

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en avslutning på min femårige mastergrad i Miljøfysikk og fornybar energi, ved Universitetet for miljø- og biovitenskap. Arbeidet tilsvarer 30 studiepoeng, og har strukket seg over fem måneder fra januar til mai.

Det var veilederen min, Petter H. Heyerdahl, som inspirerte meg til valg av tema. Jeg syntes det virket veldig spennende å skulle skrive om noe så samfunnsnyttig som morgendagens transportsektor.

Dette semesteret har vært både lærerikt og utfordrende. Det har vært uvant å vie et helt semester til kun å omfatte selvstendig arbeid, men med et godt samhold blant oss masterstudenter på lesesalen har det vært fem hyggelige måneder!

Jeg vil takke Petter for å ha bidratt med utmerket veiledning, uten hans smittende engasjement hadde det vært mye vanskeligere å holde produktiviteten oppe i de periodene jeg gikk litt "lei". Spesielt i innspurten har det vært gull verdt med en veileder som er så tilstede for studentene sine, hverdag som helg. Jeg vil også takke Celine som har bidratt med korrekturlesing og sist, men ikke minst, Simen for god støtte og oppmuntring underveis.

Alt i alt vil jeg si at dette halvåret har vært en fin og verdig avslutning på min tid ved IMT. Jeg er veldig glad for at jeg i 2006 fant veien opp hit etter et "prøveår" som husdyrfagstudent.

Ås, 12.mai 2011

Helene Nossen Sandvei

Sammendrag

Norges energiforbruk baseres primært på to energibærere, elektrisitet og petroleumsprodukter. Sistnevnte utgjør bort i mot 100 prosent av all energi som konsumeres i transportsektoren, nærmere bestemt 7500 millioner liter hvilket fører til at det årlig går med drøye 7500 millioner liter fossilt drivstoff til veitransport, sjøtrafikk og luftfart.

Det internasjonale energibyrået (IEA) varsler at verdens produksjon av råolje nådde toppen i 2006. De forutsette konsekvensene av dette er at gapet mellom tilbud og etterspørsel på olje stadig vil vokse seg større, noe som igjen vil føre til at prisene vil stige. Når drivstoffprisene øker, vil dette fremme konkurransedyktig produksjon av miljøvennlige alternativer. Biodrivstoff er et slikt alternativ. I likhet med fossile drivstoff som bensin og diesel, er hovedkomponenten karbon, men klimamessig er forskjellen stor. Fossilt karbon har ligget lagret under jordoverflaten i over 300 millioner år, mens *biologisk* karbon stammer fra nålevende biomasse, og inngår derfor allerede i naturens karbonkretsloop.

Denne oppgaven tar for seg Norges muligheter for å benytte biologisk karbon i drivstoffproduksjon. I den anledning blir det sett på hvilken forskningsaktivitet som foregår på aktuelle teknologier, både innenlands og utenlands. Andregenerasjons biodrivstoff blir viet størst oppmerksomhet, da dette innebærer produksjon som ikke gjør krav på landbruksarealer benyttet til matproduksjon. Tilgjengelig mengde biomasse for slik produksjon blir estimert, og deretter sammenliknet med hva behovet faktisk er. Resultatet viser at biomasse fra norske skoger, i tillegg til biogass, kun er i stand til å dekke en fjerdedel av det årlige drivstofforbruket. Det er derfor nødvendig å samtidig stimulere utviklingen av de to andre fremdriftsalternativene som viser størst potensial; elektrisitet og hydrogen.

Som en konsekvens av den antatte utviklingen i prisene på drivstoff, er det sannsynlig å forvente at biomassen vil trekkes ut fra dagens anvendelsesområde, fjernvarmesektoren, og over i det mobile energimarkedet. Det bør derfor allerede nå utvikles alternative energikilder som kan implementeres i fjernvarmesektoren. I denne oppgaven nevnes dyp geotermisk energi og varmepumper som to aktuelle "avløser".

Abstract

The Norwegian energy consumption is based primarily on two forms of energy, electricity and petroleum products. The latter constitutes almost 100 % of all energy consumed in the transportation sector. As a result, 7.5 billion liters are used annually for transportation, either by cars, airplanes or ships.

The International Energy Agency (IEA) has calculated that the world's production of crude oil peaked in 2006. This leads to a growing difference between oil supply and demand, which again results in increasing oil prices. This increase in fuel prices will encourage a profitable production of environmental friendly alternatives. Biofuels are one alternative that show a great potential. The main component here is the same as for fossil fuels, carbon. An essential difference, however, is the fact that the carbon used in biofuel production already is a part of the biological carbon cycle. This is the reason why biofuels are said to be "carbon neutral".

This thesis examines the Norwegian potential for using biological carbon in biofuel production. Different technologies are being considered, yet 2nd generation biofuels are attracting the most attention because they do not need agricultural land used for food production. The ratio between the needed and accessible amount of biomass are estimated, revealing that Norway only can only cover one fourth of its fuel demand using this resource. It is therefore necessary to simultaneously stimulate the development of other alternatives, with electricity and hydrogen being the two other technologies showing the greatest potential.

As a consequence of the expected development in fuel prices, it is likely that biomass will be reallocated from its current application, the district heating sector, and over to the mobile energy market. Alternative energy sources should therefore already now be implemented in the heating sector. Two such suggestions considered in this thesis are deep geothermal energy and heat pumps.

Innhold

FORORD	1
SAMMENDRAG	3
ABSTRACT	5
1. INNLEDNING	9
1.1 BAKGRUNN FOR ARBEIDET	9
1.1.1 KNAPPHET PÅ FOSSIL ENERGI	10
1.1.2 BEHOVET FOR FLYTENDE DRIVSTOFF	12
1.2 PROBLEMSTILLING	13
1.3 OMFANG OG BEGRENSNINGER	13
2. DAGENS ENERGIBILDE	15
2.1 ENERGIFORBRUK I NORGE	15
2.2 POLITISKE TILTAK SOM SKAL FREMME FORNYBAR ENERGI I NORGE	16
2.2.1 UTSLIPPSANALYSE GJORT AV KLIMAKUR 2020	17
2.3 BIOENERGI OG BIOMASSE	19
2.3.1 BIOBRENSLER	20
3. BIODRIVSTOFF	22
3.1 FØRSTEGENERASJONS BIODRIVSTOFF	22
3.1.1 FØRSTEGENERASJONS BIOETANOL	23
3.1.2 FØRSTEGENERASJONS BIODIESEL	23
3.2 ANDREGENERASJONS BIODRIVSTOFF	24
3.2.1 ANDREGENERASJONS BIOETANOL	24
3.2.2 ANDREGENERASJONS BIODIESEL	25
3.3 BIOGASS	32
3.3.1 SYNTETISK DIESEL FRA BIOGASS (GTL)	33
3.4 BIODRIVSTOFFBEDRIFTER	35
3.4.1 NORSKE BEDRIFTER	35
3.4.2 UTENLANDSKE BEDRIFTER	38
4. ANDRE FREMDRIFTSALTERNATIVER	41
4.1 ELEKTRISITET	41
4.1.1 BATTERITEKNOLOGI	44
4.2 HYDROGEN	45
4.3 TRYKKLUFT	49
5. RESSURSGRUNNLAGET FOR BIODRIVSTOFFPRODUKSJON I NORGE	51
5.1 DAGENS UTTAK FRA NORSKE SKOGER	51
5.2 TILTAK FOR Å ØKE UTTAK TIL BIOENERGI	54
5.2.1 HOGSTAVFALL (GROT)	54
5.2.2 ØKT SKOGSVEIBYGGING	56
5.3 FORHOLDET MELLOM TILGJENGELIG OG NØDVENDIG MENGDE BIOMASSE	58
5.4 FJERNVARME - DAGENS ARENA FOR BIOLOGISK KARBON	59
5.4.1 OFFENTLIGE SUBSIDIER OG STØTTEORDNINGER FOR FORNYBAR VARME	61

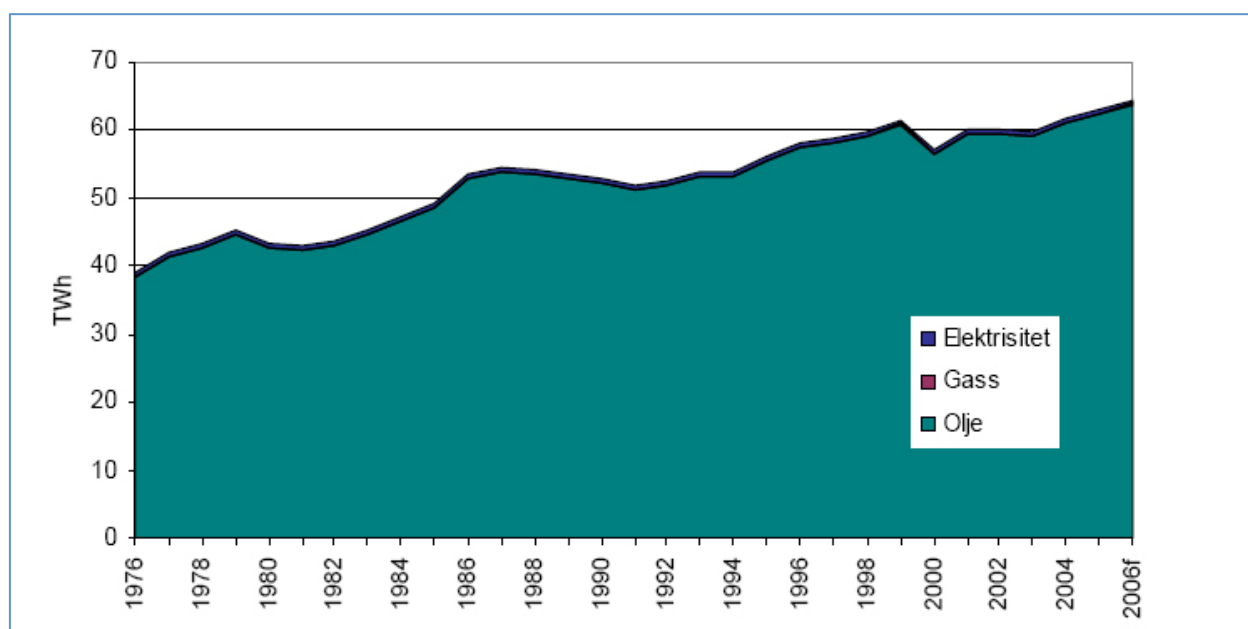
6. DISKUSJON	63
7. KONKLUSJON	72
8. REFERANSER	73

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for arbeidet

I Norge står transportsektoren for 27 prosent av det totale energiforbruket, noe som er en økning på fire prosent siden 1990 (Trømborg et al. 2007). Denne utviklingen er i tråd med hva som har blitt observert i Europa generelt de siste årene. Årsaken kan blant annet forklares av den generelle velstandsutviklingen, hvor god kjøpekraft resulterer i varer som må transporteres. I tillegg reiser vi stadig mer, enten det er i dagliglivet, i jobbsammenheng eller på fritiden.

Av energien som konsumeres til transportformål, produseres nærmere 100 prosent fra fossilt karbon i form av olje. Figuren nedenfor viser økningen i energibruk til transport, samt fordelingen av energibærerne olje, gass og elektrisitet. Olje er den klart mest dominerende energibæreren, mens elektrisitet og gass utgjør henholdsvis ca. 1,5 og 0,6 prosent (NVE 2009).

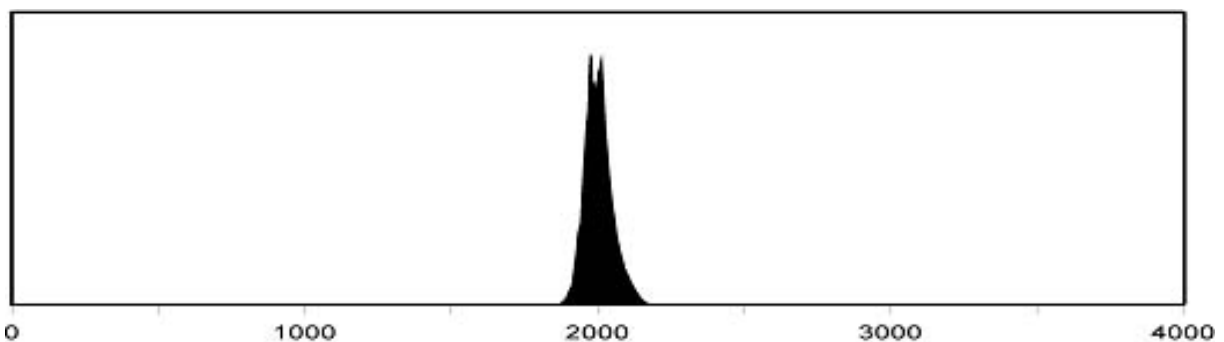


Figur 1: Energibruk til all transport i Norge, fordelt på energibærere (NVE 2009). Etter 2006 har stigningen fortsatt til dagens nivå på 75 TWh (Klif et al. 2010).

1.1.1 Knapphet på fossil energi

Som beskrevet over drives transportsektoren i all hovedsak på fossil energi. Dette er en ikke-fornybar energikilde, noe som bringer frem spørsmålet om hva som vil skje når denne kilden reduseres, og prisene stiger. Det benyttes ulike metoder for å anslå fremtidens beholdning, og det er vanskelig å slå fast når vendepunktet vil komme. Én ting som er sikkert er at fossil energi er noe det finnes en endelig mengde av, og dermed er dette også noe som vil ta slutt en dag. Og for hva oljeprisene gjelder, så kan de kun gå én vei, og det er opp.

Dersom en setter "petroleumsalderen" inn i et langt tidsperspektiv, ser en at den utgjør kun et lite hopp på tidsaksen, hvilket er illustrert med figur 2.

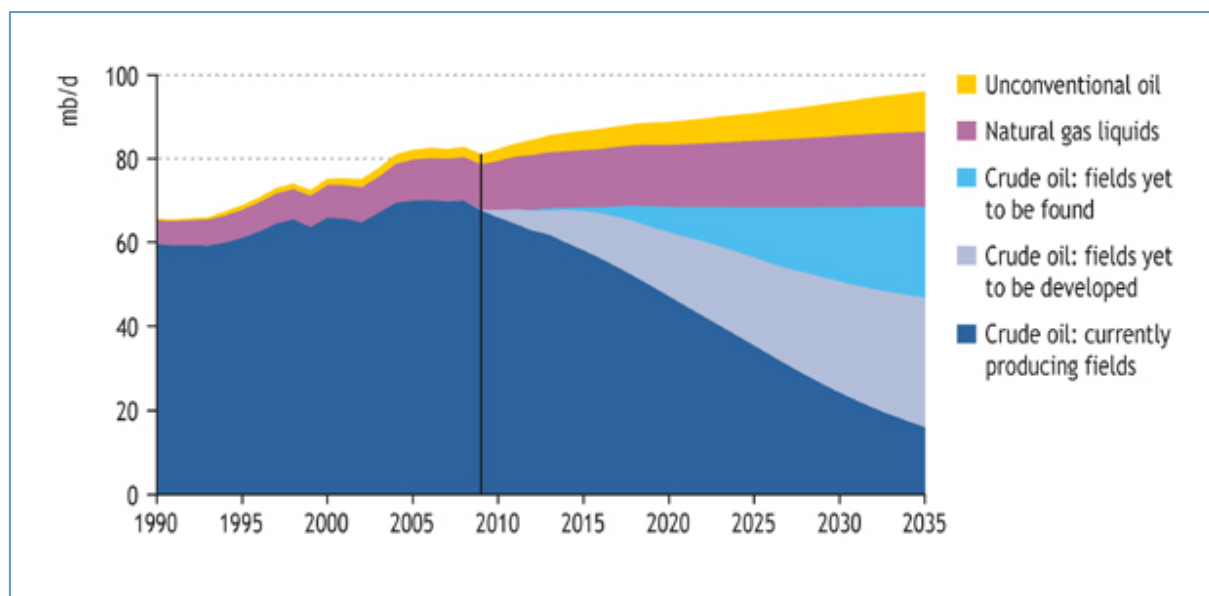


Figur 2: "Petroleumsalderen" satt i et historisk perspektiv over en tidsperiode på 4000 år (ASPO 2008).

Verden befinner seg nå et sted i denne nevnte petroleumsalderen, men akkurat *hvor* finnes det mange ulike teorier rundt. Antallet nettsider og publikasjoner som finnes på temaet er utallige, og det vil her kort presenteres synspunkter fra to ulike organisasjoner; ASPO (Association for the study of Peak Oil & Gas) og IEA (International Energy Agency). Førstnevnte er et nettverk bestående av forskere fra hele verden, hvorav lederen er den svenske fysikkprofessoren Kjell Aleklett fra Uppsala Universitet. IEA derimot, ligger under OECD og ble opprettet i 1974 for å levere informasjon og statistikk rundt det internasjonale oljemarkedet og andre energisektorer.

Nedenfor vises en fremstilling hentet fra IEAs rapport World Energy Outlook 2010.

Energibyrådet kunne i denne publikasjonen melde at produksjonen av konvensjonell råolje på verdensbasis nådde toppen i 2006.



Figur 3: Verdens oljeproduksjon konstruert av IEA i World Energy Outlook 2010 (Teknisk Ukeblad 2010a).

Som det fremgår av figuren spår IEA at produksjonen av flytende naturgassprodukter (LNG - liquefied natural gas) og ukonvensjonell olje (eks. skiferolje og oljesand), vil fortsette å stige frem til år 2035. I rapporten hevdes det også at verden kan møte en etterspørsel på 99 millioner fat oljeekvivalenter per dag i 2035. Dette mener Kjell Aleklett i ASPO er et alt for høyt estimat, han mener det reelle tallet er 75 millioner fat per dag i 2030. I et intervju med Teknisk Ukeblad publisert 14. desember 2010 sier han følgende:

"IEA sier blant annet at man skal produsere 20 millioner fat per dag fra oljefelter som hittil ikke er funnet. Jeg bruker å sammenligne med Nordsjøen. Fra man begynte å produsere der til maksproduksjon tok det ca. 25 år, samme periode som man snakker om nå. Maksproduksjon i Nordsjøen var 6 millioner fat per dag. 20 millioner fat betyr at man skal finne minst tre oljeregioner av Nordsjøens størrelse på 25 år. Det sier litt."(Teknisk Ukeblad 2010b).

Uavhengig av hvem som har "rett" av IEA og ASPO, så betyr de fossile fremtidsutsiktene at verden kommer til å bli avhengig av å kunne hente ut energi fra andre ressurser.

Denne knappheten på olje er ikke den eneste motivasjonen for å redusere forbruket av fossile drivstoff. Den stadig styrkede teorien om at den globale temperaturøkningen vi er vitne til skyldes menneskelige utslipp, er også et argument for å gi transportsektoren flere strenger å spille på.

1.1.2 Behovet for flytende drivstoff

Dagens drivstoff kjennetegnes ikke bare ved at det inneholder fossilt karbon, det er også flytende. Flytende drivstoff er enkelt å håndtere, lagringsstabil, og det egner seg godt til bruk i motorer. Det har i tillegg høy energitetthet, bensin og diesel ligger på henholdsvis 9 og 10 kWh/liter. Disse egenskapene har ført til en enorm infrastruktur for flytende, fossilt karbon verden over (Jordanger et al. 2002).

Nettopp denne eksisterende infrastrukturen bringer frem visse kriterier til fremtidige drivstoff som skal overta stafettpinnen etter bensin og diesel. I tillegg kommer bekymringene knyttet til den globale oppvarmingen forårsaket av tilførselen av CO₂ til atmosfæren. Morgendagens drivstoff bør altså være klimanøytralt. Noe som oppfyller alle disse kravene er biologisk karbon. Med *biologisk* karbon menes karbon hentet fra nålevende biomasse som allerede inngår i det biologiske karbonkretsløp. *Fossilt* karbon derimot har ligget lagret i over 300 millioner år, og ved forbrenning blir da mengden CO₂ frigitt mer enn hva naturen klarer å binde opp (Enova et al. 2007).

Drivstoff basert på biologisk karbon kalles for *biodrivstoff*. Ved hjelp av ulike teknologier kan det produseres flytende produkter, da enten biodiesel eller bioetanol. Disse kan igjen klassifiseres som enten førstegenerasjons eller andregenerasjons, avhengig av hva slags type råstoff og prosess teknologi som benyttes i produksjonen (Liebe & Halsør 2010). I tillegg til disse flytende variantene finnes også biogass, et drivstoff som blant annet benyttes i deler av busstrafikken i Oslo (Oslo kommune 2010).

Biodrivstoff alene er imidlertid ikke nok til å dekke det enorme transportbehovet, det er

derfor nødvendig å utvikle flere teknologier parallelt. To andre fremdriftsalternativer som viser en lovende utvikling er elektrisitet og hydrogen.

1.2 Problemstilling

Hovedformålet med denne masteroppgaven er å se på mulighetene for bruk av biologisk karbon som drivstoff i den norske transportsektoren. Eksisterende produksjonsmetoder vil bli presentert, samt aktuell forskning og utvikling på området. Det vil også bli vurdert hvilke andre fremdriftsalternativer som kan ventes å bli aktuelle, da en generell utfasing av petroleumsbaserte drivstoff utgjør motivasjonen for hele oppgaven.

