BIODIESEL
– Brændstof til eftertanke

Brændværdimåling, emissionskarakterisering, virkningsgrad samt pV-diagram for dieselmotorens kørsel med henblik på vurdering af integration af 5,75 % biobrændstof i år 2012.



Retning: Energi
Gruppe: B224
Dato: 27.05.10

INS Basisår
Strandvejen 12-14
9000 Aalborg
Telefon 99 40 97 30
Fax 99 40 97 25
http://www.tnb.aau.dk

Titel:

Biodiesel - Brændstof til eftertanke

Tema:

Modellernes virkelighed

Projektperiode:

P2, forårssemesteret 2010

Projektgruppe:

B224

Deltagere:

Kristian Zinck Bach
Jacob Gert Kristensen
Anders Vendelbo Tomra
Frederikke Elisabeth Johansen
Jon Rasmussen

Vejledere:

Mads Pagh Nielsen
Morten Boje Blarke

Oplagstal: 9

Sidetal: 99

Bilagsantal: 5

Afsluttet den: 27.05.2010

Synopsis:

Denne rapport omhandler brændværdimåling, emissionskarakterisering, virkningsgrad samt modellering af dieselmotorens kørsel med henblik på vurdering af integration af 5,75 % biobrændstof i år 2012. Ønsket om at integrere biobrændstof i transportsektoren bunder i to spørgsmål: Giver biobrændstoffer en CO_2-besparelse og giver biobrændstofferne anledning til nye giftige stoffer og partikler, hvis 5,75 % biobrændstof integreres i Danmarks transportsektor? Vil der være fordele eller ulemper i forhold til udledningen af emissioner og partikler? I løsningsdelen undersøges dette, og der opstilles en model for en dieselmotor, der kan beregne røggassammensætning, virkningsgrad og pV-diagram for et biobrændstof. Der vurderes ud fra fem biobrændstoffer, som er Daka biodiesel, Emmelev biodiesel, SCF bio-olie, McDonalds fritureolie og DanRaps olie. Konklusionen er, at de undersøgte biobrændstoffer giver CO_2, SO_2 og NO_2 udledningsreduktioner. Hypotesen er, at SCF bio-olie og McDonalds fritureolie giver en øget partikkeludledning, hvor Daka, DanRaps og Emmelev giver en reduktion i udledning af partikler. Hypotesen har dog ikke været mulig at eftervise. Der ligges på baggrund af dette projekts arbejde, op til en lovgivningsændring i forhold til implementering af 5,75 % biobrændstof i år 2012. Der ligges op til et lovkrav om, at alle dieseldrevne kørertøjer skal have partikelfilter.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.

Symbolforklaring

Symboler	Forklaring	Enhed
B_n	Procentmæssige andel af biodiesel	[%]
V_f	Forbrændingskammerets volumen	$[l]$
λ	Støkiometrisk forhold	
p	Tryk	$[Pa]$
V	Volumen	$[l]$
η	Virkningsgrad	[%]
W	Arbejde	$[J]$
Q	Varme	$[J]$
m	Masse	$[kg]$
C_v	Varmekapacitet ved konstant volumen	$[\frac{J}{kg \cdot K}]$
C_p	Varmekapacitet ved konstant tryk	$[\frac{J}{kg \cdot K}]$
T	Temperatur	[K]
r_v	Kompressionsforhold	
α	Indsprøjtningsforhold	
H_c	Øvre brændværdi	$[\frac{MJ}{kg}]$
H_n	Nedre brændværdi	$[\frac{MJ}{kg}]$
r_{25}	Fordampningsentalpi for vand ved 25°C	$[\frac{MJ}{kg}]$
O_{min}	Minimum ilforbrug ved forbrænding	$[\frac{mol}{kg}]$
X_{br}	X angiver en enhed og *br* er forkortelse for brændsel	
L_{min}	Minimum luftforbrug ved forbrænding	$[\frac{m^3}{kg_{br}}]$
V_{CO_2}	Specifik volumenandel af CO_2	$[\frac{m^3}{kg_{br}}]$
V_{SO_2}	Specifik volumenandel af SO_2	$[\frac{m^3}{kg_{br}}]$
V_{H_2O}	Specifik volumenandel af H_2O	$[\frac{m^3}{kg_{br}}]$

Symboler	Forklaring	Enhed
V_{N_2}	Specifik volumenandel af N_2	$[\frac{m^3}{kg_{br}}]$
V_{O_2}	Specifik volumenandel af O_2	$[\frac{m^3}{kg_{br}}]$
V_t	Samlede røggasvolumen	$[\frac{m^3}{kg_{br}}]$
V_f	Volumen af den fugtige røggas	$[\frac{m^3}{kg_{br}}]$
$q_{m,br}$	Massestrøm	$[\frac{kg}{s}]$
ppm	Parts per million	$[10 \cdot 10^{-6}]$
pH	Beskrivelse af en opløsnings surhedsgrad	

Forord

Denne rapport er udarbejdet på 2. semester på Energiuddannelsen ved Aalborg Universitet. *Modellernes virkelighed* er det overordnede tema for projektet.

Forudsætningerne for at læse denne rapport er et vidst kendskab til programmet EES.

Der rettes stor tak til Thomas Jensen fra Emmelev Biodiesel, Eriks Mansig fra Daka, McDonalds i Skalborg, Rene Thygesen fra Teknos A/S, Birgit Storm fra Aau Esbjerg og Kirsten Maagaard fra Kemilaboratoriet på Basis Aalborg.

Initierende problem
Hvordan kan transportsektorens CO_2-udledning formindskes?

Læsevejledning
I rapporten vil der være små afsnit med *kursiv*, disse er indledninger og konklusioner til de enkelte kapitler. Der vil gennem rapporten fremtræde kildehenvisninger, og disse vil være samlet i en kildeliste bagerst i rapporten. Der er i rapporten anvendt kildehenvisning efter Harvardmetoden, så i teksten refereres en kilde med [Efternavn, År]. Denne henvisning fører til kildelisten, hvor bøger er angivet med forfatter, titel, udgave, forlag og ISBN, mens internetsider er angivet med forfatter, titel, årstal og URL. På den vedlagte CD findes en mappe med alle de brugte hjemmesider og kilderapporter, det konstruerede program, samt en pdf-fil af rapporten.

Figurer og tabeller er nummereret i henhold til kapitel, dvs. den første figur i kapitel 7 har nummer 7.1, den anden, nummer 7.2 osv. Forklarende tekst til figurer og tabeller findes under de givne figurer og tabeller.

Kristian Zinck Bach | Frederikke Elisabeth Johansen | Jacob Gert Kristensen

Anders Vendelbo Tomra | Jon Rasmussen

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1 Fra klimatopmøde til bæredygtig biobrændstof **1**
1.1 Klimakrisens udfordringer . . . 1
1.2 Energi, olieressource og deres påvirkninger på transportsektoren . . . 6

Kapitel 2 Transportsektores teknologier **11**
2.1 Benzinbilen . . . 12
2.2 Dieselbilen . . . 12
2.3 Danmarks lovgivning på biobrændstofområdet . . . 13

Kapitel 3 Biobrændstoffer fra vugge til grav **15**
3.1 1. 2. og 3 generations biobrændstoffer . . . 15
3.2 Etik . . . 17
3.3 Udbredelsen af biodiesel . . . 18
3.4 Livscyklusvurdering . . . 19
3.4.1 Daka Biodiesel . . . 19
3.4.2 McDonalds Fritureolie . . . 20
3.4.3 DanRaps . . . 22
3.4.4 Emmelev biodiesel . . . 23
3.4.5 SCF bio-olie . . . 24

Kapitel 4 Problemformulering **27**
4.1 Fremgangsmetode . . . 28

Kapitel 5 Dieselmotorens vej til biobrændstof **29**
5.1 Mekanisk gennemgang af dieselmotoren . . . 29
5.2 Beskrivelse af motorens komponenter samt biokit . . . 31
5.2.1 Kølesystem . . . 31
5.2.2 Turbolader . . . 31
5.2.3 Brændstoffilter . . . 32
5.2.4 Motorstyring og katalysator . . . 32
5.2.5 Øvrige tiltag . . . 33

Kapitel 6 Fremstilling af og forsøg med biobrændstoffer **35**
6.1 Fremstilling af biodiesel . . . 35
6.2 Måling af brændværdier . . . 37
6.3 Forsøg med mikroskop . . . 40
6.4 Test af biobrændstoffernes viskositet . . . 43

Kapitel 7 BEV-Model **45**
7.1 Virkningsgrad og pV-diagram 47
7.1.1 Kompressionsproces 1 til 2 49
7.1.2 Varmetilførelse ved konstant tryk 2 til 3 50
7.1.3 Ekspansionsproces 3-4 51
7.2 Virkningsgradsberegning 51
7.3 Forbrændingsteori 53
7.3.1 Brændstofsanalyse 53
7.3.2 Forbrændingsberegninger 54
7.4 Resultater 58
7.4.1 Virkningsgrad 58
7.4.2 Emissioner 58
7.4.3 pV-diagrammer 59
7.5 Forbedringsforslag 62

Kapitel 8 Scenarieanalyse **64**

Kapitel 9 Konklusion **69**

Litteratur **72**

Bilag A E-mail **76**

Bilag B Forsøgsbeskrivelser **77**

Bilag C Manual til EES program **84**

Bilag D Kildekode til BEV-modellen **85**

Bilag E Produktionsdiagrammer over biobrændstoffer **88**

Fra klimatopmøde til bæredygtig biobrændstof

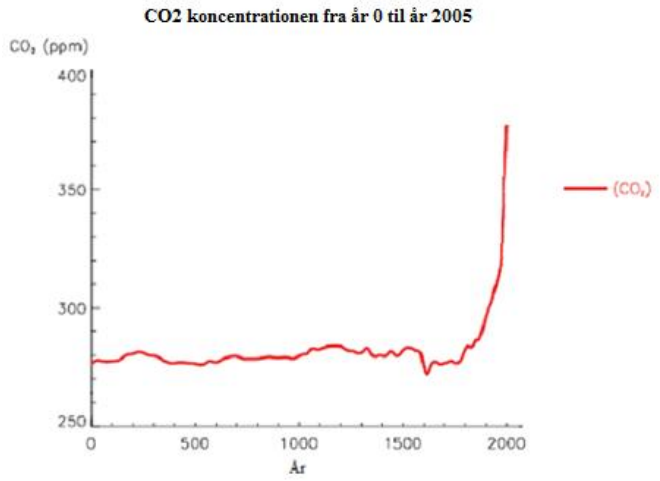
1

Der vil i det følgende blive redegjort for problemanalysen, som dette projekt bygger på. Redegørelsen vil tage udgangspunkt i de klima-, miljø- og energiudfordringer, som har medført et lovkrav om 5,75 % biobrændstof i landtransporten i år 2012. Der vil også blive redegjort for biobrændstoffers egenskaber, samt en klassificering af disse og deres oprindelse. Ligeledes vil der indgå en redegørelse for valg af projektfokus, som er biobrændsel.

1.1 Klimakrisens udfordringer

I december 2009 blev der afholdt COP15 (Conference of the Parties nr. 15) i København. COP 15 var det 15. møde mellem FN-medlemslande omkring klimaet. Mødets formål var at forhandle en klimaaftale på plads, som hovedsageligt har til formål at nedbringe verdens CO_2-udledning. Baggrunden for formålet med denne aftale skal findes i IPCC's (Intergovernmental Panel on Climate Change) rapporter, hvor den 4. rapport som udkom i år 2007, er den seneste.

IPCC's 4. rapport om klimaforandringer konstaterer, at CO_2-niveauet er steget siden de præindustrielle år, hvor koncentrationen af CO_2 lå på 280 ppm indtil år 2005, hvor niveauet lå på 379 ppm [IPCC, 2007], og den er pr. januar år 2010 steget til 388 ppm [NOAA, 2010]. Denne stigning i CO_2-koncentration er hovedsageligt forårsaget af afbrænding af fossile brændstoffer i energiproduktion, landbrug, industrien og transportsektoren [IPCC, 2007].

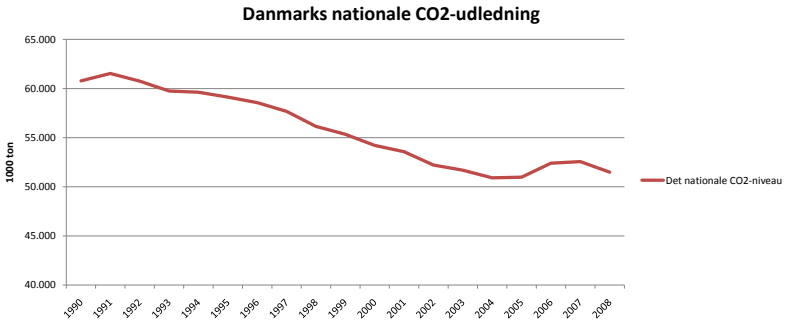


Figur 1.1. Atmosfærens koncentration af CO_2 fra år 0 til år 2005. Grafen er adapteret fra [IPCC, 2007].

Figur 1.1 viser udviklingen i den atmosfæriske koncentration af CO_2, som er en drivhusgas. Det fremgår af grafen, at det præindustrielle niveau fra år 0 til år 1750 forholdt sig konstant på omkring 285 ppm. Fra år 1750 til år 2005 har en stigende afbrænding af fossile brændstoffer medført, at niveauet er steget til 379 ppm, altså en ændring på næsten 100 ppm. Hvad betyder denne ændring for klimaet? Ifølge IPCC er en stigning i koncentrationen af drivhusgasser med til at øge den globale opvarmning. Denne globale opvarmning vil give klimaforandringer, som fx vil føre til højere vandstand i havene. I IPCC's modeller for fremtidens klima fastslås det, at jo højere koncentrationen af CO_2 i atmosfæren er, jo højere vil temperaturen blive, og jo værre vil klimaforandringerne være. I IPCC's 4. rapport fastslås der, at IPCC er 90 % sikre på, at den globale opvarmning er menneskeskabt som følge af afbrænding af fossile brændstoffer [IPCC, 2007].

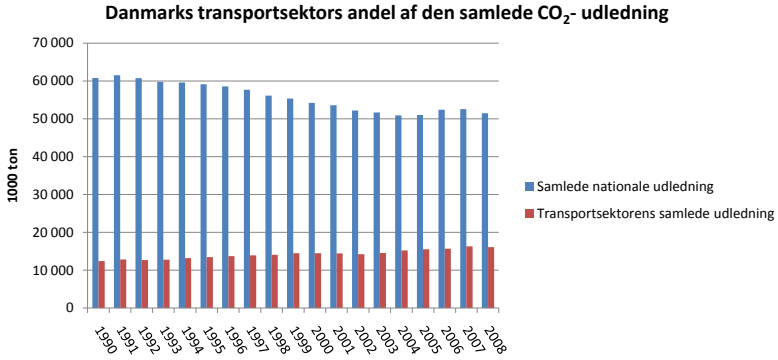
Verdens fortsatte afbrænding af fossile brændstoffer vil få koncentrationen af drivhusgasser til at stige, og jo værre bliver klimaforandringerne ifølge IPCC's forudsigelser. IPCC og EU's målsætning om mindskning af den globale opvarmning siger, at den globale gennemsnitstemperatur maksimalt må stige til 2°C over den præindustrielle temperatur niveau [Transport og Energiministeriet, 2005], således vil klimaforandringerne også begrænses. Dette kræver dog, at udledningen af CO_2 mindskes.

Hvad er der blevet gjort for at mindske udledningen af CO_2? I år 1997 i Kyoto blev Kyoto-protokollen indgået, og det er den gældende klimaaftale i dag. Protokollen indebærer, at det globale udslip af drivhusgasser skal reduceres med 5,2 % i forhold til basisåret 1990 frem mod år 2008-2012. På grund af EU's byrdefordeling er Danmark blevet pålagt, at reducere emissionen med 21 % i forhold til basisåret [Energistyrelsen, 2007]. Figur 1.2 viser udviklingen i den samlede danske CO_2-udledning fra basisåret 1990 til år 2008. Tallene er korrigeret efter temperaturforskelle og udenrigshandel med el. Tallene viser at der har været et fald i CO_2-udledning på 15,3 % fra år 1990 til år 2008 [Energistyrelsen, 2009*b*].



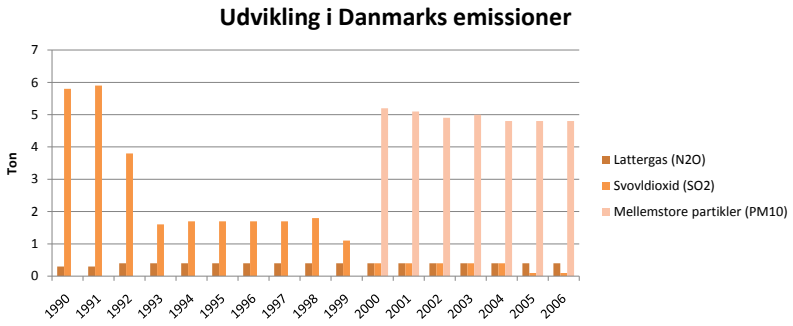
Figur 1.2. Udviklingen i den nationale CO_2-udledning fra år 1990 til år 2008 [Energistyrelsen, 2009*b*]. Det fremgår af grafen, at den nationale udledning er faldende.

Den samlede nationale CO_2-udledning i år 2008 var 51,5 mio. ton CO_2. Sektoren der udleder mest CO_2 er transportsektoren, som i år 2008 stod for 31,7 % af den samlede nationale CO_2-udledning. Udviklingen i transportsektorens andel af den samlede CO_2-udledning ses på figur 1.3. Det fremgår, at transportsektorens andel er steget med 29,5 % fra år 1990 til år 2008 [Energistyrelsen, 2009*b*].

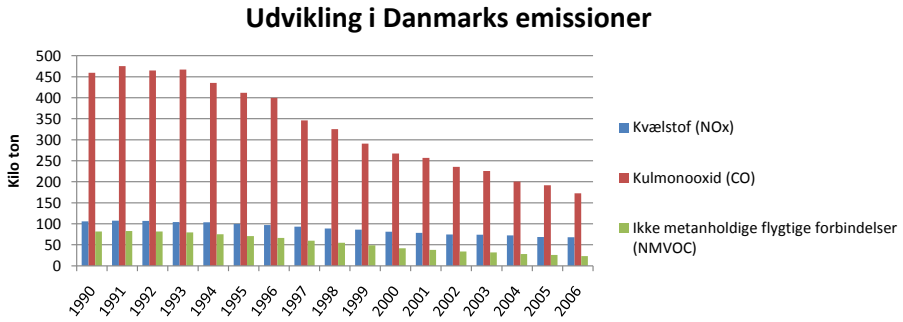


Figur 1.3. Danmarks samlede nationale CO_2-udledning samt transportsektorens andel. Det fremgår at transportsektorens andel er stigende [Energistyrelsen, 2009*b*].

Transportsektoren udledte i år 2008 16,1 mio. ton CO_2, og det er stigende. Der forekommer også andre emissioner i transportsektoren udover CO_2, såsom kvælstof (NO_x), kulmonooxid (CO), ikk- metanholdige flygtige forbindelser (NMVOC), lattergas (N_2O), svovldioxid (SO_2) og små til mellem partikler (PM_{10}). Figur 1.4 og 1.5 viser udviklingen i udledningen af disse stoffer fra landtransport [Danmarks Statistik, 2006].



Figur 1.4. Udviklingen i Danmarks nationale udslip af emissioner fra landtransport. Målingerne på PM_{10} starter i år 2000 [Danmarks Statistik, 2006].



Figur 1.5. Udviklingen i Danmarks nationale udslip af emissioner fra landtransport [Danmarks Statistik, 2006].

Af de førnævnte emissioner fra landtransport, er lattergas (N_2O) en drivhusgas, hvilket vil sige at koncentrationen af N_2O i atmosfæren, på samme måde som CO_2, har en indflydelse på drivhuseffekten, og dermed en opvarmende effekt på den globale temperatur [IPCC, 2007]. Hvor stor er lattergaseffekten i forhold til CO_2? GWP (Global Warming Potential) angiver ud fra en drivhusgas' evne til at absorbere lys, hvor meget drivhusgassen bidrager med. CO_2 har en værdi på 1, og lattergas har en værdi på 310, hvilket vil sige, at 1 kg lattergas svarer til 310 kg CO_2 [Danmarks Miljøundersøgelser, 2009*a*]. Koncentrationen af lattergas er også stigende, hvilket til dels er på grund af verdens stigende afbrænding af fossile brændstoffer [IPCC, 2007]. En del af den udledte lattergas kommer fra transportsektoren. På figur 1.4 fremgår det, at udledningen har ligget konstant på 400 kg om året fra landtransporten [Danmarks Miljøundersøgelser, 2009*a*].

Hvor drivhusgasser som CO_2 og N_2O har en effekt på klimaets "sundhed", så har partikler en direkte effekt på menneskers sundhed. Luftpartikler er små samlinger af fast stof i atmosfæren. Der findes naturlige luftpartikler, men den teknologiske udvikling har gjort, at der sker udledningen af nogle nye partikler fra fx transportsektoren. Disse partikler er af en sådan størrelse, at de kan finde vej til menneskers lunger, og på den måde også blive optaget i blodet. Dette kan føre til hjerte-kar-sygdomme, astma og kræft. Partikler inddeles i primære- og sekundære partikler. Primære partikler er partikler, der direkte bliver udledt i atmosfæren, hvor sekundære partikler kommer fra kilder, der udleder stoffer, som

i atmosfæren omdannes til partikler via fysiske og kemiske processer. Primære partikler bliver klassificeret efter størrelse. $PM_{2,5}$ og PM_{10} betyder, at partiklerne hhv. har størrelsen 0-2,5 μm og 0-10 μm. Mindre partikler kommer oftest fra forbrændingsprocesser i fx dieselbiler. De mellem til store partikler stammer fra hhv. skivebremser i biler, bildækkenes slid på vejene og mekaniske processer. Den totale mængde partikler, som stammer fra skivebremser, er ikke stor i forhold til mængden af partikler, som stammer fra udstødningsgassen på en bil, men de er dog særligt interessante, fordi de ofte indeholder tungmetaller. Tungmetaller er særdeles sundhedsskadelige, og det er desuden de partikler, hvis udledning stiger mest i øjeblikket, hvilket skyldes den stigende bilparks størrelse. De primære partikler i udstødningsgassen er kulstof (sod), salte (aske fra smøreolie) og organiske stoffer (fx polyaromatiske hydrocarboner). Når stoffer som svovldioxid, kvælstofoxider og ikke-metanholdige flygtige forbindelser (NMVOC) udledes, vil de i atmosfæren danne sekundære partikler som fx ammoniumnitrat (NH_4NO_3), svovlsyre H_2SO_4 og ammoniumsulfat $(NH_4)_2SO_4$ [Danmarks Miljøundersøgelser, 2009*c*].

På figur 1.4 og 1.5 fremgår det, at niveauet af primære partikler (PM_{10}) udledt fra landtransport, har ligget på et konstant niveau siden man begyndte at måle i år 2000. Det fremgår også, at udledningen fra landtransport af svovldioxid, kvælstofoxider og NMVOC, som leder til sekundære partikler, har været faldende siden midten af 90'erne. Dette skyldes, at EU på det tidspunkt begyndte at indføre lovkrav på området.

