Biokull laget av husdyrgjødsel har for eksempel lavere C innhold enn biokull laget fra rent trevirke (trekull).

Tabell 1. Prosessparameter som styrer utbyttet av ulike pyrolyseprodukter (avledet fra Basu, 2010)

Ønsket maksimert fraksjon	Oppvarmingstid	Oppvarmingshastighet	Temperatur °C
Mest biokull	Sakte (<1 t)	Sakte	400-600
Mest bioolje	Kort (sekunder)	Høy	500-700
Mest syngas	Kort (sekunder)	Høy	800-1200



## 2.3 Bruksområde til pyrolyseprodukter

### Pyrolyseolje:

Uten oppgradering kan pyrolyseolje brukes som erstatning for fyringsolje til industriformål og i fjernvarmeanlegg. Det er lite trolig at den vil bli brukt til strømproduksjon i Norge på grunn av tilgang til billig vannkraft.

### Oppgradering av pyrolyseolje

Med oppgradering kan oksygen fjernes og hydrogen tilsettes slik at oljen kan blandes i et fossilt raffineri. UOP-Honeywell fra USA har en oppgraderingsprosess for pyrolyseolje, hvor hydrokarbonprodukter er skilt ut fra vann, CO<sub>2</sub> og lettere hydrokarbon produkter (Tabell 2)

**Tabell 2. Produkt utbytte fra UOP-Honeywell oppgradering process fra 1L av Pyrolyse olje råstoff**

Råstoff inn	Pyrolyse olje (liter)	1,00
	H <sub>2</sub> (kg)	0,06
Produkter ut	Lettere h.karbon (propan) (liter)	0,21
	Diesel (liter)	0,11
	Naptha (liter)	0,45
	Produkt utbytte	77 %

Kilde: Basert på tall fra UOP, (2007)

Oppgradering av pyrolyseolje via UOP prosessen krever innblanding av H<sub>2</sub> som kan enten produseres internt fra lettere hydrokarboner eller blir laget fra naturgass. Det finnes i Norge ny teknologi for å lage CO<sub>2</sub>-fri H<sub>2</sub> produksjon (Se: Gasplas AS [www.gasplas.com](http://www.gasplas.com)). Hvis biodrivstoff fra skog var kombinert med CO<sub>2</sub> fri-H<sub>2</sub> vil trolig utslippsfri biodrivstoff bli mulig å lage. Universitet i Maine har laget bioolje som er blandbar med fossilt olje (uten behov for H<sub>2</sub> eller katalysator) via en ny prosess som heter Termisk Deoxygenation (TDO). Se Case et al. 2012 for ytterligere informasjon.

### Biokull:

Biokull har flere bruksområde som er relevant for Norge:

1. Som en erstatning av koks i industriprosesser
2. Som et jordforbedringsmiddel og en måte å lagre mer karbon i jord (og dermed redusere atmosfæriske CO<sub>2</sub>). (Se: O'Toole, 2011)

### Syngass

I en gassifiseringsprosess vil syngass være hovedprodukt og kan bli gjort om til biometan (Se s. 12) eller raffineres via Fischer Tropsch prosess for å lage syntetisk biodiesel (Se s.11). Fra en pyrolyseprosess, hvor gassutbytte er mindre, er bruk av syngassen sannsynlig brent opp internt for eks. for å tørke innkommende biomasse, eller drive en gassmotor.

## 2.4 Pyrolyseprosesser

Det er to hovedprosesser for produksjon andre generasjons biodrivstoff som til nå har blitt utredet i storskala i Norge:

- Enzymatisk fremstilling av cellulose, dvs. fermentering av sukker til etanol
- Termokjemisk behandling av biomasse, (pyrolyse eller gassifisering) og deretter flere oppgraderingstrinn til biodrivstoff

I denne rapporten fokuserer vi på termokjemisk behandlingsmetoder som er i bruk i dag for å framstille biomasse til drivstoff. Det finnes også pyrolyseprosesser som hydrotermisk pyrolyse for mer vannholdige råstoffer for eks. slam og tang. For en oversikt over denne metoden og muligheter for biodrivstoffproduksjon henvises til Barth & Kleinert, 2008.

Prosessen fra biomasse til biodrivstoff er kompleks og teknologiavhengig og krever flere behandlingstrinn. En prinsippskisse for prosessen er presentert i Figur 1.

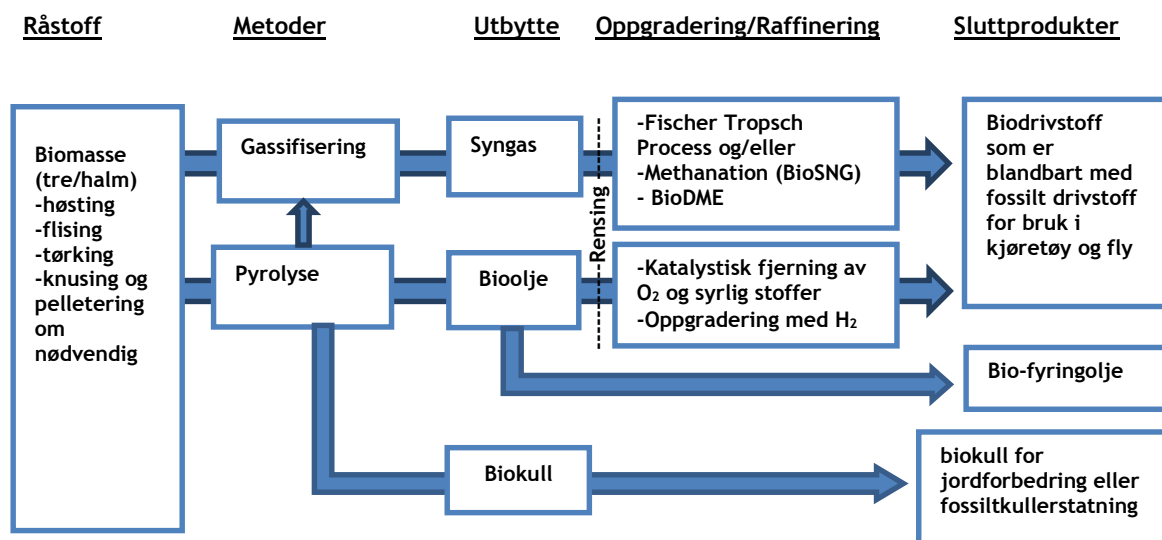


Fig. 1. Flyt-diagram av prosesser for produksjon av biodrivstoff og biokull.

Det finnes flere varianter av pyrolyse som bruker forskjellige teknologier og prosessparametre. De varianter som vi vil se på i denne rapporten er:

- Hurtig (Fast) pyrolyse
- Mikrobølgepyrolyse
- Hydropyrolyse
- Gassifisering

### 2.4.1 Hurtig pyrolyse

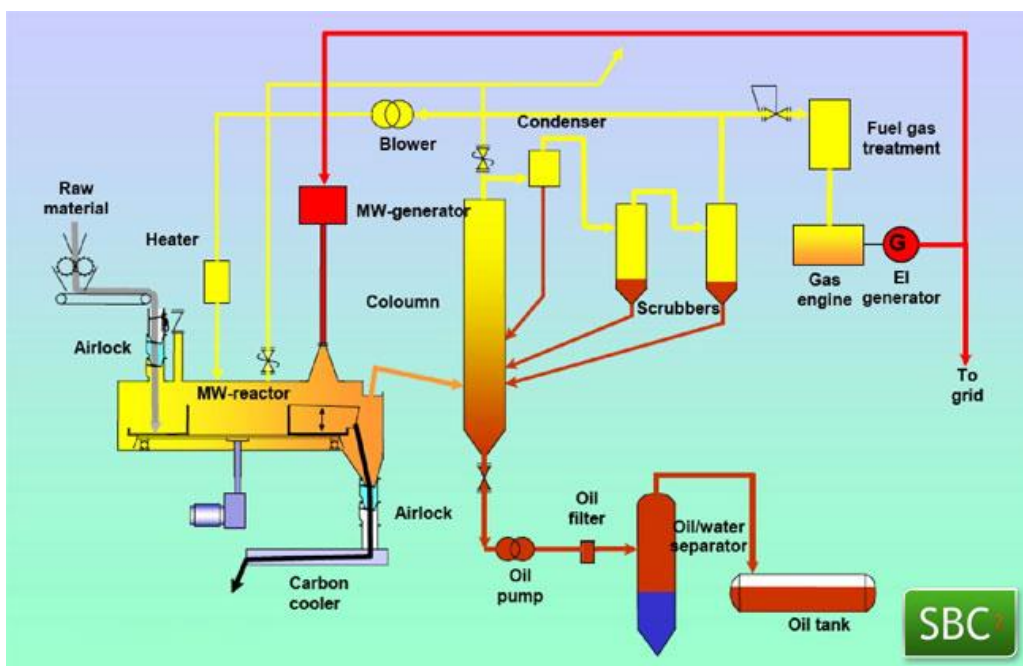
Hurtig pyrolyse er en prosess hvor biomassen blir varmet opp i løpet av noen få sekunder til en temperatur mellom 400-800 °C. Det er flere teknologivarianter i hurtig pyrolyseprosess, og hovedproduktet er pyrolyseolje med lav pH og relativt høyt vann- og O<sub>2</sub>-innhold. Disse egenskaper gjør at pyrolyseoljen ikke er blandbar med vanlig fossil olje. Pyrolyseolje kan brukes som en fyringsolje så lenge fyringskjelen og brenneren er laget av syrefast stål. Ellers kan pyrolyseolje oppgraderes ved å tilsette H<sub>2</sub> og fjerne O<sub>2</sub> og sendes videre til et fossiloljeraffineri for drivstoffproduksjon.