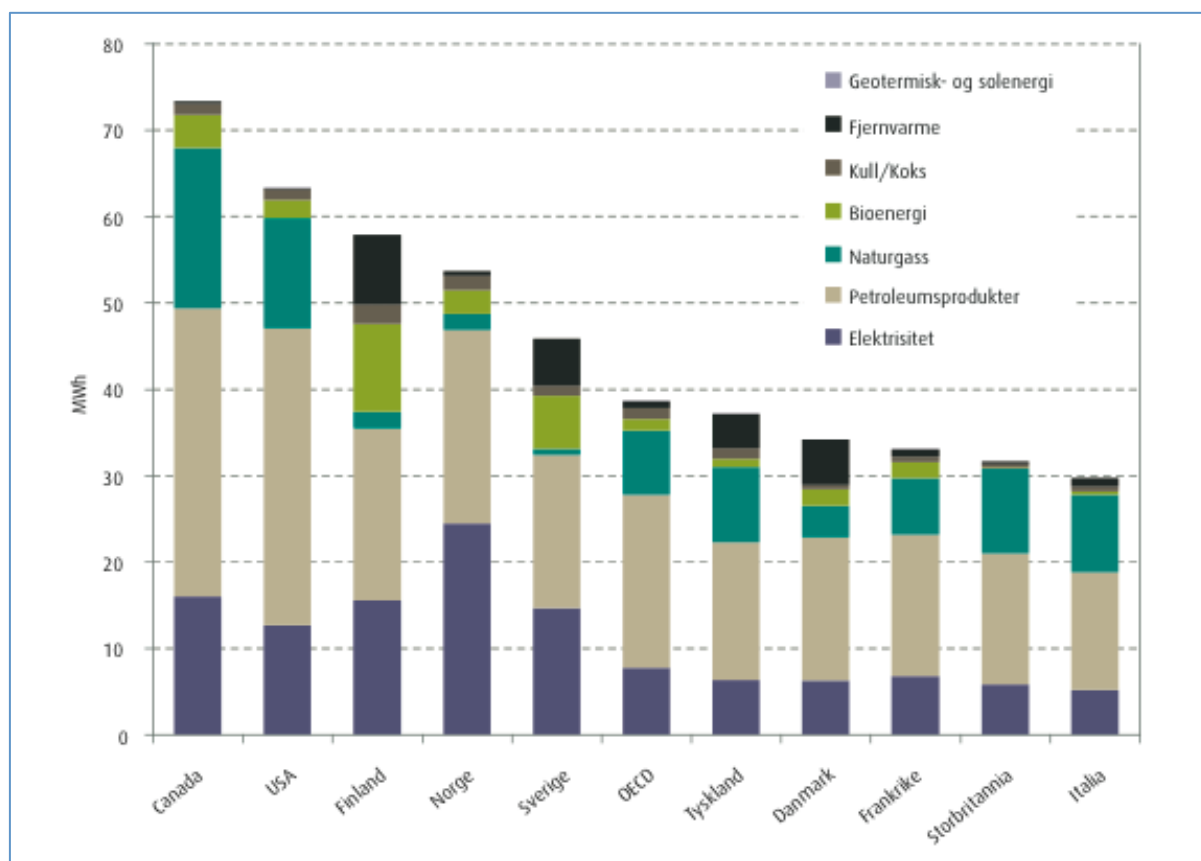
1.3 Omfang og begrensninger

Oppgavens omfang begrenser seg ved at fokuset holdes på Norge. Det er de norske ressursene og behovene som vil bli undersøkt, og dermed vil også en konklusjon trekkes basert på dette. Et annet moment som er viktig å presisere, er at oppgaven ikke omfatter beregninger av klimaeffekt knyttet til de ulike teknologiene.

2. Dagens energibilde

2.1 Energiforbruk i Norge

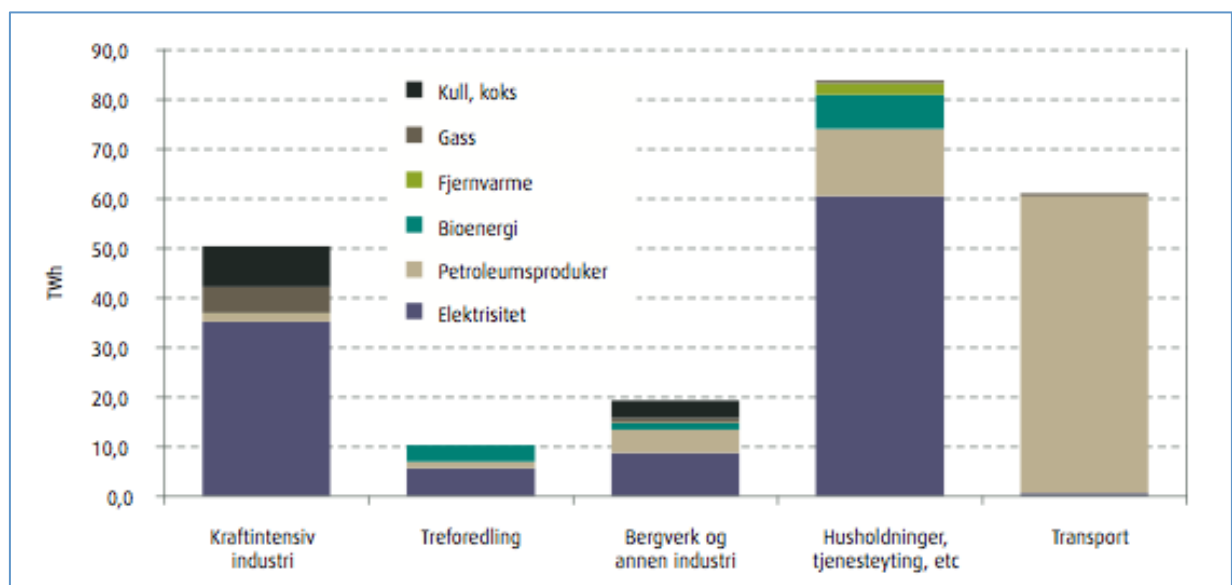
Nordmenn har et energiforbruk som ligger noe høyere enn gjennomsnittet for OECD-landene, fordelingen er fremstilt i figur 4. Det er særlig elektrisitetsforbruket som er høyt i Norge, dette skyldes blant annet at oppvarming i mye større grad enn i andre land skjer ved hjelp av elektrisitet, både når det gjelder oppvarming av bygninger og av tappevann (Olje- og energidepartementet 2008).



Figur 4: Energibruk per innbygger i OECD-land, 2005 (Olje- og energidepartementet 2008).

Det totale netto forbruket av energi i Norge var i 2007 på 225 TWh (Olje- og energidepartementet 2008). Hvordan denne energien fordelte seg på de ulike sektorene er illustrert i figur 5. Av denne fremstillingen kommer det frem at de tre største slukene er kraftintensiv industri, husholdninger og tjenesteyting, samt transport. I de to førstnevnte er det elektrisitet som står for hovedandelen av energiforbruket, mens transportsektoren

nærmest utelukkende konsumerer energi i form av flytende petroleumprodukter. De fornybare energibærerne fjernvarme og bioenergi representerer som vist en liten andel av det totale forbruket. Bioenergiforbruket er høyest i sektoren ”husholdninger, tjenesteyting, etc.”, noe som hovedsakelig skyldes bruken av vedovner i private hjem.



Figur 5: Energibruk i 2007 basert på energibærere og sektorer. (Regjeringen, 2008. Basert på SSB.)

Det faktum at transportsektoren i dag er fullstendig avhengig av tilgangen på fossile brennstoff er et tankekors i forhold til fremtiden. Hva vil skje med transportsektoren den dagen tilgangen på petroleumprodukter tar slutt, hvilke alternativer er da utviklet?

2.2 Politiske tiltak som skal fremme fornybar energi i Norge

Det har i den senere tiden blitt satt sammen flere utvalg i forbindelse med fremtidens energipolitikk, både nasjonalt og internasjonalt. EUs fornybardirektiv av 2008 er et slikt eksempel. Dette direktivet stiller blant annet krav om 10 prosent fornybare drivstoff i transportsektoren innen 2020, og da avtalen er EØS-relevant faller Norge inn under landene dette omfatter. Av definisjonen ”fornybare drivstoff” inngår elektrisitet og hydrogen i tillegg til alle typer biodrivstoff. Biodrivstoff fra trevirke eller avfall vektet dobbelt etter bestemmelsene nedfelt i direktivet (Liebe & Halsør 2010).

I Norge snakkes det gjerne om "klimaforliket", en avtale fra 2008 som ble inngått i forbindelse med Stortingsmelding nr. 34: Norsk klimapolitikk. Målsettingen i klimaforliket er at Norge skal være et foregangsland når det gjelder internasjonal klimapolitikk. Dette innebærer å være en pådriver rundt å begrense den globale oppvarmingen til 2°C, sammenliknet med førindustriell tid (Klif et al. 2010). I forbindelse med dette arbeidet opprettet Miljøverndepartementet en etatsgruppe som fikk navnet Klimakur 2020, ledet av Klima- og forurensningsetaten (Klif).

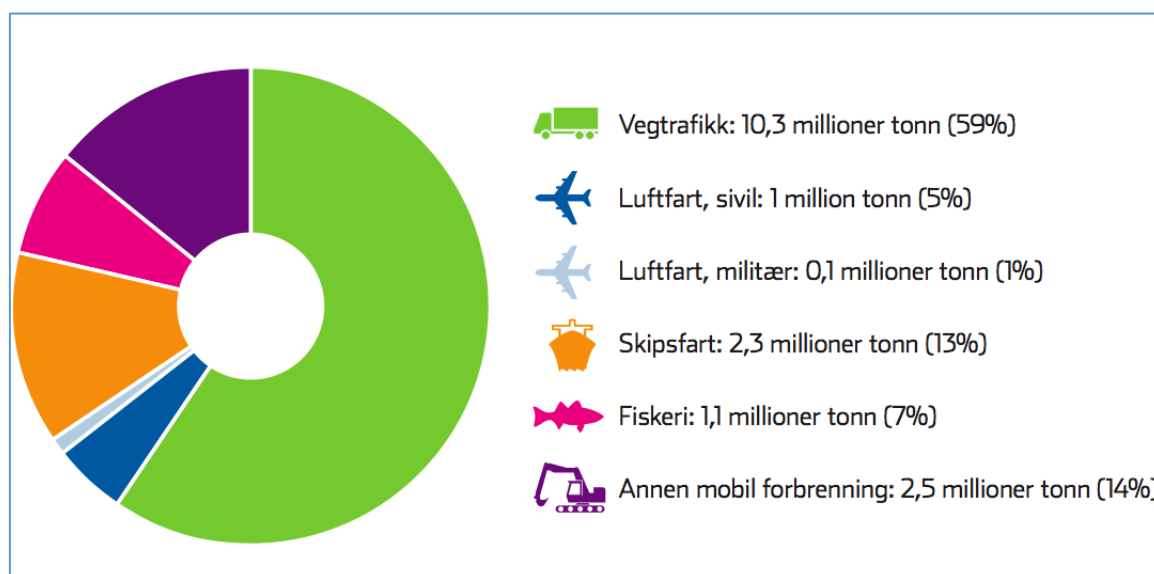
2.2.1 Utslippsanalyse gjort av Klimakur 2020

I forbindelse med klimaforliket ble det satt et konkret mål om å redusere norske klimagassutslipp, med 15 - 17 millioner tonn CO₂-ekvivalenter¹ innen 2020. Et slikt mål krever vurdering av spesifiserte tiltak og virkemidler, et ansvar som ble gitt Klimakur 2020. Med på lasset har Klif fått satt sammen en kjernegruppe av representanter fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Statens vegvesen, Statistisk sentralbyrå (SSB) og Oljedirektoratet. Disse har igjen involvert fagmiljøer innenfor de ulike sektorene som inngår i arbeidet.

- **Transportsektoren**

Undersøkelsen som er gjennomført av Klimakur 2020 viser at transportsektoren stod for den største andelen av klimagassutslippene i Norge i 2008, med ca. 32 prosent av totalutslippet, etterfulgt av petroleumssektoren (ca. 27 prosent), og industrisektoren (ca. 26 prosent) (Klif et al. 2010). Inkludert i disse 32 prosentene er landtransport, luftfart (både sivil og militær), skipsfart, fiskeri og andre mobile kilder. Fordelingen mellom disse er fremstilt i figur 6.

¹ CO₂-ekvivalent er en betegnelse som brukes for å måle effekten av ulike klimagasser, med CO₂ som referanseverdi. Én CO₂-ekvivalent tilsvarer effekten av utslippet av 1 kg CO₂ (Klif, NVE et al. 2010).



Figur 6: Fordeling av klimagasser fra mobile kilder i Norge i 2007 (Klif et al. 2010).

Som figuren over viser, stod vegtrafikken i 2007 for over halvparten av utslippene med sine 59 prosent, etterfulgt av postene "annen mobil forbrenning"² og skipsfart (Klif et al. 2010).

Med vegtrafikken som største utslippspost viser det at en utvikling innen biodrivstoff og kjøreteknologi står sentralt i det å skulle få ned klimagassutslippene knyttet til transport. Det er anslått at hele 2,7 millioner tonn vil kunne kuttes dersom denne teknologien kommer på plass, og ytterligere 1,4 millioner tonn kan unngås ved å utvide kollektivtilbudet kombinert med økte avgifter på bil og fly (Klif et al. 2010). Transportsektoren er imidlertid en kompleks arena med mange ulike transportformer, og tiltakene vil derfor gjerne være avhengige av hverandre.

I rapporten lagt frem av Klimakur 2020 nevnes muligheten for å få overført deler av godstransporten fra veiene til jernbanen. Hindringen her er at distribusjonen gjerne skjer innenfor lokale grenser, hvor veg i stor grad er eneste alternativ. I de tilfeller blir fokuset da konsentrert rundt det å gjøre godstransporten på veiene mer effektiv, i form av energieffektive kjøretøy.

² Annen mobil forbrenning omfatter jernbane, samt utslipp fra motordrevne kjøretøy som traktorer og gravmaskiner (Klif et al. 2010).

Når det gjelder tiltak som omfatter biodrivstoff, er det beregnet at en innfasing vil kunne gi en reduksjon på 1,8 – 1,9 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2020. Det tilsvarende tallet for 2030 er satt til 3,8 – 7,7 millioner tonn (Klif et al. 2010). Disse estimatene innebærer ulike innblandingsprosent for biodrivstoffet; for 2020 antas det en innblanding på 10 prosent for alle transportformer, mens dette er justert opp til 20 prosent for 2030. I forbindelse med 2030-beregningene er det viktig å være oppmerksom på det spriket som ligger mellom 3,8 millioner tonn (basisalternativet) og 7,7 millioner tonn (høyalternativet). Sistnevnte er beregnet for en innblandingsprosent på 40 prosent. For jernbane gjelder egne forutsetninger, her er det forutsatt en innblanding på fem prosent i basisalternativet og hele 50 prosent i høyalternativet. Det er også tatt med en antakelse om innfasing av biodrivstoffet E85 når det gjelder dette høyalternativet. Lette personbiler drevet på slikt drivstoff er antatt å utgjøre 20 prosent av markedet i 2020, og 90 prosent av markedet i 2030.

Samlet sett er det anslått at drøye 90 prosent av de 7,7 millioner tonnene med CO₂-ekvivalenter det er foreslått å redusere klimagassutslippet med, kommer til å skyldes bruk av andregenerasjons biodrivstoff (Klif et al. 2010). Her kommer det imidlertid et stort ”men”, klimakur forutsetter nemlig 100 % import av råvarene som muliggjør slik produksjon. Mer om dette senere.

2.3 Bioenergi og biomasse

Biodrivstoff er en underkategori av det vide begrepet ”bioenergi”. Denne betegnelsen brukes på energi som stammer fra biologiske materialer som trevirke, strå, frø, biologisk avfall osv. Dette er materialer som alle har sitt opphav i fotosyntesen og som har vært levende i nyere tid, til forskjell fra fossile energikilder. Materialene kan enten benyttes direkte til å produsere varme eller kraft, eller konverteres til såkalte *biobrensler* (Boyle 2004).

Felles for alle former for biomasse er at de har sitt utspring i fotosyntesen. I denne prosessen benyttes lysenergien fra solen til å omdanne karbondioksid (CO₂) og vann (H₂O),

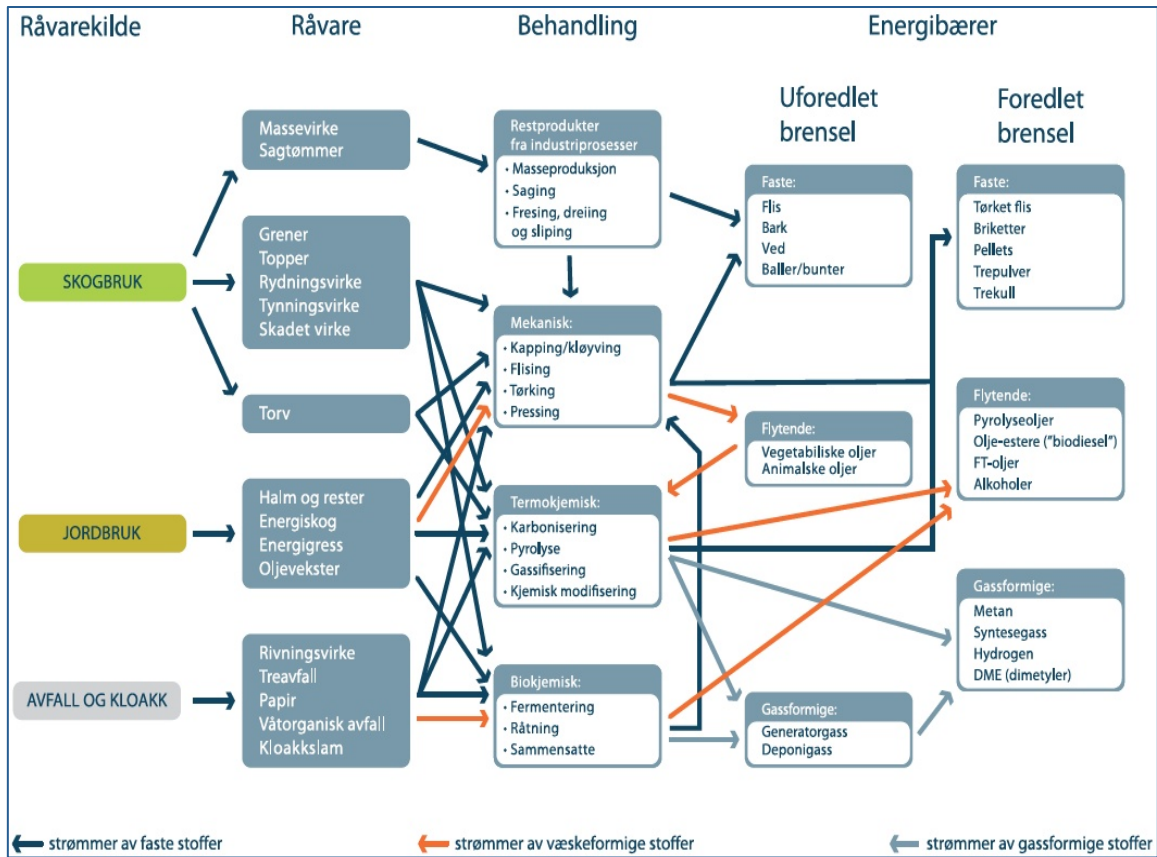
til glukose ($C_6H_{12}O_6$) og oksygen (O_2). Termodynamikkens første lov sier "Energi kan verken oppstå eller forsvinne, den kan bare omdannes fra en form til en annen" (Serway & Jewett 2004).

På denne måten sier en at biomasse inneholder kjemisk bundet solenergi, og det er denne solenergien som frigjøres ved varme når en vedkubbe brenner i ovnen. Ved en slik forbrenning vil det i tillegg til varme også frigjøres CO_2 og vanndamp, dette sendes tilbake til atmosfæren og fullfører dermed det biologiske karbonkretsløpet. Det vanligste bruksområdet for biomasse per i dag er forbrenning for å produsere varme (SFFE 2011a).

2.3.1 Biobrensler

De viktigste råvarekildene for kommersielle bioenergiressurser kommer fra skogbruk, jordbruk og avfall (Enova et al. 2007). Før energien lagret i biomassen blir utnyttet, er det vanlig å at det biologiske materialet gjennomgår en foredlingsprosess hvor sluttproduktet er et *biobrensel*. Slik foredling kan i de enkleste tilfeller være kapping, kløyving eller tørking av ved, mens det også finnes mer kompliserte prosesser som for eksempel pyrolyse eller gassifisering. Nedenfor i figur 7 vises en oversikt over de vanligste veiene fra råvarekilde til energibærer.

Det er ikke alle foredlingsveier som er like aktuelle eller lønnsomme. Det er derfor viktig å i enhver situasjon sette seg godt inn i mulighetene som finnes, slik at en ender opp med det alternativet som gir den mest effektive energikjeden. Det vil senere i oppgaven bli sett nærmere på termokjemiske og biokjemiske behandlingsprosesser i forbindelse med utviklingen av alternativer til fossilt drivstoff.



Figur 7: Oversikt over de vanligste foredlingsveiene fra biomasse til energibærere (Enova et al. 2007)

3. Biodrivstoff

Biodrivstoff er en fellesbetegnelse på drivstoff som er produsert med utgangspunkt i biomasse. Sammenliknet med fossilt drivstoff er dette et mer miljøvennlig alternativ, da karbonutslippet fra slike drivstoff (gitt en bærekraftig anvendelse) inngår i naturens karbonkretsloop. Dette kan en si fordi den samme mengden CO₂ som frigis ved forbrenning av biodrivstoffet, bindes opp igjen ved dannelsen av ny biomasse (Liebe & Halsør 2010).

Ved forbrenning av fossile drivstoff derimot, er det snakk om karbon som hentes opp fra reserver under jordens overflate. Denne tilførselen er større enn hva naturen klarer å binde opp, hvilket fører til en økt CO₂-konsentrasjon i atmosfæren (Liebe & Halsør 2010). Når dette er sagt, krever som regel produksjon av biodrivstoff fossile innsatsfaktorer, gjerne i form av energi, transport eller kunstgjødsel. Klimapåvirkningen ved bruk av biodrivstoff varierer derfor avhengig av hvilken produksjonsmetode som er benyttet, dette omtales gjerne som drivstoffets *klimanytte*.

Hittil har biodrivstoff vist seg å være det eneste fornybare alternativet til fossilt drivstoff når det gjelder lang- og tungtransport utenfor jernbanenettet. Dette vil si reiser og transport på over 150 kilometer ved personbil, lastebil, buss, skip eller fly (PFI et al. 2007). De neste avsnittene vil nå ta for seg det som kalles for første- og annengenerasjons biodrivstoff.

3.1 Førstegenerasjons biodrivstoff

Drivstoff som ligger inn under denne kategorien blir fremstilt av planter dyrket frem i jordbruket, som i mange tilfeller også kan benyttes til matproduksjon. Eksempler på slike råvarer er oljeplanter som raps og rybs, sukkerør og korn. Det stilles spørsmål knyttet til hvorvidt slik produksjon vil bidra til å true det bærekraftige mangfoldet i fremtiden, ved at avlingsforbruket kan resultere i matmangel i fattige land (Liebe & Halsør 2010).

3.1.1 Førstegenerasjons bioetanol

Bioetanol er det biodrivstoffet som det brukes mest av på verdensbasis (Liebe & Halsør 2010). 2010-tall fra BP viser at 80 milliarder liter ble produsert verden over, hvorav USA og Brasil er de største produsentene.

Førstegenerasjons bioetanol blir produsert ved at stivelse fra karbohydratrike planter blir spaltet til sukker som deretter gjæres. Typiske eksempler på råvarer til slik produksjon er sukkerrør, sukkerrot, mais, hvete og poteter (Boyle 2004). I første omgang må stivelsen brytes ned til enkle sukkerforbindelser gjennom det som kalles hydrolyse, før det videre kan skje en fermenteringsprosess hvilket innebærer gjæring ved hjelp av mikroorganismer. Det nest siste trinnet i produksjonsprosessen er destillering hvor det oppnås 96 prosent konsentrasjon. Etanolen blir deretter ytterligere konsentrert til nærmere 100 prosent ved hjelp av spesielle kjemikalier (PFI et al. 2007).