EU indførte "EURO-normer", som sætter en maksgrænse for udledningen af både primære partikler, samt kilder til sekundære partikler [Danmarks Miljøundersøgelser, 2009*c*]. "EURO-normer" er siden den blev introduceret blevet skærpet. Den seneste skærpelse, som blev stadfæstet i år 2008, sætter kravene, at der ikke må udledes mere end 0,0045 g PM (particle matter) pr. km for diesel- og benzinbiler samt 0.18 g NO_x pr. km. og 0.06 g NO_x pr. km for hhv. diesel- og benzinbiler [Miljøministeriet, 2009]. Med introduktionen af "EURO-nomer" lagde EU pres på bilfabrikanterne for at reducere udledningen af primære partikler og kilder til sekundære partikler. Dette gjorde, at bilfabrikanterne udviklede katalysatorer og filtre til hhv. benzin- og dieselbiler. De benzinbiler der bliver produceret i dag, er i stand til, med katalysatoren, at reducere bilens kvælstofoxidudledning med 80 - 90 %, og helt fjerne udledningen af partikler og flygtige organiske stoffer. Dieselbiler bliver i dag produceret med filtre, som er i stand til at fjerne udledningen af partikler. Med introduktionen af katalysatorer og filtre, er udledningen af primære partikler og kilder til sekundære partikler faldet, hvilket fremgår af figur 1.4 og 1.5 [Danmarks Miljøundersøgelser, 2009*c*].

Der findes også andre emissioner i landtransporten udover drivhusgasser og partikler, fx kulmonooxid og benzen. Kulmonooxid er en giftig luftart, som bliver udledt i atmosfæren fra udstødninger i landtransporten, men det kommer hovedsageligt fra benzinbilerne. På figur 1.4 fremgår det, at emissionsmængden af kulmonooxid fra landtransport er faldet med 287 kilo ton fra år 1990 til år 2006. Dette skyldes også indførelsen af katalysatoren i benzinbiler. Benzen er også giftig, og er også en emission, som kommer fra udstødningen på benzinbiler. Benzen findes i benzinen, og derfor har man i de sidste 10 år mindsket indholdet med en faktor 10, og derfor er mængden af benzen emission faldet med samme faktor [Danmarks Miljøundersøgelser, 2009*b*].

Tendensen på figur 1.4 og 1.5 er, at emissionen af partikler, kilder til sekundære partikler og giftige stoffer i landtransporten er faldene. Dette skyldes EU's "EURO-normer", som har ført til, at bilproducenterne begyndte at udvikle teknologiske løsninger, der er i stand til at mindske partikel udledningen.

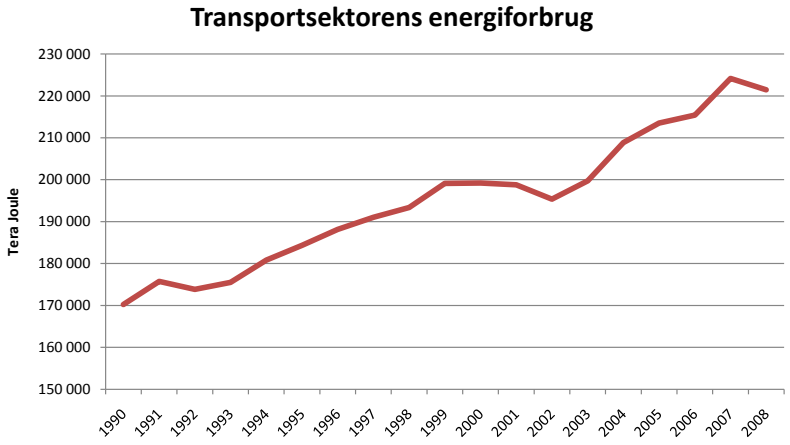
Hvad er grunden til at EU har skærpet lovgivningen på dette område? Som skrevet tidligere, har partikler og giftige stoffer som kommer fra landtransporten, en effekt på menneskers helbred. I år 1990 blev man klar over sammenhængen mellem partikelemission og dødelighed. Forskning på området viser, at når partikelemissionen stiger med 10 μg pr. m^3, så stiger dødeligheden med 7 %. Dette svarer til en reduktion i middellevealderen på 1 år for en vesteuropæisk befolkning. EU's seneste opgørelse viser, at der årligt sker 288.000 dødsfald på grund af partikelemission. Partikelemissionen påvirker helbredet ved fx at kunne føre til luftvejsproblemer, påvirkning af blodet samt give ændringer af kroppens celler. Disse påvirkninger deles også op i to typer - korttidseffekter og langtidseffekter. Ved korttidseffekter forstås de helbredskonsekvenser, som emissioner har umiddelbart efter og nogle dage efter, at udledningen er sket. I gennemsnit er der 2 % flere indlæggelser over en periode på 4 døgn, som et resultat af et døgn med 10 μg PM_{10} pr. m^3 mere end normal. Det er hovedsageligt en øget mængde indlæggelser for hjerte- og lungesygdomme, indlæggelse for slagtilfælde, bronkitis og astmaanfald som er skyld i 2 % flere indlæggelser, og dette kan føres tilbage til stigningen af partikelemission. Ved langtidseffekter forstås de konsekvenser partikelemissioner har på menneskers helbred over flere år. Nogle eksempler er: død af hjerte- og lungesygdomme, nye tilfælde af kræft, nye tilfælde af hjerte- og lungesygdomme, fosterpåvirkninger bl.a. nedsat fødselsvægt og nedsat udvikling i lungefunktion hos børn. Disse påvirkninger sker ved, at partikler bliver optaget i blodet gennem lungerne. Her kan de fx forårsage betændelsesreaktioner, hvilket kan føre til åreforkalkning og blodpropper. Partiklerne kan desuden have en skadelig effekt på arvematerialet, og kan på den måde være en direkte årsag til udviklingen af kræft. Undersøgelser viser, at dødeligheden pga. fx hjerte- og lungesygdomme blev fordoblet, hvis en person bor 100 m fra en motorvej og 50 m fra en større gade [Danmarks Miljøundersøgelser, 2009*c*].

Transportsektoren er den største udleder af CO_2 i Danmark med 31,7 % af det samlede nationale udledning, og transportsektorens andel er stigende. Transportsektoren udleder også andre drivhusgasser, partikler samt giftige stoffer. Dermed påvirker transportsektoren Jordens klima samt menneskenes sundhed. Transportsektoren er desuden en stor olieforbruger, hvilket giver ressourceknaphed. Disse ressourceproblemer vil blive belyst i næste afsnit.

1.2 Energi, olieressource og deres påvirkninger på transportsektoren

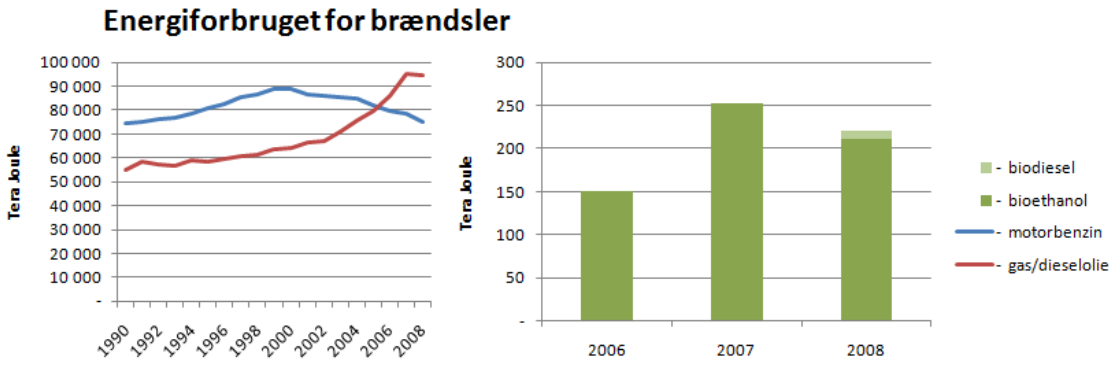
Energiforbruget i transportsektoren har været stigende. I år 1990 var energiforbruget på 170 PJ, og det er steget til 221 PJ i år 2008 i Danmark. Udviklingen ses på figur 1.6. Energistyrelsen anslår, at energiforbruget i transportsektoren vil stige med 5 % fra år 2007

til år 2030, og dermed udgøre 34 % af det samlede nationale energiforbrug [Energistyrelsen, 2008]. Landtransport udgjorde 77 % af transportsektorens energiforbrug i år 2008.



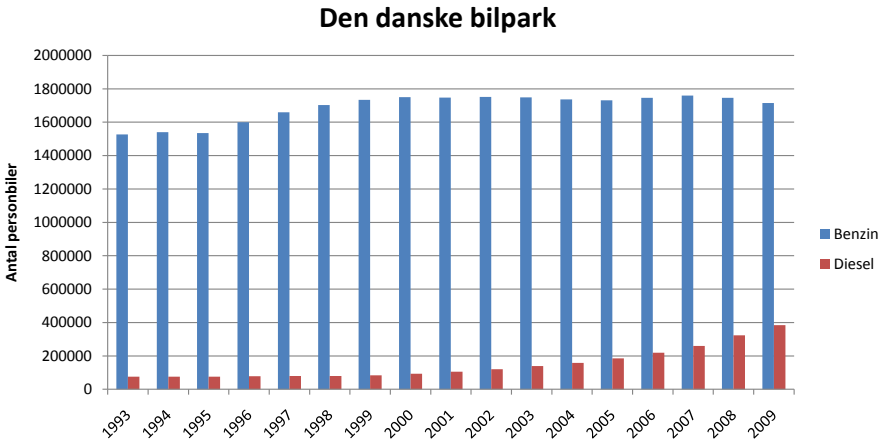
Figur 1.6. Udviklingen i transportsektorens energiforbrug fra år 1990 til år 2008 [Energistyrelsen, 2009*b*].

Hvilke brændstoffer kommer dette energiforbrug fra? Energiforbruget i transportsektoren kan deles op i fire kategorier; benzin, diesel, bioethanol og biodiesel. Udviklingen af den andel som disse brændstoffer har i transportsektoren, kan ses på figur 1.7, hvor den første graf viser benzin og diesels udvikling fra år 1990 til år 2008. Den anden graf viser udviklingen i biodiesel og bioethanol fra år 2006 til år 2008. Det fremgår, at det de sidste to årtier har været benzin og diesel, som har haft den største andel, hvor biobrændstofferne først i de senere år er blevet introduceret, og endnu ikke har udviklet sig til at have nogen nævneværdig andel af markedet [Energistyrelsen, 2009*b*].



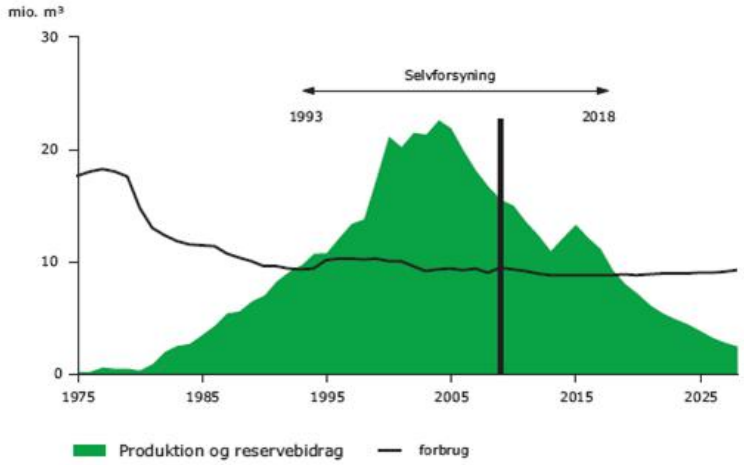
Figur 1.7. Energiforbruget i landtransport efter forskellige brændstoffer [Energistyrelsen, 2009*b*].

Det øgede energiforbrug i transportsektoren sker på grund af en øget efterspørgelse fra en voksende bilpark, som ses på figur 1.8. Her fremgår det, at antallet af benzindrevne biler er næsten konstant, mens antallet af dieselbiler er stigende, hvilket øger det samlede antal biler [Transportministeriet, 2008].



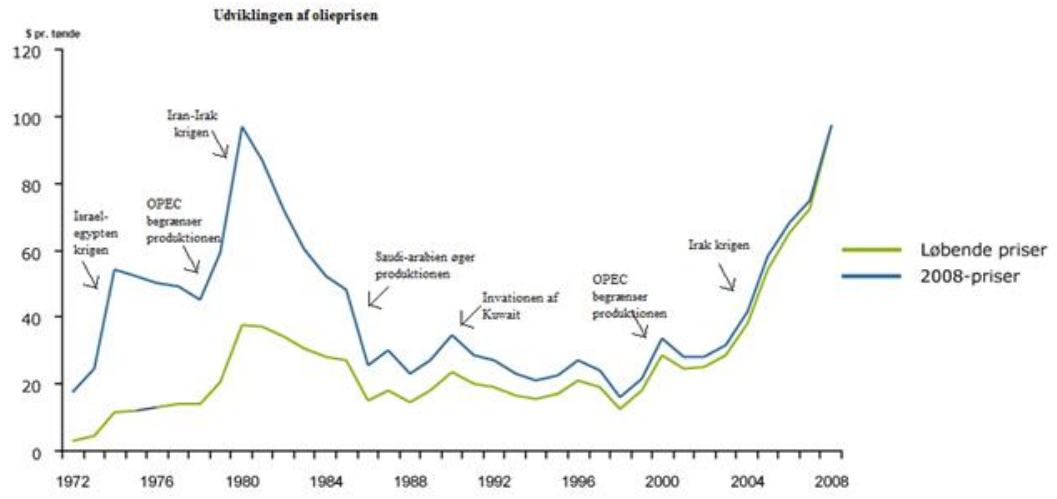
Figur 1.8. Udviklingen i den danske bilpark [Transportministeriet, 2008].

De to mest dominerende brændstoffer i den danske landtransport er diesel og benzin, som vist på figur 1.7. Diesel og benzin bliver produceret af råolie. Råolie er et fossilt råmateriale, og oliereserven er ikke uudtømmelig, eller med andre ord, Jorden har en vis reserve af fossilt olie, og når den er brugt, så er der ikke mere. Dette står i skarp kontrast til de vedvarende energikilder som fx vindenergi. Det stigende energiforbrug i transportsektoren gør, at den er afhængig af problemstillingerne omkring olie. Olie er verdens primære energikilde, og dækker 35 % af verdens energiforbrug. I OECD (Højøkonomiske stater) er afhængigheden størst. Her udgør olien 41 % af energiforbruget, og halvdelen anvendes i transportsektoren [Energistyrelsen, 2005*a*]. Verdens olieforbrug er stigende. I år 2005 var det daglige forbrug 84 millioner tønder råolie. Dette forventes, at vokse med 38 % til 116 millioner tønder hen mod år 2030. I år 2005 var Jordens oliereserve på 1293 billioner tønder, hvilket svarer til 40 års forbrug [Blarke, 2008]. Danmark er selvforsynende med olie, og havde pr. 1. januar 2009 en reserve på 1278 millioner tønder. Figur 1.9 viser udviklingen i produktion og reservebidrag af olie samt forbruget af olie. Det fremgår, at Danmark vil være selvforsynende med fossilt olie indtil år 2018, hvor forbruget vil overstige produktionen. Der er på figur 1.9 ikke taget højde for et teknologisk bidrag, hvilket man kan forvente, da nye teknologier vurderes til at være i stand til at udvinde yderligere olie fra oliefelterne. Der er heller ikke taget højde for et bidrag fra nye fund. Det vurderes, at nye fund af olie også vil bidrage til yderligere produktion. Med disse bidrag medregnet anslås det, at Danmark vil være selvforsynende med olie til år 2029 [Energistyrelsen, 2009*a*].



Figur 1.9. Udviklingen i produktionen og forbruget af olie i Danmark [Energistyrelsen, 2009*a*]. Som teknologien og oliefundene er i dag, vil Danmark være selvforsynende indtil år 2018. Den lodrette sorte streg indikerer året, hvor tallene er udregnet.

Danmark vil ikke længere være selvforsynende med olie i år 2029 ifølge energistyrelsens vurdering. Dette vil medføre, at Danmark i så fald vil være nødsaget til at importere olie. Hvad er problemet ved, at Danmark ikke længere vil være selvforsynende? Prisen på olie er varierende, og er ofte bestemt ud fra nogle internationale forhold, der er svære at forudse. Dette skyldes, at store dele af verdens oliereserve befinder sig i lande med ustabile politiske forhold. Figur 1.10 viser udviklingen i prisen pr. tønde råolie i forhold til den løbende pris og den reelle pris i året 2008. Det fremgår at internationale forhold som fx Iran-Irak krigen, invasionen af Kuwait og krigen i Irak har en indflydelse på prisen af olien [Energistyrelsen, 2005*a*]. I år 2008 blev rekorden for højeste råoliepris sat med en pris på 145 $ for en tønde råolie [Oliens Brancheorganisation, 2009]. I år 1973 og år 1979 steg prisen kraftigt og medførte oliekriser, som opstod på grund af konflikter i mellemøsten. Under kriserne faldt udbuddet af olien og dette medførte prisstigninger. Dette gjorde at Danmark indførte bilfrie søndage, slukkede lyset i hver anden gadelygte, og havde en lavere økonomisk vækst [Energistyrelsen, 2005*a*].



Figur 1.10. Udviklingen i prisen på en tønde olie. Den grønne graf viser prisen i forhold til den løbende pris, og den blå graf viser den reelle pris i forhold til året 2008. (OPEC er en sammenslutning af arabiske olieproducerende lande.) Grafen er adapteret fra [Energistyrelsen, 2008].

Transportsektorens energiforbrug er stigende, og energiforbruget vil fortsætte med at stige. Danmark anslås til at være selvforsynende med olie til år 2029, hvor Danmarks forbrug af olie i højere grad kan blive påvirket af udefrakommende faktorer. Dette skete også, da Danmark ikke var selvforsynende med olie, fx i årene 1973 og 1979, hvor oliekriserne indtraf. Oliekriserne havde en del konsekvenser for danskernes daglige færden, men oliekriserne var ikke kun negative. Det medførte nemlig et ønske om, at nedjustere afhængigheden af de fossile brændstoffer, og indføre alternative og vedvarende energikilder, som blev startskuddet til vindmølleeventyret. Der vil i næste afsnit blive redegjort for de forskellige køretøjer, som bruger disse brændstoffer. Der vil blive lagt vægt på at finde de forbedringsmuligheder, der er ved køretøjerne, således en løsning kan findes på transportsektorens bidrag til de klima-, miljø -og energiproblemstillinger, der blev redegjort for i de forrige afsnit.

Transportsektores teknologier 2

Det moderne Danmark er i høj grad baseret på en transportsektor, der er afhængig af fossilt brændstof. Den ressourceknaphed der er på fossilt brændstof i fremtiden, vil blive en problemstilling, der skal arbejdes hen imod at løse. Af de nuværende teknologier i transportsektoren kan nævnes hydrogenbilen, elbilen, benzinbilen og dieselbilen. Hydrogenbilen, såvel som elbilen, er ikke dominerende i den danske bilpark, og de står begge over for nogle store udfordringer, for at vinde indpas i det danske bilmarked. Hydrogenbilens udfordringer består hovedsageligt i at udvikle mere effektive og billigere metoder til fremstilling af brint [Energistyrelsen, 2005*b*]. I dag foregår ca. 95 % af produktionen vha. naturgas [Nielsen, 2006]. Dog anslås det at elektrolyse vil blive brugt i fremtiden, hvilket er en energikrævende proces, og virkningsgraden bliver i sidste ende lille [Mette Buck Jensen, 2005]. Der skal udvikles bedre lagringssystemer til brinten. Brint er en gas, og kan opbevares på flydende form ved -253°C ved atmosfærisk tryk, eller ved stuetemperatur i en beholder med et tryk på 700-800 bar [Energistyrelsen, 2005*b*]. Begge lagringsmetoder er meget energikrævende. Derudover skal der opbygges en infrastruktur til distribution af brinten, før den kan vinde indpas i transportsektoren. Der har de senere år været øget fokus og forskning på elbilteknologien. Elbilens udfordringer består i at forkorte batteriets opladningstid på typisk 4-8 timer, samt at forlænge batteriets begrænsede rækkevidde. Derudover skal der, som for hydrogenbilen, opbygges en infrastruktur i form af ladestationer, som skal gøre det muligt at tanke sin elbil med strøm, eller ombytte sit afladte batteri med et opladt. Derfor har vi valgt at kigge på otto- og dieselmotoren, da disse teknolgier vurders til at være nemmere at implementere.

De to dominerende teknologier i den danske transportsektor er benzin- og dieselbilen. Der findes en lang række alternative brændstoffer til disse teknologier. Herunder kan nævnes bioethanol, biodiesel, bio-butanol, bio-ETBE, Bio-MTBE, metanol, biogas, vegetabilsk olie, biomethylether, syntetisk biobrændstof og biobrint, hvilke alle er brændstoffer der kan anvendes i benzin- eller dieselbiler med eller uden ombygning af motoren og i større eller mindre iblanding i konventionel benzin eller diesel. Der findes altså et utal af alternativer til fossilt brændstof, dog er bioethanol, biodiesel og vegetabilske olier de mest udbredte produkter, og derfor udvælges disse to til videre undersøgelse [Nordjyske Innovations- og Kompetencecenter for Vedvarende Energi, n.d.].

2.1 Benzinbilen

Benzin er på verdensplan det mest benyttede brændstof, og i Danmark kører 81 % af de bilejende danskere således rundt i benzindrevne personbiler [Danmarks Statistik, 2009*a*]. Benzinbilen var fra begyndelsen den mest dominerende af personbilerne, da den har de egenskaber, at det er let at hælde brændstof på, den kører langt på literen, og brændstoffet er let at anskaffe. Brændstoffet er et fossilt brændstof, der bliver udvundet af råolie, som er blevet oplagret gennem tiden i undergrunden.

Benzinmotoren, også kaldt Otto-motoren efter sin opfinder, er siden sin opfindelse ikke blevet ændret væsentligt i den grundlæggende opbygning. Samtidig har forbrugerne ikke efterspurgt biler, der kan køre længere på literen før det seneste årti [Geologiportalen, 2009], og det har betydet, at bilproducenterne tidligere ikke er gået ind i markedet for økonomibiler, som kører langt på literen. Benzinbilen er den mest dominerende i den danske transportsektor, men bestanden af benzinbiler har, på grund af stigende benzinpriser i det sidste årti, oplevet et fald siden 2007, som ses på figur 1.8.