## 2.4.2 Mikrobølgepyrolyse (MBP)

Ved mikrobølgepyrolyse (MBP) brukes en kraftig mikrobølgestråling for å konvertere biomassen til bioolje, syngass, og biokull. En fordel med MBP i forhold til andre pyrolysemetoder er at det er fordelaktig om biomassen er moderat fuktig (20-40%). Dette skyldes at mikrobølgestrålingen bruker vanninnholdet for å overføre mikrobølgestrålinger i trevirke. Tørr trevirke er en mindre effektiv konduktør av mikrobølgestråling. Ved tradisjonell pyrolyse må vanninnholdet fordampes før omdanningen av biomassen kan skje.

I følge Dr. Budarin fra Universitet i York (personlig meddelelse) er mikrobølgepyrolyse en lovende teknologi fordi den kan produsere bioolje fra biomasse ved lavere temperaturer ~300 °C (mindre energi krevende) enn konvensjonell pyrolyse >500 °C. I Nottingham har Al Sayegh et al. (2011) funnet at man kan maksimere bioolje-fraksjonen i en mikrobølgerektor ved å bruke en høy oppvarmingshastighet (50-100°C/min) og moderat temperatur (500°C). Ved å bruke en høy oppvarmingshastighet har de funnet at biomassen er mer absorberende av mikrobølgestrålingen og at utbyttet av bioolje blir høyere.

I Norge ble det i 2012 startet en pilotprosjekt med mikrobølgerektor i Notodden, som er utviklet som en del av et EU: FP7 forskningsprosjekt. Teknologien er eid og drevet av Skandinavian Biofuels AS. De tester ut i 2012 forskjellige typer biomasse som er tilgjengelig i Norge og skal finne ut hvilke mengder og kvalitet av olje som kan utvinnes. Konseptet for prosessen er vist i figur 2. Biomassen, som er fint oppmalt før innmatning til reaktoren, er eksponert til MB stråling for bare noen få sekunder. Flyktige molekyler blir skilt ut til en kondensator og skrubber hvor flytende stoff og gas stoff er separert. Brennbar syngass kan brukes til å drive en gassmotor, som igjen kan produsere elektrisitet for MB reaktoren. På denne måten kan systemet være selvforsynt for strøm. I tillegg produseres det biokull som kan brukes som enten en erstatning til koks i smelteindustrien, eller som jordforbedring/karbonlagring i landbruksjord. En annen fordel med dette systemet er at det kreves lite areal for anlegget og kan blir plassert ut i distriktene i nærheten av råstoff.



(Fig. 2). Flow-diagram som viser prosessen for mikrobølgerektoren til Skandinavian Biofuels AS i Notodden.

Investeringspotensialet er lovende for teknologien basert på data levert fra Scandinavian Biofuel As. Tabell 1 og 2 viser nøkkeltall og energiregnskap fra en 4 x reaktor dimensjonert anlegg. Seksjon 6,2 i rapporten beskriver klimaregnskap fra anlegget.

**Tabell 1 Nøkkeltall fra MB Pyrolysis anlegg**

MW reaktorer		4
Kapital	(NOK ,000)	125524
Innskudd/år	(NOK ,000)	153020
Kostnader/år	(NOK ,000)	112908
Resultat (år)	(NOK ,000)	40112
Real Kostnader/år	(NOK,000)	72796
Intern rente		8 %
IRR		31%
Tibakebetalings tid		3,1
Levetid (år)		15

**Tabell 2. Energi Regnskap for MB Pyrolyse anlegg**

Energi inn	GWh
Biomass	422
Strøm	13
<b>Total Inn</b>	<b>435</b>
<b>Energi ut</b>	
Varmegjennvinning (Syngas)	78
Bioolje	184
Biokull	160
Varmetap	13
<b>total ut</b>	<b>435</b>
<b>Energi effektivitet</b>	<b>97 %</b>



Bilde: Mikrobølge reaktor på demonstrasjons anlegg i Notodden,

Norge (Scandinavian Biofuel)

### 2.4.3 Hydropyrolyse og katalytisk pyrolyse

Hydropyrolyse og katalytisk pyrolyse er en utvidelse av hurtig pyrolyse hvor innmating av en metallkatalysator (f.eks Ni) og/eller  $H_2$  er integrert i pyrolyseprosessen for å forbedre egenskapene til produktet som kommer ut. Målet er å redusere kostnadene og øke kvaliteten av sluttproduktet, slik at det kan brukes direkte som biodrivstoff i kjøretøy.

«IH2» prosessen utviklet av Gas Technologi Institutt (GTI) i USA er et eksempel. Denne teknologien bruker lavtrykks hydrogen sammen med en  $O_2$  fjerning katalysator for å produsere et ferdig hydrokarbondrivstoff som krever relativt lite oppgradering sammenlignet med andre pyrolyseprosesser. Karboneffektiviteten<sup>1</sup> fra IH2 hydropyrolyse ligger mellom 26 og 46 % avhengig av råstoff som er brukt. Total energieffektivitet fra prosessen ligger rundt 70 %, og C substitusjonseffekten<sup>2</sup> for fossilt drivstoff ligger rundt 94 %. Teknologien er i en pilotfase (50 kg biomasse per dag), men viser lovende resultater så langt som kan føre til kommersialisering. Prosessen (Fig. 3) produserer sin egen  $H_2$  i IH2 teknologien som kan operere i en frittstående konfigurasjon, eller integreres i eksisterende industriområder og bio-raffinerier.

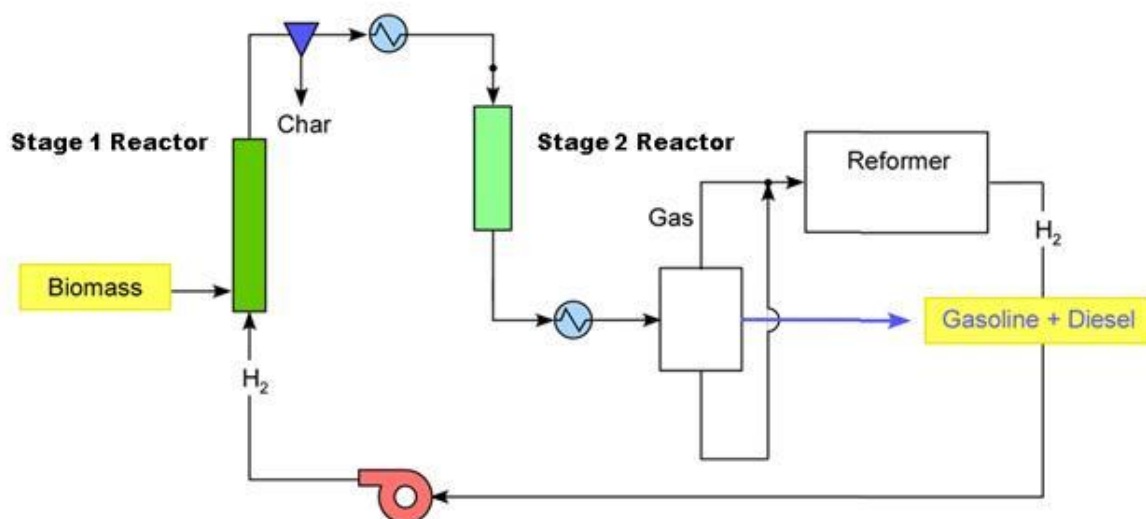


Fig 3. IH2 Hydropyrolyse prosess (GTI).

## 2.5 Gassifisering

Gassifisering av biomasse innebærer ufullstendig forbrenning av biomasse og resulterer i produksjon av brennbare gasser som består av en blanding av karbonmonoksid ( $CO$ ), hydrogen ( $H_2$ ) og spor av metan ( $CH_4$ ) som til sammen kalles produsent- eller syngass. Gassifisering er en totrinns reaksjon bestående av oksidasjon og reduksjonsprosesser. Reduksjonen er en endotermisk reaksjon for å generere brennbare produkter som  $CO$ ,  $H_2$  og  $CH_4$ .