Drivstoff som inneholder bioetanol omtales med en E-betegnelse, som for eksempel E85. Tallet 85 i betegnelsen angir hvor stor prosentandel bioetanol som er tilstede i det aktuelle drivstoffet, de resterende 15 prosentene består av ordinær bensin. Ren bioetanol betegnes derfor som E100.

I Norge er det per i dag 19 Statoil-stasjoner hvor en kan fylle tanken med bioetanol av typen E85. Dette er et beskjedent tilbud sammenliknet med andre land, som et eksempel så er det tilsvarende tallet i Sverige 1574 stasjoner (Liebe & Halsør 2010).

3.1.2 Førstegenerasjons biodiesel

Førstegenerasjons biodiesel utvinnes fra fett som kan hentes enten fra planteoljer eller dyreavfall. Det nevnes ofte med den kjemiske betegnelsen "FAME" som står for fatty acid methyl ester, eventuelt "RME" – rapsmetylester. Sistnevnte betegnelse kommer av at i Europa og Canada er raps den vanligste planten å bruke som råvare. Den aktuelle oljen

presses ut av råvarene og varmes opp før den tilsettes ca. 10 prosent metanol og lut (PFI et al. 2007).

Som nevnt blir bioetanol ofte beskrevet med en E-betegnelse, på samme måte finnes det en B-betegnelse for biodiesel. Her står tallet for prosentandelen biodiesel, slik som for eksempel B20 hvor 20 prosent av drivstoffet er biodiesel. De resterende 80 prosentene er da ordinær fossil diesel.

3.2 Andregenerasjons biodrivstoff

Til forskjell fra førstegenerasjons biodrivstoff, tar produksjon av andregenerasjons biodrivstoff utgangspunkt i typiske skogbruksprodukter som trevirke, skogsavfall og halm. De viktigste komponentene i råstoffet til slik produksjon er cellulose, hemicellulose og lignin. Disse organiske forbindelsene utgjør hovedbestanddelen i materiale som for eksempel nettopp trevirke (PFI et al. 2007).

Produksjon av andregenerasjons biodrivstoff åpner for bruk av flere og billigere råvarer enn hva som gjelder for førstegenerasjons biodrivstoff. Dette betyr imidlertid ikke at dette er en teknologi fri for utfordringer. Den største bøygen ligger i det faktum at slik produksjon krever en langt mer komplisert teknologi sammenliknet med førstegenerasjons biodrivstoff, hvilket igjen betyr høyere produksjonskostnader (PFI et al. 2007).

3.2.1 Andregenerasjons bioetanol

Når det gjelder andregenerasjons bioetanol så går store deler av prosessen ut på de samme teknologiene som nevnt for bioetanol av førstegenerasjon. Det som er annerledes er prosessdelen frem til fermentering.

Her er råstoffet celluloseholdig biomasse som trevirke eller halm, det er derfor nødvendig at dette først brytes ned til de tre hovedbestanddelene lignin, hemicellulose og cellulose. Cellulosefibrene må så videre brytes ned ved enten enzymatisk eller syrebasert nedbrytning

slik at sukkeret frigjøres. Når dette er gjort kan det benyttes prosesser kjent fra førstegenerasjons produksjon både når det gjelder fermentering til etanol, samt destillering til høykonsentrert drivstoff (Econ Pöyry 2008). Den ferdigproduserte etanolen kan brukes i dagens bensinbiler ved en innblanding på opp til fem prosent uten behov for tilpasninger, uavhengig om det er første- eller andregenerasjons. Statoil var det første selskapet i Norge til å innføre dette, da de i januar 2010 forsynte 40 prosent av sine bensinstasjoner med det nye biodrivstoffet Bensin 95. Det tilbys også bensin med høyere etanolinnblanding, opp til E85. Dette krever imidlertid at kjøretøyet har en spesialtilpasset motor.

I teorien kan også hemicellulosen benyttes til å fremstille etanol, men her finnes det foreløpig ikke effektive nok metoder for fermentering. Sukkeret en får fra hemicellulosen er nemlig et såkalt C5-sukker, for hvilket det kreves egne mikroorganismer å fermentere. Dette er derfor et stort forskningsområde; lykkes forskerne med å finne (eventuelt genmodifisere) passende organismer for dette formålet, vil etanolutbyttet fra biomassen bli betraktelig høyere (Econ Pöyry 2008).

Når det gjelder ligninet som cellulosen og hemicellulosen er pakket inn i, så lar ikke det seg omforme til etanol. Det er likevel ikke sagt at denne bestanddelen trenger å forkastes, et aktuelt bruksområde er direkte forbrenning for å forsyne produksjonsprosessen med energi. En annen mulighet er å presse ligninet sammen til pellets som kan benyttes til varme- eller varmekraftproduksjon. Det er også verdt å nevne at enkelte forskningsmiljøer, blant annet i Bergen, jobber med å utvikle metoder for at også ligninet kan benyttes som råvare i drivstoffproduksjon (Econ Pöyry 2008).

3.2.2 Andregenerasjons biodiesel

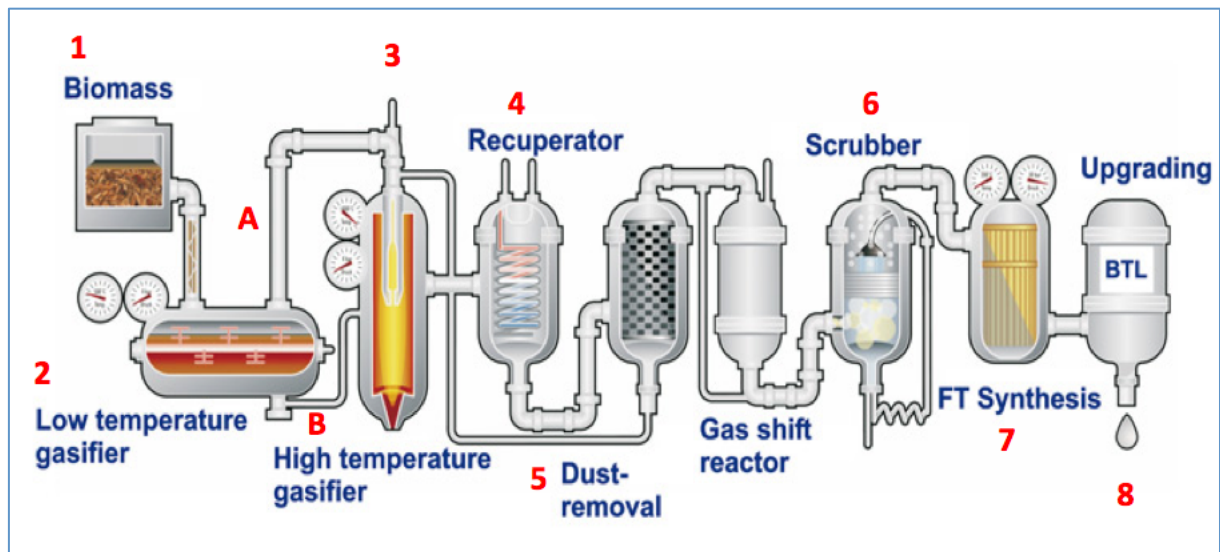
Andregenerasjons biodiesel kalles gjerne for syntetisk diesel og blir produsert ut fra celluloseholdig materiale. BtL (biomass-to-liquid) er navnet på en termokjemisk prosess hvor sluttproduktet er syntetisk drivstoff, hvilket kan benyttes med eksisterende distribusjonssystemer og motorer. Dette drivstoffet kan også blandes med fossilt diesel, uansett blandingsforhold (European Biofuels 2009).

For å kunne produsere det flytende drivstoffet ut i fra fast biomasse er det nødvendig å gå veien om gassifisering. Her varmes brenselet med underskudd på oksygen, og det dannes da en syntesegass, også kalt syngass. Denne gassen består hovedsakelig av hydrogen(H_2) og karbonmonoksid(CO), men må likevel renses for nitrogen, svovel, CO_2 og eventuelt også tjære, avhengig av gassifiseringsteknologien (Xynergo 2009). Prosessen videre kalles for Fischer-Tropsch-prosessen (FT-prosess), en syntese prosess etter oppfinnerne Franz Fischer og Hans Tropsch som gjør det mulig å omdanne celluloseholdig biomasse til flytende, syntetisk diesel.

FT-teknologien er en velkjent teknologi som ble tatt i bruk i Tyskland allerede i 1935, da selskapet "Ruhrchemie" bygget det første av ni FT-anlegg (van Vliet et al. 2009). Disse var alle av typen "coal-to-liquid" (CtL), og var i drift fram til 1945. Etter dette ble det ikke sett på så lønnsomt i konkurransen med vanlig bensin- og dieselproduksjon fra råolje og produksjonen ble derfor avsluttet. Etter 2.verdenskrig har slik produksjon hovedsakelig funnet sted i Sør-Afrika hvor selskapet SASOL Synfuels ble startet i 1950. Sasol startet opp med CtL-produksjon og gjorde det mulig for landet å produsere drivstoff uten å måtte være avhengig av import av olje fra andre land. Den dag i dag dekker de to fabrikkene drevet av SASOL 25 prosent av Sør-Afrikas diesel-og bensinbehov, med 45 millioner tonn kull i FT-prosesser per år (Patzek & Croft 2009). På 1990-tallet ble også naturgass introdusert som råstoff denne typen prosess kalles gjerne for "gas-to-liquid" (GtL) og er et område hvor det satses stort, spesielt i Qatar (van Vliet et al. 2009).

Foreløpig er det kun én fabrikk i verden som produserer BtL-diesel, den ligger i Freiberg i Tyskland og drives av firmaet CHOREN. Drivstoffet her produseres gjennom en prosess som har fått navnet "the CHOREN Carbo-V[®] Process", illustrert i figur 8 (CHOREN 2009). Denne prosessen innebærer gassifisering som går over tre steg; lavtemperatur gassifisering, høytemperatur gassifisering og endoterm "entrained bed" gassifisering.

Det produseres da en syngass som konverteres til flytende drivstoff gjennom FT-prosessen, og sluttproduktet kaller CHOREN for SunDiesel. Det vil nå bli sett nærmere på hvert enkelt steg som er illustrert i figuren.



Figur 8: "The CHOREN Carbo-V ® Process" brukes ved produksjon av BtL-diesel ved CHORENs fabrikk i Freiberg, Tyskland. Prosessen innebærer gassifisering som går over tre steg, hvor det da produseres en syngass som konverteres til flytende drivstoff via Fischer-Tropsch-prosessen (CHOREN 2009).

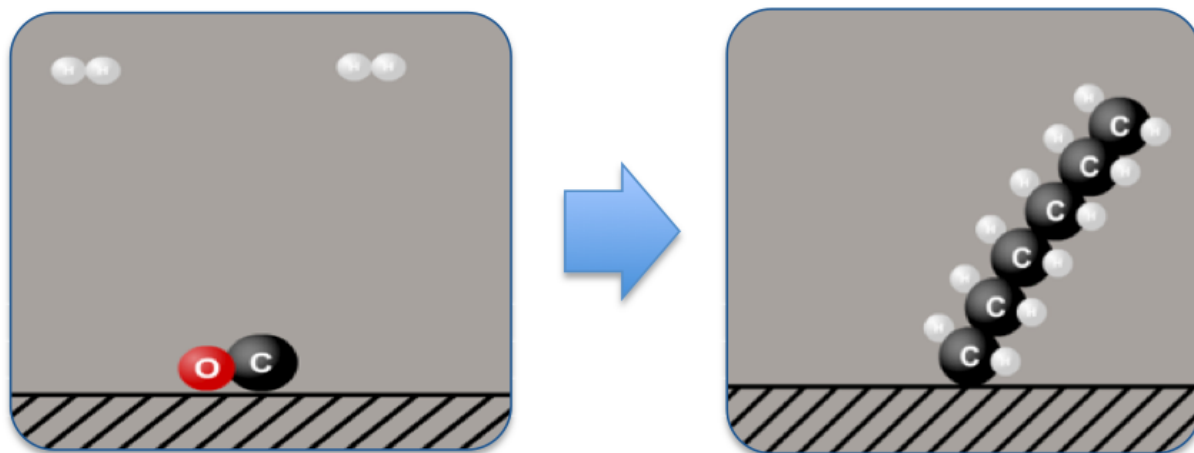
- 1) Oppkuttet og tørket biomasse mates inn i kammeret ved punkt 2, hvor det foregår lavtemperatur gassifisering.
- 2) Her varmes biomassen opp til 400 – 500 °C, og brytes ned til fast kull og en tjæreholdig gass.
- 3) De tjærerike gasskomponentene sendes videre til høytemperatur gassifisering gjennom A, hvor de gjennomgår en delvis oksidering med oksygen og damp. Ved temperaturer over 1400°C smelter askepartiklene, og resultatet er en tjærefri gass. Hovedkomponentene i gassen er nå CO, H₂, CO₂ og H₂O.
Det faste kullet males opp til et fint pulver som blåses inn i den nederste delen av forbrenningskammeret gjennom B, hvor det så blandes med den tjærefrie gassen. Karbonet i kullet reagerer med CO₂ og H₂O, og det dannes CO og H₂. Denne endotermiske reaksjonen fører til at temperaturen raskt faller til 800 °C, hvilket sørger for at rågassen som blir produsert innehar en høy brennverdi (CHOREN 2009).

- 4) Gassen som nå er fri for tjære og holder en temperatur på ca. 800 °C sendes så til en varmeveksler. Her blir gassen avkjølt, og dampen som da genereres kan benyttes til industrielle prosesser eller strømproduksjon.

- 5) Til tross for prosessene i de tidligere stegene, kan det fortsatt være noen partikler av aske og kull tilstede i gassen. Dette renses bort i en støvfjerner, og støvpartiklene sendes tilbake til det foregående forbrenningskammeret. Her kommer de til nytte ved at smeltet aske bygger opp et beskyttende lag på innsiden av forbrenningskammeret, hvilket skaper de optimale forholdene for at forbrenning skal kunne skje med temperaturer opp i 1600 °C.

- 6) Den ferdigrensede syntesegassen sendes så gjennom en såkalt "scrubber", dette er et prosesstrinn hvor stoffer som klor og svovel vaskes ut ved at en væske sprøytes gjennom gasstrømmen. Hensikten med dette prosesseget er å fjerne stoffer som kan medføre skade på katalysatoren som benyttes i Fischer-Tropsch-reaktoren.

- 7) Ved dette punktet er gassen klar for å gjennomgå FT-syntesen. Dette skjer i en egen reaktor, hvor det benyttes en katalysator av kobber. Denne katalysatoren har til hensikt å tiltrekke seg karbonmonoksid og hydrogen. CO- og H₂-molekylene vil feste seg på katalysatorens overflate, karbonet og oksygenet vil separeres, og dette setter da i gang en kjedet paring av karbon og hydrogen. Etter hvert som dette skjer med flere og flere molekyler blir resultatet lange hydrokarbonkjeder, hvilket er illustrert med prinsippskisser i figur 9. Kjedeutviklingen vil fortsette frem til kjeden løsriver fra katalysatoren og enten tar til seg en CH₂- eller en H₂- gruppe, hvilket fullfører dannelsen av et *alkan*. Det er også et alternativ at kjedeutviklingen kan også avsluttes uten tilførselen av en H₂-gruppe, i et slikt tilfelle blir den endelige kjeden et *alken* (CHOREN 2009).



Figur 9: Kobberkatalysatoren (skravert område) i FT-reaktoren tiltrekker seg CO-molekyler, og resultatet er langkjedede hydrokarboner. Oksygenet skiller ut som vann, jf. likning 1 (fritt etter CHOREN 2009).

Reaksjonen beskrevet over kan forenklet beskrives med den generelle formelen vist under (Liebe & Halsør 2010) .



hvor n er karbontallet.

Nettopp dette karbontallet som inngår i likning 1 representerer et viktig moment i synteseprosessen. Jo høyere karbontall, jo lengre vil hydrokarbonkjeden være. Ved produksjon av syntetisk diesel er det ønskelig med et karbontall som ligger mellom $n = 13$ og $n = 20$ (Gjerset et al. 2007). I de tilfellene hvor $n > 20$ kan kjedene forkortes ved såkalt "cracking" slik at de kommer innenfor området som gir hydrokarboner av tilfredsstillende dieselkvalitet. De korte kjedene med $n < 13$ kan konverteres til ny syntesegass, eventuelt omdannes til ønsket lengde ved hjelp av polymerisering eller alkylering. Dette er imidlertid mer kompliserte prosesser enn "cracking", og det er derfor er det ønskelig at en FT-prosess resulterer i lange kjeder (Gjerset et al. 2007).

8) Med dette er "The CHOREN Carbo-V ® Process" komplett, og de flytende hydrokarbonene tappes ut som produktet SunDiesel.

Karbonvirkningsgrad i CHOREN-prosessen

CHOREN melder om en årlig produksjon av SunDiesel på 18 millioner liter, og til dette går det med 68 000 tonn tørrstoff. Disse opplysningene gjør det mulig å regne ut prosessens *karbonvirkningsgrad*, for hvor stor andel av karbonet i den opprinnelige biomassen blir egentlig til drivstoff?

Som det følger av informasjonen over, vil ett kilo tørrstoff (TS) resultere i 0,26 liter SunDiesel (jf. likning 2).

$$\frac{18\,000\,000\text{ l}}{68\,000\,000\text{ kg TS}} = 0,26\text{ l/kg TS} \quad (2)$$

Diesel har en tetthet (egenvekt) på ca. 0,80 kg/liter (Gjerset et al. 2007). Dette vil si at den mengden diesel en får fra ett kilo tørrstoff veier 208 gram (jf. likning 3).

$$0,80\text{ kg/l} \cdot 0,26\text{ l} = 0,208\text{ kg} = 208\text{ g} \quad (3)$$

Videre anvendes karbonandelen i diesel og trevirke som er på henholdsvis 85 og 50 prosent (PFI et al. 2007).

$$0,208\text{ kg diesel} \cdot 0,85 \frac{\text{kg C}}{\text{kg diesel}} = 0,177\text{ kg C} = 177\text{ g C} \quad (4)$$

$$1\text{ kg TS} \cdot 0,50 \frac{\text{kg C}}{\text{kg TS}} = 0,500\text{ kg C} = 500\text{ g C} \quad (5)$$

Med beregningene gjort ovenfor kan en finne karbonvirkningsgraden, η_C :

$$\eta_C = \frac{m_{C,diesel}}{m_{C,TS}} = \frac{177\text{ g}}{500\text{ g}} = 0,354 \approx 35\% \quad (6)$$

I dette tilfellet er det altså en drøy tredjedel av det opprinnelige karbonet i biomassen som faktisk blir til drivstoff.

Dette kan sammenliknes med den energimessige virkningsgraden. Denne finner en ved å se på brennverdien for tørt trevirke og diesel, som er henholdsvis 5,32 kWh/kg (Gjølsjø & Hobbelstad 2009) og 10 kWh/l. Ett kilo tørrstoff inneholder dermed 5,3 kWh, og for 0,26 liter diesel blir verdien 2,6 kWh. Ut i fra dette finner en da virkningsgraden, η_E :

$$\eta_E = \frac{2,6 \text{ kWh}}{5,3 \text{ kWh}} = 0,49 \approx 50 \% \quad (7)$$

Til tross for karbonvirkningsgraden på 35 prosent, så er altså effektiviteten energetisk sett 50 prosent. Forklaringen på dette ligger i at det tilføres ekstern energi underveis i prosessen, som for eksempel fra elektrisitet (Econ Pöyry 2008).

Nyoppdaget enzym ved UMB

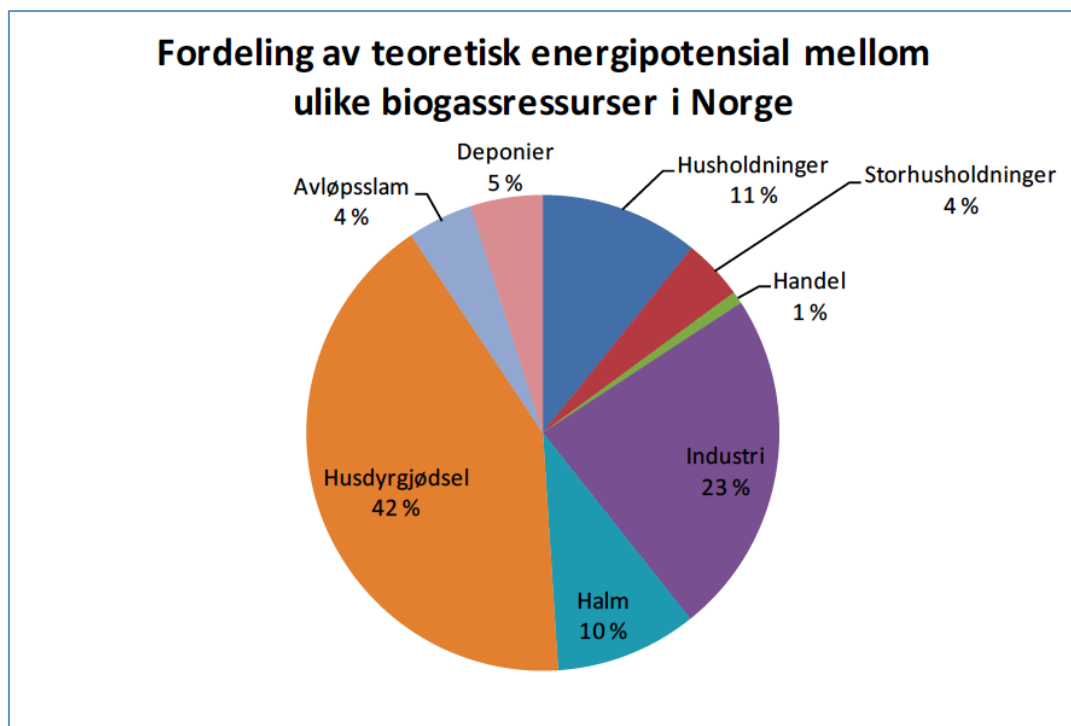
Den 8.oktober 2010 ble det publisert en artikkel i det anerkjente tidsskriftet Science med følgende tittel: "An Oxidative Enzyme Boosting the Enzymatic Conversion of Recalcitrant Polysaccharides" (UMB 2010). Alle forfatterne bak denne publikasjonen er forskere ved UMB, de har nå oppdaget en ny type enzymer som kan vise seg å gjøre prosessen fra cellulose til bioetanol langt mer effektiv.