Bioethanol er et biobrændstof, som kan anvendes i benzinmotoren. De mest udbredte kilder til produktion af bioethanol er sukkerrør og roer samt kornafgrøder. Men bioethanol kan også udvindes fra træ og restprodukter fra landbruget, som fx halm [Energistyrelsen, 2005*b*]. Bioethanol er CO_2-neutralt, men dette anhænger dog af, hvordan det bliver udvundet og under hvilke forhold det bliver dyrket. Bioethanol kan tilsættes benzin, men kan også anvendes alene i benzinmotoren. Dog skal der her foretages nogle modifikationer af motoren. Bioethanol har også den effekt, at det kan give et højere oktantal (mål for benzins tilbøjelighed til bankning i motorer), og ved blanding med benzin, kan brændstoffet dermed få en bedre effektivitet og modvirke bankning i motoren, idet brændstoffet antænder senere ved højere oktantal [Energiogolieforum.dk, 2009].

2.2 Dieselbilen

Diesel er blevet mere populært og har vundet indpas i det danske marked, se figur 1.8. Dieselmotoren er meget benyttet i større og tunge transportmidler, såsom lastbiler. Diesel er ligesom benzin et fossilt brændstof og derfor ikke en vedvarende brændselskilde.

18 % af de bilejende danskere ejede i 2009 en dieseldrevet personbil [Danmarks Statistik, 2009*a*]. Antallet af dieseldrevne personbiler er siden år 2000 steget med 413 % [Transportministeriet, 2008].

Historisk set har dieselbilen altid været et skridt efter benzinbilen. Dette skyldes at Ottomotoren var bedre egnet til små kørertøjer, da bla. omdrejningstallet er væsentligt højere end i dieselmotoren. Dieselbilen er derfor ikke blevet udviklet i samme grad som benzinbilen. Det er først de seneste to årtier, der er kommet større fokus på denne teknologi. Dieseldrevne biler har altid haft en fordel i, at de kan køre længere på literen, samt at

prisen på diesel generelt er lavere end prisen på benzin. Mange ulemper ved dieselmotoren er blevet udbedret i det seneste årti, fx har de fået partikelfiltre, som gør at de forurener mindre. Der er dog stadig mange ældre biler, og især ældre lastbiler, der mangler partikelfiltre, men det er et lovkrav, at nye dieselbiler skal have partikelfiltre.

Biodiesel, er en mulighed for at erstatte, eller delvist erstatte, den fossile diesel. Hvis man kigger på egenskaberne hos brændstoffet, er biodiesel og diesel meget ens. Begge har høje cetantal (mål for den lethed, dieselolie antændes med efter indsprøjtning) og biodiesel har også gode smøreegenskaber, men har dog omkring 10 % lavere energitæthed end fossil diesel.

Hovedparten af biodieselen i Danmark er typisk fremstillet fra rapsfrø (RME - Raps Metyl Ester). Biodiesel produceres ved en kemisk reaktion mellem et alkohol og en katalysator samt vegatabilske olier eller animalsk fedt. Ved processen dannes biprodukter, bl.a glycerin, som fx kan bruges i den farmaceutiske industri og i fødevareindustrien, men kan også benyttes som energikilde i biogasanlæg. Hovedbestanddelen i alle olier og fedtstoffer er triglycerider, dog kan indholdet af de enkelte fedtsyrer varierer. Særligt indholdet af umættede fedtsyrer i forhold til mættede har betydning. Et højt indhold af umættede fedtsyrer sænker størkningspunktet i olien eller fedtstoffet og derved også for den biodiesel, som fremstilles heraf. Ved blanding med konventionel diesel har dette dog kun mindre betydning [Teknologirådet i 2009, 2009].

Der findes flere forskellige transportmidler, der teoretisk set vil kunne være med til at løse de klima- og energiproblemstillinger, der blev redegjort for i kapitel 1. Det vurderes, at transportmidler baseret på brint og el-teknologi ikke er langt nok i udviklingen til at blive implementeret nu, hvorimod det vurderes, at biobrændstoffer vil være en af de første mulige løsninger på markedet. Der afgrænses til at kigge på dieselmotoren frem for ottomotoren, da over halvdelen af det brændstof, som bliver forbrugt i Danmark, sker via dieselkøretøjer. Derudover kører dieselmotoren længere på literen, hvilket er en betydende faktor i transportsektoren. I næste afsnit vil der blive redegjort for Danmarks lovgivning om implementering af biobrædstof, og herefter vil de forskellige biobrændstoffer til dieselmotoren blive beskrevet.

2.3 Danmarks lovgivning på biobrændstofområdet

På grund af transportsektorens problemstilling indenfor klima, miljø og energiressourcer, er det et mål for Danmark at opnå 5,75 % biobrændsel i transportsektoren i 2012. Herunder vil blive redegjort for den lovgivning, der skal sikre dette.

Danmark vil gradvist indfase 5,75 % biobrændstof i landtransporten hen imod år 2012. Dette skal ske ud fra en 3-årig plan, hvor der skal nås 0,75 % i år 2010, 3,35 % i år 2011 og 5,75 % biobrændstof i år 2012. EU ser det også som et mål, at medlemslandene arbejder sig hen imod 10 % vedvarende energi i landtransporten i år 2020. Der blev i år 2009 stadfæstet en lov om målet med 5,75 % biobrændstof i landtransporten i år 2012, og

den lov pålægger brændstofproducenter, at 5,75 % af det samlede årlige salg af brændstof, skal bestå af biobrændstoffer, som opfylder EU's krav til biobrændstoffers bæredygtighed [Folketinget, 2009]. Der er fra den lovgivningsmæssige side ikke lagt op til nogen specifikke kilder til biobrændstoffet. Det er derfor ligegyldigt, om det er biodiesel produceret af raps eller af alger, og ligeledes for bioethanol er det ligegyldigt, om det er produceret af sukkerroer eller landbrugsaffald, så længe de opfylder EU's krav om biobrændstoffers bæredygtighed.

Kravene fra EU omhandler biobrændstoffernes drivhusgasfortrængning og forhold under dyrkning og produktion af biobrændstofferne. Med drivhusgasfortrængning forstås den besparelse, anvendelsen af biobrændstoffet giver i drivhusgasemission. Her er lovgivningen, at drivhusgasfortrængningen skal være på mindst 36 % fra år 2009 og mindst 50 % i år 2017. Kravene for dyrknings- og produktionsområdet omfatter krav om, at der ikke må produceres biobrændstof fra arealer med høj biodiversitet, arealer med vådområder, arealer med sammenhængende skov, arealer som er bevokset med over en hektar af træer på over 5 meter og arealer som har tørvebund [EU, 2009]. Kravene til biobrændstoffers bæredygtighed handler altså ikke om, hvilke kilder der skal anvendes, hvilke lande de skal komme fra, eller hvilke firmaer der skal benyttes. Oliens brancheorganisation vurderer dog, at bioethanolen vil komme fra Brasilien, og at biodiesel vil komme fra Danmark og Tyskland, hvor Daka og Emmelev mølle er nævnt som mulige producenter [Bilag A].

Danmark vil indføre 5,75 % biobrændstof i landtransporten i år 2012. Der stilles ikke krav til biobrændstoffernes kilder, men der stilles krav til deres bærdedygtighed. Næste kapitel vil give en redegørelse af biobrændstoffer og deres kilder, samt stille spørgsmålstegn ved biobrændstoffers etik, deres udbredelse og der vil opstilles livscyklusvurdering for fem udvalgte biobrændstoffer.

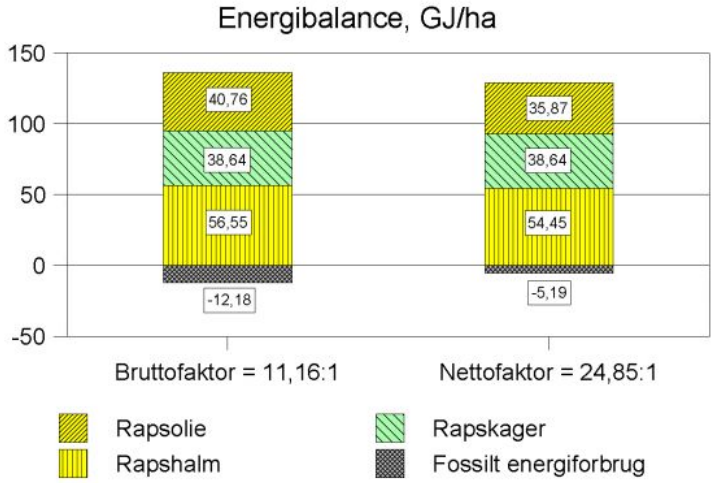
Biobrændstoffer fra vugge til grav 3

Biobrændstof stammer fra biologisk materiale, der kommer fra vedvarende kilder. De bedst kendte biobrændstoffer er bioethanol og biodiesel. Energien i biobrændstoffet stammer fra solen, som bliver lagret i det organiske materiale gennem fotosyntesen. Biobrændstoffer regnes for at være CO_2-neutrale, da den CO_2 de udleder ved forbrænding er den samme mængde CO_2 som det biologiske materiale har optaget fra atmosfæren. Der skelnes mellem 1., 2. og 3. generations biobrændstoffer ud fra de råvarer som brændstofferne produceres af. Denne opdeling vil der i det følgende afsnit blive redegjort for.

3.1 1. 2. og 3 generations biobrændstoffer

1. generation
Ved produktion af 1. generations biobrændstof anvendes planteolier fra fx sojabønner, raps, palme og kokosnød. Idéen om at udnytte planteolier til brændstof er ikke ny. Da Rudolf Diesel i år 1897 afprøvede sin dieselmotor, lavede han sine tests på baggrund af en vegetabilsk olie i form af jordnøddeolie. I dag er der udviklet metoder til at udvinde olie fra mange forskellige sorter af planter. Disse kan anvendes i en dieselmotor med mindre justeringer. De mest anvendte er; rapsolie, majsolie, sojaolie og palmeolie, der udvindes fra henholdsvis rapsfrø, majskerner, sojabønner og oliepalmens frugtkød. De nødvendige omjusteringer af dieselmotoren skyldes, at olierne har andre kemiske sammensætninger og især viskositeten, altså oliens træghed, er højere end i almindelig diesel. Derfor skal der sættes bl.a. varmevekslere på motoren for at holde olien ved den rette temperatur, da den skal kunne flyde rundt i systemet. En beskrivelse af motorens ombygning til at kunne køre på vegetabilske olier findes i kapitel 5.2.
Raps har været meget omdiskuteret som mulig brændstof til transportsektoren, da arealet til dyrkning af raps i stedet kunne bruges til fødevareproduktion. I forhold til andre afgrøder, har raps et forholdsvis lille biobrændstofudbytte pr. ha [Folkecenter, 2001]. Til gengæld kan der fra rapsolieproduktionen laves proteinkager der bruges som foder til køer og svin. På figur 3.1 ses at ca. $\frac{2}{3}$ af rapsfrømassen kan efter presning til olie bruges som foder [Folkecenter, 2001].
Raps er den mest betydende olieafgrøde under danske forhold. Den findes i to former;

vinterraps og vårraps. Førstnævnte giver højere udbytte og er så robust, at den er ved at vinde indpas i landbruget. Den bidrager positivt i sædskiftet. Det er således vinterraps, der er interessant som grundlag for planteolieproduktion. Raps kan dyrkes hvert femte år, så den absolutte grænse for rapsdyrkning svarer til 20 % af landbrugsarealet. Med denne dyrkningshyppighed kan raps indgå i et varieret sædskifte og hermed bidrage til at modvirke monokulturer i landbruget. Monokultur kan medføre udvaskning af jorden, hvis kun en slags afgrøde dyrkes over flere år på samme stykke jord [Folkecenter, 2001].



Figur 3.1. Udbytte af biomasse, biobrændsel og forbrug af fossile brændsler i forbindelse med dyrkningen af raps pr. hektar [Folkecenter, 2001].

Danmark har et stort forbrug af proteinkager, men kun $\frac{1}{6}$ af disse er dansk produceret, resten importeres i form af soja hovedsageligt fra Sydamerika [Danmarks Statistik, 2009*b*]. Sojaindustrien er stor i disse egne og beslaglægger store landarealer som kan have stor betydning for de lokale økosystemer. Man kan derfor argumentere for, at det vil være etisk forsvarligt at anvende raps i Danmark til produktion af biobrændstoffer, for derfor at udnytte biproduktet til dyrefoder.

2. generation

2. generations biodiesel bliver produceret ud fra restprodukter som fritureolie og dyrefedt. Husdyrproduktionen udgør en stor andel af det danske landbrug. Især produktion af svinekød og mælkeprodukter som udgør den største del. De danske slagterier har hidtil stået for størstedelen af alle slagtningerne i Danmark, og Danmark er derved også en storproducent af slagteriaffald. Før i tiden brugte man slagteriaffaldet til dyrefoder, men pga. tidligere episoder med kogalskab (BSE), har EU skærpet reglerne for slagteriaffald til brug i dyrefoder [Allan Malmberg, 2007]. Derfor er mulighederne for brug af slagteriaffald til biobrændstofproduktionen større, end de hidtil har været. Det beskedne brug af slagteriaffald til biodiesel skyldes et højt indhold af frie fedtsyrer i animalsk fedt, som kræver forskellige forbehandlingstrin. Samtidig kan en række mikrokomponenter i animalsk biodiesel kun fjernes ved vakuumdestillation [Teknologirådet i 2009, 2009]. Det danske firma Daka producerer biodiesel fra animalsk fedt. Dette er effektivt idet restproduktet ellers ville blive kasseret. Daka har udført et succesfuldt forsøg, hvor en Peugeot 1.6 dieselbil

kørte på brændstof der indeholdte 30 % biodiesel [Daka, 2010].

Daka Bioindustries producerer ca. 55 mio. liter biodiesel baseret på animalske biprodukter. Produktionen blev startet i 2008. Det samlede produktionspotentiale er omkring 110 mio. liter årligt, [Teknologirådet i 2009, 2009].

3. generation
3. generations biodiesel bliver produceret af alger. Microalger er en af de mest veletablerede organismer på Jorden. Alger er i stand til at tilpasse sig mange miljøer, så længe der er vand og næringsstoffer tilstede. Algenerne kan, afhængig af arten, bestå af 80 % lipider i forhold til dens tørvægt. De har en høj fotosyntetisk effekt, hvilket gør at der bliver bundet meget energi i biomassen. Det anslås, at olieproduktionen fra alger kan være op til 23.772 liter pr. hektar, hvilket overgår alle andre kilder markant. Til sammenligning producere 1. generations vegetabilsk olie, palmeolie, en tiendedel af hvad alger gør, pr. hektar. De fleste alger vokser i akvakultursystemer, hvor algerne udnytter sollys som energikilde og CO_2 som næringsstof [Caye M. Drapcho, 2008]. Derfor eksperimenteres der med at placere algeproduktionsanlæg ved CO_2-udledende fabrikker, så man på den måde kan producere alger i stedet for at udlede drivhusgassen. Alger bliver til biodiesel ved, at algebiomassen bliver presset og derefter tilsat hexan. Derefter bliver blandingen filtreret og hexanen bliver fjernet igen. Blanding bliver derpå tilsat metanol og natriumhydrooxid, hvilket giver biodiesel og glycerin. Alger må dog vurderes til at være på et tidligt udviklingsstadie [Teknologirådet i 2009, 2009].

Udbytte
Som beskrevet i de tidligere afsnit, så er biobrændstof produceret ud fra mange forskellige kilder, og derfor er udbyttet af biobrændstof pr. hektar også forskelligt. Et stort udbytte pr. hektar er et vigtigt aspekt set i det økonomiske og miljømæssige perspektiv. Produktionen pr. hektar af udvalgte kilder fremgår af tabel 3.1.

Kilde	**Produktion (Liter/hektar)**
Alger	23772
Palmeolie	2403
Kokosnøddeolie	1080
Rapsolie	480
Soyabønneolie	182

Tabel 3.1. Produktion af biobrændstof pr. dyrket hektar [Caye M. Drapcho, 2008].

3.2 Etik

Spørgsmålet om, at biobrændstoffer er CO_2-neutrale, er svært at give et entydigt svar på, da der er mange variable faktorer der kan medregnes eller udelades i CO_2-regnskabet. Der kan fx argumenteres for, at rapsolie ikke er 100% CO_2-neutralt, da der endnu ikke høstes, eller transporteres rapsolie med maskiner som ikke udleder CO_2. Desuden

er gødningsmaterialerne som bliver brugt under væksten af raps, ikke fremstillet med maskiner som får deres energi fra vedvarende energikilder. Af denne grund konkluderer mange livscyklusvurderinger, at mange biobrændsler, især palmeolie, ikke kan betragtes som CO_2-neutral. For at kunne dyrke palmeolien, bliver der fældet store mængder regnskov for at give plads til palmeplantager, bl.a. i Indonesien og Malaysia, hvilke er storproducenter [Createrainforest, 2008]. Denne olie skal også transporteres til Danmark, hvilket også udleder CO_2.

3.3 Udbredelsen af biodiesel

Biodiesel har i flere europæiske lande været anvendt i transportsektoren i flere år. Brugen af biodiesel er fuldt kommercielt udviklet, og i Danmark bliver der produceret biodiesel, bl.a. på Emmelev Mølle og Daka. Men hovedparten af denne produktion er hidtil blevet eksporteret til andre europæiske lande, hvor anvendelsen er mere udbredt. Bl.a. Tyskland, Frankrig, Tjekkiet, Italien, Sverige, Norge og Østrig anvender biodiesel i forskellige blandingsforhold, som kaldes Bn, hvor n angiver den procentmæssige andel af biodiesel i blandingen, det vil sige B100 er ren biodiesel. B5 kan umiddelbart bruges i alle dieselbiler uden at det kræver nogle omjusteringer af motoren. B100 bliver anvendt af mange bus- og vejtransportfirmaer i Tyskland, men findes også i Sverige, Norge, Østrig og USA. En del af udbredelsen handler om formidling ud til forbrugeren, både med hensyn til produktion, anvendelse og miljømæssige fordele. Teknologisk Institut har kørt et projekt siden 2007, „Waste to value“, hvor de gennem alle processerne har formidling med som et punkt. Dette gøres dels for at udbrede kendskabet til biodiesel, men også for at udforske de etiske barrierer det vil kunne opstå i forbindelse med 2. generations biodiesel [Teknologisk Institut, 2007].

Distribution
Når biobrændstof skal distribueres, kræver dette ikke nye tankstationer. Denne kan distribueres gennem de eksisterende stationer og distributionssystemer, dog med en form for blandingsfacilitet.
Da biodiesel er et biologisk materiale, kan det ikke holde sig i længere tid. Ved opbevaring over 6-12 måneder, skal det derfor tilsættes antioxidanter. For at sikre sig, at biobrændstof holder sig så lang tid som muligt, skal det holdes adskilt fra luft og vand.

Biobrændstoffer deles op i 1., 2. og 3. generations biobrændstof. Fælles for alle biobrændstoffer er, at energien, som er lagret i det organiske materiale gennem fotosyntesen, kommer fra solen. 1. generation produceres på kilder som raps-, palme-, majs- og sojaolie. Problemet med 1. generations biobrændstof er, at kilderne i sig selv er CO_2-neutrale, men ikke når man tager livscyklusvurderingerne i betragtning. Der bliver nemlig udledt CO_2 når 1. generations biobrændstoffer skal forarbejdes og høstes. Nogen af dem som fx palmeolie skal transporteres over lange afstande, hvilket giver en yderligere CO_2-udledning. Der skal også være store arealer til at dyrke 1. generations biobrændstof, hvilket stiller endnu en etisk problemstilling, idet store dele at verden sulter, og det er derfor problematisk, at der dyrkes brændstof frem for mad. Derfor er der stor fokus på 2. og 3. generations biobrændstoffer som fx animalsk fedt og alger. I næste afsnit vil der blive

foretaget livscyklusvurderinger for fem udvalgte biobrændstofprodukter.

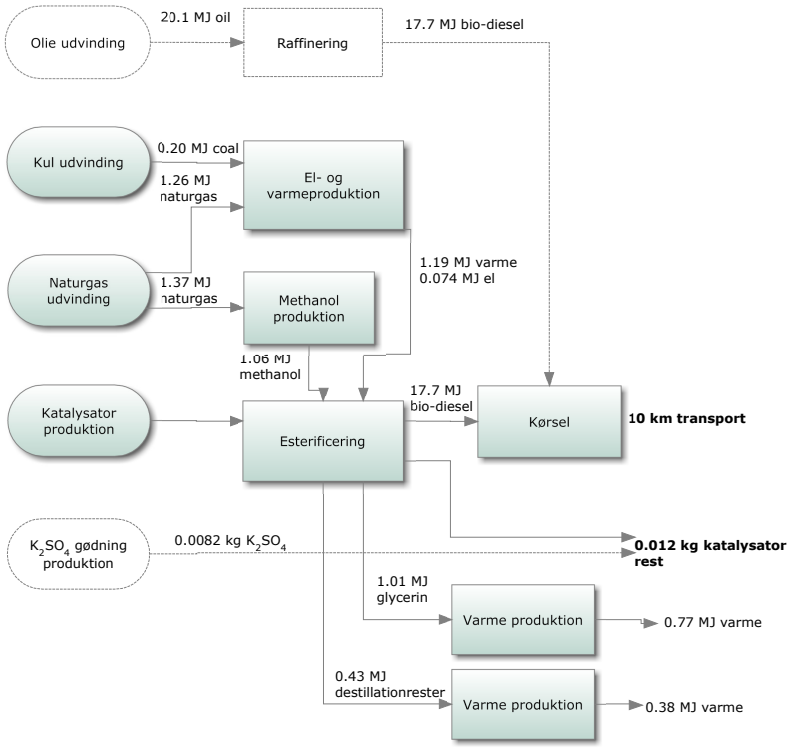
3.4 Livscyklusvurdering

I denne rapport vil der blive lagt fokus på fem forskellige biobrændstoffer. Daka Biodiesel, McDonalds fritureolie, DanRaps olie, Emmelev biodiesel og SCF bio-olie. Det er vigtigt i denne sammenhæng at foretage en livscyklusvurdering. I en livscyklusvurdering vurderes der på potentielle miljøpåvirkninger og det ressourceforbrug et produkt har "fra vugge til grav". Livscyklusvurderingens faser kan deles op i fire; råmateriale, produktion, anvendelse og bortskaffelse. I dette afsnit vil fokus ligge på produktion, da det er essentielt for projektet at beskrive de stoffer, der indgår i produktionen, og som kan ende i biobrændstoffet.

3.4.1 Daka Biodiesel

Råmateriale
Daka biodiesel er produceret ud fra raffineret animalsk fedt, hvilket er et restprodukt fra slagterier. I tabel E.1 i bilag E ses hvilke stoffer der indgår i produktionen af biodiesel fra animalsk fedt. Og på figur 3.2 er der et diagram over produktionen af biodiesel fra Daka.

Produktion



Figur 3.2. Produktionsdiagram for produktion af animalsk fedt fra Daka.

I input indgår råmaterialerne animalsk fedt og metanol. Animalsk fedt er et affaldsprodukt

fra slagteriproduktion. Metanolen bliver produceret af fossile brændstoffer oftest af naturgas. Varmen til produktionen vil blive dækket af naturgasfyr ved Daka [Karsten H. Jensen, 2007], og elektriciteten til produktionen vil blive dækket af den danske elektricitetsproduktion, som hovedsageligt er kulbaseret og 18,9 % vindkraft [Energistyrelsen, 2009*b*]. Det kræver transport at flytte det animalske fedt fra slagterierne til biodiesel produktionsanlæg. I produktionen indgår også katalysatorerne svovlsyre (H_2SO_4), kaliumhydroxid (KOH) og fosforsyre (H_3PO_4) [Karsten H. Jensen, 2007].