<sup>1</sup> Mengde karbon som var i råstoffer som ender opp i slutt drivstoff produktet

<sup>2</sup> Hvor mye biodrivstoff redusere drivhusgasser sammenlignet med en tilsvarende mengde fossilt drivstoff

Siden gassifisering innebærer en interaksjon av oksygen og biomasse, kan reaktorene klassifiseres etter måten luft eller oksygen blir tilført. Design av reaktor avhenger av brenselstype og om reaktoren er bærbar eller stasjonær. Gassprodusenter kan karakteriseres i henhold til hvordan luften er innført i brenselkolonnen. Flere typer av reaktorer har vært utformet og de vanligste er klassifisert som:

- Updraft reaktorer
- Downdraft reaktorer
- Twin-brann reaktorer
- Crossdraft reaktorer

Utbytte av gasser er også avhengig av hvilken gassifiseringsreaktant som brukes i prosessen. Bruk av vannlig luft som har (78 %  $N_2$ -innhold) vil resultere i en syngass med høy  $N_2$  innhold (Tabell 3). Siden  $N_2$  ikke er brennbart, vil bruk av luft som reaktant redusere energiinnholdet per produsert volum i sluttproduktet. Bruk av damp vil føre til høyere  $H_2$  produksjon, og bruk av  $O_2$  vil føre til høyere CO produksjon (Tabell 3). Valg av hvilken reaktant man skal bruke vil være avhengig av hva sluttproduktet skal brukes til og kostnader knyttet til innmating av  $O_2$  eller damp.

Tabell 3. Gassutbytte ved bruk av forskjellige gassifiseringsreaktanter

Reaktant	Luft	Damp	Ren O <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> (%)	11-16	35-45	23-28
CO (%)	13-18	22-25	45-55
CO <sub>2</sub> (%)	12-16	20-23	10-15
CH <sub>4</sub> (%)	2-6	9-11	<1
N <sub>2</sub> (%)	45-60	<1	<5
Energiinnhold (MJ/Nm <sup>3</sup> )	4-7	10-18	12-28
<i>Mest utbytte</i>			

Kilde: Hofbauer (2008)

### 2.5.1 Syntetisk diesel - Biomass to Liquids (BTL)

Bio-syntetisk diesel er diesel som har blitt fremstilt fra biomasse via termokjemiske prosesser f. eks. gassifisering kombinert med Fischer Tropsch syntese. Kvaliteten av syntetisk diesel er faktisk bedre enn vanlig diesel med et cetantall på rundt 75 (diesel har ca 45-50). Lokal forurensning kan reduseres betydelig ved bruk av syntetisk biodiesel. Utslippet av svevestøv kan reduseres med opptil 50 % og NO<sub>x</sub>-utslippene med opptil 20 % (Opdal, 2006).

Syntetisk diesel fra kull og fossil gass har vært i bruk siden 2. verdenskrig til i dag mens det finnes ingen kommersiell Biomass To Liquid (BTL) Fischer Tropsch i dag. Choren konsernet i Tyskland hadde kommet lengst med et demonstrasjonsanlegg som var i drift i flere år, men gikk konkurs 2011 på grunn av mangel på kapital for å fullføre prosjektet. Rapier (2011) mente at en av de sentrale utfordringer med gassifisering av biomasse er å få det riktige H<sub>2</sub>/CO-forholdet og tilstrekkelig renhet for Fischer Tropsch synthesis. Dette er et mindre problem med gassifisering av fossilt kull og gass som er mer homogene og rene hydrokarbon råstoff.

Boerrigter (2006) har utredet økonomien i BTL anlegg og fant at den er svært avhengig av produksjonsvolumet. Storskala produksjon er nødvendig for å dra nytte av stordriftsfordelene. Ved økende anleggsstørrelser er nedgangen i investeringskostnader av større betydning enn økningen i transportkostnader, men dette vil variere i forhold til kostnadsnivået i ulike land.

Norske Skog kunngjorde planer om et prototypaanlegg for andre generasjons biodrivstoff og etablering av et selskap (Xynergo) som skulle arbeide med å få fram kommersiell produksjon av syntetisk biodrivstoff fra trevirke. Choren-teknologien var den som var vurdert og utredet av Xynergo, og teknologien var basis for tallene som finnes i litteraturen for storskala 2.generasjons drivstoffproduksjon i Norge (via termokjemiske rute).

Xynergo investerte ca. 40 mill. kr i utredninger i sin tid for 2. generasjons biodrivstoff og vurderte flere anlegg og system design for BTL-produksjon i Norge. Xynergo var nylig kjøpt av Aker Energy og har blitt utviklet til et konsulentfirma som skal videreføre innhentet kunnskap i andre bioenergiprojekter.

Econ Poyry leverte en rapport til Klif i 2008, som utredet virkemidler for å øke 2. generasjons drivstoff produksjon i Norge. De intervjuet Xynergo da, og rapporterte følgende et planlagt 2-faset forretningskonsept.

### Fase 1: Produksjon av bioolje for industrikunder

- Produksjon av 40-45 mill liter bioolje
- 60 000 tonn TS virke årlig.
- Produksjonen tilsvarer cirka 15 prosent av forbruket av tungolje i Norge.
- Potensial til å redusere fossilt CO<sub>2</sub>-utslipp på 70 000 tonn årlig.
- Energieffektivitet på 90 prosent.

### Fase 2: Syntetisk biodieselproduksjon

- 250 mill. liter årlig produksjonskapasitet
- Råvarebehovet 1 million tonn TS per år (trevirke eller halm, red.anm.)
- Drivstoff vil være hovedproduktet. I utgangspunktet er vi åpne for el-produksjon og varmeproduksjon.
- Anlegget vil ha et signifikant overskudd av varme som er egnet for fjernvarme.
- Energieffektiviteten uten utnyttelse av prosessvarme ligger på 50-53 prosent.
- Reduksjon av fossile CO<sub>2</sub>-utslipp fra veitransport med 700 000 tonn årlig.
- Videre er CO<sub>2</sub> fra prosessen allerede separert fra resten og kan - hvis CO<sub>2</sub> infrastruktur er tilgjengelig - deponeres i tomme olje og gassfelt eller brukes som injeksjonsgass til økt oljeutvinning (EOR). I et slikt scenario kan et fullskala anlegg være CO<sub>2</sub>-negativt og bidra til en total CO<sub>2</sub>-reduksjon på opp til 2 mill. tonn CO<sub>2</sub> årlig.
- Et anlegg med en råvarekapasitet på 1 million tonn tørrstoff vil innebære en investering på godt over 5-7 mrd. NOK.
- Forventet levetid for det første anlegget: 20 år.
- **Antatt produksjonskostnad per liter for et fullskala kommersielt anlegg: 6-8 kr per liter**

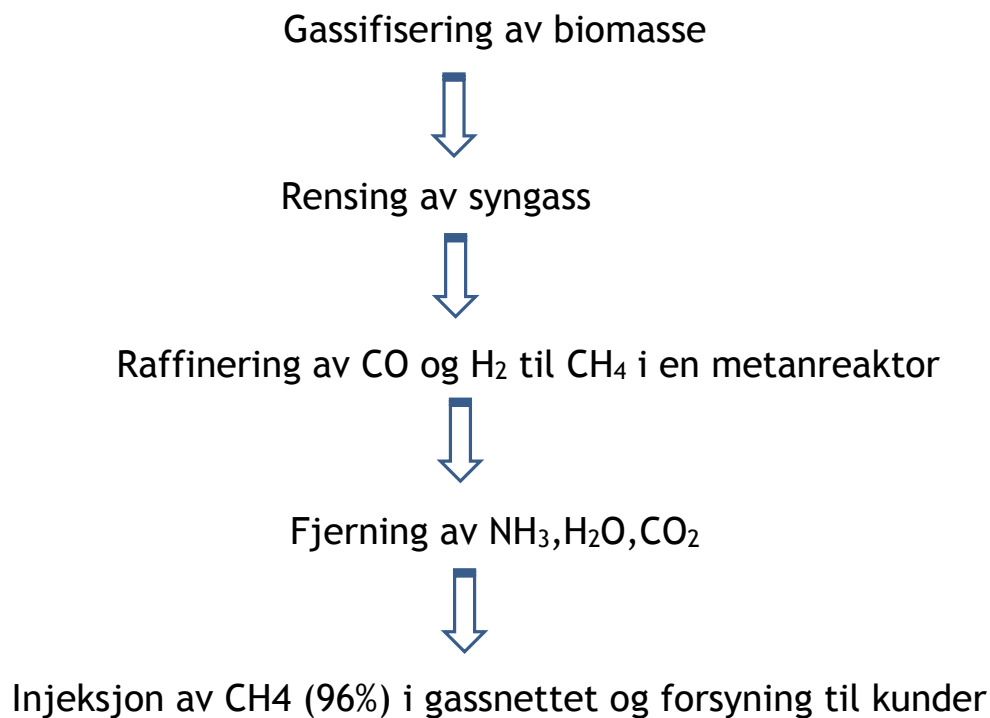
(Kilde: Econ Pöyry, 2008)