Funnene kom etter å ha studert nedbrytning av kitin, et stoff som likner på cellulose. De nye enzymene kalles foreløpig for "oksidohydrolaser", og forskergruppen ved Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap, ledet av professor Vincent Eijsink, har altså lyktes i å oppnå en langt raskere enzymatisk nedbrytning takket være dette funnet (UMB 2010).

Flere store enzymprodusenter har i lang tid jobbet med å finne en mer effektiv metode for nedbrytning av cellulose til sukker, og de har i den siste tiden fulgt forskningen som har foregått ved UMB. Etter denne oppdagelsen er det derfor store muligheter for at noen av bedriftene, slik som de danske Novozymes og Genencor, vil inngå et samarbeid med UMB for å optimalisere teknologien videre (UMB 2010).

3.3 Biogass

En annen form for biodrivstoff er biogass. Dette er en gass som oppstår ved forråtnelse av biologiske materialer. Aktuelle biogassressurser i Norge og energipotensialet dem i mellom er vist i figur 10 (Raadahl et al. 2008). Totalt er det beregnet et teoretisk energipotensiale på 6 TWh/år fra matavfall, organiske biprodukter og avfall fra industri, halm, husdyrgjødsel og avløpslam.



Figur 10: Fordeling av det teoretiske energipotensiale mellom ulike biogassressurser fra avfall/biprodukter. Det totale teoretiske potensialet er beregnet til ca. 6 TWh/år (Raadahl et al. 2008).

Hovedkomponenten i biogass er metan (CH_4), en gass med 20 ganger så kraftig drivhuseffekt (GWF) som CO_2 , og som derfor ikke bør slippes uforbrent ut i atmosfæren. Dette er spesielt kritisk på kort sikt, da metankonsentrasjonen avtar eksponentielt med tiden (PFI et al. 2007). Nettopp dette momentet er et argument for å utnytte biogass til drivstoff, da oppsamling og forbruk på en trygg måte vil gi en ekstra klimagevinst når metan da hindres i å unnsnippe til atmosfæren (PFI et al. 2007). Det eksakte metaninnholdet avhenger imidlertid av om gassen kommer fra deponier eller egne råtnetanker. I biogass fra råtnetanker/reaktorer ligger metaninnholdet gjerne på 50 - 80 prosent, mens det tilsvarende tallet fra deponier er 30 - 65

prosent. Denne forskjellen skyldes blant annet at den fremstilte biogassen gjerne hentes ut etter lang oppholdstid noe som gir en høyere grad av forråtning (Raadahl et al. 2008).

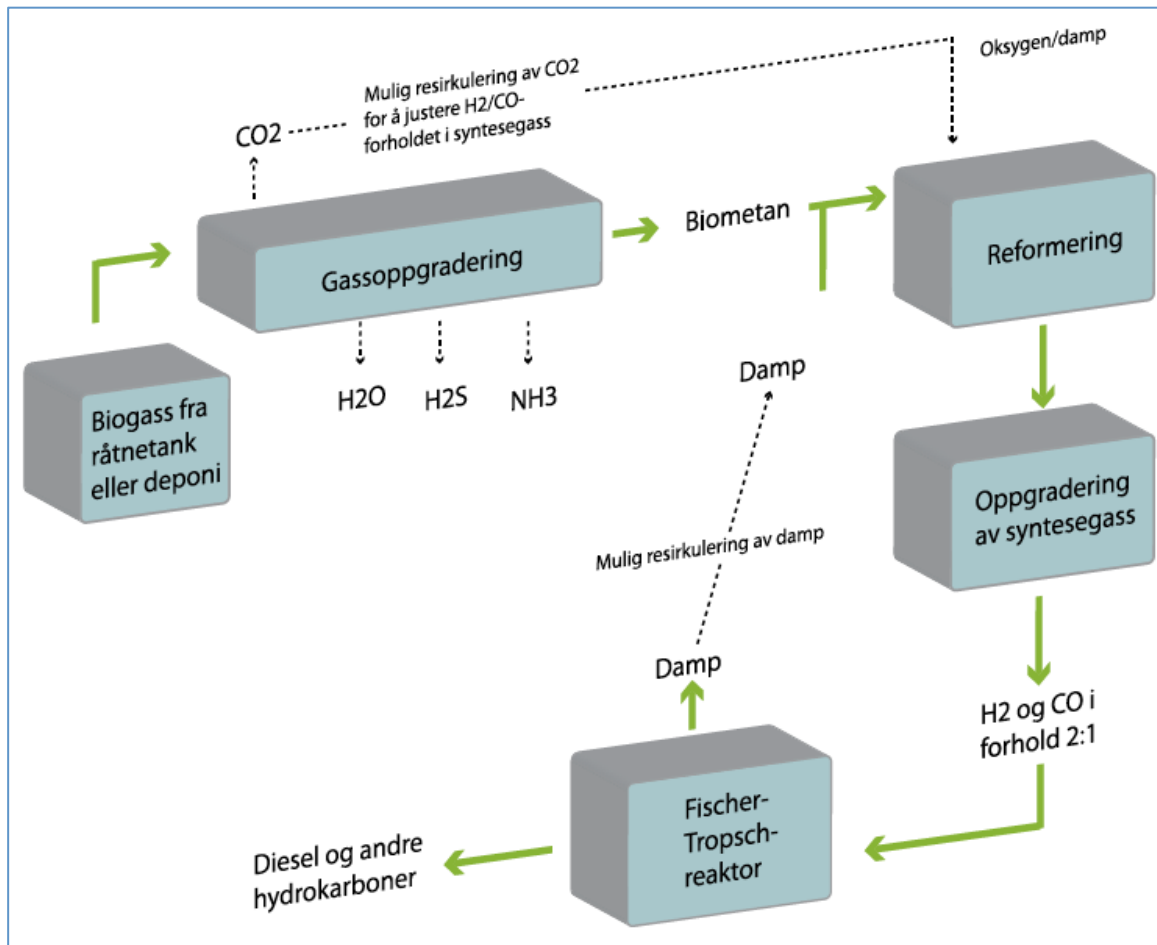
For at biogassen skal kunne brukes som drivstoff må den gjennom en oppgraderingsprosess som øker metaninnholdet til 97 - 98 prosent. Her fjernes da CO₂, vanddamp og hydrogensulfid (H₂S) fra gassen. CO₂ tas ut for å øke energitettheten, mens fjerningen av de to sistnevnte gjøres for unngå skader på motorutstyr. Når hydrogensulfid brennes dannes det nemlig sulfat, et stoff som både er svært korrosivt og som ødelegger smøreegenskapene til motorolje.

Etter rensingen av gassen komprimeres den til et trykk på om lag 240 bar, før den fylles over på et flaskelager, eller direkte i en egen gasstank på kjøretøyet.

3.3.1 Syntetisk diesel fra biogass (GtL)

I avsnitt 3.2.2 ble prosessen for BtL-diesel beskrevet. Den samme Fischer-Tropsch-teknologien som benyttes til å produsere diesel fra biomasse kan også brukes på biogass. I grove trekk består denne prosessen av tre trinn; reformering av metan til syntesegass, gassrensing og hydrokarbonproduksjon i en reaktor (Gjerset et al. 2007). Figur 11 viser en prinsippskisse over prosessforløpet fra biogass til syntetisk diesel.

Når gassen er hentet ut fra enten deponi eller råtnetank, blir den først oppgradert på samme måte som når den skal benyttes som drivstoff i gassform, nemlig ved fjerning av CO₂, H₂S og vanddamp. Produktet man står igjen med etter denne oppgraderingen kalles gjerne for *biometan*, for å ikke forveksle det med biogass. Når det gjelder reformering av fossil naturgass til hydrogen eksisterer det for tiden tre alternativer; dampreforming (SMR), partiell oksidering (POX), eller en kombinasjon, autoterm reformering. Det er imidlertid kun autoterm reformering som egner seg for biometan, da de to andre gir henholdsvis for høyt og for lavt H₂/CO-forhold for den påfølgende Fischer-Tropsch-prosessen (Gjerset et al. 2007).



Figur 11: Prinsippkisse for produksjon av syntetisk diesel fra biogass (Gjerset et al. 2007).

I reformeringsprosessen reagerer metan med damp og oksygen i en reaktor ved delvis oksidering, slik som vist med den forenklete likningen under (Gjerset et al. 2007),



Videre reagerer den delvis oksiderte gassen med en nikkel-katalysator støttet av magnesium-aluminiumsoksid, før den forlater reaktoren som en syntesegass. Reaksjonene som skjer i kontakt med katalysatoren er vist i likning 9 og 10.



Her er det ønskelig med et H₂/CO-forhold på 2,0 for at syntesegassen skal være egnet for videre Fischer-Tropsch-prosessering. Dette oppnås ved å justere temperaturen og mengden tilført damp. Forholdet øker med økende temperatur, og minker med økt mengde gass. Tilsetning eller resirkulering av CO₂ er også en metode for å styre dette, men er en mer kostnadskrevenende prosess.

Når prosessen har nådd dette punktet og H₂/CO-forholdet er på plass, er det klart for Fischer-Tropsch-syntesen. I likhet med FT-prosessen forklart under avsnittet for BtL-diesel, vil en katalysator føre til at det dannes flytende hydrokarboner, vann og energi av syntesegassen. Hydrokarbonkjedene med karbontall n mellom 13 og 20 utgjør det som betegnes som diesel (Gjerset et al. 2007).

3.4 Biodrivstoffbedrifter

I dette delkapitlet vil det bli presentert et utvalg bedrifter og deres engasjement knyttet til biodrivstoffproduksjon.

3.4.1 Norske bedrifter

- **Borregaard**

Borregaard i Sarpsborg har en lang tradisjon når det kommer til produksjon av andregenerasjons bioetanol. Som et biprodukt fra treforedling produseres det årlig ca. 20 millioner liter, en produksjon som har vært stabil siden før andre verdenskrig (Econ Pöyry 2008). Av de 20 millioner literne som blir produsert, er det i dag ca. seks millioner som er egnet som drivstoff i formen E5 eller E85. Det er imidlertid mulig å gjøre hele volumet tilgjengelig for dette markedet dersom investeringer for dette kommer på plass. Fabrikken i Sarpsborg leverer i dag drivstoff til Ruters bussdrift i Oslo (Econ Pöyry 2008).

Produksjonen foregår i et bioraffineri, hvor det foruten bioetanol produseres en rekke andre produkter basert på ulike bestanddeler av tømmeret. Borregaard fikk på tampen av 2010 innvilget 58 millioner kroner fra Innovasjon Norge til å bygge et pilotanlegg på

andregenerasjons bioetanol (Borregaard 2011). Forskjellen fra dette planlagte anlegget og dagens produksjon går på hva slags biomasse som benyttes som råstoff. Da den nåværende produksjonen begrenser seg til cellulose fra trestammen, vil pilotanlegget utvide ressursbruken til å omfatte såkalt "lavkvalitets biomasse" som halm og annet landbruks- og skogsavfall.

- **Uniol**

Uniol som holder til i Fredrikstad startet i juni 2009 opp med produksjon av første generasjons biodiesel, fra ulike råvarer som oljeholdige plantevekster og slakteavfall. Produksjonsanlegget hadde en investeringskostnad på 340 millioner kroner, og en kapasitet på 125 millioner liter i året. Det ble i dog kun produsert 14 millioner liter i 2009, før fabrikken ble stengt og de ansatte permittert i januar 2010. Dette skjedde som en reaksjon på at det i Statsbudsjettet for 2010 ble forslått å doble avgiften på biodiesel, og lønnsomhetsvurderinger førte til nedleggelsen. I februar 2011 kunngjorde imidlertid Uniol at produksjonen ville bli satt i gang igjen takket være nye investorer i det Luxemburg-baserte selskapet Einer Energy. I pressemeldingen uttalte Uniol at de planlegger å satse intensivt på å "videreutvikle infrastruktur og logistikk-løsninger for det norske markedet" (Uniol 2011).

- **Fredrikstad Biogass AS**

Den 18. september 2001 åpnet Fredrikstad Biogass AS landets første anlegg for produksjon av biogass til bussdrift. Gassen som fremstilles fra biologiske komponenter i avløpsvann fra Fredrikstads husholdninger, produseres ved FREVAR (Fredrikstad vann-, avløps- og renovasjonsforetak).

I februar 2011 ble biogassproduksjonen ved FREVAR oppgradert med en ny gassklokke som mer enn tidobler lagringskapasiteten. Mens den gamle rommet 50 m³, har den nye et volum på 660 m³, i tillegg er enda en ny gassklokke av lik størrelse forventet innen kort tid. Med

denne oppgraderingen vil det til slutt stå 1320 m³ klar for gassen til mellomlagring, før den oppgraderes og selges videre av datterselskapet Fredrikstad Biogass.

Per september 2008 var det seks busser (kjørt av Borg Buss AS) som går på biogass fra FREVAR, i tillegg til én renovasjonsbil, ti vaktbiler og biler innen FREVAR og Fredrikstad kommune, og syv privateide biler i Fredrikstodområdet (Liebe & Halsør 2010).

- **Energigjenvinningsetaten i Oslo kommune (EGE)**

På Bekkelaget i Oslo har Energigjenvinningsetaten et biogassanlegg som produserer drivstoff og gjødsel fra kloakkslam. Anlegget som ble åpnet den 16. februar 2010 er knyttet til Bekkelaget renseanlegg, hvilket befinner seg gjemt inne i fjellet med et sprengt volum på 380 000 m³. Via tunneller strømmer det gjennomsnittlig 1100 liter med avløpsvann inn til anlegget i sekundet, mens den fulle kapasiteten er på 4000 liter per sekund. Herfra ledes slammet inn til råtnetanker og deretter til et oppgraderingsanlegg før biogassen kan tankes over på busser og renovasjonsbiler i hovedstaden. Årlig kan det produseres to millioner kubikkmeter med biogass herfra, noe som tilsvarer to millioner liter diesel, nok til å drifte 80 bybusser eller tilsvarende store kjøretøy (Oslo kommune 2010).

- **Weyland**

I Bergen har selskapet Weyland bygget et pilotanlegg for produksjon av andregenerasjons bioetanol, dette ble åpnet i oktober 2010. Prosessen de benytter seg av går ut på å konvertere cellulose til bioetanol, ved hjelp av en egenpatentert sterksyreprosess. Sivilingeniørene som står bak dette, Karl Ragnar Weydahl og Knut Helland, har klart å overkomme det som hittil har vært et problem ved sterksyreprosesser, nemlig et høyt syreforbruk. Teknologien til Weyland inkluderer gjenvinning av syren som brukes, nærmere bestemt blir en andel på 98,5 prosent av syren resirkulert og brukt på nytt (Innovasjon Norge 2010).

Råvarene vil i oppstartsfasen bestå av trespon fra trebearbeidende industri, mens det etter hvert vil testes ut ulike ressurser som skogsavfall og rivningsvirke. Kapasiteten på dette

anlegget ligger i dag på 200 000 liter i året, men firmaet håper at teknologien deres kan bane vei for at anlegg av betydelig større kapasitet kan bygges i fremtiden. Av støtte har Weyland mottatt 8,8 millioner kroner fra Innovasjon Norges IFU-program (industrielle forsknings- og utviklingskontrakter), 5,4 millioner fra Forskningsrådet gjennom deres program RENERGI, og i tillegg har Statoil bidratt med 6 millioner kroner samt faglig rådgivning (Innovasjon Norge 2010).

- **Xynergo**

Frem til november 2010 var Xynergo et firma med store ambisjoner knyttet til produksjon av andregenerasjons biodiesel. Selskapet var et datterselskap av Norske Skog som hadde en eierandel på 71 prosent, resten var fordelt mellom de fire skogseierforeningene Viken Skog, Allskog, Statskog og Mjøsen Skog. Den 5. november 2010 kom imidlertid meldingen om at styret i Xynergo hadde besluttet å legge ned selskapet, da de ikke hadde lyktes med å finne nye investorer som kunne ta over for Norske Skog og skogseierforeningene (Industrien 2010).

3.4.2 Utenlandske bedrifter

- **CHOREN (Tyskland)**

Som nevnt i forbindelse med beskrivelsen av BtL-diesel i avsnitt 3.2.2, er tyske CHOREN verdens ledende produsent innen andregenerasjons biodiesel. Selskapet har vokst kraftig siden oppstarten i 1990, i oktober 2010 hadde antall medarbeidere økt fra fire til 285 (CHOREN 2011). Det første CHOREN-anlegget som ble bygget var Alpha Plant, et pilotanlegg som stod ferdig i 1998. Her ble det først demonstrert hvordan biomasse kunne konverteres til en brennbar gass egnet for å drive en motor (2001), før teknologien ble tatt videre med Fischer-Tropsch-prosessen som resulterte i et flytende drivstoff (2003). Alpha Plant ble lagt ned i 2006 etter åtte års produksjon (Econ Pöyry 2008).

Etterfølgeren til Alpha Plant fikk navnet Beta Plant, verdens første kommersielle anlegg med produksjon av syntetisk diesel. Byggingen av det nye anlegget startet opp i 2002, og enkelte enheter kom i drift allerede i 2003. Dette anlegget er CHORENs store satsning på BtL-diesel med investeringskostnader på 100 millioner euro. Av de tidligere nevnte 68 000 tonnene med biomasse som årlig går med til dieselproduksjonen, består halvparten av treavfall og resten av treflis (Econ Pöyry 2008). Selskapet ser på teknologien bak Carbo-V-prosessen som deres viktigste eiendel per i dag. Kommersiell produksjon fra Beta-anlegget startet opp i 2010, og SunDiesel selges i dag til Shell som er ansvarlig for distribusjonen (CHOREN 2011).

- **Inbicon (Danmark)**

Danske Inbicon (**I**ntegrated **B**iomass **C**onversion) er et heleid datterselskap av energiselskapet DONG Energy. Siden 1990-tallet har Inbicon spesialisert seg på forbehandling av biomasse som skal benyttes i produksjon av bioetanol. Denne forbehandlingen går over to steg, først blir biomassen tilført vann og hurtig varmet opp til 200°C, deretter brytes den ned ved hjelp av enzymer for videre fermentering (Econ Pöyry 2008). Selskapet har et mål om kunne utstede lisenser på sin teknologi til andre partnere, som da igjen kan stå for byggingen av kommersielle fabrikker for bioraffineri.

November 2009 åpnet Inbicon et demonstrasjonsanlegg i Kalundborg hvor det foregår produksjon av halm fra det danske landbruket. Ved anlegget produseres andregenerasjons bioetanol, i tillegg til ligninpellets og melasse. 30 000 tonn med halm i året resulterer i 5,4 millioner liter med bioetanol, 13 000 tonn med ligninpellets og 11 100 tonn med melasse. Ligninpelletsen kan brukes til brensel i industrien, mens melassen benyttes til dyrefôr (DONG Energy 2011).

I forbindelse med oppstarten av dette demonstrasjonsanlegget inngikk Inbicon i 2009 en avtale med Statoil. Denne avtalen gikk ut på at Statoil utførte et forhåndskjøp på de fem første millioner literne som ble produsert til bruk i bensin med fem prosent innblanding. Den første leveransen skjedde i august 2010, da ble 28 500 liter levert for å tankes på danske kjøretøy (DONG Energy 2011).

- **SEKAB (Sverige)**

SEKAB Gruppen, etablert i 1985, er et svenskt firma hvor SEKAB Biofuel Industries står for hovedvirksomheten. Bedriften er en av Europas ledende produsenter av første generasjons bioetanol, og driver i tillegg et pilotanlegg på bioetanol av andre generasjon som ligger i Örnsköldsvik. Ved pilotanlegget som ble åpnet i 2004 produseres drivstoff fra treflis fra gran og kapasiteten ligger på 300 - 400 liter i døgnet (SEKAB 2010). Til tross for dette formulerer SEKAB seg slik:

”Målet er ikke å produsere store volumer med etanol, målet er å produsere kunnskap” (SEKAB 2010).

Produksjonsprosessene som testes ut her er resultater av grundig forskning drevet på selskapets laboratorier og slik er pilotanlegget en viktig brikke i skaleringsprosessen fra forskning til kommersiell drift. Anlegget er kontinuerlig i drift, døgnet rundt, med 12 medarbeidere som jobber på skift. Planen er å ha et fullskala anlegg klart i 2014, og årlig produksjon forventes da å ligge på 120 000 m³.

Til slutt, andre bedrifter som også er verdt å nevne:

- Iogen, Canada (bioetanol).
- Range Fuels, USA (bioetanol).
- Ineos New Planet BioEnergy, USA (bioetanol).

4. Andre fremdriftsalternativer

I forrige kapittel ble det sett på ulike former for biodrivstoff, men dette er kun ett av flere fremdriftsalternativer utenom fossilt. I de neste delkapitlene vil det bli sett på to teknologier som også kan vise seg å bli gjeldende i fremtidens transportsektor; elektrisitet og hydrogen. Et tredje alternativ, trykkluft, blir også nevnt avslutningsvis.

4.1 Elektrisitet

Elektriske biler, gjerne kalt elbiler, er biler som drives ved hjelp av en elektrisk motor istedenfor den tradisjonelle forbrenningsmotoren. Elektromotoren henter strøm fra en batteripakke som omdanner kjemisk energi til elektrisitet. Det er flere valgmuligheter når det kommer til hva slags type batteri som skal benyttes, dette vil bli diskutert nærmere senere i avsnittet.

I tillegg til rene elbiler, kommer nå flere og flere produsenter med såkalte hybrider. Dette er biler som gir større muligheter der dagens elbiler kommer til kort, nemlig med tanke på rekkevidden. Her kombineres elektromotoren med en forbrenningsmotor, og de to motorene fungerer da sammen for å tilpasse seg kjøreforholdene best mulig. Den elektriske motoren forsynes med energi fra en batteripakke som enten kan lades fra forbrenningsmotoren, ved bremsing eller som den nyeste plug-in-teknologien (PHEV) innebærer – fra stikkontakt. For uten slike plug-in-hybrider, finnes teknologiene seriehybrid, parallellhybrid og fullhybrid.

- **Seriehybrid**

I en seriehybrid drives hjulene kun av en elektrisk motor. Forbrenningsmotoren, som her altså ikke er koblet til hjulene, har som oppgave å drive en generator som produserer strøm til batteriet. Batteriet kan også lades opp ved å utnytte trilling og bremsing, såkalt regenerering av bremseenergi, hvor den kinetiske energien omformes til elektrisk energi som lagres i batteriet (Halsør et al. 2010).