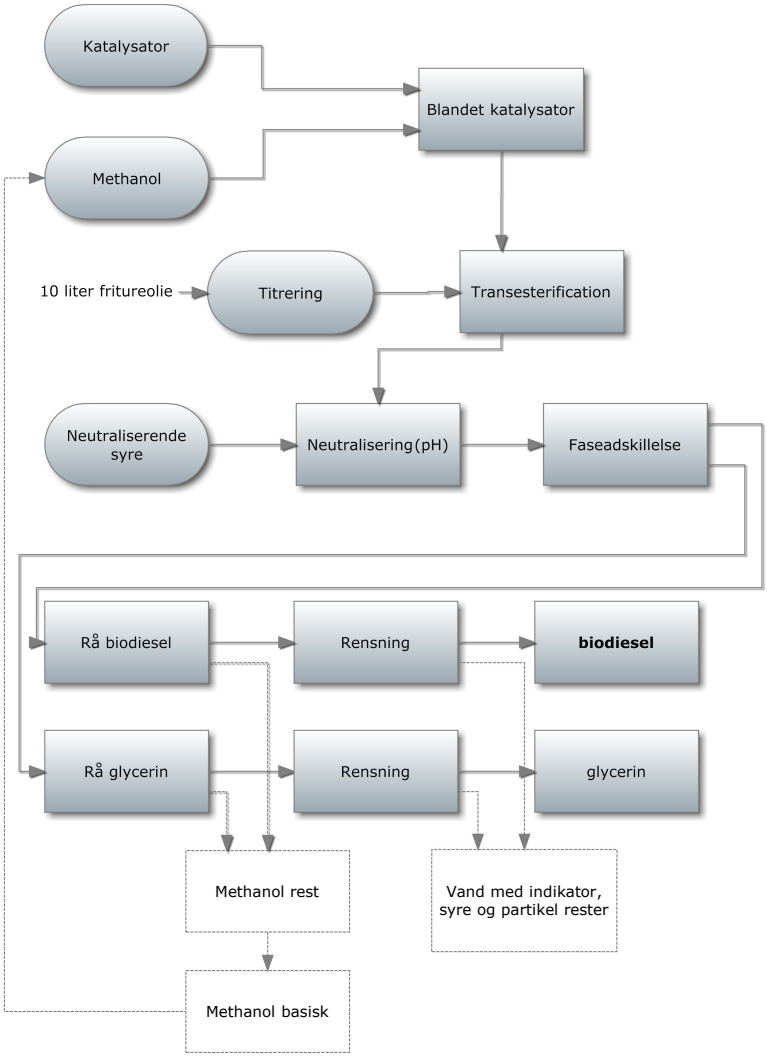
Anvendelse
Der bruges 1000 kg animalsk fedt til produktionen af cirka 975 kg biodiesel [Karsten H. Jensen, 2007]. Biodiesel bliver brugt i køretøjer med en dieselmotor. Biodiesel baseret på animalsk fedt har en CO_2-fortrængning på 88 %, og opfylder dermed EU's direktiv om biobrændstoffers bæredygtighed [EU, 2009]. Direktivet stiller et krav om 36 % CO_2-fortrængning [EU, 2009]. Denne biodiesel bliver eksporteret til udlandet, da der endnu ikke er et marked for biodiesel i Danmark [Carlsen m.fl., 2006].

Bortskaffelse
Restprodukterne fra biodieselproduktionen ud fra animalsk fedt er katalyserest, destillationsrest og glycerin. Ud fra en produktion på 975 kg biodiesel dannes der 24 kg katalyserest, 123 kg glycerin og 25 kg destillationsrest. Glycerin og destillationsrest kan bruges til varmeproduktionen og kan derfor erstatte naturgas, og på den måde minimere forbruget af fossile brændstoffer til produktionens varmeforbrug. Glycerin kan også omformes til metan og kan dermed blive brugt i et biogasanlæg. Katalysatorrest kan bruges i gødning. Glycerin kan også bruges i kosmetikbranchen [Emmelev, 2010*a*]. Glycerinen fra Daka bliver fx brugt til Aalborg Portlands cementproduktion [Miljøcenter Århus, 2008].

3.4.2 McDonalds Fritureolie

Råmateriale
Friture biodiesel er produceret af fritureolie, der er et restprodukt, som kan fås ved McDonalds og andre fødevarevirksomheder. Den fritureolie, der bliver brugt i dette projekt er fra McDonalds i Skalborg. I bilag E på tabel E.4 ses hvilke materialer der indgår i produktion af biodiesel fra fritureolie. På figur 3.3 er der et diagram der viser produktionen af biodiesel fra fritureolie.

Produktion



Figur 3.3. Produktionsdiagram for produktion af dieselolie af fritureolie fra McDonalds.

I input indgår råmaterialerne fritureolie og metanol. Fritureolie er et restprodukt og er produceret af varmpresset vegetabilsk olie. Metanolen bliver produceret ud fra fossile brændstoffer oftest ud fra naturgas. Elektricitet til produktion af biodiesel fra fritureolie vil blive dækket af den danske elektricitetsproduktion. Det kræver transport at flytte fritureolien fra fødevarevirksomheder til biodieselproduktionsanlæg. Der vil ved transport blive udledt drivhusgasser, da køretøjerne kører på fossile brændstoffer. I produktionen indgår også tilsætningsprodukterne Phenolphthalein, NaOH, Isopropyl alkohol og vand [Jon Starbuck, 2009].

Anvendelse

Der bruges 1000 liter fritureolie til produktion af cirka 815 liter friture biodiesel. Friture biodiesel kan bruges i køretøjer med en dieselmotor der har tilføjet biokit. Biodiesel produceret af fritureolie har en CO_2-fortrængning på 88 % [EU, 2009], og opfylder dermed EU's direktiv om biobrændstoffers bæredygtighed [EU, 2009]. Grunden til at CO_2-

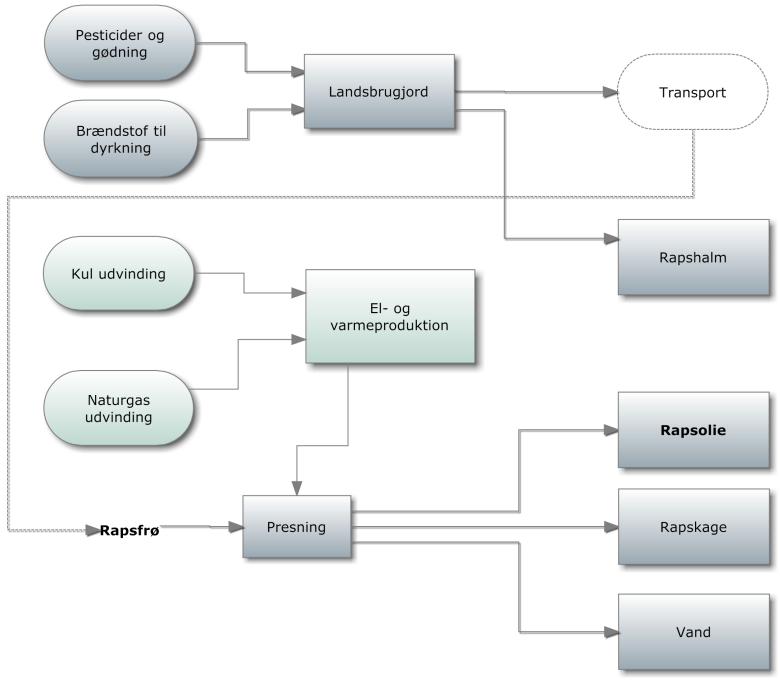
fortrængningen er på 88 % er, at der bliver set bort fra olieproduktionen da det er et restprodukt.

Bortskaffelse
Restprodukterne fra biodieselproduktion fra fritureolie er katalyserest, glycerin, partikler og vand. Glycerinen renses, således noget af metanolen reddes og kan genanvendes til produktion. Glycerinen vil herefter blive brugt i kosmetikbranchen eller til varmeproduktion [Emmelev, 2010*a*]. Vandet der er brugt til at vaske biodiesel er blandet med NaOH og andre partikler. Dette skal deponeres i en affaldsbeholder pga. den høje pH-værdi [Frituredyt.dk, 2008]. Partiklerne som filtreres fra biodiesel er et affaldsprodukt.

3.4.3 DanRaps

Råmateriale
Rapsolie er produceret ud fra rapsfrø som bliver presset, hvilket er en afgrøde fra landbruget i Danmark. I bilag E på tabel E.3 ses hvilke stoffer der indgår i produktionen af rapsolie og på figur 3.4 er der et diagram der viser produktionen af rapsolie.

Produktion



Figur 3.4. Produktionsdiagram for produktion af rapsolie fra DanRaps.

Når rapsfrø dyrkes vil der blive brugt pesticider og gødning, som det fremgår af input. Pesticider og gødning har en påvirkning på det omkringliggende miljø. I mellemled er rapsfrøene blevet høstet, som under dyrkningen har ledt til udledning af CO_2, NO, N_2O og NH_3. Input viser at det også kræver maskiner, at dyrke raps. Disse maskiner udleder også drivhusgasser fordi de kører på fossile brændstoffer [Karsten H. Jensen, 2007].

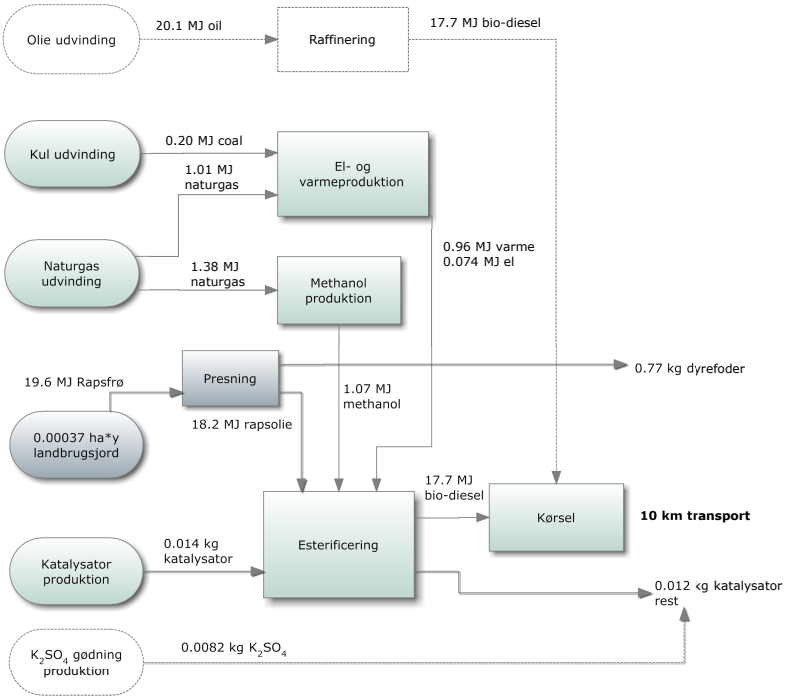
Anvendelse
Rapsolie bliver brugt i køretøjer med en dieselmotor. Rapsolie har en CO_2-fortrængning på 58 % [EU, 2009], og opfylder EU's direktiv om biobrændstoffers bæredygtighed. Rapsolie bliver produceret i Danmark af en del mindre produktionsvirksomheder som eksporterer rapsolien til udlandet, hvor den bliver brugt til at producere biodiesel [Carlsen m.fl., 2006]. Den rapsolie, der bliver brugt til forsøgene i denne rapport, er fra firmaet DanRaps.

Bortskaffelse
I output ses produkterne rapsolie og rapskage. Rapskager bruges til foder, da det er en god fedt- og energikilde. Produkterne fra høsten er rapsfrø, som bliver presset til rapsolie og rapshalm som kan bruges i kraftvarmeværker. Når rapsfrøene bliver presset produceres rapsolie og rapsskrå som kan bruges til foder.

3.4.4 Emmelev biodiesel

Råmateriale
Emmelev biodiesel er produceret ud fra rapsolie , hvilket er en afgrøde fra landbruget i Danmark, som kan raffineres til biodiesel. I tabel E.2 i bilag E ses hvilke stoffer der indgår i produktionen af biodiesel fra rapsolie. På tabel 3.5 er der en figur der viser hvordan produktionen af raffineret rapsolie foregår.

Produktion



Figur 3.5. Produktionsdiagram for produktion af raffineret rapsolie fra Emmelev.

I input indgår råmaterialet raps, som er afgrøden, der i sidste ende bliver til biodiesel. Når rapsfrø dyrkes vil der blive brugt pesticider og gødning, som det fremgår af input, hvilket har en miljøpåvirkning. Endvidere fremgår det af mellemled 1, at ved dyrkningen af rapsfrø bliver der udledt drivhusgasser som CO_2 og N_2O. Input viser desuden også, at det kræver maskiner at dyrke raps. Disse maskiner udleder også drivhusgasser fordi de kører på fossile brændstoffer [Karsten H. Jensen, 2007]. I mellemled 1, er produkterne fra høsten hhv. rapsfrø, som bliver presset til rapsolie, og rapshalm som kan bruges i kraftvarmeværker. Når rapsfrøene bliver presset produceres rapsolie og rapsskrå som kan bruges til foder. Rapsolie gennemgår derefter en transesterifikationsproces som det fremgår i mellemled 2 [Emmelev, 2010*a*]. Udover rapsolien er metanol et råprodukt i mellemled 2. Metanolen bliver produceret af fossile brændstoffer oftest af naturgas. Elektriciteten til produktionen vil blive dækket af den danske elektricitetsproduktion, som blev beskrevet i afsnit 3.4.1 om biodiesel fra Daka. I produktionen indgår også katalysatorerne svovlsyre (H_2SO_4), kaliumhydroxid (KOH) og fosforsyre (H_3PO_4) og nitrogen [Karsten H. Jensen, 2007].

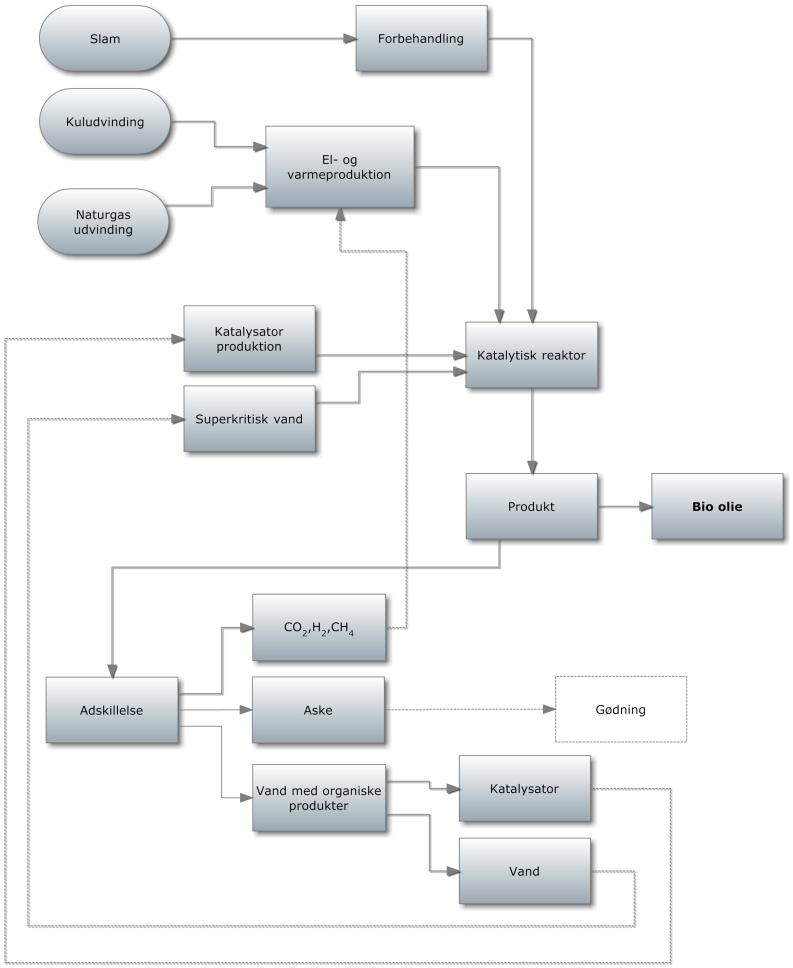
Anvendelse
Der bruges 1000 kg rapsolie til produktionen af cirka 975 kg biodiesel [Karsten H. Jensen, 2007]. Biodiesel baseret på rapsolie har en CO_2-fortrængning på 45 % [EU, 2009], og opfylder dermed EU's direktiv om biobrændstoffers bæredygtighed [EU, 2009]. Emmelevs CO_2-fortræning ligger på 72 % [Emmelev, 2010*b*], hvilket skyldes at de også udnytter alle restprodukterne til energiproduktion. Emmelev har en produktionskapacitet på 100.000 ton biodiesel om året [Carlsen m.fl., 2006]. Denne biodiesel bliver eksporteret til udlandet, da der endnu ikke er et marked for det i Danmark.

Bortskaffelse
Restprodukterne fra biodieselproduktionen ud fra rapsolie er katalysatorrest, destillationsrest og glycerin. Ved en produktion på 975 kg biodiesel dannes der 24 kg katalysatorrest, 123 kg glycerin og 40 kg destillationsrest. Der bliver desuden udledt nitrogen og metanol i mellemled 2. Glycerin og destillationsrest kan bruges til varmeproduktionen og kan derfor erstatte naturgas, og på den måde minimere forbruget af fossile brændstoffer til produktionens varmeforbrug. Glycerin er i stand til at blive omformet til metan og kan dermed blive brugt i et biogasanlæg, og glycerin kan desuden bruges i kosmetikbranchen. Katalyserest kan bruges i gødning [Karsten H. Jensen, 2007]. Desuden bliver der i produktionen også skabt restprodukter. Rapshalm kan bruges i kraftvarmeværker, og rapsskrå kan bruges som foder [Emmelev, 2010*a*].

3.4.5 SCF bio-olie

Råmateriale
SCF bio-olie er produceret ud fra slam eller biomasseaffald, hvilket kan være et restprodukt fra spildevand, gylle, osv. I bilag E i tabel E.5 ses hvilke produkter der indgår i produktion af bio-olie fra slam. På figur 3.6 ses et diagram der viser produktionen af biodiesel fra slam, som fremover vil blive betegnet som, SCF bio-olie.

Produktion



Figur 3.6. Produktionsdiagram for produktion af biodiesel fra SCF bio-olie.

I input indgår råmaterialerne slam og vand. Slam er et affaldsprodukt og især anvendelig i denne proces, hvis der er et høj vandindhold i slammet [SCF Technologies, 2010]. Vand er en kemisk forbindelse mellem brint og ilt og findes på det meste af jorden, vand fungerer både som reaktionsmateriale og katalysator. Under produktionen skal slammet transporteres fra slammets destination til produktionsanlæg. Elektricitet til produktionen vil blive dækket af den danske elektricitetsproduktion. I produktionen indgår også katalysatorerne KOH, ZrO_2 samt H_2O i superkritisk tilstand (H_2O under højt tryk og høje temperature, ingen faseskift) [SCF Technologies, 2010].

Anvendelse

Der bruges 330 kg slam til produktion af 125 kg SCF bio-olie [Aalborg Universitet, 2009]. Der er på AAU lavet forsøg med kørsel af bio-olien på en dieselmotor, der har tilføjet biokit og bio-olien kan køre på blend B20 og B40 [Rosendahl, 2009]. Bio-olie produceret af slam har en CO_2-fortrængning på 60 til 70 % [SCF Technologies, 2010], og opfylder dermed EU's direktiv om biobrændstoffers bæredygtighed [EU, 2009].

Bortskaffelse
Restprodukterne fra bio-olie produktionen af slam er vand, katalyserest, gas og aske. Vandet skal gennem en rensningsproces og kan på ny bruges til produktion af bio-olie fra slam. Katalysatorerne KOH og ZrO_2 genbruges også. Gasserne kan bruges til varmeproduktion og derfor vindes energi, da man får en besparelse på naturgas. Asken kan omformes og bruges som gødning til afgrøder [SCF Technologies, 2010].

Det ses, at alle de valgte biobrændstoffer overholder EU-direktivet om minimum 36 % bæredygtighed. Der kan derfor, på baggrund af dette direktiv, satses på alle brændstofferne. Dog vil nogle af biobrændstofferne være mere attraktive end andre, da der, som det ses af livscyklusvurderingerne, er forskel på graden af bæredygtighed. Udviklingen indenfor biobrændstofområdet, er en at de ting, der har sat en mindre stopper for udbredelsen af disse biobrændstoffer. Der skal endvidere også tages stilling til, om man skal satse på 1.-, 2.- eller 3.-genrations biobrændstoffer. Eller en kombination af dem alle. Det ses i tabel 3.1, at alger giver størst udbytte pr. hektar, men er et af de områder som er mindst udviklet i forhold til raps eller animalsk fedt. Under produktionerne af alle biobrændstoffer, forekommer et restprodukt. Disse restprodukter, kan anvendes i andre processer, såsom afbrænding til energiproduktion, anvendelse i kosmetikbranchen eller som foder til husdyr.

Problemformulering 4

Klimaproblemerne har gjort, at store dele af verden har fået det mål at mindske udledningen af CO_2. Dette mål er dannet på baggrund af IPCC's rapporter som dokumenterer, at den globale opvarmning er skabt delvist på grund af menneskeskabte faktorer som fx afbrænding af fossile brændstoffer, da dette udleder drivhusgasser. Danmark er en klimasynder, og er derfor også indgået i Kyoto aftalen, som pålægger Danmark at reducere udslippet af drivhusgasser med 21 % mod år 2012 i forhold til år 1990. Den sektor i Danmark der udleder mest CO_2, er transportsektoren med 31,7 %, og den andel er steget med 29,5 % fra år 1990 til år 2008. Dermed bidrager transportsektoren i høj grad til klimaforandringer.

Produktionen af de to mest anvendte brændstoffer; benzin og diesel, produceret af olie gør, at transportsektoren er meget afhængig af problemstillinger omkring olien. Olie er ikke en vedvarende energikilde, og forbruget er stigende. Det anslås, at med det nuværende forbrug af olie, at Jordens reserve svarer til 40 års forbrug. Danmarks ambitioner om at udlede mindre CO_2 samt at blive mindre olieafhængige gør, at transportsektoren anses for at være en sektor med mange forbedringsmuligheder. Dette er grunden til, at Danmark har lovgivet, at 5,75 % af brændstoffet i transportsektoren skal være biobrændstoffer i år 2012. Lovgivningen indenfor biobrændstoffer indeholder ingen regler for, hvilke typer biobrændstof det skal være eller andre restriktioner end CO_2-fortrængningen på 36 %.