### *2.5.2 Syntetisk framstilling av syngas til biometan (BioSNG)*

Et alternativt gassbasert biodrivstoff med stort potensial er Bio Syntetisk Natur Gass (BioSNG). BioSNG er CH<sub>4</sub> framstilt fra bio-syngass (CO og H<sub>2</sub>) og kan sees som en alternativ eller tilleggs produksjonsprosess for CH<sub>4</sub>-biogass (laget via biologiske forråtnings prosessen). Fordel med BioSNG overfor forråtnings prosess er at produksjonspotensialet er mye større pga. at man kan bruke skogen som råstoff. Utredninger av biogass produksjon i Norge bekrefter at det teoretiske energipotensialet fra biogassressuser fra avfall/biprodukter er ca. 6,1 TWh/år, men potentialet fra tilgjengelig skogsressuser er ca. 20 TWh/år (CenBio, 2011).

BioSNG prosessen består av følgende trinn:





Norge er en stor produsent og eksportør av naturgass, men har et begrenset gassnett for innenlands distribusjon. Den største nettet finnes i Rogaland med ca. 500 km i lengde som forsyner industritransport og varmesentraler med omtrent 620 GWh/år (Klif, 2011). Innenlandsforbruk er begrenset til levering av LNG og CNG for industri og buss flåte i de store byene. Biogass forum (2005) har skrevet en god oversikt om historie av naturgassbruk i transport sektor i Norge og de utfordringer som man står over. Bruk av BioSNG i Norge vil være avhengig til hvilken grad Norge satser på gass generelt for eks. utbygging av gassnett infrastruktur og hvor mye de subsidiere utviklingen av en slikefornybar gas som BioSNG. Samlokalisering av et biogas og Bio-SNG anlegg vil gjør det mulig at begge kan deler det samme CO<sub>2</sub>-rensing og oppgraderings anlegg som er nødvendig så at gassen inneholder >95% CH<sub>4</sub> og bli kompatible med naturgassnettet.

### 2.5.3 Case studie: GoBiGas - BioSNG prosjekt i Göteborg



**Bilde:** Visuelisering av GobiGas 20MW<sub>t</sub> Bio-SNG anlegg som bygges ferdig Nov. 2013

Göteborg Energi bygger verdens første demonstrasjonsanlegg for produksjon av Bio-Syntetisk Natural Gas (BioSNG). Prosjektet som heter GoBiGas skal produsere BioSNG fra gassifisering av biomasse og metan av syngassen. Fordelen med bruk av CH<sub>4</sub> som drivstoff er at det kan mates inn til et eksisterende fossilt gassnett som allerede finnes i Göteborg. Gassnettet har mulighet til å motta både biologisk og fossil gass. Målet er å oppnå 65% av energien i biomassen i biogassen, og bruke spillvarmen for å nå en total energieffektivitet på mer enn 90%. Et 20 MW (160 GWh/år) anlegg er under bygging nå til et pris av 1,2 milliarder NOK og bygges ferdig i november 2013. Demonstrasjonsanlegget vil bli brukt som et eksempel for å skaffe mer informasjon om energi bruk og produksjon og totale kostnader. Dersom prosjekt er vellykket er det planlagt et større 80 MW anlegg (640 GWh/år) for etablering i 2016. **For å sette dette i perspektiv vil et 80MW BioSNG anlegg være stort nok til å dekke nåværende naturgassforbruk fra Rogaland gassnettet.** Lokalisering av anlegget sentralt ved havnen i Göteborg vil gjøre det mulig å bruke spillvarmen i fjernvarme nettet, og dessuten lett å motta råstoffer med skip eller jernbane. (Se: [www.goteborgenergi.se](http://www.goteborgenergi.se)). Tabell 4 vises energibalansen.

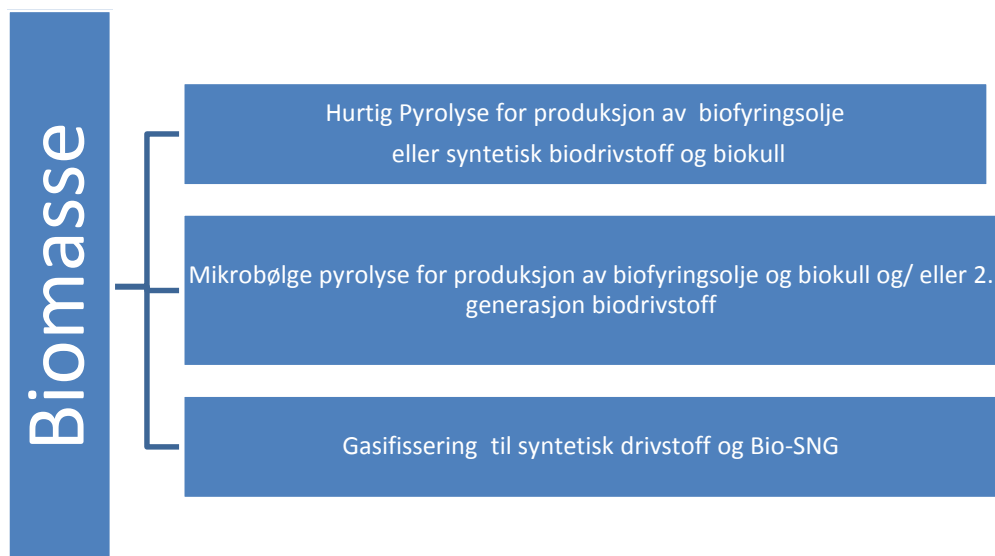
Tabell 4. BioSNG Energibalanse for 20 MW GobiGas demonstrasjonsanlegg	Energi inn (MW <sub>termisk</sub> )	Energi ut (MW <sub>termisk</sub> )
Biomasse inn (trepellets)	32	
Strøm	3	
RME (bioolje) brukt i rensing prosess	0,5	
Fjernvarme		5
Nærvvarme		6
Energi i produsert biometan (Bio-SNG)		20
Varmetap		4,5
<b>Sum</b>	<b>35,5</b>	<b>35,5</b>
<b>Biomass til BioSNG drivstoff %</b>		<b>63%</b>
<b>Energieffektivitet av Bio-SNG prosess</b>		<b>87%</b>

Kilde: Göteborg Energi, 2010  
(Kilde: Repotec, 2012)

### 3. Verdikjedene: Fra biomasse til drivstoff

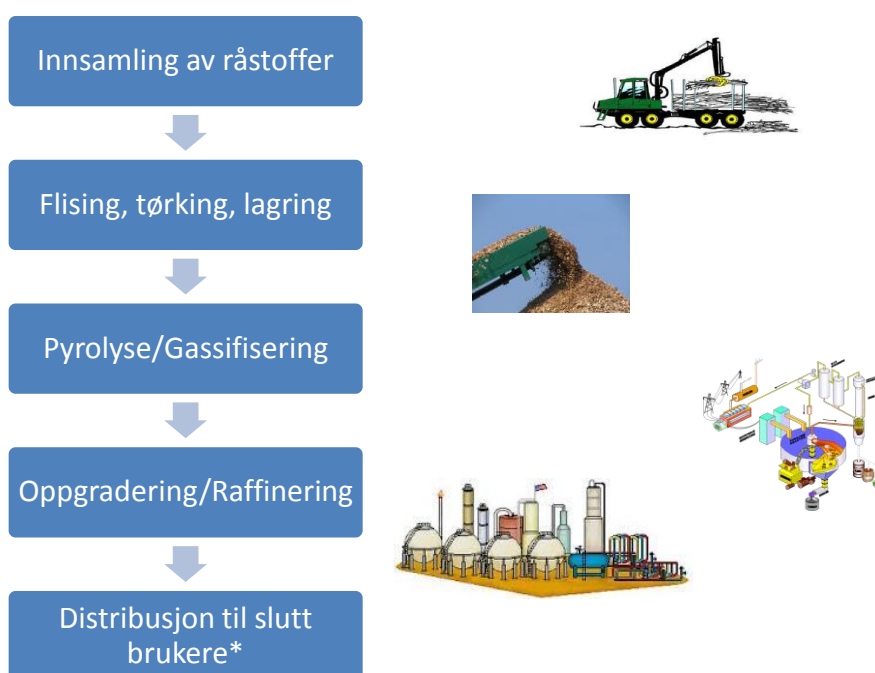
#### Scenarier

Vi ser flere scenarier hvor termokjemiske prosesser kunne bli tatt i bruk for å redusere fossilt olje og drivstoff i Norge



#### 3.1 Ledd i verdikjedene

Uansett scenarier har alle teknologier noen felles trinn. Nedenfor er det vist et forenklet flytdiagram med leddene i en verdikjede for biodrivstoff.