- **Parallellhybrid**

Parallellhybriden fungerer, som navnet tilsier, ved at elektromotoren og forbrenningsmotoren jobber parallelt, og de kan hver for seg eller sammen drive frem kjøretøyet. Slike biler fungerer veldig likt som vanlige bensinmotorer, men elektromotoren hjelper gjerne til med akselerasjonen. I noen tilfeller vil elektromotoren kunne drive bilen alene ved typisk bykjøring med lave hastigheter. Det er nemlig ved lav belastning og akselerasjon at de konvensjonelle bensin- og dieselmotorene har dårligst virkningsgrad, rundt 10 – 12 prosent (SFFE 2011b). Honda har flere modeller hvor denne formen for hybridteknologi benyttes, både Insight (vist i figur 12), Civic og Accord er eksempler på parallellhybrider (Honda 2011).

- **Fullhybrid**

Denne løsningen kalles også for serie-parallell-hybrid. Denne varianten fungerer som en parallellhybrid, men er utstyrt med en ekstra generator som gjør det mulig å lade batteriene selv om elektromotoren brukes til fremdrift (Motorguiden 2011). Den mest solgte bilen av dette slaget kommer fra den japanske produsenten Toyota. I september 2010 rundet salgstallene for deres Prius, vist i figur 13, to millioner, hvorav 920 000 i Nord-Amerika, 830 000 i Japan og 200 000 i Europa (Motorguiden 2011). Til tross for at salget i Europa har stått for en beskjeden andel av totalen, så har Priusen vist seg å være populær i Norge. Den har faktisk vært så populær at den i september 2009 toppet listene over de mest solgte bilene, med 515 eksemplarer. Dette var da 65 biler mer enn hva som samme måned gjaldt for VW Golf, bilen som med veldig få unntak topper listene år etter år (OFV 2011). Også verdt å nevne av aktuelle bilmerker er Lexus, Toyotas egne merke for luksusbiler, de tilbyr flere fullhybrider i både SUV- og sedanstørrelse.



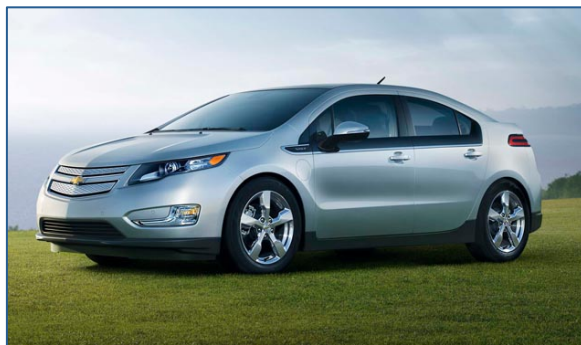
Figur 12: Honda satser stort på hybridbiler, her er modellen Insight, en av flere parallellhybrider fra denne produsenten (Honda 2011).



Figur 13: Toyota Prius som er et eksempel på en fullhybrid, er verdens mest solgte hybridbil (Toyota 2011).

- **Plug-in hybrid (PHEV)**

Det siste tilskuddet i rekken av hybridteknologier er den såkalte plug-in-varianten. En slik bil kan ha utgangspunkt i alle de tre overnevnte teknologiene, men vil i tillegg ha muligheten for å kunne lades opp fra en ytre kilde. Dette kan enten skje via en ordinær stikkontakt fra husveggen, eller ved hurtiglading fra stasjon. På denne måten vil det sjeldnere bli behov for at forbrenningsmotoren tar over, da den nye lademuligheten skal sørge for at dette kun blir nødvendig ved lengre kjøre-distanser. Tilgjengelig på markedet i dag (dog ikke i Norge) er Chevrolet Volt fra det amerikanske bilkonsernet General Motors Corporation (GMC). Denne bilen, som kan sees i figur 14, ble lansert i USA i desember 2010, hvor den også ble kåret til "Årets bil 2011" (Chevrolet 2011). GMC reklamerer med at Volt'en skal kunne gå mellom 40 - 80 km på en fulladet batteripakke (avhengig av kjøreforhold), før en generator drevet på bensin vil sørge for ytterligere 500 km (Chevrolet 2011). I Europa vil denne bilen hovedsakelig bli lansert i form av sin "tvillingsøster" som er vist i figur 15, Opel Ampera. Dette vil være en versjon som designmessig vil se noe annerledes ut, men som teknologisk sett vil være av samme prinsipp. Ampera vil være tilgjengelig fra sommeren 2011, og er forventet å ha en prislapp på omkring 350 000 norske kroner (NAF 2011).



Figur 14: Amerikanske General Motors har lansert denne plug-in-hybriden, Chevrolet Volt. Bilen som åpner for stor rekkevidde med elektrisk fremdrift, ble i januar 2011 kåret til "Årets bil USA" (Chevrolet 2011)



Figur 15: Den europeiske "tvillingsøsteren" til Chevrolet Volt har fått navnet Opel Ampera. Bilen er ventet å lanseres i Europa sommeren 2011 (Opel 2011)

Andre bilprodusenter som også vil komme med plug-in modeller i løpet av 2011 og 2012 er Volvo, Toyota, Ford, Suzuki og Fisker (NAF 2011).

4.1.1 Batteriteknologi

Den største utfordringen når det kommer til elektrisk drevne biler ligger i batteriteknologien. Dersom disse bilene skal kunne konkurrere på lik linje med dagens tradisjonelle biler er det nødvendig å få opp energitettheten slik at en tilfredsstillende kjørelengde blir mulig uten å innebære for stor batterivekt. Samtidig må batteriene kunne levere høy nok effekt, ha en akseptabel levetid og være konkurransedyktige på pris.

Nyeste alternativ innen elbilindustrien er batterier av typen litiumion (Li-ion). Litium er det metallet i periodesystemet med lavest vekt, størst elektrokjemisk potensial, og høyest energitetthet (Sørensen 2007). Det var sikkerhetsproblemer som satte en stopper for kommersiell bruk av rene litiumbatterier, dette kom av den iboende ustabiliteten til metallet som medførte en høy eksplosjonsfare. Løsningen ble derfor å heller benytte litium-ioner, et konsept som ble utviklet av Sony i Japan og som ble gjort kommersielt tilgjengelig i 1991 (Sørensen 2007). Disse batteriene har sin dominans innen typisk hjemmeelektronikk som datamaskiner og mobiltelefoner grunnet sin høye kapasitet og lave vekt. Nå gjør slike batterier seg gjeldene også i morgendagens biler, for eksempel så er plug-in hybridene Opel Ampera og Chevrolet Volt, nevnt i avsnitt 4.1, utrustet med batteripakker av denne typen.

Over 200 Li-ion-celler inngår i den 16-kWh store batteripakken som denne bilen er utstyrt med (Opel 2011).

Det er flere grunner til at Li-ion-batteriet har fått en stor oppmerksomhet de siste årene. Det har en energitetthet som er to - tre ganger så høy som nikkel-kadmium, og fire ganger så høy som blybatterier, hvilket betyr at større mengder med energi kan lagres per volum. (Enova 2010a). Andre gode sider ved denne batteritypen er den manglende hukommelseeffekten, hvilket betyr at batteriet kan lades når som helst (klattlading). Det har også liten grad av selvutlading. Energitettheten er såpass god at rekkevidden med disse batteriene skal kunne komme opp i 200 km, og toppfarten 130 km/t (Zero 2008). Dette er egenskaper som har vært utfordringer i forbindelse med de tidligere alternativene som nikkel-metallhydrid (NiMH), nikkel-kadmium (NiCd) og blybatterier. (NiCd er imidlertid ikke lenger sett på som et brukbart alternativ, grunnet den høye giftigheten til kadmium (Zero 2008).)

En ulempe ved de nye Li-ion-batteriene er kostnadene. Sammenliknet med batterier av typen NiMH og NiCd så er produksjonskostnadene høyere, hvilket skyldes flere momenter. Til tross for at overgangen fra ren litium til litiumioner skjerpet sikkerheten drastisk, er det likevel nødvendig med en sikkerhetskrets som holder spennings- og strømnivået innenfor sikre grenser. Dette gir da en mer kostnadskrevede produksjon sammenliknet med batterisystemer som ikke har dette behovet. Det er nødvendig å være klar over at tilgangen på litium i verden er begrenset, noe som gjør resirkulering spesielt viktig (Halsør et al. 2010).

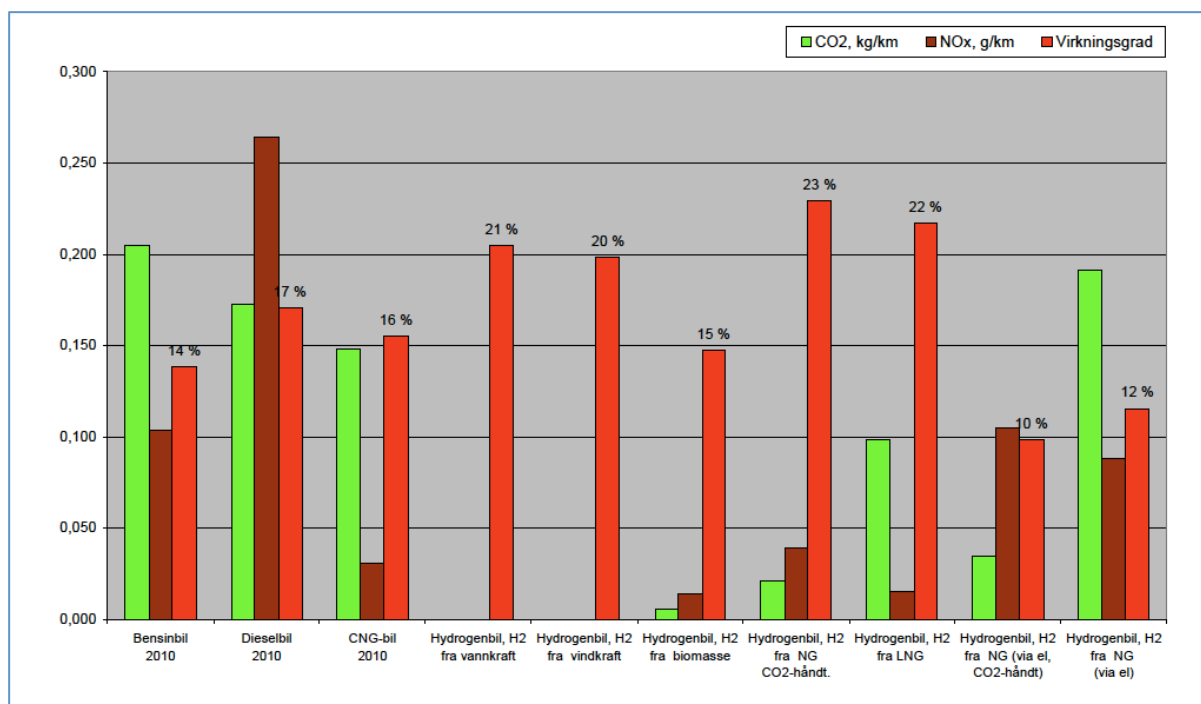
4.2 Hydrogen

Et annet alternativ til dagens petroleumsdrevne biler er hydrogenbilen. For at et kjøretøy skal kunne drives frem på hydrogen er det nødvendig å konvertere den kjemiske energien i hydrogen til mekanisk energi. Dette kan enten gjøres ved å brenne hydrogenet i en tradisjonell forbrenningsmotor, eller ved å benytte brenselceller som kan drive en elektrisk motor. Begge alternativene vil gi ren vanndamp som avgass, men forbrenningsmotoren innebærer såpass høye temperaturer at det også vil være sannsynlig med noe NO_x-utslipp (Halsør et al. 2010).

Når det gjelder energitetthet, er hydrogen spesielt på den måten at til tross for at energiinnholdet per *vektenhet* er ca. tre ganger høyere enn for bensin og diesel, så er den *volumetriske* energitettheten svært lav. Selv ved høye trykk kommer ikke denne opp i mer enn ca. 2,5 kWh/liter, hvilket utgjør kun en fjerdedel av den tilsvarende verdien for bensin/diesel (Jordanger et al. 2002). Det ligger derfor en utfordring i det å få lagret tilstrekkelige mengder med hydrogen om bord i bilen, for at en akseptabel kjørelengde skal kunne oppnås.

Da hydrogen ikke finnes naturlig i store mengder på jorda, omtales det ikke som en *energikilde*, men heller en *energibærer*. Dette betyr at hydrogenet må produseres fra en energikilde, som for eksempel solenergi, vindkraft, kullkraft, naturgass eller biomasse før det kan benyttes til sitt formål. Valg av opprinnelig energikilde er avgjørende for energieffektiviteten og utslippsmengde knyttet til å kjøre biler drevet på hydrogen, slike helhetlige analyser av energikjeder omtales gjerne med betegnelsen "well-to-wheel".

I Sintef-rapporten "Hydrogen som energibærer" fra 2002 blir utvalgte energikjeder vurdert med hensyn på effektivitet og utslipp (CO₂ og NO_x). Resultatet knyttet til samferdselsformål er presentert nedenfor i figur 16. Som det kommer frem av de røde søylene, er effektiviteten høyest (over 20 prosent) i de tilfeller hvor energikilden benyttet til å produsere hydrogenet er naturgass, vannkraft eller vindkraft. Når det gjelder utslippene knyttet til selve produksjonen, så er disse lik null for vann- og vindkraft, og ellers lave for biomasse og naturgass med CO₂-håndtering.



Figur 16: Energieffektivitet og utslipp for energikjeder for samferdsel (Jordanger et al. 2002).

En stor ulempe for hydrogenbilen sammenliknet med elbil/hybrid og biler drevet på flytende biodrivstoff, er infrastrukturen. Der hvor en elbil kan lades direkte fra stikkontakten, og flytende biodrivstoff kan benyttes i dagens tanke-system, krever hydrogen-tanking en helt ny form for infrastruktur. I tillegg kommer utfordringene knyttet til det å oppnå en energieffektiv lagring av hydrogen, samt kostbar produksjon av brenselceller (Halsør et al. 2010).

Norge er involvert i et stort demonstrasjonsprosjekt som har fått navnet "H2Moves Scandinavia". Prosjektet er et samarbeid mellom forskjellige aktører fra Norge, Sverige og Danmark og er støttet av EU-prosjektet "Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking". Det hele settes i gang våren 2011, og Oslo vil være "hovedkontor" og pilotby for denne store satsningen som har en økonomisk ramme på 19,5 millioner euro (Sintef 2010).

17 hydrogenbiler skal i den anledning ruller inn på norske veier som leasing-biler, fordelt på ti Mercedes-Benz B-klasse F-Cell, fem Think Hydrogen og to Alfa Romeo MiTo. Førstnevnte F-

Cell, som er avbildet i figur 17, er registrert til å ha den største rekkevidden av de tre, med 400 km per tank (Sintef 2010). I tillegg til rekkevidde og en kjørecomfort på linje med de tradisjonelle B-klassene, reklamerer Mercedes med kort fyllingstid, en elmotor på 100 kW/136 hk, og et dreiemoment på 290 Nm som sparker inn fra første sekund. For hva rekkevidde gjelder har modellene fra Think og Alfa Romeo et tilsvarende tall som ligger på henholdsvis 250 og 300 km (Sintef 2010).



Figur 17: Ti eksemplarer av Mercedes-Benz B-klasse F-Cell blir tilgjengelig for leasing i Norge som et prøveprosjekt i 2011 (Halsør et al. 2010)

Disse 17 bilene blir altså tilgjengelig for leasing, og det vil hovedsakelig være snakk om promotering i form av bykjøring i Oslo. I og med at dette skal være et pilotprosjekt på hydrogen-infrastruktur skal det bygges en ny hydrogenstasjon i Oslo. Dette kommer i tillegg til en stasjon som allerede er planlagt på Lillestrøm (fra før finnes det én i hovedstaden, på Økern). Foruten den nye permanente stasjonen er det planlagt en mobil variant, denne skal kunne flyttes rundt i landet etter behov. Det skal nemlig arrangeres egne "turnéer" til utvalgte destinasjoner, primært i Sør-Norge, men også andre deler av Skandinavia (Sintef 2010).

4.3 Trykkluft

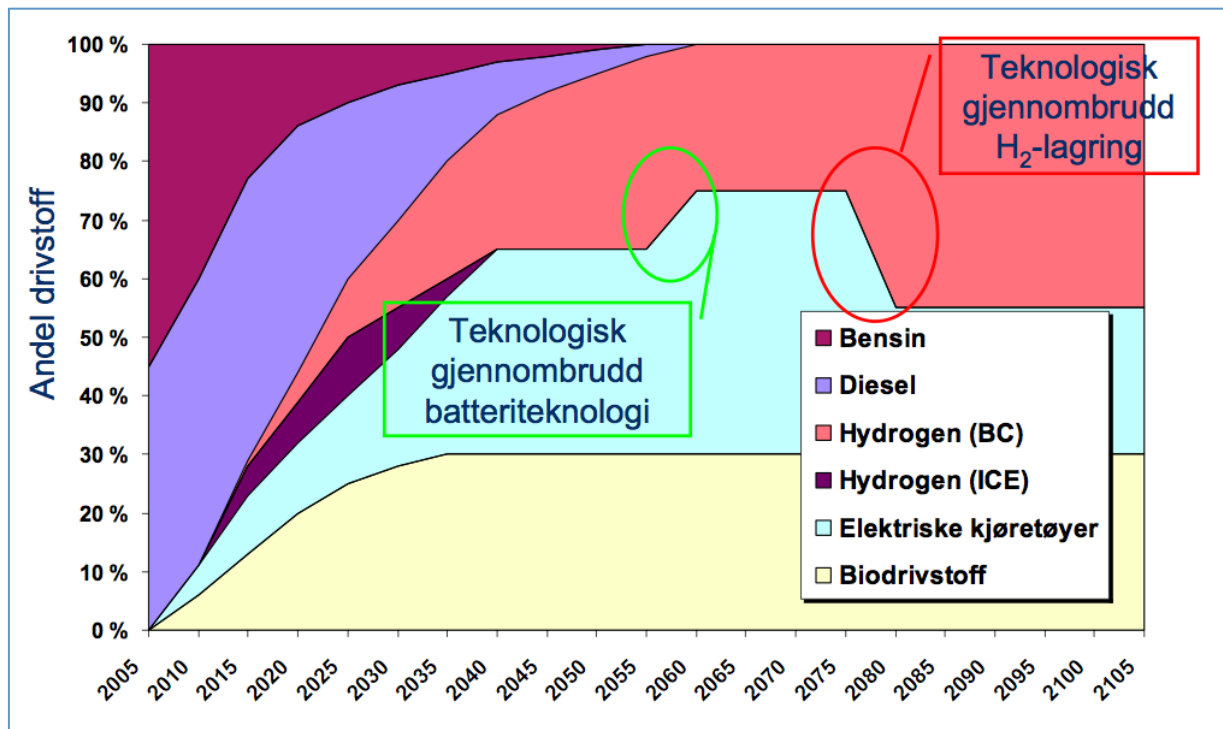
Det franske selskapet MDI (Motor Development International) har utviklet en teknologi som gjør det mulig for en bil å drives fremover av trykkluft. Prinsippet her går ut på at luft ekspanderer i en spesiellaget trykkluftmotor som har en del likhetstrekk med en vanlig stempelmotor. Arbeidstrykket er på 300 bar, og luften lagres i egne tanker i bilens understell (MDI 2011).

I figur 18 er MDIs modell "Air Pod" avbildet, et eksempel på hvordan en trykkluftbil kan se ut. Bilen som rommer én person er liten og lett, en nødvendighet for at det skal kunne forekomme fremdrift når drivstoffet er *luft*. En full tank (300 liter med komprimert luft), tilsvarer nemlig omtrent 1,5 liter bensin, med andre ord er rekkevidden svært begrenset.



Figur18: MDI utvikler biler som kan drives frem av luft under trykk. Her vises en av de aktuelle modellene, Air Pod (MDI 2011).

Som en avrunding på de to siste kapitlene hvor det har blitt sett på fire alternativer til fossilt drivstoff, presenteres til slutt en figur fra Sintef. Her vises deres forslag til fremtidens innfasingsutsikter for de ulike teknologiene, trykkluft er imidlertid ikke inkludert i disse prognosene.



Figur 19: Forslag lagt frem av Sintef for utviklingen av alternative drivstoff i fremtiden. Når det gjelder hydrogen, står "BC" for brenselcelle, og "ICE" for "internal combustion engine" (Sintef 2008).

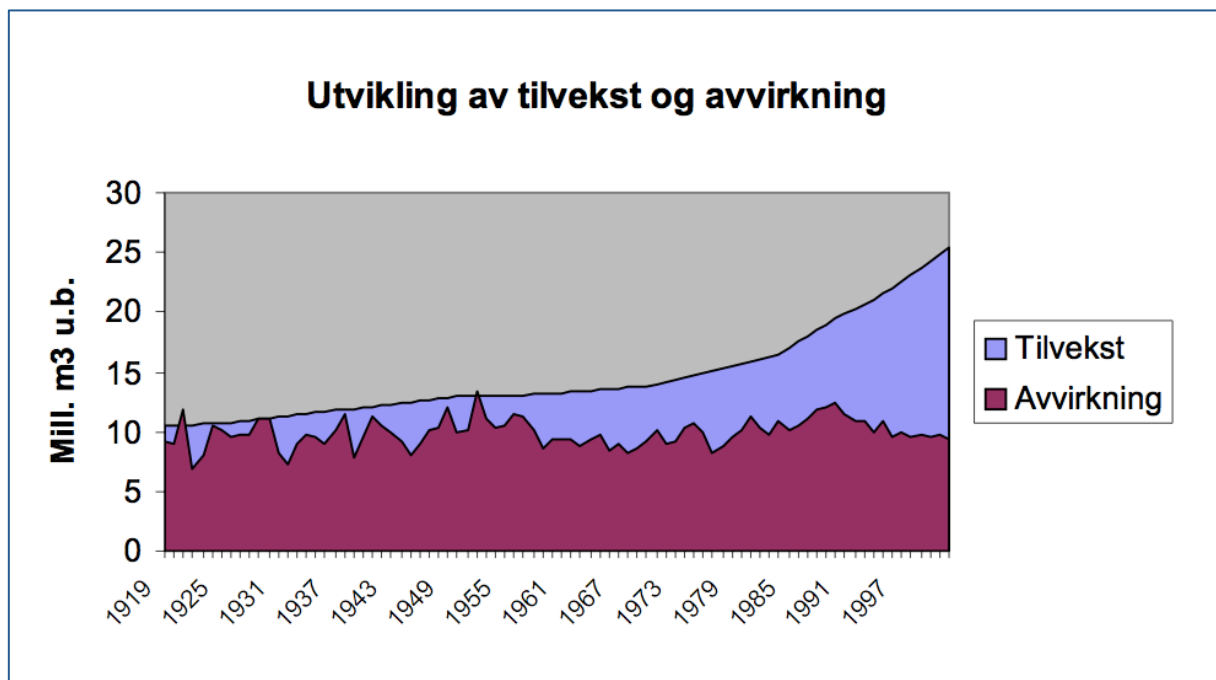
I figuren over vises biodrivstoff som den teknologien med det største potensialet i den nærmeste fremtid. I neste kapittel vil det bli sett på hvilke forutsetninger Norge har i forhold til slik produksjon.