På samme måde som oliekriserne førte til energiinnovation i 70'erne, så skal klimaspørgsmålet og oliens knaphed føre til innovation indenfor transportsektoren i dag. Derfor er nye transportteknologier som brint, el og biobrændstof blevet udtænkt. Disse er alle mulige løsninger på de klima- og olieressourceproblemer, som blev beskrevet i kapitel 1.2. Biobrændstof er blevet valgt som projektets fokus, fordi det anslås at være længst fremme udviklingsmæssigt. Der findes forskellige kilder til biobrændstof og disse deles op i 1., 2. og 3. generation. Til dette projekt er rapsolie, raffineret fritureolie, olie udvundet fra slam, animalsk fedt og raffineret rapsolie valgt som projektets fokus. Disse produkter er fremskaffet fra henholdsvis DanRaps, McDonalds, SCF Technologies, DAKA og Emmelev. Transportsektoren har også andre emissioner end drivhusgasser. Der bliver også udledt giftige stoffer og partikler. Indførelsen af katalysatorer og filtre har gjort at udledningen af disse er faldet. Indførelsen af biodiesel i transportsektoren må ikke føre til udledning af nye giftige stoffer og partikler, da dette vil føre til nye problemer i fremtiden. Det hidtidi-

ge arbejde på biobrændstofsområdet, har været at vurdere reduktion af CO_2, hvilket har givet positive resultater. Dette projekt vil dog som hovedmål kigge på, om integrationen af biobrændstoffer giver anledning til en stigning i emissioner som lattergas, partikler eller tungmetaller, hvis skadelighed blev redegjort for i kapitel 1.1.

På baggrund af problemanalysen, er følgende problemformulering opsat:

Hvilke konsekvenser vil Danmarks nuværende lovgivning om indførelsen af 5,75 % bæredygtige biobrændstoffer i 2012 have med hensyn til emissioner?

For at svare på dette, er en række underspørgsmål opsat:

- Hvordan produceres biodiesel ud fra fritureolie?
- Hvilke brændværdier har de fem udvalgte produkter (Animalsk fedt, raffineret rapsolie, raffineret fritureolie, olie udvundet af slam og rapsolie)?
- Hvordan ser elementaranalyserne for de fem udvalgte produkter ud?
- Hvad er virkningsgraden for dieselmotoren når den bliver drevet af de fem udvalgte produkter?
- Hvilke emissioner kommer der fra kørsel af dieselmotoren med de fem udvalgte produkter?

4.1 Fremgangsmetode

Vi vil i løsningsdelen af denne rapport redegøre for dieselmotorens opbygning, dens komponenter og de termodynamiske aspekter ved den. Der vil også blive lavet biodiesel ud fra restproduktet fritureolie, for at vise, hvordan biodiesel kan produceres. Der vil også blive foretaget brændværdiundersøgelser og brændstofanalyser på fem udvalgte biobrændstoffer (animalsk fedt, raffineret rapsolie, rapsolie, olie udvundet fra slam og raffineret fritureolie). Der vil for disse biobrændstoffer også blive foretaget mikroskopforsøg hvor urenheden i biobrændstofferne bliver undersøgt, samt et viskositetsforsøg. Vi vil lave en model over en dieselmotor, der er i stand til at udregne emissionerne, der vil befinde sig i udstødningsgassen, og vi vil verificere modellen med emissionskarakteriseringsforsøg på en dieselmotor, som skal drives af de fem udvalgte biobrændstoffer. Derpå vil det blive vurderet, om det er bæredygtigt at indføre 5,75 % biobrændstof i transportsektoren i år 2012, eller om brugen af biodiesel giver anledning til en række giftige stoffer og partikler.

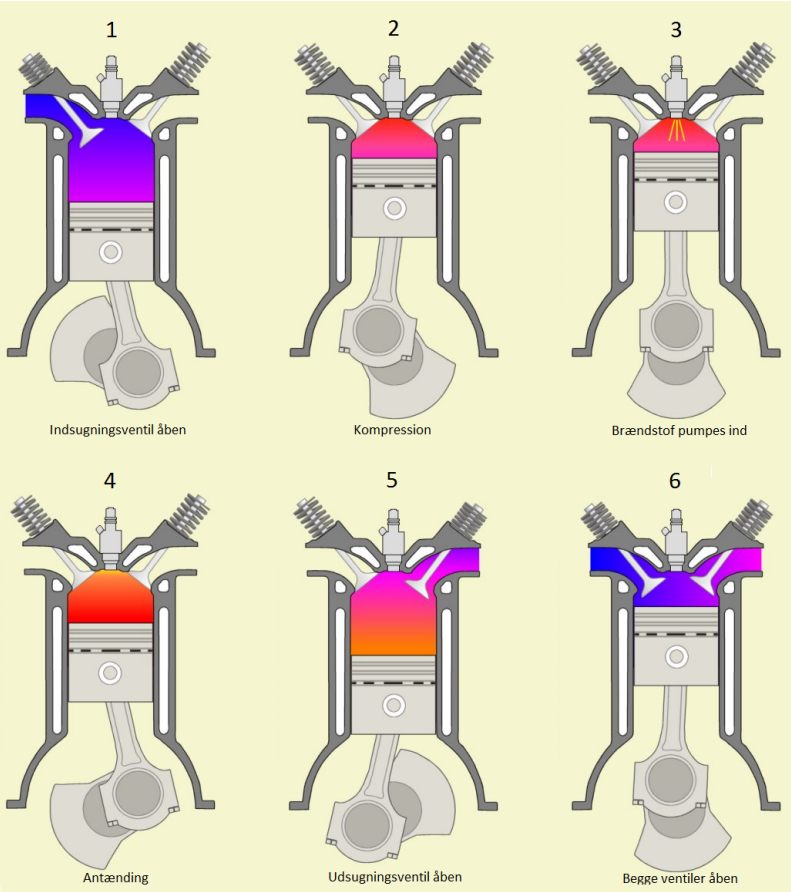
Dieselmotorens vej til biobrændstof 5

For at få indblik i, hvordan dieselmotoren fungerer, vil forskellige komponenter i dieselmotoren blive beskrevet i dette kapitel. Hvis en almindelig dieselbil skal køre på biobrændstof, som fx 100 % rapsolie, skal motoren modificeres. Ombygningen sker ved at tilføje et biokit på motoren. Disse ændringer vil blive gennemgået og beskrevet herunder.

Dieselmotoren er opkaldt efter sin opfinder Rudolf Diesel, som i år 1895 udviklede den første motor, der virkede ved kompressionstænding. Denne motor vejede ca. 5 ton og havde 20 HP, med kun 172 rotationer i minuttet. Den havde en højere virkningsgrad, nemlig 26 %, i forhold til gas- og benzinmotorer på daværende tidspunkt, med en virkningsgrad på ca. 20 %. Dette var en stor fordel, og Rudolf Diesels motor blev hurtigt den foretrukne som skibs- og stationær motor. Der skulle dog en del udvikling til, før dieselmotoren kunne blive et alternativ til benzinmotoren i små køretøjer. Et af problemerne var det lave omdrejningstal. I de første dieselmotorer blev brændstoffet blæst ind i forbrændingskammeret med konstant lufttryk, men når motoren skulle op i omdrejninger, fungerede dette system ikke. Der blev udviklet forskellige indsprøjtningspumper, som var med til at øge dieselmotorens udbredelse. De første indsprøjtningspumper var mekaniske, men i 60'erne kom en mindre og billigere fordelerpumpe, hvor man i dag oftest anvender elektronisk styrede indsprøjtnings pumper. Disse kan have et indsprøjtningstryk på op til 150-250 bar, og det høje tryk er med til at give motoren præcise værdier for indsprøjtningsmængde, regulere indsprøjtningstidspunktet og stabilisere omdrejningstallet [Erik Quist, 2009].

5.1 Mekanisk gennemgang af dieselmotoren

For at give et dybere indblik i dieselmotorens opbygning, vil forskellige komponenter i motoren blive beskrevet herunder. Først ses en skitse af cylinderen i en 4-takts dieselmotor.



Figur 5.1. De seks faser cylinderen i en 4-takts dieselmotor gennemgår.

Del 1 på figur 5.1 viser trin 1-2. Her kører stemplet ned og indsugningsventilen åbnes indtil rummet er fyldt med luft.

Del 2 viser trin 2-3, hvor ventilen lukker og stemplet kører op, så luften komprimeres. Dette øger kompressionstrykket til 30-50 bar, og temperaturen i cylinderen stiger til mellem 500-750°C [Erik Quist, 2009].

Del 3 viser trin 3-4. Her bliver brændstoffet pumpet ind i den varme komprimerede luft i cylinderen, hvorefter det antændes og skaber høje temperaturer samt højt tryk.

Del 4 viser trin 4-5 og her ses hvordan brændstoffet bliver antændt og eksplosionen presser stemplet tilbage med et tryk på 65-85 bar. Eksplosionen skal gerne ske lige efter, at stemplet har været i top, når krumtappen er drejet ca. 10 grader. Ved dette opnås den største virkningsgrad, og man undgår bankning i motoren [Erik Quist, 2009].

Del 5 viser trin 4-5. Her presses stemplet igen op efter krumtappens rotation, hvorved forbrændingsresterne presses ud gennem den åbne udstødningsventil. Her er temperaturen igen faldet til 400-450°C [Erik Quist, 2009].

Del 6 viser det sidste trin, 5-6. Når næsten alle gasserne er blevet ført ud, overlapper de to stadier hinanden, hvor luften kommer ind, og gasserne føres ud. Det er for at få tæt på 100 % ren luft ind, da det giver en bedre forbrænding, end hvis der stadig var rester fra

den tidligere forbrænding i cylinderen. Processen starter herefter forfra.

5.2 Beskrivelse af motorens komponenter samt biokit

For at køre på forskellige typer biobrændstof, såsom rapsolie eller raffineret raps olie, skal der laves omjusteringer på og omkring dieselmotoren. Et alternativ til modificering af motoren er et kit som kaldes Elsbett-kittet. Firmaet ELSBETT Technologie GmbH er et af verdens førende inden for området. Der vil blive taget udgangspunkt i et Elsbett 1-tank system til motorer med direkte pumpe dyse indsprøjtning. Herunder vil følge en gennemgang af nogle af dieselmotorens komponenter, samt hvilke modificeringer der bliver foretaget med Elsbett-kittet.

5.2.1 Kølesystem

For at undgå overophedning af motorens dele, er det vigtigt med et effektivt kølesystem. En motor kan være luftkølet, men kølesystemet i de fleste forbrændingsmotorer er væskekøling. Kølevæsken består af vand eller en blanding af vand og kemiske tilsætningsstoffer. Dette kan være fx propylenglykol eller ethylenglykol. Blandingen er ofte 1:1, og den sikrer kølevæsken en række nødvendige egenskaber, så som frysepunktsnedsættelse, kogepunktshævelse, lav viskositet, god varmeoverførelse, ikke-skummende og korrosionsbeskyttende [Martin Larsen, 1999].

Væsken løber gennem et kanalsystem i motoren og overskudsvarmen overføres til væsken, hvorefter væsken passerer en køler. Her bliver væsken kølet ned, og fortsætter derefter i kanalsystemet gennem motoren.

Kølevæsken kan cirkulere i et begrænset kredsløb i motoren udenom køleren. Dette sker i opvarmningsperioden. Når kølevæsken har en temperatur på omkring 85°C, vil en termostat begynde at åbne, og kølevæsken cirkulerer nu i hele kredsløbet. Her cirkulerer den i køleren, og holder en temperatur på ca. 90°C [Erik Quist, 2009].

5.2.2 Turbolader

Turboladeren er en anordning til trykladning, dvs. forceret lufttilførsel til stempelforbrændingsmotoren. Turboladeren består af en luftkompressor, som er drevet af og sammenbygget med en turbine, der drives af motorens udstødningsgas. Laderen komprimerer motorens skylleluft og indsugningsluft før indblæsning i cylinderen. Med den større lufttilførsel og dermed større forbrændingskapacitet, øges både motorens effekt og dens virkningsgrad [Den Store Danske, 2009].

5.2.3 Brændstoffilter

Brændstoffilteret er en nødvendighed, da der nåes høje temperaturer og tryk i indsprøjtningssystemets højtryksdel. Dette betyder at pakninger af gummi i visse dele ikke kan bruges, og der arbejdes i stedet med en diametertolerance på 0,001 mm. Urenheder kan derfor, være skadelige.

Filteret er opbygget på den måde, at et specialpapir er indbygget i en stålkappe med støtteplader til at fastholde papirelementet og sikre gennemstrømningsretningen.

Der findes også brændstoffiltre med vandudskiller. Dets mål er at filtrere vand fra i diesel- og biodieselolien. Dette gøres fordi dieselolie kan indeholde små partikler af vand, som kan samle sig i dråber. Disse kommer med i forbrændingskammeret og gør skade i form af forøget slid eller korrosion i systemet [Erik Quist, 2009].

På motorer med biokit, monteres et ekstra filter, som fungerer som ekstrafilter. Derudover monteres et elvarmelegeme på hovedfilteret, til at varme biobrændstoffet op. Biobrændstof kan have en højere viskositet end almindelig diesel, og kan ofte være mere uren, derfor er det ekstra filter vigtigt.

5.2.4 Motorstyring og katalysator

Luftoverskudstallet, også kaldet λ-tallet, fortæller, hvor tæt forbrændingen i motoren er på en støkiometrisk forbrænding. Dette tal ønskes så tæt på 1 som muligt under forbræningen, for at opnå den bedste forbrænding af brændstoffet. Til at opsamle informationer om λ-tallet, er der placeret en lambda-sonde ved katalysatorindgangen. Denne består af et stålhylster, hvori der er indbygget en keramikdel. Den indvendige del er i kontakt med den atmosfæriske luft, hvorimod udstødningsgassen strømmer på den udvendige del. Sonden registrerer restmængden af ilt i udstødningsgassen og sender nu signaler til styreenheden, i form af elektriske spændinger, som regulerer tilførslen af brændstof [Erik Quist, 2009].

Da indsprøjtningsforholdet i cylinderen skal være anderledes ved brug af biodiesel, som motorstyringen omprogrammeres, så det rigtige forhold mellem luft og biobrændstof opnås. Ligeledes styres dyser og gløderør, hvilke også skal modificeres [Dajolka, 2010].

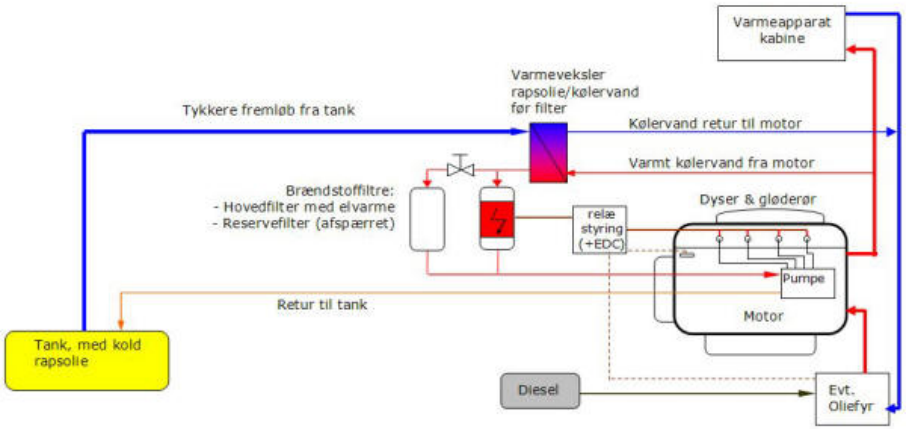
Katalysatorens opgave er at mindske udledningen af de mest skadelige stoffer i udstødningsgassen som kulilte, kulbrinte og kvælstofilter. De skadelige stoffer omdannes til ugiftige gasser gennem oxidering og reduktion. Ved anvendelse af forkert motorolie kan der ske aflejringer i katalysatoren, hvilket kan forringe virkningsgraden og føre til ødelæggelser i katalysatoren [Erik Quist, 2009].

5.2.5 Øvrige tiltag

Ved montering af biokit tilsluttes en varmeveksler mellem tanken og brændstoffilteret for at sænke biobrændstoffets viskositet. Samtidig monteres slanger med større dimension, så olien flyder lettere. Derudover monteres termokontakt og relæer til at styre filtervarmen og gløderørene. Biokittet indeholder også forskellige fittings og ventiler til slanger.

Dette specifikke Elsbett-kit indeholder følgende dele [Dajolka, 2010]:

- Omprogrammering af motorstyring
- Gløderør
- Elektrisk varmeelement til brændstoffilter
- Brændstoffilter
- Kuglehane
- Varmeveksler
- Brændstofslanger
- T-stykker og slanger til forbindelse af varmeveksler
- Fittings og ventiler til slanger
- Termokontakt med sokkel
- Elektrisk fødepumpe
- Kabelfittings til relæer, termokontakt mm.



Figur 5.2. Principskitse af en dieselmotor med påmonteret biokit [Dajolka, 2010].

På figur 5.2 ses, hvordan en dieselmotor i hovedtræk vil se ud med et påmonteret Elsbett-kit. Olien bliver først ført fra tanken til den påmonterede varmeveksler, hvorefter den passerer brændstoffilteret og bliver varmet yderligere op. Biobrændstoffet bliver nu sprøjtet ind i cylinderen af indsprøjtningsdyserne.

Det er blevet beskrevet, hvilke modificeringer der skal laves på en konventionel dieselmotor, for at klargøre den til at køre på biodiesel. I det følgende kapitel vil fire forsøg blive beskrevet. Først vil der blive produceret biodiesel af brugt fritureolie. Denne olie vil kunne bruges i en

dieselmotor med biokit, som beskrevet ovenfor. Dernæst vil brændværdierne af de udvalgte olier blive målt, for senere at kunne beregne virkningsgraden for disse brændstoffer kørt i en dieselmotor. Der vil derudover blive testet viskositet og lavet mikroskopforsøg for de udvalgte biobrændstoffer.

Fremstilling af og forsøg med biobrændstoffer 6

For at kunne udføre forsøget med den opstillede dieselmotor, er der blevet fremskaffet tre typer biobrændstof og fremstillet et. I det følgende kapitel vil det blive beskrevet, hvordan fremstillingen af biodiesel fra fritureolie foretages. Ligeledes er målingerne af brændværdi beskrevet. Denne værdi skal bruges i en model, som kan udregne emissioner og virkningsgrad for en dieselmotor. Der vil også blive redegjort for forsøg med mikroskop og en viskositetstest.

6.1 Fremstilling af biodiesel

Forsøgsbeskrivelsen til dette forsøg kan ses i bilag B.1

Formål
Formålet med dette forsøg er at fremstille biodiesel af brugt fritureolie, så dette senere kan benyttes i forsøgsmotoren. Da det ikke har været muligt at få adgang til en Fuelmeister, som er en automatiseret maskine til at raffinere vegetabilsk olie, er forsøget gennemført manuelt i laboratorium.

Materialeliste

- Beskyttelsesbriller
- Nitrill handsker
- Kittel
- Magnetomrører
- Kogeplade samt gryde
- Termometer
- 15 liters dunk med taphane
- Pipetter og sprøjter med måleenheder
- Bægerglas til titrering samt til opløsning af NaOH i metanol
- Katalysatorer: NaOH
- Demineraliseret vand
- Isopropyl alkohol

- Indikator: Phenolphtalein
- Metanol

Forsøgsopstilling
Hvert trin kan følges på billederne i bilag B.1.

Trin a Olien blev filtreret gennem et groft filter, idet den på forhånd var filtreret fra McDonalds' side.

Trin b 9 liter olie blev opvarmet i en gryde på en kogeplade til 45°C.

Trin c 1 g NaOH blev blandet i 1 liter demineraliseret vand, til brug ved titreringen.

Trin d Phenolphtaleinens pH blev målt, for at sikre, at denne var neutral, og derfor ikke havde indvirkning på mængden af NaOH. pH-værdien blev målt til 7.

Trin e 10 ml phenolphtalein, 1 ml olie samt lidt indikator blev blandet vha. magnetomrøre, hvorefter NaOH-blandingen blev tilsat.
Dieselolie skal have en pH på 8,5-10 [Jon Starbuck, 2009], derfor er phenolphtalein valgt som indikator, da denne skifter farve ved pH 9.

Første forsøg skiftede farve ved 4,47 ml tilsat NaOH-blanding,
Andet forsøg skiftede farve ved 4,55 ml tilsat NaOH-blanding og
Tredje forsøg skiftede farve ved 4,60 ml tilsat NaOH-blanding,

hvorefter gennemsnittet blev beregnet til 4,54 g NaOH. Det vil sige, at der skal bruges 4,54 g NaOH pr liter fritureolie. 9 liter olie skal omdannes, altså skal der i alt bruges:

$$4,54g \cdot 9 = 40,86gNaOH$$

Derudover skulle der tilsættes 5 g NaOH pr liter olie, hvilket tilsammen giver:

$$5g \cdot 9 + 40,86g = 85,86gNaOH$$

Trin f De 85,86 g NaOH opløses i 220 ml metanol pr. liter olie, i alt 1980 ml metanol.

Trin g Olien, som nu havde nået en temperatur på 45°C, blev hældt i dunken med taphane.

Trin h NaOH-metanol-blandingen blev tilsat olien, og dette blev omrystet i 5 min, hvorefter dunken blev stillet med taphanen nedad og fik lov til at bundfælde i 18 timer.

Trin i Herefter blev bundfaldet hældt fra og olien blev tilsat demineraliseret vand for at vaske olien. Olie og vand blev omrystet og stillet med taphanen nedad. Efter ca. 30 min blev vandet hældt fra og nyt vand tilsat. Denne proces blev gentaget 7 gange, indtil vandet var klart og fri for urenheder.

Trin j Olien stod i dunken uden låg i ca. en uge, så det sidste vand kunne fordampe.

Fejlkilder
Urenheder i de anvendte stoffer. Måleusikkerheder.



Figur 6.1. Raffineret biodiesel lavet af brugt fritureolie.

Forsøget forløb planmæssigt uden komplikationer. Forsøget blev foretaget i kemilaboratoriet, og behandlingen af phenolphtalein samt metanol foregik i stinkskab. Dunken med taphane gjorde det nemt at tappe glycerin samt vand fra. Slutproduktet er 7,4 l biodiesel med en klar lysebrun farve, lig raffineret rapsolie. Slutproduktet ses på figur 6.1.

6.2 Måling af brændværdier

Forsøgsbeskrivelsen til dette forsøg kan ses i bilag B.2.

Brændværdi er en værdi, der fortæller om det energiindhold, der er i et materiale. Jo større brændværdi, jo mere energi er der i materialet. Af denne grund er det interessant at teste de biobrændstoffer, der er arbejdet med i denne rapport, og bestemme brændværdierne af disse, for at give et billede af, hvor meget energi hvert biobrændstof har mulighed for at levere i en dieselmotor. Der vil derfor i dette kapitel blive målt brændværdier for fire udvalgte biobrændstoffer, nemlig raffineret rapsolie, raffineret fritureolie, rapsolie og animalsk fedt, se figur 6.4. Disse målinger bliver foretaget i et bombekalorimeter. Endvidere vil brændværdien for fossil diesel blive målt til sammenligning.