\*Kostnader til distribusjon er ikke beregnet i denne rapporten

## 4. Råstoffkostnader

### 4.1 GROT

Skogsavfall eller GROT (GRener Og Topper fra Skogsvirke) er det mest aktuelle råstoffet for produksjon av biodrivstoff i Norge. Brutto potensiell avvirkning av i Norge fra gran furu og lauvtrær er beregnet til 1,7-2,6 millioner tonn TS som tilsvarer en energimengde på 8,5-13TWh (Gjølsvø et al. 2011).

Fysiske egenskaper til GROT er oppgitt til (Viken Skog, 2008):

- Fuktighet 40-50 %
- Askeinnhold 2-3%
- Energiinnhold 2,2-2,8 MWh/tonn

Lavere fuktighet enn 35% fuktighet beregnes som tørt, mens høyere fuktighet enn 35 % beregnes som fuktig. Bruk av GROT til bioenergiformål antas å føre til en reduksjon i klimagassutslipp på 1,5 million CO<sub>2</sub>-ekvivalenter pr. år, som utgjør ca. 2 % av årlige utslipp i Norge (Nilsen et al. 2008).

Bruk av GROT med høyt innhold av bark og nåler kan resultere i en reduksjon av ca 10 % i utbyttet av biolje fra hurtig pyrolyse, sammenlignet med biolje laget fra ren trevirke. (Oasmaa et al. 2002). Dette vil ha en betydelig innvirkning på den økonomiske lønnsomheten til pyrolyseprodukter i Norge basert på GROT. På den andre side vil GROT ha lavere alternativ verdi som biobrensel og vil gi mer biokull med bedre kvalitet som jordforbedringsmiddel. Tabell 5 viser forutsetninger for beregninger i rapporten.

Tabell 5.

Skogsflis (GROT) forutsetninger	
GROT pris (øre/KWh) (fukt 30%)	15
GROT pris (øre/KWh) (fukt 0% TS)	21
kr/KWh	0,21
kr kg TS	1,14
kr tonn TS	1140
kr fm <sup>3</sup>	456
densitet kg/lm <sup>3</sup>	300

#### 4.1.1 GROT - kostnader fra skog til bioraffeneri

I rapporten bruker vi en total pris for GROT som 21 øre/Kwhr. Tabell 6 gi en oppsummering avkostnader i innsamlingskjeden:

Tabell 6

Kostnadstype	Kostnad	Merknad
Innkjøpt massevirke	250 kr/fm <sup>3</sup>	
Vegtransport	40 kr/fm <sup>3</sup>	
Terminal 1	5 kr/fm <sup>3</sup>	
Måling	3 kr/fm <sup>3</sup>	
Flishogging	65 kr/fm <sup>3</sup>	FM 40 %
Terminal 2	12 kr/fm <sup>3</sup>	Flislager på 200 lm <sup>3</sup>
Sum flisproduksjon	375 kr/fm <sup>3</sup>	2000 kWh/fm <sup>3</sup> eller 800 kWh/lm <sup>3</sup>
Transport til varmesentral	50 kr/fm <sup>3</sup>	
<b>Skogsflis levert varmesentral</b>	<b>425 kr/fm<sup>3</sup> 170 kr/lm<sup>3</sup></b>	<b>= 21 øre/kWh + tap ved forbrenning</b>

Kilde: Energigården presentasjon (energigarden.no)

Viken Skog (2008) oppgir følgende kostnader for GROT levert bioenergiterminal, for flising, lagring, og distribusjon til fjernvarme anlegg:

- Terminal 1,2 øre/kwh
- Omlasting 1,6 øre/kwh
- Intern logistikk 0,8 øre/kwh
- Økt transportavstand 1 øre/kwh
- Sum for terminal kostnader ca. 4,6 øre/kwh

Råstoffspris til skogeier er oppgitt til 18-30 kr/m<sup>3</sup>

Ifølge Viken Skog er GROT til bioenergi ikke lønnsomt og kostnadene er ikke dekket. Energiprisen dekker knapt driftskostnadene og det er lite igjen til skogeieren. GROT betales med ca. 14 øre/kWh levert energisentral (Skog og landskap, 2009). Ådland (2011) har rapportert en pris av 18 øre/kWh for levert flis til terminalen.

Det gis tilskudd til energiflis fra Statens landbruksforvaltning. For GROT betales 27 kr/m<sup>3</sup> eller 3,2 øre/kWh (SLF, 2012) Det blir betalt ut ca. 40 millioner kr i tilskudd i 2011.

## 4.2 Halm

Halm er et viktig råstoff kilde for produksjon av biodrivstoff i Norge, med en estimert mengde på 400 000 tonn per år tilgjengelig til bioenergiformal<sup>3</sup> (Eltun et al. 2009). Halm har relativt høyt askeinnhold sammenlignet med rent trevirke. Høyt askeinnhold er ikke ønskelig dersom man vil maksimere bio-oljeutbytte fordi asken kan katalysere pyrolysereaksjoner som fører til økt vann- og gasutbytte på bekostning av oljeutbytte (Butler et al. 2011). Problemet kan reduseres ved utvasking av askemetallene i biomasse før pyrolyse. Halmen kan ligge i rad i åkene over noen dager i regn, og etter soltørking bli samlet som halmballer. Under laboratorieforhold kan vasking av halm med vann reduserte askeinnhold ved 68% (Jenkins et al. 1996).

<sup>3</sup> Basert på forbruk av 60% av total halm tilgjengelig i Norge med gjennomsnitt avling av 200 kg daa<sup>-1</sup>

#### 4.2.1 Halm - Kostnader

Belbo (2011) har gjennomført en studie av halm som biobrensel til bruk i halmfyringsanlegg i Norge. Kostnader som har blitt beregnet for høsting, innsamling, og lagring av halm er uavhengig av bruksområdet. Rapporten er basert fra reale data fra 7 gårdsbrukere over en 3 års periode. Nøkkeltallene fra Belbo (2011) er listet i Tabell 7, and 8.

Tabell 7. Kostnader for Halm som brensel

Gjennomsnitt halmavlinger	200 kg TS per dekar
Gjennomsnittlig kostnad til raking	42 kr per tonn TS
Kostnad til pressing av rundballer	276 kr per tonn TS
Kostnad til firkantballepresse	208 kr per tonn TS
Innsamlings kostnader (<2,5km)	111 kr per tonn TS
<b>Total kostnader</b>	<b>350 - 450 kr / tonn TS (75 - 100 kr per MWh)</b>

Tabell 8.

Forutsetninger for halm kostnader	kr
halm kr/lm <sup>3</sup>	135
HALM kr/tonn TS	450
kr per kilogram TS	0,45
<b>kr per Kwh</b>	<b>0,09</b>
Brenneverdi: Halm (0% fukt) 4,86 Kwh/kg (Belbo, 2011)	

## 5. Produksjons kostnader og CO<sub>2</sub> reduksjons potensial

### 5.1 Produksjonskostnader for et Mikrobølge pyrolyse anlegg

Produksjonskostnader for oppgradert pyrolyseolje fra mikrobølge pyrolyse er ca. 6 kr/L i 2012 og kan redusere til ca. 3,5 kr/L i 2017 (Fig. 4). Pris reduksjon er mulig fordi oppgraderingskostnader er forventet redusert med 74% over de neste 5 år (US Dept. of Energy, 2012) på grunn av intensiv forskning og utviklings arbeid. Beregninger her er et grovt estimat basert på data hentet fra en demonstrasjons MBP anlegg (Scandinavian Biofuels) og USD oppgraderingskostnader hentet fra US. Dept of Energy (2012) og vekslet til NOK. Det må understrekes her at prisen per liter er ikke for en liter av bensin men for 1 L av samlet pyrolyse olje som er produsert etter UOP-Honeywell oppgradering for å lage Naphta, Green Diesel og propan. Vi regner med at disse produktene vil erstatte forskjellige typer fossile brensel for. rks. transport, fly drivstoff og propan osv.

Produksjons- og oppgraderingskostnader står for hovedparten av kostnadene for 2.gen. biodrivstoff produksjon og da er det nødvendig å finne nye måte for å redusere disse om de skal være konkurransedyktig med fossilt drivstoff i nær framtid.