5. Ressursgrunnlaget for biodrivstoffproduksjon i Norge

I dette kapitlet vil det bli sett på dagens beholdningen av biomasse i norske skoger, samt hvor stor andel av Norges drivstofforbruk dette kan dekke. Avslutningsvis kommer en presentasjon av dagens bruksarena for biomasse, hva energiformål gjelder, nemlig fjernvarmesektoren.

5.1 Dagens uttak fra norske skoger

Norge har en skog med stor volumtilvekst. Norsk institutt for skog og landskap melder om mer enn en fordobling av stående volum de siste 80 årene, med en økning fra 312 til 748 millioner m³ siden 1925 (Skog og landskap 2010a). Figur 20 viser utviklingen i tilvekst og avvirkning gjennom denne perioden. Som det fremgår av figuren har det vært en nærmest konstant avvirkning på rundt 10 millioner m³ per år, mens tilveksten har økt, spesielt de siste 15 årene. Denne økningen skyldes hovedsakelig at det skjedde en stor satsning på planting sent på 50-tallet, hvilket fortsatte i årene fremover (Gjølshjøl & Hobbeldstad 2009).



Figur 20: Utvikling av tilvekst og avvirkning, angitt i millioner kubikkmeter under bark (Gjølshjøl & Hobbeldstad 2009).

Per i dag ligger årlig tilvekst på rundt 26 millioner m³, dette er et rekordstort tall. Til sammenlikning var den årlige tilveksten knapt 20 millioner m³ i 1990. Til tross for denne sterke økningen i tilvekst har avvirkningen holdt seg mer eller mindre konstant, den har ligget på mellom syv og ti millioner m³ gjennom hele den nevnte perioden. 2009 skulle imidlertid vise seg å bli året med den laveste avvirkningen på 34 år, 6,8 millioner m³ tømmer industrivirke ble avvirket dette året (SSB 2010c). Hovedårsaken til denne nedgangen var lavere etterspørsel og dermed nedgang i tømmerpris som følge av finanskrisen. Med en slik differanse mellom tilvekst og hogst er det naturlig å konkludere med at alt ligger til rette for en solid økning av uttaket fra norske skoger. Likevel er det viktig å sørge for at videre hogst foregår på en bærekraftig måte, og det må derfor tas hensyn til det faktum at det finnes store variasjoner i egnetheten for avvirkning. Forhold som i denne forbindelse må vurderes er geografiske områder, treslag, boniteter³ og eiendoms kategorier (Gjølsjø & Hobbestad 2009)

En slik bærekraftig økning i uttak må også planlegges langsiktig da skogproduksjon innebærer store tidsperspektiver. Fra planting kan det ta mellom 60 og 120 år før trærne sluttavvirkes. For å få oversikt over potensialet som ligger i norske skoger utføres det såkalte *landsskogstakseringer*. Norge var det første landet i verden som begynte med dette i 1919, og bakgrunnen for tiltaket var å sikre en bærekraftig utvikling. Skog og landskap beskriver ordningen slik: "Landsskogtakseringene danner et viktig grunnlag for skogpolitiske beslutninger, nasjonal og internasjonal rapportering i henhold til Kyotoprotokoll og klimakonvensjonen og næringsmessig utnyttning av skog i et bærekraftig utviklingsperspektiv" (Skog og landskap 2011). Siden oppstarten i 1919 har det blitt foretatt ni takseringer, hvorav den siste ble avsluttet i 2009.

I dokumentet "Energipotensialet fra skogen i Norge", en oppdragsrapport fra Skog og landskap utarbeidet av Simen Gjølsjø og Kåre Hobbestad, vurderes fremtidens skogbruk basert på data fra den 8.landstakst (2000 - 2004). Ut i fra denne takseringen er det utført langsiktige avvirkningsanalyser som tar for seg potensiell avvirkning over en 100-årsperiode.

³ Bonitet er et mål for en skogsmarks evne til å produsere trevirke. Jo høyere bonitet, jo bedre produksjonsevne (Skog og landskap 2010b).

I forbindelse med en slik analyse kommer begrepet *balansekvantum* inn. Dette er et mål på det langsiktige avvirkningskvantumet, og beskriver det høyeste kvantumet som kan hogges i dag uten behov for nedjustering i fremtiden (Gjølsjø & Hobbestad 2009).

Balansekvantumet som er beregnet på grunnlag av den 8.landstaksten gjelder for 100 år fremover, og forutsetter et relativt høyt aktivitetsnivå. I rapporten er det først estimert et *brutto* balansekvantum, det vil si at det ikke er utført økonomiske eller biologiske hensyn. Med unntak av Finnmark har det brutto balansekvantumet for Norge blitt estimert til ca. 17 millioner tonn med biomasse (tørrstoff). For å få overført dette tallet til energisammenheng benyttes *effektiv brennverdi*. For dette tilfellet hvor det er snakk om tørrstoff, altså helt tørt treverk, tilsvarer dette *nedre brennverdi*, hvilket for trebrensel er 5,32 kWh/kg (Gjølsjø & Hobbestad 2009). Dette gir følgende regnestykke:

$$17 \cdot 10^9 \text{ kg/år} * 5,32 \text{ kWh/kg} = 9,04 \cdot 10^{10} \text{ kWh/år} = 90 \text{ TWh/år} \quad (11)$$

Dette er altså brutto balansekvantum, og er derfor ikke representativt for hva som er tilgjengelig for hogst. For å komme fram til dette har Gjølsjø og Hobbestad beregnet det *netto* balansekvantumet. Her er det gjort fratrukk basert på følgende grunnlag: Skogsarealer som er økonomisk vanskelig å drifte på grunn av avstander til skogsbilvei (over 1,5 km), samt bratthet i terrenget (over 90 prosent stigning). I tillegg er det gjort et generelt fratrukk på 10 prosent som skyldes miljøhensyn. Totalt gir dette et fratrukk på 25 prosent i forhold til netto balansekvantum, noe som da vil si at 90 TWh/år er redusert til 68 TWh/år.

Tabell 1 viser hvordan det videre har blitt justert for røtter under 5 cm i diameter, løv og nåler. Dette er biomasse som egner seg til bioenergiformål, men som blir utelatt når det er snakk om tradisjonell utnyttelse av skogen i form av sagtømmer og massevirke. Med denne justeringen ser en at årlig netto balansekvantum blir på 56 TWh, eller 10 millioner tonn.

Tabell 1: Netto balansekvantum etter at røtter under 5 cm, løv og nåler er utelatt (fritt etter Gjølshjøl & Hobbeldstad 2009).

	Netto balansekvantum uten løv/nåler og røtter [Millioner tonn]	Netto balansekvantum uten løv/nåler og røtter [TWh]
Gran	5,4	29
Furu	3,5	19
Løvskog	1,5	8
Sum	10	56

Så over til hva som faktisk tas ut av norske skoger. Det ble innledningsvis i kapitlet nevnt at avvirkingen i Norge har ligget stabilt rundt 10 millioner m³ i en årrekke. Rapporten av Gjølshjøl og Hobbeldstad tar for seg tall fra 2007 som stemmer overens med dette. I 2007 ble det avvirket 8,2 millioner m³ til industriformål, i tillegg til at det var et vedforbruk på om lag 3 millioner m³, hvorav to tredjedeler stammet fra norske skoger (den resterende millionen kom fra import/andre kilder). Dette gir et forbruk på 10,2 millioner m³ fra norske skoger, og ved å benytte en gjennomsnittlig densitet for trevirke på 500 kg/m³ så utgjør dette volumet 5,1 millioner tonn (Gjølshjøl & Hobbeldstad 2009).

Med den nevnte brennverdien på 5,32 kWh/kg tilsvarer denne hogstmengden ca. 27 TWh.

5.2 Tiltak for å øke uttak til bioenergi

5.2.1 Hogstavfall (GROT)

I forbindelse med den økte satsingen på bioenergi i Norge, og regjeringens mål om nye 14 TWh innen 2020, regnes utnyttelse av hogstavfall i form av grener og topper (GROT) som et sentralt tiltak. Beregninger presentert av Skog og landskap viser at det er snakk om en mengde på ca. 2,7 millioner kubikkmeter med GROT som er mulig å hente ut fra norske skoger. I et energiperspektiv tilsvarer dette om lag 5,4 TWh (Hanssen & Clarke 2009). Dette tallet kan imidlertid økes til 14,7 TWh dersom utbyggingen av skogsveier økes, dette er prognoser hentet fra rapporten av Gjølshjøl og Hobbeldstad ved Skog og landskap. (Mer om dette kommer senere.)

Frem til i dag er hogstavfall noe som har blitt liggende igjen i skogen, etter at trærne er felt og tømmerstokkene er tatt ut. Dette hogstavfallet er næringsrike planterester, det er nemlig slik at omtrent to tredjedeler av næringsstoffene i et tre befinner seg i grenene og nålene. Dette er til tross for at denne massen kun utgjør omkring en femtedel av hele treets tørrstoffmengde, i følge tall hentet fra undersøkelser utført på en ung furuskog i Finland (Skog og landskap 2010b). Nettopp Finland er et eksempel på at våre naboland ligger foran oss når det gjelder å benytte hogstavfall, i 2006 ble 1,7 millioner kubikkmeter med finsk GROT benyttet til bioenergi (Skog og landskap 2010b).



Figur 21: Hogstavfall som tidligere har blitt liggende etter tømmeruttak, blir nå av mange sett på som nøkkelen til økt satsing på bioenergi i Norge (Skog og landskap 2010b).

Dersom dette avfallet får bli liggende i skogen, vil nedbryting ved hjelp av sopp og bakterier sørge for at næringsstoffene blir tilgjengelig for jorda (Skog og landskap 2010b). Dette betyr at ved å benytte GROT til energiformål vil det fjernes biomasse fra jordas økosystem, noe som kan ha betydning for både næringsbalansen og mikroklimaet i jorda, lagring og omsetning av organisk karbon, samt rotveksten til plantene på området. Med dette sagt

ligger det til rette for diskusjoner rundt slik uthenting, hvor bioenergi og vern av det biologiske mangfoldet blir satt opp mot hverandre.

For at uttaket skal foregå på en bærekraftig måte må næringsstoffene som fjernes erstattes i løpet av skogens omløp. Dette skjer naturlig ved avsetning fra luft og forvitring, men i områder hvor dette ikke er tilstrekkelig vil det være nødvendig med gjødsling. Med et formål om bærekraftig drift er det nødvendig å sørge for at økt biomasseuttak ikke fører til forringelse av skogens langsiktige produksjon, ei heller at livsvilkårene til arter som ulike planter, dyr og sopp forverres. For å unngå nettopp dette er det viktig med utredninger som kartlegger forskjeller i jord-og vegetasjonstyper, bestandsstruktur, klima og bonitet. Slik vil en få kunnskap om det finnes områder hvor uttak av hogstavfall ikke bør utføres, innhøstingsmetoder vil kunne tilpasses, og eventuelle gjødslingsbehov vil bli ivarettatt.

Nettopp dette er noe Skog og landskap nå ser nærmere på ved at de har igangsatt et forskningsprosjekt finansiert av Norges forskningsråd, som skal ta for seg problemstillingene nevnt ovenfor. Prosjektet har fått tittelen *”Økologiske konsekvenser av økt biomasseuttak fra skog i Norge”*, og strekker seg over fire år fra 2009 til 2013. Prosjektet er et samarbeid instituttet har med UMB, Norsk institutt for luftforskning, Energigården, samt kolleger i Sverige, Danmark og Finland.

5.2.2 Økt skogsveibygging

Dersom skogen skal kunne utnyttes til det maksimale, på en økonomisk og bærekraftig måte, er det en nødvendighet at de aktuelle områdene gjøres tilgjengelige. En helt sentral brikke i forbindelse med dette er skogsbilveier, et eksempel er vist i figur 22. Siden tidlig nittital har det vært en markant nedgang i utbyggingen av slike veier her til lands, og av de skandinaviske landene ligger Norge nederst på lista når det gjelder skogsveitetthet (Skog og landskap 2008).

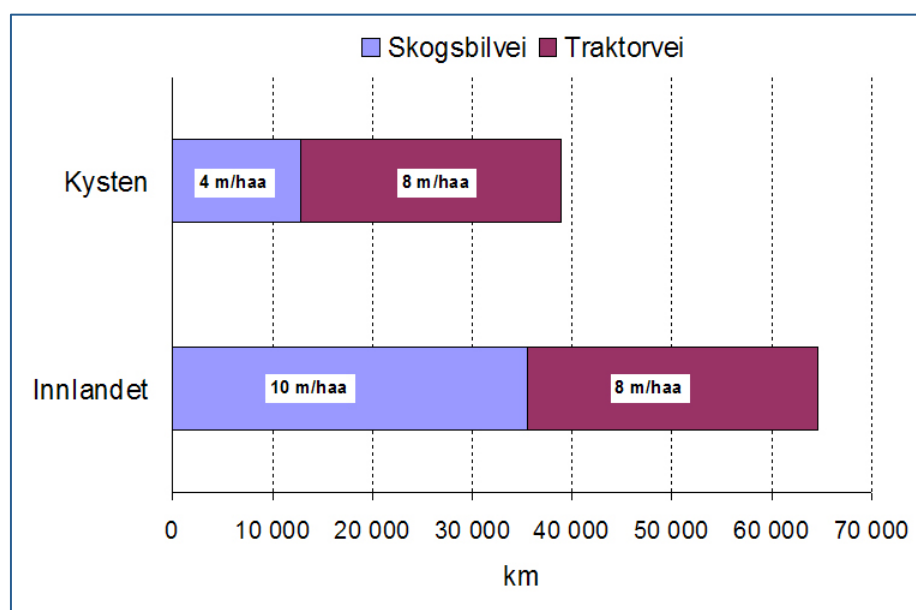


Figur 22: Nyhøvlet skogsbilvei (Skog og landskap 2008)

Det er flere fordeler knyttet til skogsveier, både økonomiske og miljømessige. Det er langt billigere å transportere tømmeret ut av skogen med vogntog, enn hva det er å benytte terrengtransport med lassbærer. Ikke minst er det mer effektivt, skogsveier fører til en effektivitet som er 20 – 30 ganger større enn hva som gjelder for alternativet.

Sammen med transportkostnadene går også dieselforbruket ned, samt kjøreskadene på bæresvak mark. Når det gjelder miljøhensyn er det lagt ned bestemmelser som sier at det ikke gis støtte til utbygging i villmarkspregede områder, hvilket defineres som ”områder lengre en 5 km fra nærmeste tekniske inngrep” (Skog og landskap 2008).

Da Norge er et land med stor variasjon i topografi, terreng- og skogsforhold er det ikke alle områder som vil være egnet til skogsveibyggning, her vil det heller være aktuelt med traktorveier. Sistnevnte er også et bedre alternativ enn transport i terreng, her vil effektiviteten være seks ganger større. Spesielt i kystområdene vil traktorveier være aktuelt grunnet utfordrende terreng, hvor utbygging av skogsbilvei vil føre til tunge investeringer. Hvis en ser på fordelingen i figur 23, så er andelen traktorveier omtrent like stor for både kysten og innlandet, mens det er langt flere skogsbilveier i innlandet.



Figur 23: Totalt antall kilometer og tettheten av skogsbilveier og traktorveier, fordelt på innlandet og kysten, per 1.januar 2006 (Skog og landskap 2008).

Nettopp langs kysten vil det være høyst aktuelt med utbygging de nærmeste årene, da det befinner seg store mengder hogstmoden skog i disse områdene. Her avvirkes det om lag 1,7 millioner m³ i året, mens balansekvantumet er beregnet til å ligge mellom 4 – 8 millioner m³ (Skog og landskap 2008). Kostnadsinnsparingene knyttet til utbygging i disse områdene vil være av solid art. Skog og landskap skriver at for hver million kubikkmeter med tømmer som avvirkes i ”middels til vanskelig terreng”, så kan det spares ca. 10 millioner kroner for hver hundrede meter med skogsbilvei som bygges. En fornuftig utbygging her vil derfor ikke bare komme naturen til gode, men vil også kunne føre til at et titalls millioner i driftskostnader blir spart inn (Skog og landskap 2008).

I rapporten ”Energipotensialet fra skogen i Norge” som ble tatt opp i kapittel 5.1, har Gjølshjøl og Hobbeldstad tatt for seg hvilken energimengde som potensielt kan frigjøres som følge av økt veibygging. Her har de beregnet at det vil være mulig med et tillegg på 15 prosent i forhold til netto balansekvantum, hvilket da gir 10 TWh ekstra (Gjølshjøl & Hobbeldstad 2009).

5.3 Forholdet mellom tilgjengelig og nødvendig mengde biomasse

I avsnittet over ble det lagt frem at balansekvantumet i norske skoger tilsvarer 56 TWh. Dersom en trekker fra dagens hogst på 26 TWh, gjenstår det 30 TWh tilgjengelig for hogst. Med i regnestykket kommer også Klimaforliket av 2008 som krever at 14 TWh av de nevnte 30 TWh skal gå til biovarme innen 2020, hvilket resulterer i 16 TWh tilgjengelig til andre formål enn varme.

Videre sier prognoser lagt frem av Skog og landskap at uttaket fra skogen kan økes, *dersom* bruk av hogstavfall og utbygging av skogsveier blir gjennomført. Her vil førstnevnte avhenge av sistnevnte, og til sammen vil det kunne frigis ca. 15 TWh. Lagt sammen med de 16 TWh som står tilgjengelig etter at varmesektoren har fått sitt, gir dette et potensiale på 30 TWh til produksjon av biodrivstoff. Konverteringseffektiviteten på prosessen fra biomasse til drivstoff ligger på rundt 50 prosent (Heyerdahl 2011), altså vil det kun være snakk om **15 TWh** med biodrivstoff.

I tillegg til denne energien hentet ut fra skogen, kommer energien knyttet til biogass som kan anvendes direkte. Som beskrevet i avsnitt 3.3 tilsvarer dette ca. **6 TWh**, og totalen kommer derfor på **20 TWh** avrundet. Ved å benytte energitettheten til diesel på 10 kWh/liter, tilsvarer dette **2000 millioner liter** i dieselekvivalenter.

Så, hvor stor andel av Norges drivstofforbruk kan dette dekke? Nedenfor er det vist en oversikt over antall millioner liter som går med i de ulike delene av transportsektoren.

Tabell 2: Antall liter konsumert i de ulike transportsektorene i Norge (Heyerdahl 2011).

Anvendelse	Millioner liter per år
Veitransport	4 900
Skip tanket i Norge	1 800
Fly tanket i Norge	<u>900</u>
Total ⁴	7 600

2000 millioner liter kan altså ikke dekke mer enn en drøy fjerdedel av Norges fossile drivstofforbruk.

5.4 Fjernvarme - Dagens arena for biologisk karbon

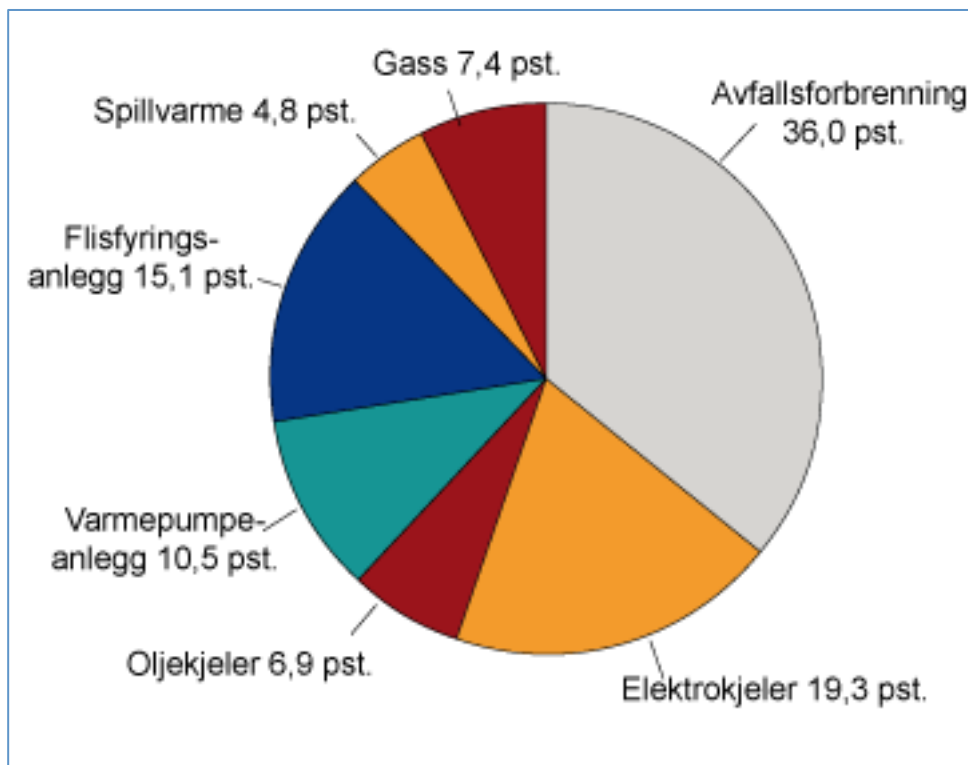
I avsnittet over ble det beregnet at den biomassen som per i dag er tilgjengelig for drivstoffproduksjon, kun kan dekke en fjerdedel av det fossile drivstofforbruket i Norge. Med i beregningene ble det tatt hensyn til at 14 TWh av beholdningene i norske skoger er "lovet bort" til varmesektoren, som en del av Klimaforliket. Disse 14 TWh som skyldes en utfasing av oljefyring kommer i tillegg til dagens varmeproduksjon som ligger på 15 TWh. Her er 7,5

⁴ Fyringsolje er ikke inkludert, da dette skal fases ut innen 2020 (Heyerdahl 2011).

TWh varme i form av vedfyring, mens de resterende 7,5 TWh er fjernvarme og industriell prosessvarme (SFFE 2011a).

Et fjernvarmesystem er et energisystem hvor varmen blir brukt et annet sted enn der den blir produsert. Varmen produseres i en energisentral, for så å blir spredd ut til fjernvarmekundene via et distribusjonsnett (Statkraft 2009). Varmen er i form av varmtvann som transporteres i nedgravde rør, for så og overføres til kundenes energisentraler ved varmeveksling. Det varme vannet blir slik en energibærer, mens det finnes flere ulike energikilder som kan benyttes for selve varmeproduksjonen. Noen eksempler er biomasse, spillvarme, varmepumper, sol eller geotermisk energi (Enova et al. 2011).