Et materiales brændværdi opgives i enheden $\frac{MJ}{kg\text{br}}$ [Rump, 2004], og en høj brændværdi indikerer et brændstof, der har en stor mængde kemisk bundet energi. Den kemiske bundne energi viser ikke, hvordan brændstoffet opfører sig i dieselmotoren, og en høj brændværdi medfører af denne grund ikke nødvendigvis en høj virkningsgrad [Bech, 1994]. Der skelnes mellem en nedre og øvre brændværdi.

I røggassen befinder sig en mængde vanddamp, og brændværdien er påvirket af, om dette vand befinder sig på væskeform eller dampform. Derfor er det den øvre brændværdi, når vandet befinder sig på væskeform, og nedre brændværdi, når vandet befinder sig på

dampform. Den nedre brændværdi måles ved 25°C og 1 atm. Den øvre brændværdi fortæller om den totale kemisk bundne energi i et materiale. Den øvre brændværdi kendes også som den kalorimetriske brændværdi og kan måles ved hjælp af et bombekalorimeter [Aage B. Lauritsen, 2007]. Bombekalorimeteret der er brugt i dette forsøg, ses på figur 6.2.



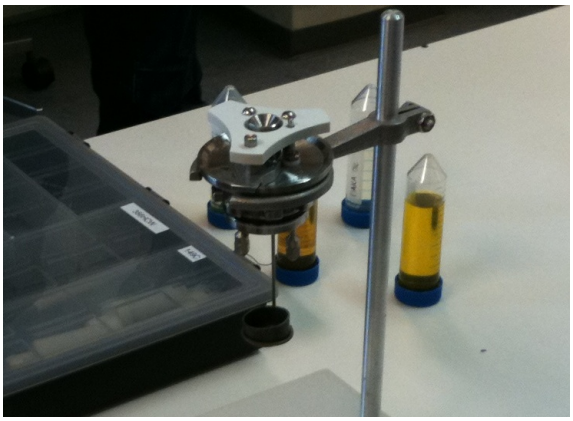
Figur 6.2. Parr bombekalorimeter, som blev anvendt til forsøget.

På figur 6.3 ses en mængde brændstof placeret i beholderen med snoren fastgjort på metaltråden over. Beholderen placeres i et kammer, der er isoleret mod omgivelserne. Der fyldes oxygen i kammeret, og en strøm sendes gennem metaltråden, så lunten antænder og brænder over, hvorefter den falder ned i olien og antænder denne. Brændstoffet udvikler varme i bombekalorimeteret, som opvarmer det omgivne vand. Temperaturændringen i vandet måles, og på grundlag af denne temperaturændring og mængden af brændstof i prøven, kan brændværdien bestemmes [Parr Instrument Company, 2010].

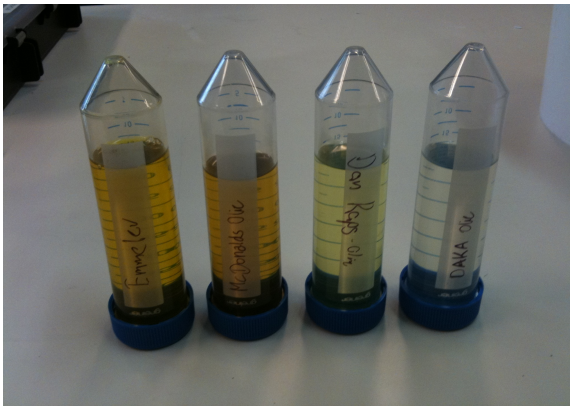
Forsøgsopstilling

Der udtages en prøve af brændstoffet med en pipette. Denne brændstofprøve placeres i en lille beholder, og derefter vejes prøven. Vægten noteres, da denne skal bruges senere til indtastning på kalorimeteret.

Beholderen sættes i holderen, og der monteres en tændingssnor fra metaltråden ned til brændstoffet, se figur 6.3. Holderen er nu klar og sættes i kalorimeteret, og dette lukkes herefter, så det er tæt. Inden kalorimeteret startes, indtastes prøve-ID samt vægten af brændstofprøven. Kalorimeteret kan nu startes og kører 10-15 minutter, hvorefter brændværdien bliver udskrevet på papir. Beholderen aftørres inden en ny prøve kan testes.



Figur 6.3. Opstillingen hvorpå beholderen med brændstoffet placeres, samt snoren, som skal antænde prøven, påmonteres.



Figur 6.4. De fire biobrændstoffer som blev testet hos Teknos A/S.

Her ses de målte brændværdier for de forskellige brændsler:

Prøve ID	**Vægt af prøve (gram)**	**Brændværdi (MJ/kg)**
Emmelev	0,1478	39,3936
Friture(Mc donalds)	0,1286	39,2834
DanRaps	0,3844	39,8679
Daka	0,2460	40,0461
Q8 diesel	0,1252	45,4239

Tabel 6.1. Tabel over måleresultaterne med bombekalorimeteret.

Biobrændstoffer udvundet af vegetabilske olier, indeholder alle umættede fedtsyrer og deres brændværdier ligger tæt, som det kan ses på tabel 6.1. Daka var det biobrændstof med højeste brændværdi, hvorimod McDonalds fritureolie havde den laveste brændværdi. Det fossile brændstof diesel havde den højeste brændværdi af alle, med ca. 5 $\frac{MJ}{kgbr}$ *over Daka.*

6.3 Forsøg med mikroskop

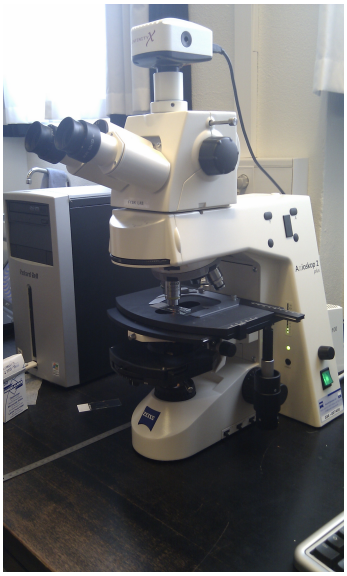
Biobrændstoffer har forskellige fordele og ulemper, derved også et forskelligt indhold. Et indblik i dette indhold kan fås ved hjælp af en mikroskopundersøgelse. Derfor vil der i dette afsnit blive foretaget en undersøgelse af de fire biobrændstoffer, raffineret rapsolie, animalsk fedt, raffineret fritureolie og rapsolie. I denne mikroskopundersøgelse kan man se, hvilke urenheder der er i de forskellige biobrændstoffer og sammenligne disse med hinanden.

Formål
Forsøgets formål er at teste biobrændstoffer i et mikroskop, for at give et billede af hvilke mikroskopiske komponenter, der findes i raffineret rapsolie, animalsk fedt, raffineret fritureolie og rapsolie, således der kan drages en sammenligning mellem biobrændstofferne.

Materialeliste:

- Zeiss Axioskop 2 plus
- Objektglas fra Menzel-glaser
- Pipetter
- Computer med program til fotografisk overførsel fra mikroskop
- 2 personer fra NanoTeknik med 2-dageskursus, vedrørende brug af mikroskop
- Raffineret rapsolie
- Animalsk fedt
- Raffineret fritureolie
- Rapsolie

Forsøgsopstilling

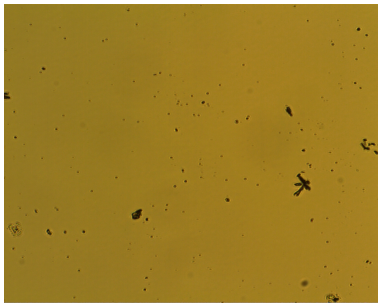


Figur 6.5. Opstilling af mikroskopet Zeiss Axioskop 2 plus, som blev brugt ved forsøget.

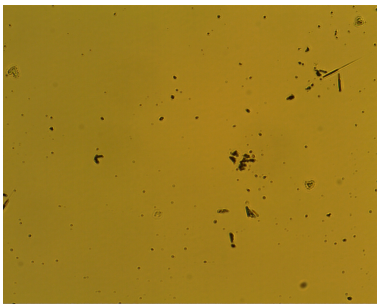
Fremgangsmåde

Der udtages en prøve fra brændstoffet med en pipette, denne brændstofprøve placeres på et objektglas. Objektglasset placeres i mikroskopet. Zoom på mikroskopet indstilles til 10x forstørrelse. Mikroskopet kan nu indstilles, og når det ønskede billede er opnået, hives en kontakt ud øverst på mikroskopet. Derved overføres billedet af brændstoffet fra mikroskopet til computeren, og billedet kan herefter gemmes.

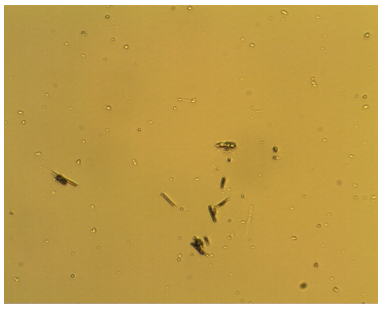
Resultater



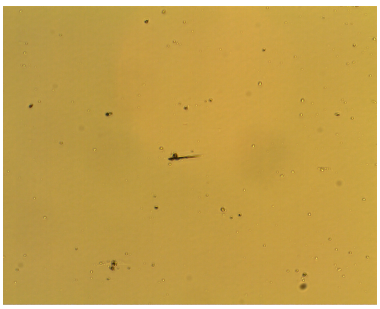
Figur 6.6. Resultaterne viste at prøverne fra Emmelev biodiesel havde flest partikler.



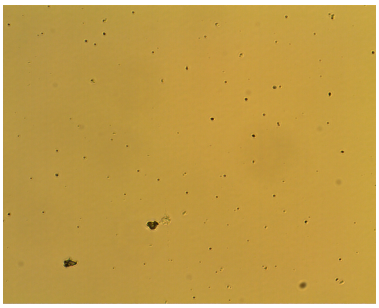
Figur 6.7. Her er endnu et tilfældigt udpluk fra Emmelev Biodiesel prøven.



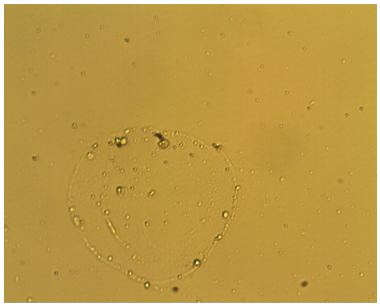
Figur 6.8. Rapsolien fra DanRaps havde næst flest urenheder.



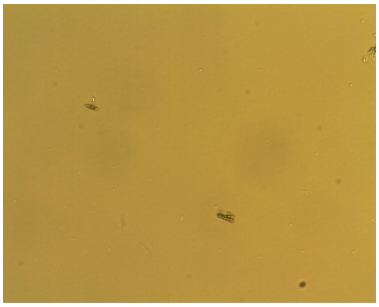
Figur 6.9. Et andet tilfældigt udsnit fra DanRaps prøven.



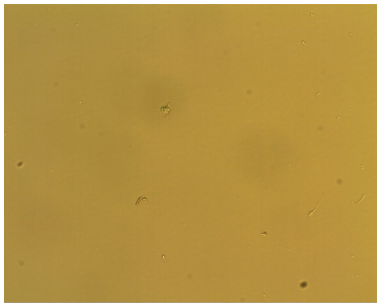
Figur 6.10. Fritureolien fra McDonalds var på trods af, at det har været brugt til madlavning, det anden reneste, hvilket kan skyldes en bedre filtrering.



Figur 6.11. Et andet tilfældigt udsnit fra fritureolien.



Figur 6.12. Den reneste prøve var Daka's Biodiesel.



Figur 6.13. Et andet tilfældigt udsnit fra Daka's Biodiesel.

Mikroskopundersøgelserne viste, at der er en forskel på de urenheder, der findes i de fire biobrændstoffer. Denne undersøgelse kan fortælle noget om renheden af biobrændstoffet, som kan give en indikation af, de svært brændbare bestanddele i brændstoffet, som vil kunne give aflejringer i motoren, og flere urenheder i brændstoffet øger også slitagen på forbrændingsmotoren. Det kan også tænkes, at urenhederne vil føre til en øget partikelemission. Der er udvalgt to billeder af hvert brændstof, for at minimere fejlkilder. Undersøgelsen viste, at animalske fedt, var det biobrændstof hvor mængden af urenheder var mindst, og derved kan det vurderes, at det animalske fedt vil være bedre for forbrændingsmotoren. Raffineret rapsolie var det biobrændstof, der havde flest urenheder, sammenlignet med de andre biobrændstoffer. Resultatet for raffineret rapsolie ses som en overraskelse, da den har flere urenheder end rapsolie der ikke er raffineret. Den øgede mængde urenheder må derfor komme i raffineringsprocessen, og ses som et punkt der kan forbedres under produktionen. Raffineret friture og rapsolie havde ca. det samme niveau af urenheder, urenhederne i rapsolien var dog lidt større end i fritureolien.

6.4 Test af biobrændstoffernes viskositet

Biobrændstoffer fungerer forskelligt ved forskellige temperaturer, især biobrændstoffers viskositet ændres i sammenhæng med temperaturen. Et indblik i dette forhold mellem temperatur og viskositet kan fås ved at teste biobrændstoffer ved forskellige temperaturer. Derfor vil der i dette kapitel blive foretaget en undersøgelse af de fire biobrændstoffer raffineret rapsolie, animalsk fedt, raffineret fritureolie og rapsolie, i forhold til hvordan det enkelte biobrændstof reagerer ved nedkøling.

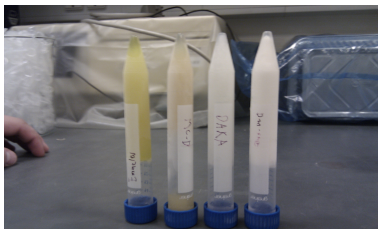
Formål
Forsøgets formål er at teste fire udvalgte biobrændstoffers viskositet ved nedkøling. Forsøget vil give et billede af hvordan biobrændstofferne reagerer ved lave temperaturer, temperaturen i forsøget er sat til 3,8°C og -20°C. Da der ikke er udstyr til rådighed til en præcis måling af viskositeten, vil denne vurdering ske ved øjemål.

Materialeliste

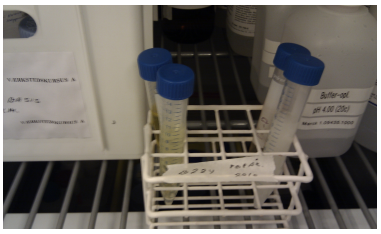
- Køleskab
- Fryseskab
- Raffineret rapsolie
- Daka Biodiesel
- Raffineret fritureolie
- Rapsolie

Fremgangsmåde
Der udtages to prøver fra hvert af de fire biobrændstoffer, og disse placeres i hver deres beholder. De otte prøver placeres i to stativer, et stativ til køleskabet og et til kølefryseskabet. Køleskabet indstilles til at have en temperatur på 3,8°C, hvor kølefryseskabet indstilles til -20°C. Stativerne kan nu placeres i køleskabet og fryseskabet, hvor biobrændstofferne skal stå de næste 24 timer. Herefter kan de udtagne prøver af biobrændstoffer tilses og der undersøges hvilken virkning de lave temperaturer har haft på det enkelte biobrændsel, figur 6.14 og 6.15.

Forsøgsopstilling



Figur 6.14. Prøverne fra fryseskabet var frosne, den raffineret fritureolie tøede dog hurtigt.



Figur 6.15. Prøverne var blevet tykkere i køleskabet, og Dakas Biodiesel var krystalliseret.

Resultat

Testen ved temperaturen 3,8°C viste en markant ændring i de fire biobrændstoffers viskositet. Raffineret rapsolie og raffineret fritureolie var de biobrændstoffer der viste sig at være mest flydende, og derfor havde den mindste viskositet ved denne temperatur. Rapsolie var tyktflydende og det animalske fedt viste sig at være krystalliseret, se figur 6.16. Det anses som en overraskelse, at det animalske fedt var frosset ved denne temperatur, så denne type biobrændstof er ikke anvendelig ved lav temperatur, og er et punkt der kan forbedres ved biobrændstoffet. Ved temperaturen -20°C var alle biobrændstofferne frosset og det indikerer at biobrændslerne har en høj viskositet ved denne temperatur.



Figur 6.16. Dakas biodiesel krystalliserede ved en temperatur på 3,8°C.

Forsøget blev foretaget ved faste temperaturer og blev først tilset 24 timer efter de blev sat ind. Resultaterne kan ikke fortælle noget om, ved hvilken temperatur brændstofferne begynder at krystallisere. Der skulle være brugt en anden form for nedkøling, konstant måling af temperaturer og en sensor, der kan måle viskositeten på væsken, hvis krystalliseringspunktet skulle bestemmes. Der var ikke adgang til sådan en maskine, og derfor blev der valgt en alternativ måde at teste viskositeten på.

BEV-Model 7

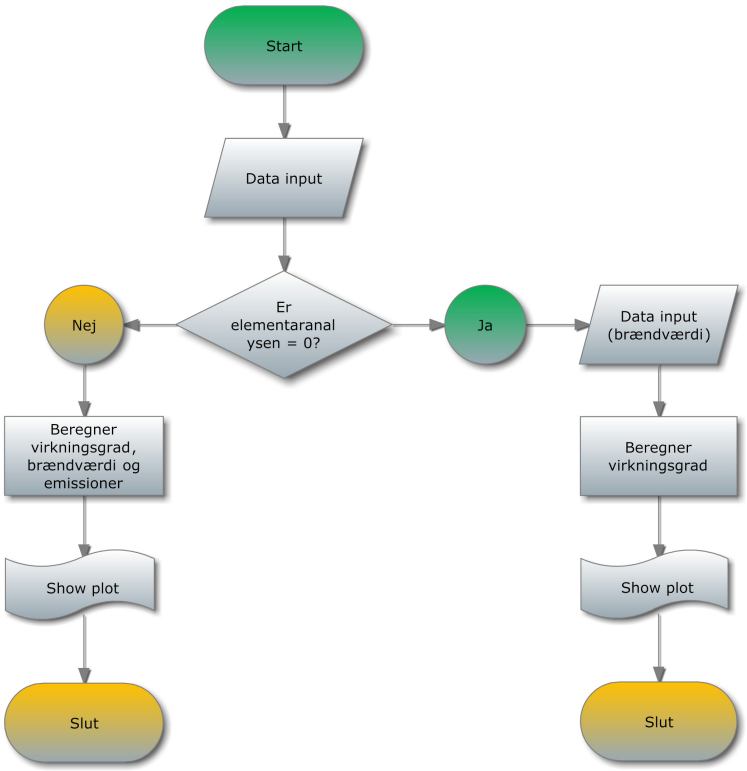
Der vil i dette kapitel blive udarbejdet en model over en dieselmotor, som er i stand til at beregne de emissioner, der vil befinde sig i udstødningsgassen, beregne virkningsgraden for en dieselmotor, samt afbilde et pV-diagram for kørsel af dieselmotoren. Denne model, samt fysikken bag modellen vil blive gennemgået. Kildekoden til modellen findes i bilag D. Programmet, som modellen er programmeret i, er "EES".

EES (Engineering Equation Solver) er en matematisk løser af ulineære ligningssystemer med termodynemiske tabelopslag, og i dette tilfælde opslag omkring temperaturer for luft ved forskellige tryk. Programmet er ideelt til at kode et program som BEV (Brændværdi, Emissioner og Virkningsgrad), pga. brugerfladen, tabellerne og visuelle grafer.

Til modelberegningen er der skrevet et flowdiagram, figur 7.1, til at illustrere de beregningstrin, der skal gennemgås for, at virkningsgrad, brændværdi og emissioner kan beregnes. Disse trin skal opfyldes for, at modellens output stemmer overens med virkeligheden.

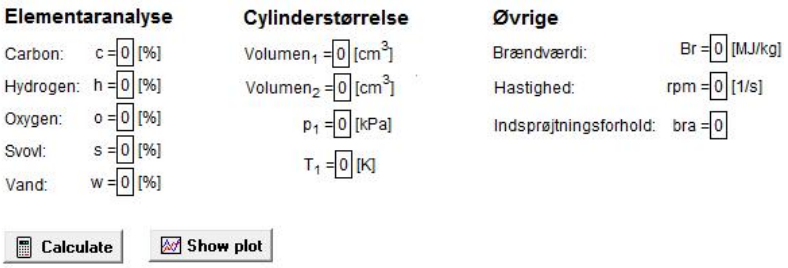
Konstanterne er angivet ud fra nogle antagelser:
Der er lavet case med Emmelev biodiesel for, at vise beregningstrinene.
V_1 er en antagelse om cylinderens volumen i BDP (bund død punkt), V_2 er en antagelse om cylinderens volumen i TDP (top død punkt), T_1 er startstemperaturen (stuetemperatur er valgt), p_1 er starttryk (100 kPa er valgt), bra er indsprøjtningsforholdet, rpm er omdrejningstallet, og gassen der bliver ført rundt, er luft.
Konstanters værdier er:

- $V_1 = 14470 cm^3$
- $V_2 = 1800 cm^3$
- $T_1 = 17+273{,}2K$
- $p_1 = 100kPa$
- $R_{luft} = 0{,}287 \frac{kJ}{kg \cdot K}$
- bra = 18
- rpm = 3000



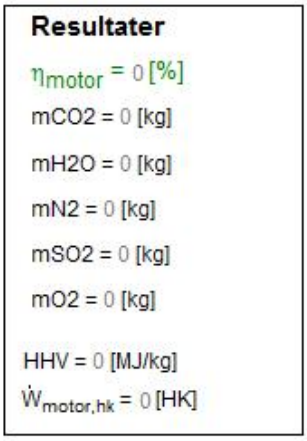
Figur 7.1. Flowdiagram over beregningerne i modellen.

Dette ser ud på følgende måde i modellens brugerflade:

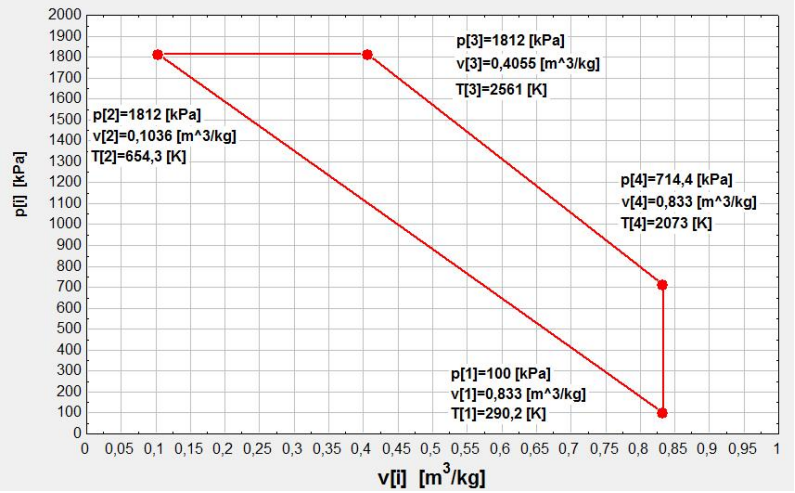


Figur 7.2. Brugeroverfladen i EES programmet. Cylinderstørrelse, omdrejningstal og indsprøjtningsforhold skal udfyldes før programmet virker. Elementaranalysen skal bruges, hvis der ønskes emissionsberegning, og der bliver udregnet en brændværdi ud fra elementaranalysen. Hvis en elemtaranalyse ikke er tilgænglig, skal der tastes 0 i alle inputs og der skal i stedet indtastes en brændværdi.