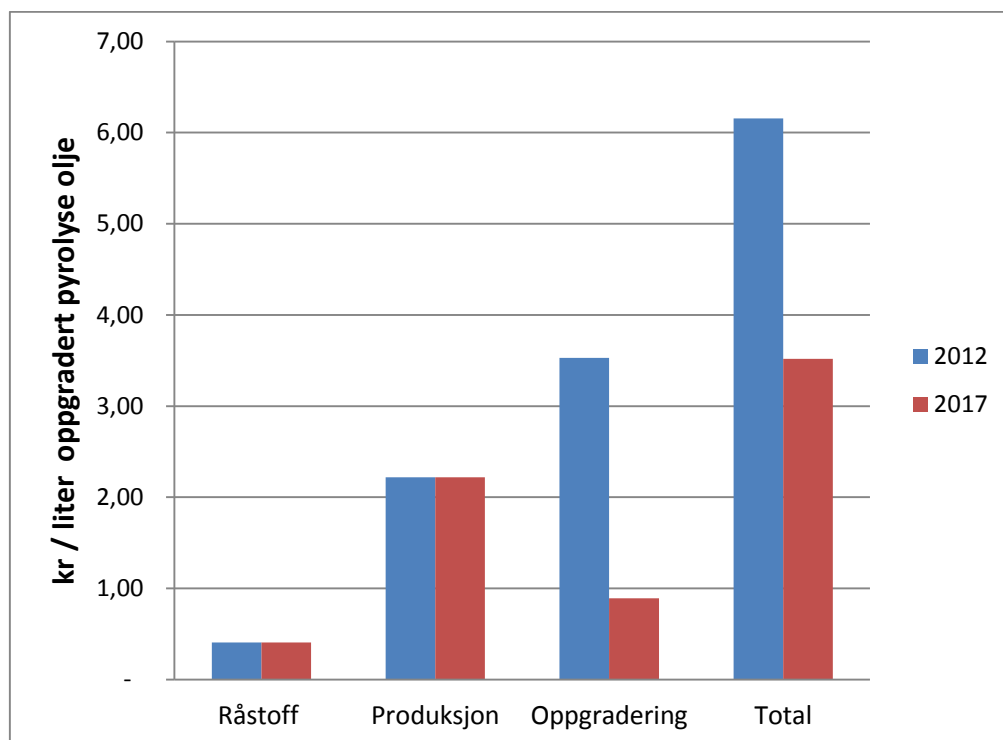


Fig. 4. Biodrivstoff kostnader trend 2012-2017<sup>4</sup> (Skatt og distribusjons kostnader ikke inkl.)

<sup>4</sup> Prisene er basert på produksjons kostnader for Mikrobølge pyrolyse anlegg med oppgraderings kostnader hentet fra US. Department of Energy, 2012

## 5.2 CO<sub>2</sub> for MBP biolje som erstatning for fossil fyringsolje i industri

På grunn av høye oppgraderingskostnader for pyrolyseolje til biodrivstoff, vil den første anvendelse av oljen sannsynligvis bli en erstatning av fossilt fyringsolje i industrien. Scandianvian Biofuels. Tabell 9. gir en oversikt over kostnader for CO<sub>2</sub> reduksjon via erstatning av fyrings olje med biolje og industrikoks (for eks. metall industri) med biokull.

Tabell 9.MB Pyrolyse med biolje som erstatning for industri fyringsole og biokull som koks erstatning

Kostnad per t CO <sub>2</sub> for biolje substitusjon	Kostnad per redusert t CO <sub>2</sub> for biokull (Fixed C) erstatning av koks	Total kostnad per t CO <sub>2</sub> redusert fra prosessen	Total Redusert klimagass utslipp fra anlegg/år
<i>kr/ t CO<sub>2</sub></i>	<i>kr/t CO<sub>2</sub></i>	<i>kr/t CO<sub>2</sub></i>	<i>t CO<sub>2</sub> /år</i>
2295	405	2700	123853

## 5.3 Co2 kostnader av syntetisk diesel

Det er flere studier som har sett på produksjonskostnader for BTL-diesel. Tabell 10 gir et sammendrag av studiene og anleggsparametre de er basert på.

Kostnad per t CO <sub>2</sub> for biolje substitusjon	Total kostnad per t CO <sub>2</sub> redusert fra prosessen	Total Redusert klimagass utslipp fra anlegg/år	Pris for 2. gens. biodrivstoff
<i>kr/ t CO<sub>2</sub></i>	<i>kr/t CO<sub>2</sub></i>	<i>t CO<sub>2</sub> /år</i>	<i>kr/liter</i>
2959	2959	648 856	7-10

Tabell 10. FT syntetisk diesel som erstatning til fossilt diesel

## 5.4 Sammendrag av kostnader

På Tabell 11 sammenlignes de forskjellige termiske prosesser og kostnader for CO<sub>2</sub> reduksjons potensial. Det må understrekes at tallene er usikker og basert på litteratur studier og demonstrasjons anlegg. Flere demonstrasjons anlegg må bygges i Norge så at reale tall kan blir innhentet.



**Tabell 11. Kostnad Sammendrag**

	Samfunns økonomisk kostnader gjennom verdikjeden	Bedrifts økonomisk kostnader gjennom verdikjeden	Minimum statlig støtte for å sikre lønnsomhet	Kostnad per t CO <sub>2</sub> for biodrivstoff substitusjon	Kostnad per redusert t CO <sub>2</sub> for biokull (Fixed C) erstatning av koks	Total kostnad per t CO <sub>2</sub> redusert fra prosessen	Total Redusert klimagass utslipp fra anlegg/år	Pris for 2. gens. biodrivstoff	Kapital investering
	<i>Kr per tonn TS råstoff per år</i>			<i>kr/ t CO<sub>2</sub></i>	<i>kr/t CO<sub>2</sub></i>	<i>kr/t CO<sub>2</sub></i>	<i>t CO<sub>2</sub> /år</i>	<i>kr/liter</i>	<i>kr 000 000</i>
MB Pyrolyse med oppgradert biodrivstoff og biokull som koks erstatning (2012)	4143	4428	285	2794	405	3199	135578	5-7	125
MB Pyrolyse med oppgradert biodrivstoff og biokull som koks erstatning (2017)(med redusert oppgraderings kostnader)	2742	3027	285	2093	405	2498	135578	3-4	125
MB Pyrolyse med biolje som erstatning for industri fyringsole og biokull som koks erstatning	2268	2553	285	2295	405	2700	123853	n/a	125
Gassifisering og Fischer Tropsch til FT Diesel som erstatning til fossilt transport diesel	2795	3311	516	2959	n/a	2959	648856	7 -10	5156
Gassifisering og Bio-SNG som erstatning for naturgass i busser og tungttransport*	7025	7721	696	2016	n/a	2016	78400	1 kr/m <sup>3</sup>	1500

En IPCC rapport (Chum et al., 2011) om fornybar energi gir en omfattende oversikt over siste utvikling innenfor bioenergi og biodrivstoff. De estimerte kostnadene for storskala produksjon av 2. generasjons drivstoff (2020-2030) basert på Lignocellulose som råstoff og 3 forskjellig teknologivalg er vist i tabell 12.

**Tabell 12. Produksjons kostnader av forskjellige biodrivstoff konverterings prosesser**

Teknologivalg	Produksjons kostander (ink. Råstoff pris) øre/ KWhr*
Enzymatisk framstilling f.eks. etanol	39-70
Gassifisering teknoliger f.eks. BioSNG, DME, FT	20-70
Pyrolyse (Fast) og oppgradering via eksisterende oljeraffaneri	33-60

\*Kostnader er justert for en høyere råstoff pris i Norge (GROT 14 øre KWhr<sup>-1</sup>).

## 6. Tiltak og virkemidler for økt andre-gen. biodrivstoff fra trevirke

---

Så langt har ingen storskala produksjon av 2. generasjons drivstoff startet i Norge. Norske Skog startet et datterselskap i 2008, Xynergo, som hadde som mål å sette i gang produksjon av syntetisk diesel ved bruk av Gassifisering/Fischer Tropsch, men virksomheten ble avvirket i 2010, pga mangel på videre investeringskapital.

I et intervju med Xynergo i 2010, beskrevet i en rapport utgitt av Econ Poyry (2010), ga Xynergo ledelse forslag til myndighetene som kunne forbedre investeringsmulighetene for et fullskala kommersielt anlegg.