Varmeproduksjonen i dagens fjernvarmesektor fordeler seg mellom ulike energikilder som vist i figur 24, med avfall, flis og elektrisitet som de tre største postene.



Figur 24: Fordelingen av energikilder brukt til fjernvarme. Totalt 3,6 TWh (SSB 2010b).

Uavhengig av hva slags energikilde som benyttes så kreves det at infrastrukturen mellom sentral og kunde er på plass. Fjernvarmemarkedet baserer seg på tildeling av konsesjon for å bygge og drive et fjernvarmenett i et avgrenset område. Ved innvilget konsesjon følger monopol på tilknytning av varmeproduksjon, samt salg til de tilknyttede kundene i området (Enova et al. 2011).

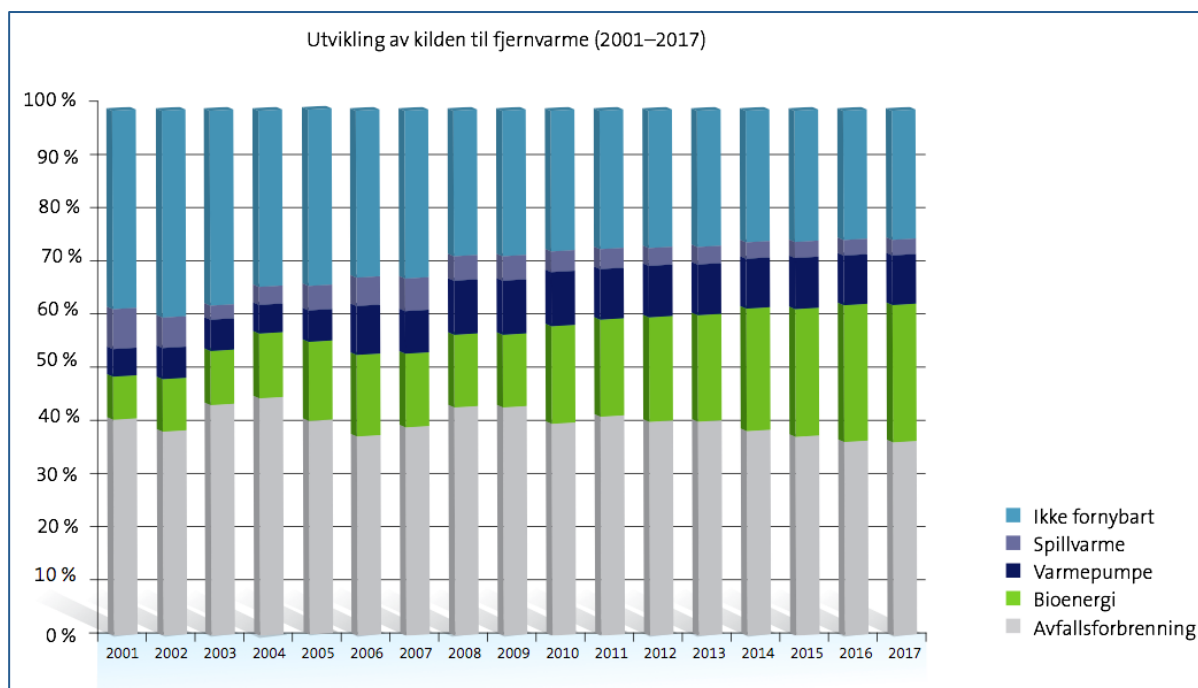
5.4.1 Offentlige subsidier og støtteordninger for fornybar varme

I Norge ligger ansvaret for tildeling av støttemidler til ny fornybar energiproduksjon hos statsforetaket Enova som eies av Olje- og energidepartementet. Foretaket ble stiftet i 2001, og i 2002 overtok de ansvaret for statens arbeid rundt omlegging av energibruk og energiproduksjon, hvilket innebærer forvaltning av det som kalles for energifondet (Olje- og energidepartementet 2008). Dette ansvaret var tidligere delt mellom NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat) og selskaper ansvarlig for elektrisitetsdistribusjon. Enova har som formål å "fremme mer effektiv energibruk, produksjon av ny fornybar energi og miljøvennlig bruk av naturgass", og de arbeider etter kvantitative mål som er fastsatt (Olje- og energidepartementet 2008).

I forbindelse med fjernvarme jobber Enova for å etablere nye varmesentraler, distribusjonssystemer og stabil leveranse av biobrensel. Knyttet til dette gir de økonomisk støtte til prosjekter som omfatter utbygging av varmesentraler og distribusjonsnett.

Energiselskapet Xrgia har utført en studie i oppdrag for Enova, formålet her var å kartlegge potensialet for forventet utbygging av fjernvarme og lokale biobaserte varmesentraler fram til år 2020. Resultatene fra denne studien som ble satt i gang i 2007, sa at forutsett at alle nye bygg blir utstyrt med vannbåren varme, så ligger utbyggingspotensialet fram mot 2020 på 7,5 TWh. Dette ble et springbrett for tre nye støtteprogrammer Enova tilbyr; etablering av lokale energisentraler, utbygging av ny fjernvarme og utbygging av infrastruktur for fjernvarme. Før dette var det kun ett felles program knyttet til støtte av fjernvarmeutbygging, hvilket omfattet alle varmeanlegg over 0,5 GWh (Enova 2010b).

Begrepet "fornybar varme" innebærer som nevnt også andre systemer enn fjernvarme, men det er helt klart fjernvarme som er den dominerende parten. Av de nevnte 5 TWh som ble støttet i den gjeldende perioden, gikk 4,1 TWh med til fjernvarmeprosjekter. Fordelingen av hvilke energikilder denne fjernvarmen ble dekket av er vist i figur 25.



Figur 25: Fordeling av fjernvarme på energikilde. Dataene fra 2001 til 2008 er historisk statistikk fra SSB, mens fordelingen fra 2008 til 2017 er en prognose Enova har utført basert på deres fjernvarmeportefølje (Enova 2010b).

Som figuren viser har andelen ikke-fornybare energikilder i fjernvarmesektoren vært gradvis minkende fram til 2008, fra ca. 40 prosent i 2001 til ca. 30 prosent i 2008. I prognosen videre spår Enova at dette tallet vil være nede i om lag 25 prosent i 2017. Samtidig som de fossile energikildene antas å bli mindre dominerende, spås det at bioenergien vil få en stadig viktigere rolle. Men da kommer spørsmålet; Har fremtidens Norge råd til å brenne biomasse som stasjonær energi, når presset for andregenerasjons biodrivstoff etter hvert vokser seg sterkere og sterkere? Det finnes i teorien mange andre muligheter for å varme opp vannet i fjernvarmerørene, to eksempler er dyp geotermisk energi (DGE), og varmepumper.

6. Diskusjon

Hver eneste dag produseres og konsumeres det om lag 80 millioner fat med olje på verdensbasis. Dette tilsvarer hele 13 milliarder liter. Samtidig som forbruket stadig øker, varsler IEA at toppen for den fossile produksjonen var nådd i 2006. I følge tall lagt frem av BP i deres "Statistical Review 2005" vil gapet mellom tilbud og etterspørsel på olje i 2030 ligge mellom 60-70 millioner fat per dag. Dette gapet er nødt til å lukkes, men hvordan?

Om lag 70 prosent av all fossil energi som blir brukt i Norge går til drivstoff. Den norske bilparken består av ca. 2,8 millioner kjøretøy, disse konsumerer til sammen nærmere 5 000 millioner liter med fossilt drivstoff (SSB 2009). I tillegg har vi skips- og flytrafikken som til sammen står for 2700 millioner liter. Nøkkelordene som ligger bak disse tallene er "flytende" og "karbon". Rundt hele verden er det bygget opp en enorm og solid infrastruktur, for ikke å snakke om en stor utstyrsindustri for motorer, biler, båter, fly, maskiner, veier, etc. Bak alt dette ligger den samme driveren, flytende karbon. Med "peak oil" og det faktum at fossilt karbon er en ressurs det finnes en begrenset mengde av, kommer spørsmålet om hva som skal drive frem det mobile samfunnet etter hvert som disse reservene tappes og prisene stiger.

Undersøkelser utført av transportøkonomisk institutt (TØI) viser at Ola og Kari Nordmann betaler det de må for å komme seg fra A til B. I en rapport fra Statistisk sentralbyrå blir instituttets beregninger presentert, og resultatene viser at drivstoff i Norge har en priselastisitet på - 0,4 (Bye et al. 2008). Dette betyr at dersom drivstoffprisene økes med én prosent, så reduseres etterspørselen med 0,4 prosent. Den prosentvise endringen i etterspørsel er altså mindre enn den prosentvise prisendringen, hvilket klassifiserer etterspørselen som *uelastisk*. Ut av dette kan en lese at det norske folk i stor grad betaler det de må for å få fylt opp tanken sin.

Resultatet er ikke overraskende. Statistikken viser at personbilen har fått en kraftig økning i bruk de siste tiårene. I dagens samfunn eier én av to nordmenn en bil, og kjøremengden er mer enn femdoblet siden 1965 (SSB 2009). Som et eksempel på det norske folks avhengighet

av bilen kan en trekke frem det noe særnorske fenomenet; hytteliv! Hver eneste helg trekker "horder" av nordmenn avgårde til en av de 400 000 hyttene som finnes her i landet (SSB 2010a). Og hvordan kommer de seg dit? Jo, de kjører bil.

Med de kriteriene verdenssamfunnet har stilt i form av den enorme eksisterende infrastrukturen, stilles det automatisk to krav til det fossiles arvtager; det må være flytende og det må inneholde karbon. Den eneste løsningen blir da biodrivstoff. I forhold til kravet om at det skal være flytende finnes det to alternativer; biodiesel og bioetanol. Begge disse variantene kan igjen deles opp etter hvorvidt de tilhører første eller andre generasjon. Begrepet "generasjon" beskriver utviklingsstadier i biodrivstoffproduksjonen, hvor teknologisk utvikling samt type råstoff legger grunnlaget for generasjonsskillet.

En annen form for biodrivstoff er biogass. Norge har et beregnet produksjonspotensial på 6 TWh/år, hvor råstoffene er matavfall, organiske biprodukter, industriavfall, husdyrgjødsel og avløps slam. Det er spesielt én grunn til hvorfor det bør satses på biogass, det sørger for kontrollert håndtering av viktige kjemiske forbindelser. Et eksempel er metan, gassen med 20 ganger så kraftig drivhuseffekt som CO₂. Et annet stoff som blir tatt vare på ved biogassproduksjon er fosfor, grunnstoffet som grunnet sin begrensede beholdning har gitt opphav til begrepet "Peak Phosphorus" (Global Phosphorus Research Initiative 2011). Landbruket er fullstendig avhengig av fosfor i forbindelse med matproduksjon, det er beregnet at norske bønder tilfører jorda 30 000 tonn fosfor i året (Norsk Landbruk 2010). I dag blir mesteparten av fosforet utvunnet fra bergverk i Vest-Sahara, Kina, Russland og USA. Forsker Anne Bøen ved Bioforsk uttaler til Norsk Landbruk at verdensbeholdningen av dette grunnstoffet, med dagens bruk kan være brukt opp om 100 år (Norsk Landbruk 2010). Ved et biogassanlegg blir fosfor, sammen med blant annet nitrogen, resirkulert i form av restproduktet biogjødsel. Dette er en lukt- og smittefri gjødsel som passer ypperlig til bruk i landbruket, på denne måten hindres fosfor og nitrogen i å forsvinne ut i havet.

I tillegg til dette poenget om at metan og fosfor blir tatt vare på, er produksjonen av biogass også gunstig nettopp fordi det er en *våt* prosess i alle ledd. Ved å slippe behovet for tørking underveis spares det mye energi.

Når det gjelder den flytende varianten av biodrivstoff, er det bioetanol som dominerer dagens marked. I 2005 ble det produsert 45 milliarder liter av dette produktet, ti ganger så mye enn hva som var tilfellet for biodiesel (Trømborg et al. 2007). Landene Brasil og USA står til sammen for 70 prosent av verdens produksjon av biodrivstoff, med førstegenerasjons etanolproduksjon fra henholdsvis mais og sukkerrør. Når det gjelder førstegenerasjons biodiesel fra oljerike plantevekster som for eksempel raps og soya, så er Tyskland, Frankrike og Italia de tre største produsentene (Trømborg et al. 2007).

Grunnet økt etterspørsel etter førstegenerasjons biodrivstoff, har det oppstått konkurranse på jordbruksarealer knyttet til produksjonen. Dette reiser spørsmål rundt fremtidens matsikkerhet, da en prisstigning på jordbruksvarene vil kunne medføre konsekvenser av kompleks natur. På den ene siden har en fattige bønder som vil nyte godt av økte inntekter fra jorda de eier, mens på den andre siden finner en de som da ikke får råd til å kjøpe den maten de trenger for å overleve. Som et eksempel ble det i Mexico innført prisstopp på mais i 2007, etter at en kraftig prisstigning resulterte i sosial uro blant landets 50 millioner fattige (Trømborg et al. 2007).

Ved bruk av andregenerasjons biodrivstoff derimot, unngås dette problemet, da dette produseres fra råstoff som ikke gjør krav på matjord. Cellulose fra biomasse som trær, halm, gress og skogbruksavfall kan benyttes til å produsere både bioetanol og biodiesel. Det er stor aktivitet rundt hele verden på dette området, her i Norge viser bedriftene Borregaard og Weyland stort potensiale. I Europa for øvrig har blant annet Sverige, Danmark og Tyskland vist svært lovende kompetanse på området. Danske Inbicon leverer allerede celluloseetanol til Statoil, mens SEKAB i Sverige jobber mot et fullskala produksjonsanlegg innen 2014. Også flere aktører i USA og Canada viser oppsiktsvekkende arbeid rundt bioetanol utvunnet fra cellulose. Når det gjelder andregenerasjons diesel er CHOREN i Tyskland foreløpig eneste produsent. Med sin Carbo-V-prosess produserer de årlig 18 millioner liter syntetisk diesel ved hjelp av Fischer-Tropsch-teknologi. I likhet med hva vi ser på førstegenerasjons nivå, er det altså per dags dato etanol som ser ut til å bli det dominerende også innen den nye generasjonen biodrivstoff.

Med all denne aktiviteten, er det all grunn til å forvente at andregenerasjons biodrivstoff vil være kommersielt innen dette tiåret. MEN selv om Norge tar i bruk alt som finnes tilgjengelig av biomasse og lager drivstoff ut av det, så dekker det likevel kun en fjerdedel av behovet. Det er derfor nødvendig at også andre miljøvennlige fremdriftsalternativer kommer på banen.

Elektrisitet er det ene alternativet, i hvert fall for veitrafikken. Av de eksisterende teknologiene på dette området later hybridvariantene, spesielt plug-in modellene (PHEV), til å være det mest aktuelle i nærmeste fremtid. Grunnen til dette skyldes begrensningen knyttet til dagens helelektriske biler, nemlig bilens rekkevidde. En hybridbil som kombinerer elmotoren med en forbrenningsmotor opprettholder muligheten for langturer, noe som naturlig nok åpner opp for en bredere kjøpergruppe. I en spørreundersøkelse utført av miljøorganisasjonen ZERO svarte samtlige av 1400 respondenter at rekkevidde var det de så på som den største ulempen knyttet til elbiler (Halsør et al. 2010). Dette resulterte i at andelen som kunne tenke seg en hybridbil ved neste neste bilkjøp var vesentlig høyere enn hva gjaldt for elbil. Det ideelle på lang sikt er selvfølgelig at behovet for kombinasjonen for å kombinere elektrisiteten med fossilt opphører, men inntil den tid kan hybridbilen fungere som en teknisk overgangsløsning.

Så hvor mye kan elektrisitet dekke? Flytrafikken og skipsfarten, som til sammen konsumerer 35 prosent av Norges fossile drivstofforbruk, faller utenfor. Når et fly letter fra flyplass A kan det naturlig nok ikke tankes på nytt før det lander på flyplass B, derfor kreves det her drivstoff av tilsvarende energitetthet som dagens fossile flybensin. Her er derfor andregenerasjons biodrivstoff, det eneste "grønne" alternativet på veldig lang sikt.

Ulike ekspertutvalg forslår at elbiler og ladbare hybrider bør utgjøre mellom fem og ti prosent innen 2020. Basert på dagens bilpark vil ti prosent av alle *personbiler* utgjøre ca. 200 000 elbiler (Halsør et al. 2010). I dag er antallet 4000, og med tanke på at 2020 kun ligger ni år unna vil dette kreve en *gjennomsnittlig* årlig tilvekst på 54 prosent. Dette følger av likning 12, hvor løsning gir $x = 1,54$. (Det er imidlertid viktig å poengtere at dette kun er en lineær tilnærming, og ikke må betraktes som en nøyaktig prognose.)

$$4000 \cdot x^9 = 200\,000 \quad (12)$$

Sammenliknet har den årlige tilveksten i elbilbestanden de siste fem årene ligget på rundt 20 prosent (Norstart 2011). Med den teknologiske utviklingen, samt nye modeller som er ventet fra flere store bilprodusenter de kommende årene, virker en forventning om generell økning i tilvekst fornuftig. Når det er sagt, hvorvidt ti prosent elbiler innen 2020 er realistisk, eller om fem prosent er mer sannsynlig kan en foreløpig kun spekulere i.

Når biodrivstoff og elektrisitet er medberegnet, gjenstår hydrogen. Her ligger hovedutfordringen i å utvikle kostnadseffektive brenselceller, samt få på plass den nødvendige infrastrukturen. For hva energieffektivitet gjelder, varierer dette med hva slags energikilde som brukes for å produsere hydrogenet. Beregninger gjort av Sintef viser at virkningsgraden blir høyest dersom energikilden er enten naturgass, vannkraft eller vindkraft. De to sistnevnte vil imidlertid være å foretrekke, grunnet fraværet av CO₂-utslipp. Sammenliknet med elbiler og hybrider er markedet for hydrogen mindre kjent i Norge, det finnes i dag ca. 20 slike biler i landet, alle utleid på leasingavtaler fra ulike bilselskaper (HYNOR 2011). Spørsmålet om når bilene blir tilgjengelige for vanlig salg avhenger av økonomiske og politiske faktorer. En absolutt nødvendighet for at kommersiell bruk kan finne sted, er den nevnte infrastrukturen med et nødvendig antall fyllestasjoner.

I tillegg til infrastruktur, er det helt nødvendig å få prisen på slike biler redusert. En hydrogenbil i dag har i følge HYNOR en prislapp på rundt 700 000 norske kroner. I likhet med de fleste nye teknologier kreves det masseproduksjon for at produksjonskostnadene, og dermed prisene, kan bli tilstrekkelig lave for at "mannen i gata" skal være en aktuell kjøper. Se bare på flatskjermer, da dette først kom på markedet var prisen i det høyeste laget for de fleste, mens nå blir det sett på som "allemannseie". Noen av virkemidlene for å øke etterspørselen etter både elbiler og hydrogenbiler er fritak fra bomavgift, gratis parkering og tilgang til kollektivfeltet (HYNOR 2011).

Et alternativ som også er nevnt i oppgaven, men som ikke diskuteres videre er trykkluftbilen. Prinsippet som ligger bak denne teknologien er svært enkelt. Til tross for dette gjør en

snever rekkevidde, kombinert med et uvitent samfunn, det vanskelig å tro at dette er biler som kommer til å utgjøre noe merkbart volum av Norges bilpark.

Med de alternativene som nå er gjennomgått, kommer det tydelig frem at fremtidens mobile samfunnet vil avhenge av fire ressurser: Fossilt karbon, biologisk karbon, elektrisitet og hydrogen. Fossilt karbon nevnes først, da verden etter all sannsynlighet vil fortsette å benytte seg av dette i lang, lang tid fremover. Dagens industrialiserte samfunn er så totalt avhengig av olje og gass at skyhøye priser og klimapåvirkninger, ikke later til å være store nok bekymringer for befolkningen i denne delen av verden. Nær 100 prosent av alt transportarbeid gjøres med fossile flytende drivstoff, en ressurs det finnes en begrenset mengde av. Med andre ord; vi lever i den fossile drivstoffella.

Så har vi de tre nye alternativene; biologisk karbon, elektrisitet og hydrogen. Disse tre er nødt til å stimuleres parallelt, for ingen av de er "store" nok til å dekke behovet alene. Andregenerasjons biodrivstoff er det eneste av alternativene som "matcher" dagens infrastruktur rundt *flytende* karbon. For å kunne møte en fremtid uten tilgang på den fossile varianten, vil det derfor være nødvendig å ta i bruk så mye celluloseholdig biomasse som overhodet mulig. Med all den forskningsaktiviteten og de prosjekter som pågår innen andregenerasjons bioetanol, er det svært sannsynlig at kommersiell produksjon vil være på plass innen 2020. Kombinert med stadig stigende drivstoffpriser, vil en slik utvikling kreve at biomassen trekkes bort fra forbrenningsarenaen. I så tilfelle må det utvikles metoder for alternativ oppvarming.

Med Enovas støtte knyttet til utbygging av infrastruktur og varmesentraler innen fjernvarme, vil rørene for varmedistribusjonen allerede være på plass. Så da gjelder det å finne en ny energikilde som kan ta over for forbrenningsanleggene, slik at mengder med biomasse kan bli frigitt til drivstoffproduksjon. Det vil nå presenteres et par forslag til mulige erstatninger.

- **Dyp geotermisk energi**

Geotermisk energi er varme fra jordas indre. Dette er en ressurs av tilnærmet uendelig varighet, da det er snakk om enorme mengder med energi. Deler av varmen har ligget lagret i flere milliarder år som et resultat av jordklodens opprinnelse, men det foregår også en kontinuerlig varmeproduksjon grunnet radioaktiv nedbrytning (Evensen et al. 2011). Varmen kan hentes opp til jordoverflaten ved å la vann sirkulere i hull boret ned til 3 -5 kilometers dybde.

Norge står i særposisjon for å kunne gjennomføre en slik teknologi. Gjennom 40 års erfaring med oljeproduksjon har vi opparbeidet en solid kompetanse innen både geologi og boreteknologi. I 2009 ble Norwegian Center for Geothermal Energy Research (CGER) etablert, et senter som skal fremme forskning ved å knytte sammen aktuelle aktører fra ulike fagområder. Et av medlemmene i CGER er selskapet Rock Energy, de planlegger byggingen av et pilotprosjekt i Oslo med antatt ferdigstilling i 2012. Her skal vann med en temperatur på 65°C sendes ned i 5000 meter dype rør, hentes opp igjen ved 100 °C, og leveres til Hafslunds fjernvarmenett i Oslo (GEMINI 2010).