Efter variablene er blevet defineret, kan der trykkes "calculate", hvorefter emissioner i røggassen og virkningsgrad vil blive udregnet, hvilket ses på figur 7.3. Klikkes på "show plot", vises pV-diagrammet over processen, hvilket ses på figur 7.4:



Figur 7.3. Efter inputs er blevet indtastet, bliver der udregnet virkningsgrad, og hvis der er indtastet en elementaranalyse, vil røggassammensætningen også blive vist.



Figur 7.4. Eksempel på, hvordan et plot af pV-diagrammet kan se ud.

7.1 Virkningsgrad og pV-diagram

Denne del af modellen er i stand til, at skitsere et pV-diagram og beregne en virkningsgrad for dieselmotorens kørsel ud fra de angivne variable på figur 7.2. Meningen med denne del af modellen er, at man kan opnå viden om dieselmotorens termodynamiske værdier, når den kører på forskellige brændstoffer fx biobrændstoffer.

Under beregningerne af dieselmotorens kørsel med brændstofferne antages det, at gassen der bliver komprimeret og antændt i motoren, er luft. Dette er ikke helt præcist, men det er en nødvendig antagelse. Resultaterne er også idealiseret og uden varme- og mekanisk tab. Der tages desuden hensyn til variable varmekapaciteter ved kompressions- og ekspansionsprocesserne.

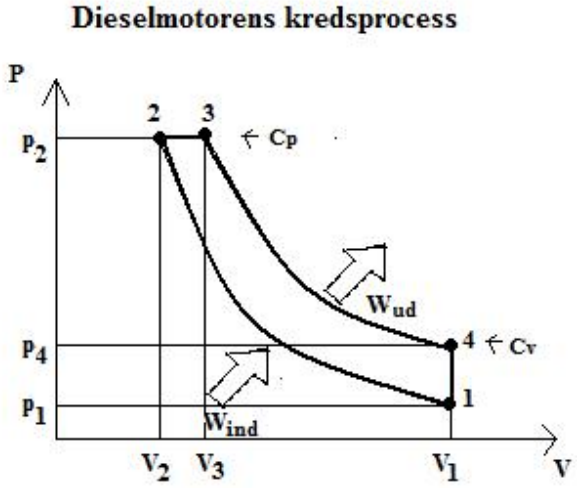
Første trin i modellen er, at beregne gassens masse, ud fra gaskonstanten for luft, samt ud fra idealgasforudsætninger. Dette gøres ved at omskrive idealgasloven:

$$pV = mRT \Rightarrow m = \frac{pV}{RT} \tag{7.1}$$

Der bliver indsat et case fra modellen i formel 7.1:

$$m_{luft} = \frac{100kPa \cdot 0,01447m^3}{0,287\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 290,15K} = 0,01737kg$$

Modellens formål er at beregne tryk, (p), temperatur, (T), og volumen, (V), i de fire punkter, hvor den termodynamiske proces skifter. Disse punkter er navngivet 1, 2, 3 og 4 på figur 7.5.



Figur 7.5. De termodynamiske processer for dieselmotoren.

- 1→2 Isentropisk proces, hvor trykket og temperaturen stiger mens volumen mindskes.
- 2→3 Isobar proces, hvor trykket er konstant mens der bliver tilført varme.
- 3→4 Isentropisk proces, hvor trykket og temperatur falder mens volumen stiger til samme niveau som ved punkt 1.
- 4→1 Isokor proces, hvor temperaturen samt trykket falder mens volumen er konstant.

Tryk, temperatur og volumen er kendt i punkt 1 (p_1, T_1, V_1), så det første modellen skal, er at beregne tryk, temperatur og volumen i punkt 2 (p_2, T_2, V_2). Processen 1 til 2 er en adiabatisk proces, hvor gassen bliver komprimeret.

7.1.1 Kompressionsproces 1 til 2

Først beregnes det specifikke volumen i punktet 1, altså før kompressionen. Formlen for specifik volumen er:

$$v = \frac{V}{m}$$

Massen, m, indsættes fra forrige formel:

$$v = \frac{V}{m} \Rightarrow v = \frac{V}{p \cdot V \cdot \frac{1}{R \cdot T}} \Rightarrow v_1 = \frac{V_1}{p_1 \cdot V_1 \cdot \frac{1}{R_{air} \cdot T_1}}$$

Når det specifikke volumen i punktet 1 er kendt, så kan det specifikke volumen i punktet 2 beregnes. Forholdet mellem volumenet og det specifikke volumen er konstant, derfor fås:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \frac{v_1 \cdot V_2}{V_1} \Rightarrow v_2 = \frac{\left(\frac{V_1}{p_1 \cdot V_1 \cdot \frac{1}{R_{air} \cdot T_1}}\right) \cdot V_2}{V_1} = \frac{R_{air} \cdot K \cdot V_2}{p_1 \cdot V_1} \tag{7.2}$$

Der bliver indsat konstanter fra case i formel 7.2:

$$v_2 = \frac{0,287 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 290,2K \cdot 1800cm^3}{100kPa \cdot 14470cm^3} = 0,1036 \frac{m^3}{kg}$$

Det næste modellen gør, er at beregne entropien i punktet 1. Dette gør modellen ved at slå op i en tabel for luft ved det angivne tryk, p_1 og temperatur, T_1.

$$s_1(T_1, p_1) = s_1(290,2K; 100kPa) = 5,672 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Det antages, at der i processen 1 til 2 er konstant entropi.

$$s_1 = s_2 = 5,672 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Dette betyder, at den adiabatiske kompression fra 1 til 2 er reversibel og dermed en isentropisk proces, hvor tryk, temperatur og volumen kan ændre sig, og hvor både friktionsarbejdet (W_{tab}) og varmetabet til omgivelserne (Q_{tab}) er lig 0. Da der er konstant entropi i processen 1 til 2, så kan programmet slå op i en tabel, der angiver trykket i punkt 2 ud fra entropien i punkt 2 og den specifikke volumen i punkt 2:

$$p_2(v_2, s_2) = p_2(0,1036\frac{m^3}{kg}; 5,672\frac{kJ}{kg \cdot K}) = 1812kPa$$

Det samme gøres for temperaturen:

$$T_2(v_2, s_2) = T_2(0,1036\frac{m^3}{kg}; 5,672\frac{kJ}{kg \cdot K}) = 654,3K$$

De to værdier der var nødvendigt for pV-diagrammet er nu fundet, nemlig p_2 og V_2, samt temperaturen T_2, som skal bruges til udregning af entalpien.

7.1.2 Varmetilførelse ved konstant tryk 2 til 3

Der skal nu findes tryk, (p_3), temperatur, (T_3) og volumen, (V_3) i punktet 3. Gassen gennemløber en isobar varmetilførsel fra punkt 2 til 3, hvilket vil sige, at den har konstant tryk. Trykket ændres altså ikke fra punkt 2 til 3:

$$p_2 = p_3 = 1812kPa$$

Derefter beregnes det specifikke volumen i punktet 3:

$$\frac{v_2}{v_3} = \frac{V_2}{V_3} \Rightarrow v_3 = \frac{v_2 \cdot V_3}{V2} \tag{7.3}$$

Der bliver indsat konstaterne fra casen i formel 7.3:

$$v_3 = \frac{0,1036\frac{m^3}{kg} \cdot 7063cm^3}{1800cm^3} = 0,4065\frac{m^3}{kg}$$

Programmet slår op i tabeller, og finder vha. det beregnede tryk, p_3 og det beregnede specifikke volumen, v_3 temperaturen for luft:

$$T_3(v_3, p_3) = T_3(0,4065\frac{m^3}{kg}; 1812kPa) = 2567K$$

Værdierne p_3 og v_3 er nu udregnet til brug i pV-diagrammet, samt temperaturen T_3.

7.1.3 Ekspansionsproces 3-4

Trykket p_4, temperaturen T_4 og volumenet V_4 i punktet 4, efter gassen har gennemgået en adiabatisk ekspansion, skal nu findes.
Da gassen gennemgår en isokor proces fra punkt 4 til punkt 1, hvilket betyder, at volumenet er konstant, må det gælde at:

$$V_1 = V_4 = 14470cm^3$$

Herefter beregner modellen entropien i punkt 3. Dette gør modellen ved at slå op i en tabel for luft ved det angivne tryk, p_3 og det beregnede specifikke volumen, v_3. Dette giver:

$$s_3(v_3, p_3) = s_3(0,4065\frac{m^3}{kg}; 1812kPa) = 7,286\frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Det næste der sker er, at der antages, at der i processen 3 til 4 er konstant entropi:

$$s_3 = s_4 = 7,286\frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Dette betyder, at den adiabatiske ekspansion fra punkt 3 til 4 er reversibel, og dermed en isentropisk proces. Fordi der er antaget konstant entropi i processen 3 til 4, så kan programmet slå op i en tabel, der dermed angiver trykket i punkt 4 ud fra entropien i punkt 4, samt det beregnede specifikke volumen i punkt 4, som er det samme som i punkt 3. Dette giver:

$$p_4(v_4, s_4) = p_4(0,4065\frac{m^3}{kg}; 7,286\frac{kJ}{kg \cdot K}) = 716,8kPa$$

Der er nu udregnet de to værdier, der er nødvendig for pV-diagrammet, nemlig p_4 og V_4.

Modellen kan med ovenstående algoritme beregne tryk, p, og volumen, V, i de fire punkter, hvor kredsprocessen skifter proces, og disse værdier kan nu plottes i et pV-diagram. Dette giver en skitse af kredsprocessen for en dieselmotor.

7.2 Virkningsgradsberegning

Modellen kan også beregne virkningsgraden for dieselmotoren. Formlen for virkningsgrad er:

$$\eta = \frac{W_{netto}}{Q_{ind}} = \frac{Q_{ind} - Q_{ud}}{Q_{ind}}$$

For at beregne virkningsgraden, skal den tilførte og den afgivne varmemængde findes. Den tilførte energi, er den energi, der bliver tilført ved forbrænding af brændstoffet. Dette beregnes ved:

$$Q_{ind} = m_{diesel} \cdot (bv \cdot 1000)$$

Hvor m_{diesel} angiver massen af brændstof, som bestemmes af indsprøjtningsforholdet, der er et input, og i denne case er 18:

$$m_{diesel} = \frac{m_{luft}}{18} = 0,0009651kg$$

Og bv er den beregnede eller indtastede brændværdi, som brændstoffet har i MJ.

Den beregnede brændværdi:

$$\text{bv} = \frac{337 \cdot c - 126 \cdot o + 1420 \cdot h + 93 \cdot s}{1000} = 41,49\frac{MJ}{kg}$$

Den afgivne varmemængde beregnes med følgende formel:

$$Q_{ud} = m_{luft} \cdot (u_4 - u_1)$$

Hvor u_1 er den specifikke indre energi før ekspansion, og u_4 er den specifikke indre energi efter ekspansion. Disse værdier bliver i denne case beregnet til:

$$u_1(T_1) = u_1(290,2K) = 207,3\frac{kJ}{kg}$$
$$u_4(v_4, s_4) = u_4(0,4065\frac{m^3}{kg}; 7,286\frac{kJ}{kg \cdot K})1756\frac{kJ}{kg}$$

Formlen for virkningsgrad er altså:

$$\eta = \frac{m_{diesel} \cdot (bv \cdot 1000) - m_{luft} \cdot (u_4 - u_1)}{m_{diesel} \cdot (bv \cdot 1000)} \tag{7.4}$$

Indsætter casen i formel 7.4, fåes:

$$\eta = \frac{0,0009651kg \cdot (41,49\frac{MJ}{kg} \cdot 1000) - 0,01737kg \cdot (1756\frac{kJ}{kg} - 207,3\frac{kJ}{kg})}{0,0009651kg \cdot (41,49\frac{MJ}{kg} \cdot 1000)} = 32,8\%$$

Algoritmen, som modellen bruger til at udregne virkningsgraden for motoren når den kører på et givent brændstof, er nu blevet vist. Næste afsnit vil vise fysikken bag modellens emissions- og brændværdiberegninger.

7.3 Forbrændingsteori

Der vil i dette afsnit blive vist en teoretisk model, som kan udregne forskellige emissioner, såsom CO_2, NO_2 og SO_2 ved en forbrænding. Grundlæggende forbrændingsteori vil blive beskrevet, med fokus på udregning af emissioner ved forbrænding af de udvalgte biobrændstoffer i denne rapport. Parallelt med teorien vil der blive lavet en case med elementaranalysen for Daka biodiesel.

Ved en forbrænding sker reaktioner mellem forskellige stoffer, som medfører en frigivelse af en mængde energi. Under fotosyntesen omdanner planter kuldioxid, vand og energi fra solens stråler til biomasse samt en mængde kemisk bundet energi. Når biomassen forrådner i naturen eller afbrændes, frigives energien igen, og den mængde CO_2 og H_2O, der blev omdannet under fotosyntesen, vil nu blive udledt som CO_2 og H_2O [Aage B. Lauritsen, 2007].

Dette ser på forenklet form således ud:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + Energi \tag{7.5}$$

For at kunne beregne udslippet af de forskellige emissioner, skal der kunne udledes teoretiske formler for røgtab ved en forbrænding. Brændstoffet karakteriseres, og der skal kendes til en række forskellige forbrændingsberegninger. Herunder vil der blive redegjort for disse, og efterfølgende vil teoretiske formler for røgtab og virkningsgrad blive udledt.

7.3.1 Brændstofsanalyse

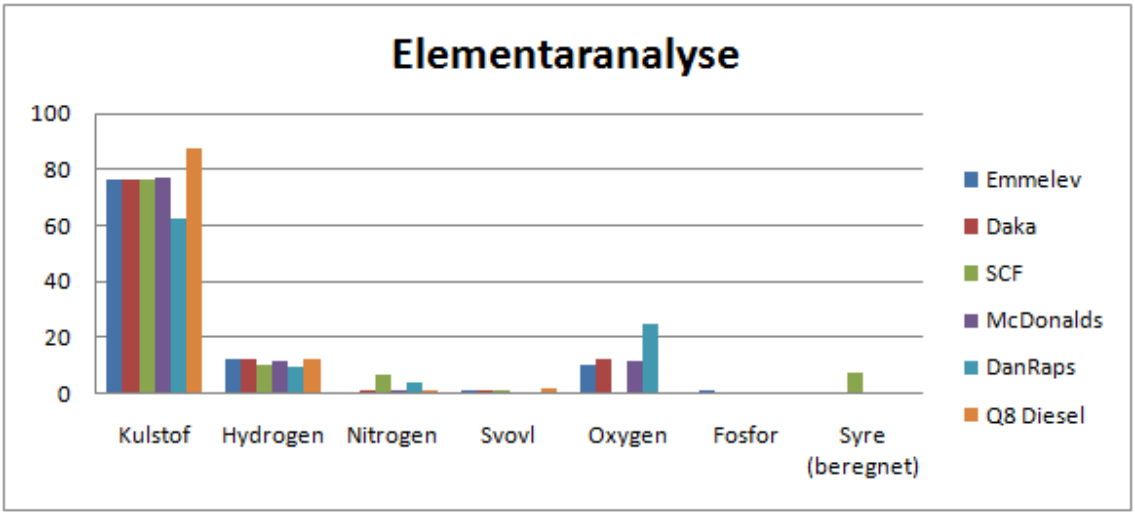
Brændstoffets sammensætning skal kendes og karakteriseres, da de forbrændingstekniske beregninger er baseret på brændstoffets karakteristik. Brændstoffet kan karakteriseres på forskellige måder, men for at lave en beregning af luft- og røggasvolumen, skal brændstoffets kemiske sammensætning kendes. Denne er givet ved en elementaranalyse, der ser således ud [Thomas Rump, 2004]:

c kg kulstof/kg rå brændstof
h kg brint/kg rå brændstof
s kg svovl/kg rå brændstof
n kg kvælstof/kg rå brændstof
o kg ilt/kg rå brændstof
w kg vand/kg rå brændstof
a kg aske/kg rå brændstof

$$c + h + s + n + o + w + a = 1 \tag{7.6}$$

På figur 7.6 ses en elementaranalyse over de udvalgte brændstoffer. Det skal understreges, at de tilsendte elemantaranalyser ikke alle stemte overens med ligning 7.6, altså at

produkterne indeholdt 100 % materiale. De svinger mellem 99,99 og 101,50 %. Dog er Emmelev blevet korrigeret med 10 % oxygen, da elementaranalysen gav 90 % og oxygen ikke var med denne.



	Kulstof	Hydrogen	Nitrogen	Svovl	Oxygen	Fosfor	Syre (beregnet)
Emmelev	76	12	0	1	10	1	0
Daka	76,6	12	0,75	0,05	12,1	0	0
SCF	76,1	10,1	6,3	0,34	0	0	7,2
McDonalds	77,25	11,37	0,14	0	11,23	0	0
DanRaps	62,1	9,1	3,9	0	24,9	0	0
Q8 Diesel	87,4	12,1	0,000392	1,39	0	0	0

Figur 7.6. Elementaranalyse af de udvalgte brændsler. Emmelev er korriget med 10 % oxygen.

7.3.2 Forbrændingsberegninger

Det kan, ud fra elementaranalysen af et givet brændstof, beregnes, hvor meget ilt forbrændingen kræver, og hvor stor et røggasvolumen forbrændingen udvikler. Nogle faste faktorer vil i denne rapport være givet, nemlig, at atmosfærisk luft indeholder 0,21 m^3 O_2 pr. m^3 luft (betegnes r_{O_2}), og 0,79 m^3 N_2 pr. m^3 luft (betegnes r_{N_2}).

Derudover regnes med stofdataene, som ses i tabel 7.1:

Stof	Symbol	M_i kg/kmol	$V_{i,m}$ m_n^3/kmol	$\rho_{i,n}$ kg/m_n^3
Kulstof	C	12,0112	-	-
Svovl	S	32,064	-	-
Vanddamp	H_2O	18,0152	22,4	0,804
Kvælstof	N_2	28,0134	22,40	1,2505
Ilt	O_2	31,9988	22,39	1,42895
Kuldioxyd	CO_2	44,0098	22,26	1,9768
Brint	H_2	2,0158	22,43	0,08987

Tabel 7.1. I tabellen ses en oversigt over Molmassen, Volumet og Rho (densiteten) for de listede molekyler [Aage B. Lauritsen, 2007].

Luftforbrug

Når luftforbruget i en forbrænding skal beregnes, kræver det en viden om alle reaktionernes iltforbrug. Herunder vil der kun blive redegjort for kulstofforbrændingens iltforbrug, da udledningen af svovl og hydrogens iltforbrug foregår på samme vis.

Reaktionsligningen for kulstofafbrænding opstilles:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \tag{7.7}$$

De givne værdier for C, O og CO_2 aflæses nu i tabel 7.1 og indsættes i reaktionsligningen:

$$12,0112 kgC + 22,39 m_n^3 O_2 \rightarrow 22,26 m_n^3 CO_2$$

Altså skal der benyttes 1 kmol=22,39 m_n^3 O_2 til en fuldstændig forbrænding af 12,0112 kg kulstof.

Da brændstoffet kun indeholder c kg kulstof, bliver iltforbruget ved forbrændningen:

$$\frac{c}{12,0112} \qquad [\frac{kmol O_2}{kg_{br}}]$$

På samme vis kan iltforbruget for andre nævneværdige forbrændinger, nemlig brint- og svovlforbrænding, udledes, hvilket giver et iltforbrug på henholdsvis:

$$\frac{h}{4,0316} \qquad [\frac{kmol O_2}{kg_{br}}]$$

og

$$\frac{s}{32,064} \qquad [\frac{kmol O_2}{kg_{br}}]$$

Den mængde ilt brændstoffet indeholder fraregnes, og iltforbruget ved den fuldstændige forbrænding, O_{min}, vil være givet ved:

$$O_{min} = \frac{c}{12,0112} + \frac{h}{4,0316} + \frac{s}{32,064} - \frac{o}{31,9988} \qquad [\frac{kmol O_2}{kg_{br}}] \tag{7.8}$$

Luftmængden, L_{min}, kan nu beregnes, idet iltindholdet i den atmosfæriske luft var sat til 21 %, og har et volumen på 22,39 $\frac{m_n^3}{kmol}$, ifølge tabel (7.1).

$$L_{min} = \frac{O_{min}}{0,21} \cdot 22,39 \qquad [\frac{m^3}{kg_{br}}]$$

$\Downarrow$

$$L_{min} = \frac{1,86c + 5,55h + 0,70s - 0,70o}{0,21} \qquad [\frac{m^3}{kg_{br}}] \tag{7.9}$$

For Daka biodiesel, vil den nødvendige luftmængde til en fuldstændig forbrænding være:

$$L_{min,Daka} = \frac{1,86 \cdot 76,6\frac{m^3}{kg_{br}} + 5,55 \cdot 12\frac{m^3}{kg_{br}} + 0,70 \cdot 0,05\frac{m^3}{kg_{br}} - 0,70 \cdot 12,1\frac{m^3}{kg_{br}}}{0,21} = 957.15\frac{m^3}{kg_{br}}$$

Denne luftmængde bliver betegnet som $\lambda = 1$ og er luftmængden ved en fuldstændig, eller støkiometrisk forbrænding. Det vil i praksis være nødvendigt at tilføre mere luft end $\lambda = 1$ for at undgå en ufuldstændig forbrænding, og dermed dannelsen af kulilte, CO [Aage B. Lauritsen, 2007].

Røggas

Der er nu blevet udledt en formel til at beregne, hvor meget atmosfærisk luft en given fuldstændig forbrænding kræver. Ved at kende luftoverskudstallet λ og brændslets elementaranalyse, kan den røggas, som forbrændingen udleder, beregnes.