Xynergo mente at det trengs en drivstoffpolitikk som kunne sørge for at biodrivstoff på sikt blir konkurransedyktig i pris med fossilt drivstoff, for eks:

- Høyt omsetningspåbud i kombinasjon med tilstrekkelig høy "penalty" bot for ikke-overholdelse
- Høyere CO<sub>2</sub> avgift
- Krav om strenge bærekraftighetskriterier og høy CO<sub>2</sub> reduksjonspotensial for biodrivstoffet

Storskala bioraffinerier har store investeringskostnader og Xynergos virksomhet ble til slutt avvirket på grunn av mangel på partnere som kunne investere betydelig risikokapital. Bright & Strømman, 2010 fullført en omfattende studie for å se på virkemidler for økt produksjon i Fischer tropsch diesel. De fant at det optimale virkemidlet var statlig finansiert lån til investorer. Deres analyse viste at høyest CO<sub>2</sub>-reduksjon ble oppnådd med statlige lån som virkemiddel. Andre virkemiddel som prisgaranti, skattefordeler, statlig kapitalinnskudd (deleierskap, og overskuddfordeling med staten, førte til en 0 NPV punkt på høyere oljepris nivå. Det betyr at hvis det tar lengre tid for å øke vil staten sitte med mer subsidieringskostnader til biodrivstoffindustrien.

## 7. Andre klimatiltak ved bruk av biokull

### 7.1 Biokull som erstatning av koks i prosessindustrien

Sintef har ved flere anledning utredet muligheter for innblanding av trekull i norsk prosessindustri. Sist i 2009 leverte de en rapport (Monsen et al. 2009) til Klif som en del av utredning for CO<sub>2</sub>-reduksjonstiltak innenfor prosessindustrien.

De fant at opptil 50 % innblanding av trekull var mulig, under forutsetning av at trekullet oppfylte industriens kvalitetskrav. Det nevnes for eksempel i rapporten at trekull bør være laget av trevirke uten bark, som ville gi lavere kvalitet i Si- og FeSi-produktet på grunn av høyt askeinnhold.

Det er derfor tvilsomt om biokull laget fra lav-verdi biomasse som GROT vil bli egnet for prosessindustrien. I Brasil er trekull nå brukt i storskala i stålproduksjon. Men der bruker de Eucalyptus trevirke fra eget dyrket plantasjer, og da vil man få et trekull laget fra rent trevirke. I en rapport, estimert Monsen et al. 2009 at pris for importert trekull var **2500-2800 kr /tonn C**.

I klimakur 2020 det var estimert et teknisk potensial for utslippsreduksjoner på 1,2 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter pr år ved bruk av trekull som erstatning for koks som reduksjonsmiddel i ferrolegeringsindustrien.

Prosess	Utslippsreduksjon 2020 (tonn CO <sub>2</sub> equiv)	Samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet (NOK/tonn CO <sub>2</sub> )
Ferrosilium1 økning fra 5% til 40% trekull i prosessen	450000	415
Ferrosilium2 økning fra 5% til 40% trekull i prosessen	500000	634
Anodeprod (Al) fossil pakkoks til trekull (100% erstatning i 3 fabrikker)	66000	1092
Silisiumkarbid – øke trekull fra 0 til 20% av koks forbruk	20000	868
	<b>Sum 1 036 000</b>	<b>Gj.snitt Kr/t CO<sub>2</sub>= 752</b>

Kilde: Klimakur 2020.

SINTEF har tidligere utredet muligheten for å etablere trekullproduksjon i Norge basert på norsk eller utenlands trevirke. For å realisere utslippsreduksjonen på ca 1 millioner tonn CO<sub>2</sub> vil det kreve ca. 520 000 tonn C fra trekull per år. Dette tilsvarer 867 000 tonn TS trekull (60% Fiksert C innhold) og behov for ca. 4,5 millioner fastkubikk tømmer per år (ca. 20% utbytte av trekull fra pyrolyseprosessen).

## 7.2 Biokull som metode for lagring av stabilt karbon i jord

Muligheter for utslippskutt i landbrukssektoren ble presentert i rapporten fra prosjektet Klimakur 2020 utgitt av Klif i 2010. I rapporten, står biokull øverst på listen av tiltak som har potensial til å kutte mest CO<sub>2</sub>- utslipp fra landbrukssektoren.

For karbonlagring har biokull en unik fordel i at dets C innhold er svært motstandsdyktig til nedbrytning. Under naturlige forhold brytes karbonet i biomasse ned i jord av bakterie og slippes ut til atmosfæren som CO<sub>2</sub> eller CH<sub>4</sub>. Når biomasse er pyrolysert til biokull, kan det ligge stabilt i hundrevis eller tusenvis av år. Empirisk bevis for dette ligger blant annet i arkeologiske funn fra norske skoger, hvor oppgravd trekull har blitt <sup>14</sup>C datert til 600-1500 e.Kr. (Tveiten og Simpson, 2008).

Bioforsk har 2 prosjekter finansiert av Norges Forskningsråd som ser nærmere på hvor stabilt biokull er både under kontrollert lab- og feltforhold. Under feltforhold over 2 år, har biokull C vært svært stabilt (>98%) (Rasse og O'Toole, 2012), og under labforsøk har det blitt påvist at produksjon av biokull over 450°C er viktig for å lage en biokull som er egnet for karbon lagring og som et klimatiltak (Budai et al. 2011).

Bruk av biokull for å oppnå kun en jordforbedingseffekt I Norsk jord er lite sannsynlig på grunn av for høye kostnader. Dickonson et al. 2012, beregnet for North West Europa at hvis biokull skal finansieres kun gjennom en avlingsøkning i korn ville man trenge en avlingsøkning av minst 20% for 25 år (med en biokull pris av 1725 NOK/tonn ). Ellers kunne lønnsomhet realiseres for korn over en 25 års periode hvis prisen for biokull reduseres til mindre en 1071 NOK / tonn. I feltforsøk utført av Bioforsk i Norge har avlingsøkning ikke overstiget mer en 6%. Derfor er bruk av biokull i Norsk landbruk mer relevant for karbonlagring enn jordforbedring og hvor bioenergi produkter er solgt som hoved produkt fra pyrolyseprosessen.

En EU-COST action: «Biochar for Sustainable Resource Management» har blitt opprettet for forskere i Europa å samarbeide med forskning på biokull temaet. Blant annet blir det diskusjon om hvilken måte kan biokull bli gjort lønnsomt og dermed oppnå dets klimatiltak potensial.

## 8. Referanse

---

- Al Sayegh, H., J. Robinson, G. Dimitrakis, and S. Kingman. Microwave pyrolysis of wood: Effect of heating rate on the dielectric properties of wood. Lecture.
- Anex, R. P., Aden, A., Kazi, F. K., Fortman, J., Swanson, R. M., Wright, M. M., Satrio, J. a., et al. (2010). Techno-economic comparison of biomass-to-transportation fuels via pyrolysis, gasification, and biochemical pathways. *Fuel*, 89, S29-S35. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.fuel.2010.07.015
- Barth, T., & Kleinert, M. (2008). Motor Fuels From Biomass Pyrolysis. *Chemical Engineering & Technology*, 31(5), 773-781. doi:10.1002/ceat.200800122
- Basu, P. 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical design and theory. Elsevier, Oxford.
- Belbo, H. 2011. Halm som biobrensel: Høste-, innsamlings-, transport-, og lagringsmetoder for optimal fyringskvalitet og kostnadseffektivitet I områder med kort og fuktig innhøstingssesong. Skog og landskap rapport. 22/2011.
- Biogass forum. 2005. Naturgass som drivstoff for Norske busser. Tilgjengelig på nettet: <http://www.ipt.ntnu.no/~jsg/undervisning/naturgass/dokumenter/GassBuss2005.pdf>
- Blomberg, S. 2008. Rasjonell produksjon av biobrensel fra GROT. Foredrag: Bioenergidagene 2008.
- Boerrigter, H. Economy of biomass-to-liquids (BTL) plants. An engineering assessment. Internal Report. Available online at: <http://www.thermalnet.co.uk/docs/2G-1%20ECN-C-06-0191.pdf>, Accessed 12/3/2012
- Bright, R. M., & H. Strømman, A. (2010). Incentivizing wood-based Fischer-Tropsch diesel through financial policy instruments: An economic assessment for Norway. *Energy Policy*, 38(11), 6849-6859. Elsevier. doi:10.1016/j.enpol.2010.06.057
- Budai, A., L. T. Strand, S. Abiven, D. Rasse (Poster). Characterization of Biochar in Relation to its Stability in Soil (PhD project). UK Biochar 2011. May 25-26, 2011, Edinburgh UK
- Butler, E., Devlin, G., Meier, D., & McDonnell, K. (2011). A review of recent laboratory research and commercial developments in fast pyrolysis and upgrading. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4171-4186. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.rser.2011.07.035
- Case, P. A., van Heiningen, A. R. P., & Wheeler, M. C. (2012). Liquid hydrocarbon fuels from cellulosic feedstocks via thermal deoxygenation of levulinic acid and formic acid salt mixtures. *Green Chemistry*, 14(1), 85-89. The Royal Society of Chemistry. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1039/C1GC15914C>
- Chum, H., Faaij, A., Moreira, J., Berndes, G., Dhamija, P., Dong, H., Gabrielle, B., et al. (2011). Bioenergy. In O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, et al. (Eds.), *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