- **Varmepumpe**

Et annet alternativ for å varme opp vannet i de eksisterende fjernvarmerørene er varmepumper. Denne velkjente teknologien flytter termisk energi fra en lavtemperaturkilde til en høytemperaturkilde. Prosessen krever tilførsel av høykvalitets energi, som for eksempel elektrisitet, men sammenliknet med den termiske energien som overflyttes blir forbruket av denne driverenergien liten.

Varmepumper finnes i flere forskjellige typer, avhengig av hva slags medium som brukes som lav- og høytemperatur reservoar. For bruk i fjernvarmerør vil det typisk være aktuelt å benytte sjøvann eller berggrunn som den lavtempererte kilden. Som et eksempel på sistnevnte variant, kan en nevne Ekebergrestauranten i Oslo. Her har det blitt boret ti hull rundt hele bygget, med varierende dybde fra 120 til 150 meter. En varmepumpe på 90 kWh

ble så installert i det gamle fyrrommet, den dekker nå 70 prosent av restaurantens behov for oppvarming og varmtvann.

I forhold til denne bruken av varmepumper bør en imidlertid være klar over at temperaturnivået i fjernvarmenettene kan være en barriere. Turvannet (vannet ut fra varmesentralen) i dagens nett, holder som regel en temperatur på 80 - 120 grader (Enova et al. 2007). Å oppnå slike temperaturer fra en varmepumpe, kan by på utfordringer dersom prosessen skal være kostnadseffektiv.

Som en avslutning på diskusjonen kommer et innspill til rapporten "Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020", skrevet av faggruppen Klimakur 2020. Tidligere i oppgaven, under kapittel 2.2.1, ble det nevnt hvordan Klimakur antar at andregenerasjons biodrivstoff vil stå for 90 prosent av det totale utslippskuttet som er beregnet. Samtidig skriver de følgende:

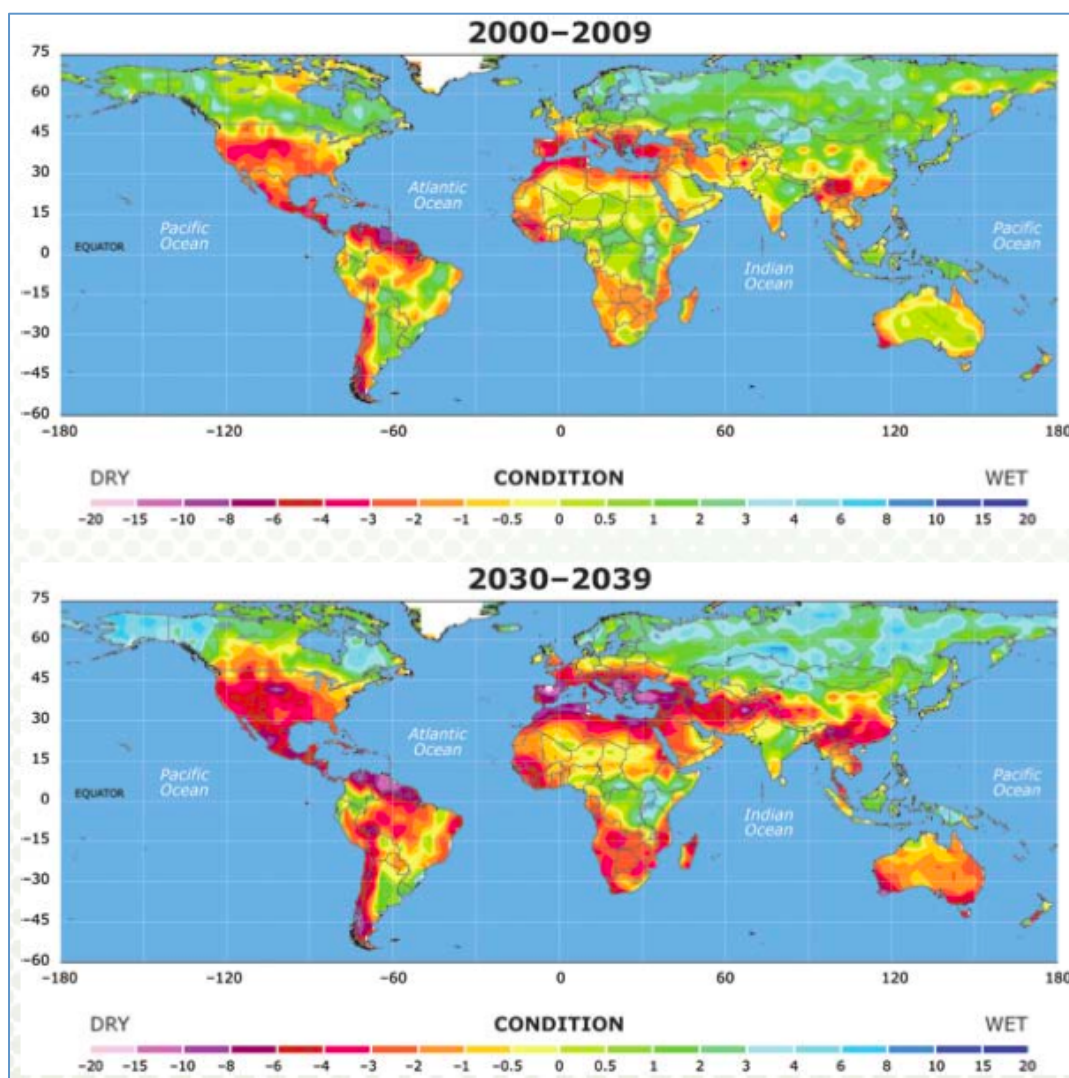
"Det er viktig å være oppmerksom på at det i disse beregningene av CO₂-gevinst er forutsatt at 100 prosent av biodrivstoffet er importert. CO₂-utslipp knyttet til produksjon av råvarer og biodrivstoff vil da finne sted i opprinnelseslandet" (Klif et al. 2010).

En slik vinkling på problematikken innebærer å beholde biomassefordelingen slik den er i dag, nemlig å brenne den til oppvarmingsformål. Men dette blir vel kun en lettvinnt løsning, hvor problemet ikke forsvinner, men heller overlates til noen andre? Som et motargument til dette kan det trekkes frem klimamodeller som spår en økende tørke verden over. Figuren på neste side er hentet fra National Center for Atmospheric Research (NCAR). Det øverste bildet viser resultatene av målinger gjort fra 2000 til 2009, mens det nederste er en simulering på hvordan situasjonen kan forventes å se ut i 2030 - 2039 (National Science Foundation 2010).

Fargeskalaen viser hvordan det i 2030 - 2039 er predikert en økt forekomst av tørke i store deler av verden, som følge av de globale klimaendringene. Spesielt områdene rundt Middelhavet, samt nordlige deler av Sør-Amerika kan bli hardt rammet, markert med lilla

farge. Steder hvor det imidlertid er spådd en *motsatt* effekt er nordliggende områder, som Alaska og Skandinavia.

Dersom disse prediksjonene skulle vise seg å stemme, vil altså norsk jord være bedre stilt enn de fleste andre steder i verden. Det er selvsagt stor usikkerhet knyttet til disse modellene, og større mengder med dokumentasjon er nødvendig dersom det skal kunne konkluderes i den ene eller andre retningen. Når det er sagt, i kampen mot den fossile drivstoffella står andregenerasjons biodrivstoff som en svært potensiell arvtager, og Norge har gode forutsetninger for å ha kommersielle anlegg i drift innen utgangen av dette tiåret.



Figur 26: Sammenlikning mellom faktisk og forventet klimautvikling. Simuleringer gjort av amerikanske National Center for Atmospheric Research, viser hvordan klimaet kan ventes å utvikle seg (nederste bilde). Rød og lilla farge representerer områder hvor faren for uttørking er ekstra stor (National Science Foundation 2010).

7. Konklusjon

I denne oppgaven er det blitt sett på mulighetene for å benytte biologisk karbon til produksjon av andregenerasjons drivstoff i Norge. Per i dag står 30 TWh med skog tilgjengelig for slik produksjon, noe som kombinert med biogass kun er i stand til å dekke en fjerdedel av Norges drivstofforbruk. Det er derfor nødvendig at også andre alternativer kommer på banen, elektrisitet og hydrogen viser det største potensialet etter biodrivstoff.

Hovedkonklusjonen fra denne oppgaven blir at fremtidig forbrenning av biomasse etter all sannsynlighet ikke vil være lønnsomt. Verden vil møte et stort press for å dekke gapet mellom tilbud og etterspørsel på råolje, noe som er garantert å resultere i økte drivstoffpriser. En slik utvikling er nettopp det som skal til for at konkurransedyktig produksjon av andre fremdriftsalternativer skal kunne skje. En enorm eksisterende infrastruktur og utstyrsindustri som stiller krav om *flytende* drivstoff, gjør at biodrivstoff her er eneste alternativ. En sannsynlig konsekvens av den forventede prisstigningen blir derfor at biomassen vil trekkes ut av varmemarkedet og over i transportsektoren.

8. Referanser

- ASPO. (2008). *Newsletter*. Tilgjengelig fra: <http://www.peakoil.net/Newsletter/NL35/NL35fig6.jpg> (lest 05.04.2011).
- Borregaard. (2011). *Støtte til bioetanolproduksjon*. Tilgjengelig fra: http://www.borregaard.no/eway/default.aspx?pid=267&trg=MainLeft_12552&MainLeft_12552=12539:26174::0:12556:1::0:0 (lest 11.04.2011).
- Boyle, G. (2004). *Renewable Energy*. 2. utg.: Oxford University Press.
- Bye, B., Gunnes, T. & Larsen, B. M. (2008). *Konsummodellen i MSG6 ved økonomisk vekst - En analyse av utviklingen i energiforbruket og teknologisk endring*. Tilgjengelig fra: http://www.ssb.no/emner/09/90/rapp_200830/rapp_200830.pdf (lest 07.04.2011).
- Chevrolet. (2011). *2011 Volt*. Tilgjengelig fra: <http://www.chevrolet.com/volt/> (lest 18.02.2011).
- CHOREN. (2009). *Carbo-V process-animation*. Tilgjengelig fra: <http://www.choren.com/en/carbo-v/carbo-v/carbo-v-flash-animation/> (lest 08.03.2011).
- CHOREN. (2011). *Frequently asked questions*. Tilgjengelig fra: <http://www.choren.com/en/information-and-press/faq/> (lest 13.04.2011).
- DONG Energy. (2011). *Inbicon - Halm omdannes til etanol*. Tilgjengelig fra: http://www.dongenergy.com/da/forretningsaktiviteter/forskning_og_udvikling/pages/inbicon-halm_omdannes_til_ethanol.aspx (lest 13.04.2011).
- Econ Pöyry. (2008). *Virkemidler for andregenerasjons biodrivstoff*. Tilgjengelig fra: http://www.econ.no/stream_file.asp?iEntityId=4170 (lest 11.04.2011).
- Enova, Innovasjon Norge, NVE & Forskningsrådet. (2007). *Fornybar Energi 2007*.
- Enova. (2010a). *Batterier*. Tilgjengelig fra: <http://www.fornybar.no/sitepageview.aspx?sitePageID=1898> (lest 23.02.2011).
- Enova. (2010b). *Enovas varmerapport 2001 - 2009*.
- Enova, NVE, Innovasjon Norge & Forskningsrådet. (2011). *Fornybar energi til varmeproduksjon*. Tilgjengelig fra: <http://fornybar.no/sitepageview.aspx?sitePageID=1850> (lest 27.04.2011).
- European Biofuels. (2009). *Biomass to Liquids (BtL)*. Tilgjengelig fra: <http://www.biofuelstp.eu/btl.html> (lest 07.03.2011).
- Evensen, J. E., Aalhus, J. N., Bergan, H., Berre, I., Kleven, P. H., Næss, E., Olesen, O. & Østhassel, E. (2011). *Energi 21, Innsatsgruppe Fornybar termisk energi, Arbeidsgruppe Geotermisk energi*.
- GEMINI. (2010). *Geotermisk energi: Energiløsningen*. Tilgjengelig fra: <http://www.ntnu.no/gemini/2010-03/24-27.htm> (lest 04.05.2011).
- Gjerset, M., Vessia, Ø. & Hojem, J. F. (2007). *Syntetisk biodiesel fra biogass*. Tilgjengelig fra: <http://www.zero.no/publikasjoner/syntetisk-biodiesel-fra-biogass> (lest 10.01.2011).

- Gjølsjø, S. & Hobbestad, K. (2009). *Energipotensialet fra skogen i Norge*. Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/filearchive/oppdragsrapport_09_09_energipotensialet_fra_skogen_i_norge.pdf (lest 28.03.2011).
- Global Phosphorus Research Initiative. (2011). *Sustainable Phosphorus Futures*. Tilgjengelig fra: <http://phosphorusfutures.net/> (lest 04.05.2011).
- Halsør, T., Myklebust, B. & Andreassen, G. L. (2010). *Norges satsing på elbiler, hydrogenbiler og ladbare hybrider*. Tilgjengelig fra: <http://www.zero.no/publikasjoner/zero-rapport-norges-satsing-paa-elbiler-hydrogenbiler-og-ladbare-hybrider.pdf> (lest 15.03.2011).
- Hanssen, K. H. & Clarke, N. (2009). *Økologiske konsekvenser av hogstavfall til bioenergi*. Glimt fra Skog og landskap. Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/filearchive/glimt_03_09_okologiske_konsekvenser_hogstavfall_bioenergi.pdf (lest 05.04.2011).
- Heyerdahl, P. H. (2011, 07.02.2011). *Evig og ren energi for UMB*, Universitetet for miljø- og biovitenskap.
- Honda. (2011). Tilgjengelig fra: <http://www.honda.com/> (lest 17.02.2011).
- HYNOR. (2011). *Hydrogenveien*. Tilgjengelig fra: <http://www.hynor.no/om/hydrogenveien> (lest 02.05.2011).
- Industrien. (2010). *Norske Skog dropper biodiesel*. Tilgjengelig fra: <http://www.industrien.no/article266103.ece> (lest 12.04.2011).
- Innovasjon Norge. (2010). *Fyller flis på tanken*. Tilgjengelig fra: http://www.innovasjonnorge.no/Aktuelt_fs/Suksesshistorier/Weyland.pdf (lest 12.04.2011).
- Jordanger, E., Møller-Holst, S., Maurstad, O. & Brevik, D. A. (2002). *Hydrogen som energibærer. Energi- og utslippsregnskap for utvalgte energikjeder*. Tilgjengelig fra: http://www.klif.no/nyheter/dokumenter/hydrogen_energibaerer.pdf (lest 21.04.2011).
- Klif, NVE, Oljedirektoratet, SSB & Statens vegvesen. (2010). *Klimakur 2020, tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020*. Tilgjengelig fra: <http://www.klif.no/publikasjoner/2590/ta2590.pdf> (lest 24.02.2011).
- Liebe, L. & Halsør, T. (2010). *Bærekraftig biodrivstoff - et avgjørende klimatiltak*. Tilgjengelig fra: <http://www.zero.no/publikasjoner/berekraftig-biodrivstoff-et-avgjoerende-klimatiltak> (lest 08.04.2011).
- MDI. (2011). *Technology*. Tilgjengelig fra: <http://www.mdi.lu/english/index.php> (lest 21.04.2011).
- Motorguiden. (2011). *Toyota feirer 2 millioner solgte Prius*. Tilgjengelig fra: http://www.motorguiden.no/index.php?option=com_content&view=article&id=824:toyota-feirer-2-millioner-solgte-prius&catid=15:bilmerker (lest 17.02.2011).
- NAF. (2011). *Nye biler 2011*. Tilgjengelig fra: <http://www.naf.no/Forbrukertester/Nye-biler/Tester-av-nye-biler/Nye-biler-2011/> (lest 18.02.2011).

- National Science Foundation. (2010). *Drought May Threaten Much of Globe Within Decades*. Tilgjengelig fra: http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?org=NSF&cntn_id=117866&preview=false (lest 04.05.2011).
- Norsk Landbruk. (2010). *Skal stoppe sløsinga med fosfor*. Tilgjengelig fra: <http://www.norsklandbruk.no/gaardsdrift/2010/04/26/skal-stoppe-sloesinga-med-fosfor.aspx> (lest 04.05.2011).
- Norstart. (2011). *Elbilbestanden i 2010*. Tilgjengelig fra: <http://elbil.no/elbiler/288-elbilbestanden-i-2010> (lest 02.05.2011).
- NVE. (2009). *Energibærere*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Energistatus-2008/Energibruk/Energibruk-til-innenlands-transport-/Energibarere/> (lest 05.05.2011).
- OFV. (2011). *Bilsalget*. Tilgjengelig fra: <http://ofvas.no/bilsalget/> (lest 17.02.2011).
- Olje- og energidepartementet. (2008). *Fakta 2008: Energi og vannressurser i Norge*. Tilgjengelig fra: http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/veiledninger_brosjyrer/2008/fakta-2008-om-energi-og-vannressurser-i-.html?id=536186 (lest 09.02.2011).
- Opel. (2011). *The Ampera*. Tilgjengelig fra: <http://www.opel-ampera.com/index.php/mas/home> (lest 18.02.2011).
- Oslo kommune. (2010). *Biogass og biogjødsel fra kloakk*. Tilgjengelig fra: <http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/vann-og-avl%C3%B8setaten%28VAV%29/Internett%28VAV%29/Bilder/Biogass/llustrasjoner/Biogass-insiden-brosjyre.pdf> (lest 12.04.2011).
- Patzek, T. W. & Croft, G. D. (2009). *Potential for Coal-to-Liquids Conversion in the United States - Fischer-Tropsch Synthesis*. *Natural Resources Research*, 18 (3).
- PFI, ZERO, NoBio, TØI, Bioforsk, KanEnergi, NTNU, Sintef, Skog og landskap & UMB. (2007). *Fra biomasse til biodrivstoff - Et veikart til Norges fremtidige løsninger*. Tilgjengelig fra: http://www.regjeringen.no/upload/SD/Vedlegg/Transport/biodrivstoff_veikart.pdf (lest 18.01.2011).
- Raadahl, H. L., Schakenda, V. & Morken, J. (2008). *Potensialstudie for biogass i Norge*. Tilgjengelig fra: <http://naring.enova.no/file.axd?fileDataID=19b5e6d9-e51f-4eb8-b1f3-4555ef2808f7> (lest 15.04.2011).
- SEKAB. (2010). *En informationsfilm om Etanolpiloten*. Tilgjengelig fra: <http://www.sekab.com/default.asp?id=2314&refid=2315&l3=1433> (lest 12.04.2011).
- Serway, R. A. & Jewett, J. W. (2004). *Physics for Scientists and Engineers*: Brooks/Cole - Thomson Learning.
- SFFE. (2011a). *Bioenergi*. Tilgjengelig fra: <http://www.sffe.no/energi/bio/index.htm> (lest 27.04.2011).
- SFFE. (2011b). *Transport med fornybar energi*. Tilgjengelig fra: <http://www.sffe.no/energi/transport/index.htm> (lest 16.02.2011).

- Sintef. (2008). *Norsk energimiks i 2050*, Radisson SAS Scandinavia hotell, Oslo. Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/upload/Konsern/Media/SINTEF-seminar%20foredrag/SINTEF-seminar%20MASTER%20FINAL.pdf> (lest 03.05.2011).
- Sintef. (2010). *Press release: European project to gain customer acceptance for electric vehicles with fuel cells in Scandinavia*. Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/Presserom/Pressemeldinger/PRESS-RELEASE-European-project-to-gain-customer-acceptance-for-electric-vehicles-with-fuel-cells-in-Scandinavia/> (lest 17.03.2011).
- Skog og landskap. (2008). *Skogsveier i Norge - historisk utvikling og dagens situasjon*. Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2008/skogsveier_i_norge_historisk_og_na (lest 01.04.2011).
- Skog og landskap. (2010a). *Bioenergi i Norge - hovedsakelig fra skog*. Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2008/bioenergi_i_norge_hovedsakelig_fra_skog (lest 24.03.2011).
- Skog og landskap. (2010b). *Hogstavfall gir nye muligheter for satsing på bioenergi*. Årsmelding fra Skog og landskap 2009.
- Skog og landskap. (2011). *Seksjon landsskogtakseringen*. Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/organisasjonsseksjon/seksjon_landsskogtakseringen (lest 30.03.2011).
- SSB. (2009). *Transport*. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/transport/> (lest 29.04.2011).
- SSB. (2010a). *Antall fritidsbygninger*. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/aarbok/tab/tab-400.html> (lest 30.04.2011).
- SSB. (2010b). *Fjernvarmestatistikk 2009*. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/fjernvarme/> (lest 28.04.2011).
- SSB. (2010c). *Skog*. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/skog/main.shtml> (lest 28.03.2011).
- Statkraft. (2009). *Fjernvarme*. Tilgjengelig fra: http://www.statkraft.no/Images/Fjernvarme_09_NO_tcm10-4580.pdf (lest 07.02.2011).
- Sørensen, B. (2007). *Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage*: Elsevier.
- Teknisk Ukeblad. (2010a). *Det internasjonale energibyrådet: Råoljen er over toppen*. Tilgjengelig fra: <http://www.tu.no/olje-gass/article267373.ece> (lest 18.04.2011).
- Teknisk Ukeblad. (2010b). – *Peak oil er politikernes beste venn*. Tilgjengelig fra: <http://www.tu.no/olje-gass/article269412.ece> (lest 18.04.2011).
- Toyota. (2011). Tilgjengelig fra: <http://www.toyota.com/> (lest 17.02.2011).
- Trømborg, E., Nielsen, A. & Hoen, H. F. (2007). *Klimagasser og bioenergi fra landbruket - kunnskapsstatus og forskningsbehov*. Tilgjengelig fra: http://www.umb.no/statisk/informasjon/klimagasser_og_bioenergi_umbina07.pdf (lest 30.04.2011).

- UMB. (2010). *Nytt enzym gir bærekraftig biodrivstoff*. Tilgjengelig fra: <http://www.umb.no/forsiden/artikkel/nytt-enzym-gir-berekraftig-biodrivstoff> (lest 14.04.2011).
- Uniol. (2011). *Pressemelding 28.februar 2011*. Tilgjengelig fra: <http://www.uniol.no/filer/pressemelding-uniol-norsk-endelig.pdf> (lest 11.04.2011).
- van Vliet, O. P. R., Faaij, A. P. C. & Turkenburg, W. C. (2009). Fischer-Tropsch diesel production in a well-to-wheel perspective: A carbon, energy flow and cost analysis. *Energy Conversion and Management*, 50 (4).
- Xynergo. (2009). *PROCESS*. Tilgjengelig fra: <http://www.xynergo.com/process> (lest 09.02.2011).
- Zero. (2008). *Batterier*. Tilgjengelig fra: <http://www.zero.no/transport/batteribil/hva/batterier> (lest 23.02.2011).