- Dickinson, D., L. Balduccio, S. Nolte, F. Ronsse, G. Van Huylbroeck, W. Prins (2012). Economic viability of biochar for improving cereals production (Poster). 1<sup>st</sup> International Biochar Summer School, Sept 9-16, Potsdam, Germany. Available online: <http://www.atb-potsdam.de/hauptseite-deutsch/ATB-aktuell/Veranstaltungen/biocharsummerschool2012/docs/Posters/Dane%20Dickinson-EconomicViability.pdf>
- Econ Pöyry, 2008. Virkemidler for andregenerasjons biodrivstoff. Klif (SFT) oppdrags report. Tilgjengelig online på: <http://www.klif.no/publikasjoner/2476/ta2476.pdf>
- Eggert, H., M. Greker and E. Potter. Policies for second generation biofuels Current status and future challenges. SSB report 24/2011.
- Eltun, R., M. Åssveen, og H. Riley. 2009. Halm til bioenergi. Bioforsk FOKUS 4 (2). P.84-85. Tilgjengelig online på: [http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/39044/FOKUS\\_4-2wb.pdf](http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/39044/FOKUS_4-2wb.pdf), Accessed 18/06/2012.
- Gjerset, M., V. Vessia, and J.F. Hojem (2007). Syntetisk biodiesel fra biogass: En mulighetsstudie. Zero Rapport. Available online at <http://www.zero.no/publikasjoner/syntetisk-biodiesel-fra-biogass>
- Gjølsjø, S., A.M. Eid Høhle, H. Belbo, og T. Filbakk. 2011. Bioenergi - er det miljøvennlig? Foredrag.
- Grimsrud, E. 2012. Flisproduksjon hos Viken Skog. Foredrag.
- Göteborg Energi. 2010 The GoBiGas Project - Efficient transfer of biomass to biofuels. Proceedings: SGC International Seminar on Gasification, 28-29 Oct. 2010, Göteborg. Available online at: [http://www.sgc.se/gasification2010/Resources/11\\_Ingemar.pdf](http://www.sgc.se/gasification2010/Resources/11_Ingemar.pdf)
- Hofbauer, H. 2008. Fischer Tropsch Fuels and BioSNG. Proceedings Central European Biomass Conference. Tilgjengelig online: [http://www.biomasverband.at/uploads/tx\\_osfopage//mediendatenbank/root01/3.%20Veranstaltungen/3.2%20Tagung/Mitteleuropaeische%20Biomassekonferenz%202008/0%20CEBC%202008%20Vortraege/Parallel7\\_Hofbauer\\_Hermann.pdf](http://www.biomasverband.at/uploads/tx_osfopage//mediendatenbank/root01/3.%20Veranstaltungen/3.2%20Tagung/Mitteleuropaeische%20Biomassekonferenz%202008/0%20CEBC%202008%20Vortraege/Parallel7_Hofbauer_Hermann.pdf)
- Holmgren, R., R. Marinangeli, P. Nair, D. Elliot, and R. Bain. 2008. Consider upgrading pyrolysis oils into renewable fuels. Hydrocarbon processing. Pp. 95-103. Available online from [http://premium-re.com.my/docs/HP0908\\_Holmgren.pdf](http://premium-re.com.my/docs/HP0908_Holmgren.pdf)
- Jenkins, B. M., Bakker, R. R., & Wei, J. B. (1996). On the properties of washed straw. *Biomass and Bioenergy*, 10(4), 177-200. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0961953495000585>
- Klimaforliket, 2008. Avtale om klimameldingen. Tilgjengelig online på: [www.regjeringen.no/Upload/MD/Vedlegg/Klima/avtale\\_klimameldingen.pdf](http://www.regjeringen.no/Upload/MD/Vedlegg/Klima/avtale_klimameldingen.pdf)
- Klima - og forurensings direktoratet (Klif). 2010. Klimakur 2020 rapporten. Tilgjengelig online på: <http://www.klif.no/publikasjoner/2590/ta2590.pdf>
- Klima - og forurensings direktoratet (Klif). 2011. Biogass fra sambehandling av husdyrgjødsel og våtorganisk avfall: Kostnader og reduksjon av klimagass-utslipp gjennom verdikjeden (Rapport TA2704).

- Kopyscinski, J., Schildhauer, T. J. and Biollaz, S. M. A. 2010. Production of synthetic natural gas (SNG) from coal and dry biomass - A technology review from 1950 to 2009. *Fuel*. 89, 2010, 1763-1783.
- Kristoffersen, A.Ø., J. Skretting, T.K. Haraldsen. 2011. Felt forsøk med flytende biorest som gjødsel til korn 2010. *Jord og Plantekulture 2011/Bioforsk FOKUS 6 (1)*
- Monsen, B., A. P. Ratvik, E. Skybakmoen, T.Strøm, H. Kolderup, L. Kobeinsen, T. Lindstad, B. Øye, H. Justnes. 2009. Tiltak og virkemidler for reduksjon av klimagasser i norsk prosessindustri. Sintef rapport A11606 for Klif.
- Nilsen, P., K. Hobbelstad, and N. Clarke. Opptak og utslipp av CO<sub>2</sub> i Skog. Vurdering av omløpstid, hogstmetode og hogstfredning for CO<sub>2</sub>-binding i jord og trær. Skog og landskap rapport 16/2008.
- Opdal, O. (2006). Production of synthetic biodiesel via Fischer-Tropsch synthesis. Project report. Available online at: <http://www.zero.no/transport/biodrivstoff/btl-namdalen.pdf>. Accessed 12/3/2011
- Oasmaa, A., E. Kuoppala, S.Gust, and Y. Solantausta. Fast pyrolysis of forestry residue. 1. Effect of extractives on phase separation of pyrolysis liquids. *Energy & Fuels*, 17, 1:1-122.
- O'Toole, 2011. Bruk av biokull som jordforbedring og til karbon lagring. *Jord og Plantekultur*. Bioforsk Yearbook.
- Rapier, R.2011. What happened at Choren?. Available online at: <http://www.consumerenergyreport.com/2011/07/08/what-happened-at-choren/>. Accessed 12/3/2011
- Rasse. D and A.O'Toole. Stability of miscanthus biochar under field conditions in Norway and effects on agronomic parameters. (Conference proceedings). 4<sup>th</sup> International Biochar Congress. Beijing, IT. 2-6 July 2012.
- Repotec, 2012. GobiGas 20MW plant. Availalbe online at: <http://www.repotec.at/index.php/97.html>. Accessed 27/11/2012.
- Sjølli, S. 2006. GROT I Solør - Odalsregionen: Tilgjenglighet og kostnader Available online at: <http://www.gronnenergi.no/Dokumenter/GROT%20Gl%C3%A5mdal.pdf> Accessed 13/3/2012
- Skog og Landskap, 2009. Bioenergi fra skogen. Available online at: [www.skogoglandskap.no/fagartikler/2009/bioenergi\\_fra\\_skogen](http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2009/bioenergi_fra_skogen)
- Statens landbruksforvaltning (SLF). 2012. Energiflistilskudd - tilskuddssatser 2012. Available online at: <https://www.slf.dep.no/no/eiendom-og-skog/skogbruk/energiflistilskudd/satser/Energiflistilskudd+-tilskuddssatser+2012.17203.cms> Accessed 13/03/2012
- St. Meld 21. Miljøvern Departement. 2012. Norsk klimapolitikk. Available online at: <http://www.regjeringen.no/pages/37858627/PDFS/STM201120120021000DDDPDFS.pdf>
- Szybist, J. P., Kirby, S. R., & Boehman, A. L. (2005). NO<sub>x</sub> Emissions of Alternative Diesel Fuels: A Comparative Analysis of Biodiesel and FT Diesel. *Energy & Fuels*, 19(4), 1484-1492. American Chemical Society. doi:10.1021/ef049702q
- Tveiten, O og D.N. Simpson. 2008. Jarvinneanlegg, kolgroper og kokegrop: Hovland, BJORÅKER, Gram, og Lærdahl. Rapport fra arkeologisk undersøkelse. Bergen Museum, Universitet i Bergen. ISSN: 1504-6869



UOP (2007). Opportunities for biorenewables. Available online at:  
<http://www.uop.com/wp-content/uploads/2011/01/UOP-Opportunities-for-Renewables-in-Petroleum-Refineries-Tech-Paper.pdf>

US Department of Energy (2012). Renewable gasoline and diesel via pyrolysis. Available online at <http://www.consumerenergyreport.com/2012/05/07/current-and-projected-costs-for-biofuels-from-algae-and-pyrolysis/>.

Viken Skog (2008). Flis produksjon. Conference presentation.