Det ses af reaktionsskemaet, sætning 7.8, at der bliver udledt 22,26 m_n^3 CO_2 ved afbrænding af 12,0112 kg brændstof. Den specifikke volumenandel for CO_2 bliver derfor:

$$v_{CO_2} = \frac{c}{12,0112}22,26 = 1,85c \qquad [\frac{m^3}{kg_{br}}]$$

Det betyder, at der ved afbrænding af Daka biodiesel vil være en volumenandel CO_2 på:

$$v_{CO_2,Daka} = 1,85 \cdot 76,6\frac{m^3}{kg_{br}} = 141.71\frac{m^3}{kg_{br}}$$

På samme vis brænder svovl til svovldioxid, og volumen af dette er:

$$v_{SO_2} = 0,68s \qquad [\frac{m^3}{kg_{br}}]$$

Og for Daka biodiesel:

$$v_{SO_2,Daka} = 0,68 \cdot 0,05\frac{m^3}{kg_{br}} = 0.034\frac{m^3}{kg_{br}}$$

Den samlede mængde vanddamp i røggassen, er summen af den mængde brint, der vha. ilt omdannes til vand, og den mængde vand brændslet indeholder:

$$v_{H_2O} = 11,11h + 1,24w \qquad [\frac{m^3}{kg_{br}}]$$

Denne mængde vanddamp i røggassen er for Daka biodiesel:

$$v_{H_2O,Daka} = 11,11 \cdot 12\frac{m^3}{kg_{br}} + 1,24 \cdot 0\frac{m^3}{kg_{br}} = 133.32\frac{m^3}{kg_{br}} \tag{7.10}$$

Mængden af kvælstof i røggassen afhænger af den mængde atmosfærisk luft, der er til stede under forbrændingen. Atmosfærisk luft indeholder som tidligere nævnt 79 % kvælstof, denne vil være uforandret i forbrændingsprocessen. Det vil sige, at mængden af kvælstof i røggassen afhænger af mængden af atmosfærisk luft der anvendes under forbrændingen, samt luftover- eller underskudstallet, λ:

$$v_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot L_{min} \qquad [\frac{m^3}{kg_{br}}]$$

Ved en forbrænding af Daka biodiesel med luftoverskudstal $\lambda = 1,7$, vil mængden af N_2 i røggassen være:

$$v_{N_2,Daka} = 0,79 \cdot 1,7 \cdot 957.15\frac{m^3}{kg_{br}} = 1285.45\frac{m^3}{kg_{br}}$$

Ved overskydende luft, altså $\lambda > 1$, vil røggassen også indeholde den resterende mængde ilt:

$$v_{O_2} = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{min} \qquad [\frac{m^3}{kg_{br}}]$$

Mængden af O_2 i røggassen for Daka er:

$$v_{O_2,Daka} = 0,21 \cdot (1,7 - 1) \cdot 957.15\frac{m^3}{kg_{br}} = 140.70\frac{m^3}{kg_{br}}$$

Volumenet af den samlede røggas kan nu beregnes. Der skelnes mellem den tørre røggas, hvor v_{H_2O} fraregnes:

$$v_t = v_{CO_2} + v_{SO_2} + v_{N_2} + v_{O_2}$$

og den fugtige røggas, hvor vanddampen medregnes:

$$v_f = v_t + v_{H_2O}$$

For Daka biodiesel, vil røggasmængden være:

$$v_{t,Daka} = 141.71\frac{m^3}{kg_{br}} + 0.034\frac{m^3}{kg_{br}} + 1285.45\frac{m^3}{kg_{br}} + 140.70\frac{m^3}{kg_{br}} = 1567.90\frac{m^3}{kg_{br}}$$

$$v_{f,Daka} = 1567.90\frac{m^3}{kg_{br}} + 133.32\frac{m^3}{kg_{br}} = 1701,22\frac{m^3}{kg_{br}}$$

Det vil sige, at afbrændes 1 kg Daka biodiesel med et luftoverskudstal på 1,7, vil røggasmængden være 1701,22 m^3, hvoraf 141.71 m^3 er CO_2, 0.034 m^3 er SO_2, 133.32 m^3 er H_2O og resten er N_2 og O_2, som strømmer uforandret igennem.

Ved luftoverskudstallet $\lambda = 1$, altså ved fuldstændig forbrænding, vil alt ilten blive omdannet til kuldioxid, svovldioxid og vanddamp, og der vil teoretisk set opnås den mindst mulige mængde røggas [Aage B. Lauritsen, 2007].

I modellen udregnes massen og volumen af, CO_2, SO_2, H_2O, N_2 og O_2. Dette gøres med ovennævnte formler for volumen.

7.4 Resultater

Der vil i det følgende være de resultater som BEV-modellen har regnet ud for de fem biobrændstoffer: Daka, Emmelev, DanRaps, SCF bio-olie og McDonalds fritureolie.

7.4.1 Virkningsgrad

Resultaterne for virkningsgraden af de forskellige brændsler er som følgende:

Brændstof	**Virkningsgrad**
Daka	32,86
Emmelev	32,81
RanRaps	36,81
Slam	33,31
Friture	33,06
Q8	31,12

Tabel 7.2. De modeludregnede virkningsgrader på baggrund af elementaranalyserne. Enheden er i %.

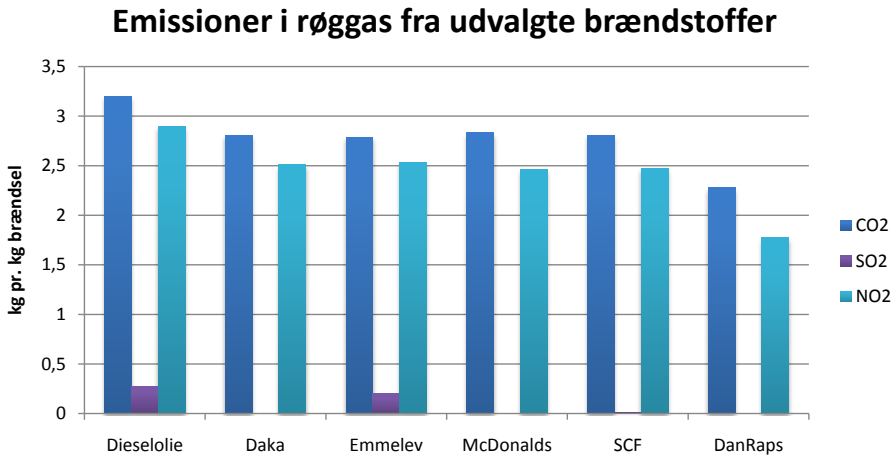
Det ses af tabel 7.2, at DanRaps har den højeste virkningsgrad. Dette kan virke overraskende, men det må her understreges, at der i BEV-Modellen mangler at blive taget højde for forskellige tab i motoren. Derudover må det forventes, at der mangler data for at kunne udregne en mere præcis virkningsgrad. Disse data er ikke nogle, der i den teoretiske model har været mulighed for at medregne, og disse virkningsgrader er derfor kun grove tilnærmelser.

7.4.2 Emissioner

Som ses på tabel 7.3, har DanRaps den mindste emissionsudledning i røggassen, hvorimod diesel har den højeste. Dette er naturligvis de teoretisk udregnede emissioner, beregnet på elementaranalyserne af brændstofferne. Disse teoretiske emissioner kan også forventes at variere fra de virkelige værdier.

	Dieselolie	Daka	Emmelev	Friture	Slam	DanRaps
CO_2	3,202	2,806	2,784	2,83	2,806	2,275
H_2O	1,081	1,072	1,072	1,016	0,9024	0,813
N_2	23,13	20,05	20,27	19,71	19,77	14,16
SO_2	0,277	0,0009	0,198	0	0,0067	0
NO_2	2,894	2,507	2,536	2,465	2,472	1,771

Tabel 7.3. De model udregnede emissioner på baggrund af elementaranalyse. Enheden er $\frac{kg}{kg_{br}}$.

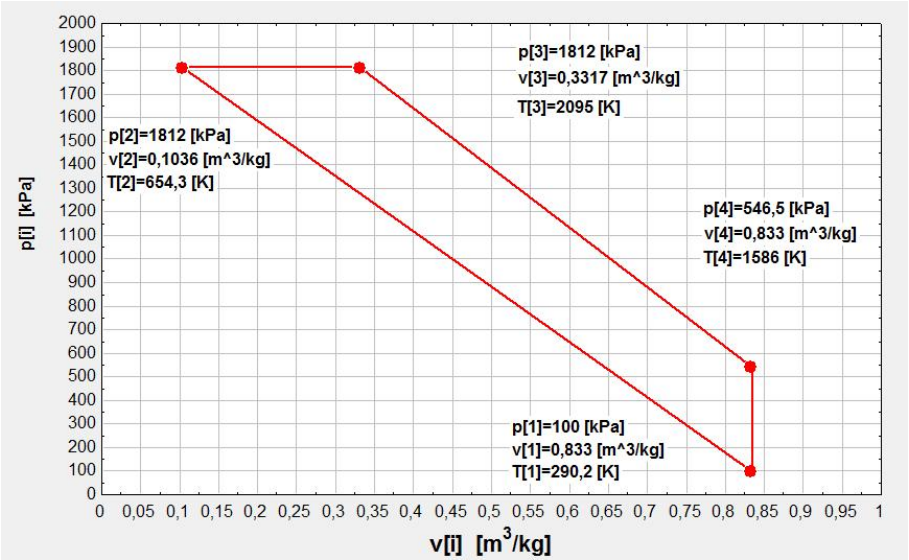


Figur 7.7. De modeludregnede emissioner på baggrund af elementaranalyse.

7.4.3 pV-diagrammer

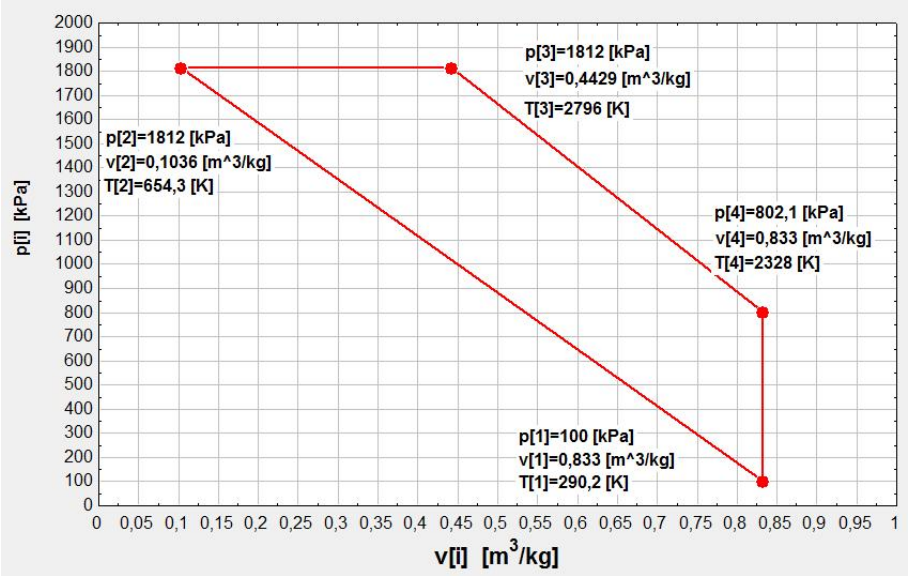
Herunder ses seks pV-diagrammer for kørsel med de fem udvalgte biobrændstoffer samt kørsel med konventionel diesel. Disse er teoretisk udregnet i BEV-Modellen ved indtastning af elementaranalyse.

En forklarring på, at DanRaps havde den højeste virkningsgrad på trods af, at den også havde den laveste brændværdi, kan findes i pV-diagrammerne. Det viser sig, at temperaturen i motoren i punkt 3→4 ikke er lige så høj som ved de øvrige brændstoffer. Temperaturen ved DanRaps ligger på godt 1500 til 2000 K, hvor den ved de fem øvrige brændstoffer ligger på omkring 2000 til 2800 K. Dette kan betyde et mindre varmetab i motoren ved DanRaps, og dermed en højere virkningsgrad.



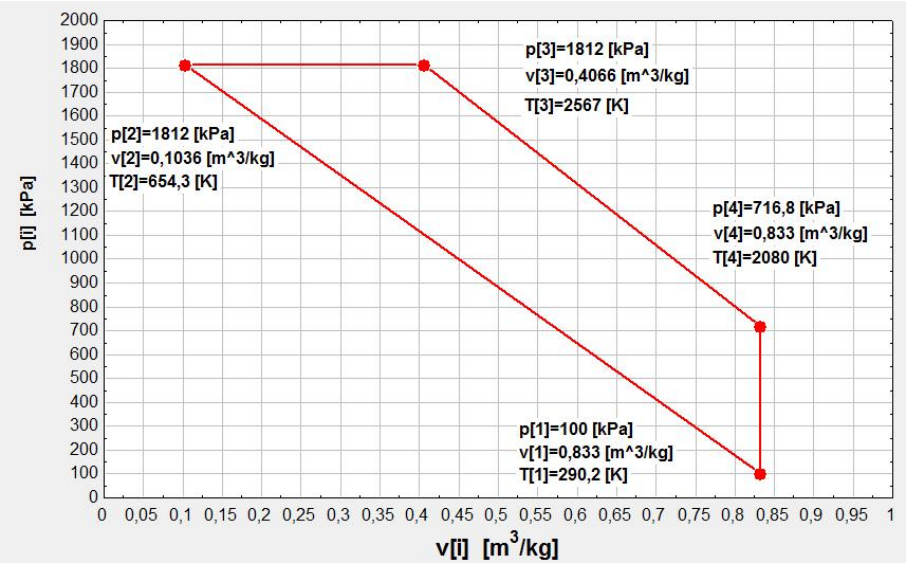
Figur 7.8. pV-diagram for DanRaps udregnet på baggrund af elementaranalysen.

Samtidig kan det ses på figur 7.9 for kørsel med Q8-diesel, at denne har de højeste temperaturer i punkt 3→4. Samtidig har den, som det fremgår af figur 7.2, den laveste virkningsgrad. Dette kan skyldes et større varmetab.

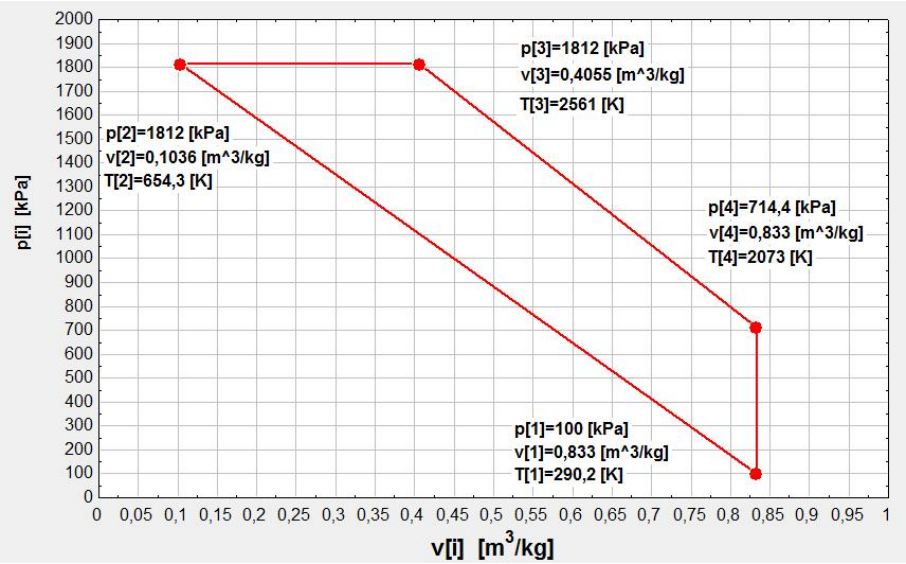


Figur 7.9. pV-diagram for Q8 udregnet på baggrund af elementaranalysen.

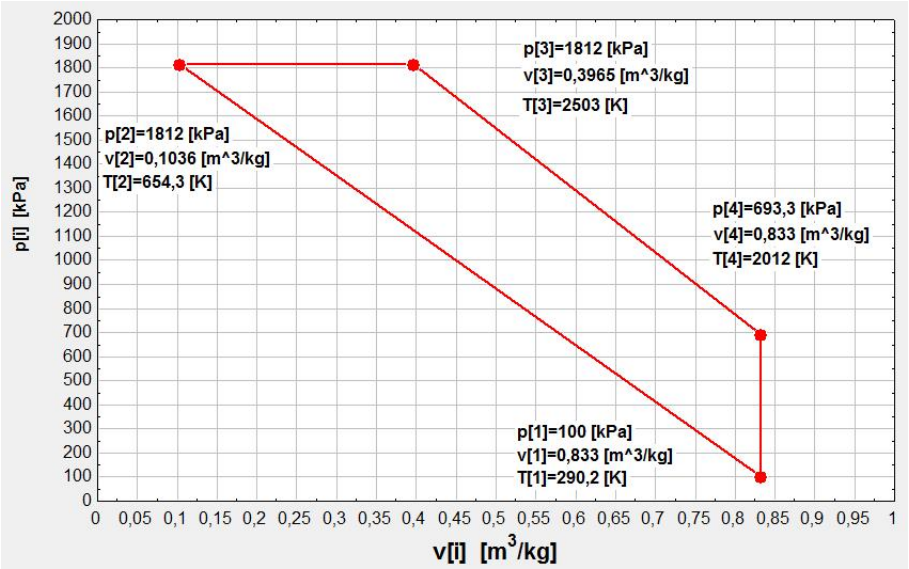
De øvrige pV-diagrammer er stort set identiske med små temperaturforskelle i forhold til hinanden. Disse ses på figur 7.10, 7.11, 7.12 og 7.13:



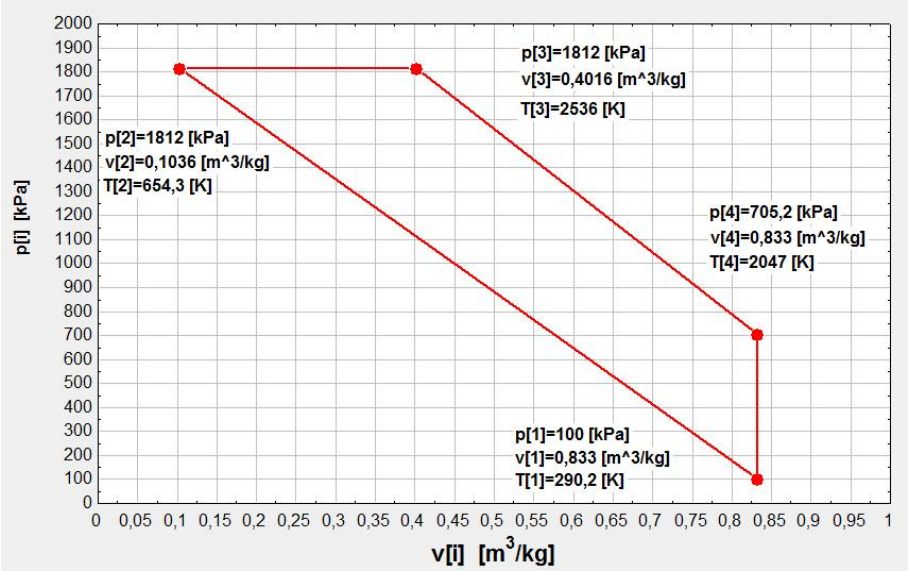
Figur 7.10. pV-diagram for Emmelev udregnet på baggrund af elementaranalysen.



Figur 7.11. pV-diagram for Daka udregnet på baggrund af elementaranalysen.



Figur 7.12. pV-diagram for SCF bio-olie udregnet på baggrund af elementaranalysen.



Figur 7.13. pV-diagram for McDonalds udregnet på baggrund af elementaranalysen.

7.5 Forbedringsforslag

Der er ikke medregnet tab, selvom der findes tab i form af tryktab i 2-3, friktionstab i 1-2 og 3-4 og varmetab i 4-1. pV-diagrammet kunne blive udregnet i steps for at få en mere realistisk pV-afbildning. Derudover kunne den adiabatiske flammetemperatur, som afhænger af brændstoffets sammensætningen, have været udregnet, for at finde en mere korrekt temperatur i punkt 3, T_3, hvilket kunne have været med til at give en mere præcis virkningsgrad. Forsøget med at bruge brændstofferne i motoren skulle have været med til at verificere modellen og give resultater, der kunne være med til at optimere BEV-

modellen.

BEV-modellen er nu blevet gennemgået, og der er blevet redegjort for programmering og fysikken bag. Der vil i næste kapitel blive fremstillet en scenarieanalyse ved brug af BEV-modellen

Scenarieanalyse 8

Der vil i dette kapitel blive undersøgt og beregnet, hvilke fordele og ulemper, og dermed konsekvenser, det kan have for Danmark at indføre 5,75 % biobrændstof i transportsektoren. Der vil vha. den udarbejdede model blive udregnet emissioner for de udvalgte biobrændstoffer samt konventionel diesel til sammenligning. Det vil blive eftervist, om udledningen af emissioner ved kørsel med biobrændstoffet er stigende eller faldende, og der vil blive opstillet en hypotese for udledning af partikler.

Fordelingen mellem benzinforbruget og dieselforbruget i vejtransportsektoren var i år 2008 1:1,26 [Energistyrelsen, 2009*b*]. Dette vil sige, at knap halvdelen af den samlede andel biobrændstof ikke bliver medregnet i beregningen af emissioner i dette kapitel. Derudover kan andelen af dieselbiler forventes at stige frem mod år 2012, hvilket der i beregningerne ikke bliver taget højde for, da udgangspunktet vil være brændstofforbruget i år 2008.
I tabel 8.1 ses, hvor stor udledningen af emissioner, ved kørsel med de fem udvalgte biobrændstoffer samt konventionel diesel er. Disse tal er udregnet ved hjælp af BEV-Modellen, og er antal kg udledt ved forbrænding af et kg brændstof.

	Dieselolie	**Daka**	**Emmelev**	**McDonalds**	**SCF**	**DanRaps**
CO2	3,202	2,806	2,784	2,83	2,806	2,275
H2O	1,081	1,072	1,072	1,016	0,9024	0,813
N2	23,13	20,05	20,27	19,71	19,77	14,16
SO2	0,277	0,0009	0,198	0	0,0067	0
NO2	2,894	2,507	2,536	2,465	2,472	1,771

Tabel 8.1. Massen af emissioner i kg ved forbrænding af 1 kg brændstof.

I ovenstående tabel, ses at det produkt med den mindste udledning af emissioner er DanRaps. Dog skal det nævnes, af hvis det blev besluttet, at køre på ren biobrændstof fra DanRaps, skal der ske en ombygning på samtlige dieselbiler i Danmark. Ombygningen skal ske fordi DanRaps producerer uraffineret rapsolie, og en almindelig dieselmotor skal have tilføjet et biokit som beskrevet i kapitel 5.2

Ved at kigge på emissionerne i tabel 8.1, kan det ses, at udledningen af emissioner falder ved forbrænding af biodiesel frem for konventionel diesel. Figuren viser et samlet forbrug

af biodiesel på 5,75 %, og et forbrug af konventionel diesel på de resterende 94,25 %.

Ifølge Energistyrelsen, blev der i år 2008 brugt 94.846 TJ gas/dieselolie til vejtransport [Energistyrelsen, 2009*b*]. Der er tidligere i denne rapport blevet målt en brændværdi for konventionel diesel på ca. 45 $\frac{MJ}{kg}$. Omregnes mængden af dieselolie vha. brændværdien, fås en mængde dieselolie på:

$$m_{diesel} = \frac{94.846.000.000MJ}{45\frac{MJ}{kg}} = 2.107.689.000kg = 2.107.689ton$$

Der blev brugt 2.107.689 ton dieselolie i transportsektoren i år 2008. Målet er 5,75 % biobrændstof iblandet diesel, og dette giver en mængde biobrændstof på:

$$m_{biodiesel-5,75} = 2.107.689ton \cdot \frac{5,75}{100} = 121.192ton$$

I kapitel 3.4 er der for hvert biobrændstof hentet tal over biobrændstoffernes CO_2-fortrængningen. Disse tal er opgivet i procent, og den resterende størrelse op til 100 %, som ikke er CO_2-fortrængende, er vist i nedenstående tabel:

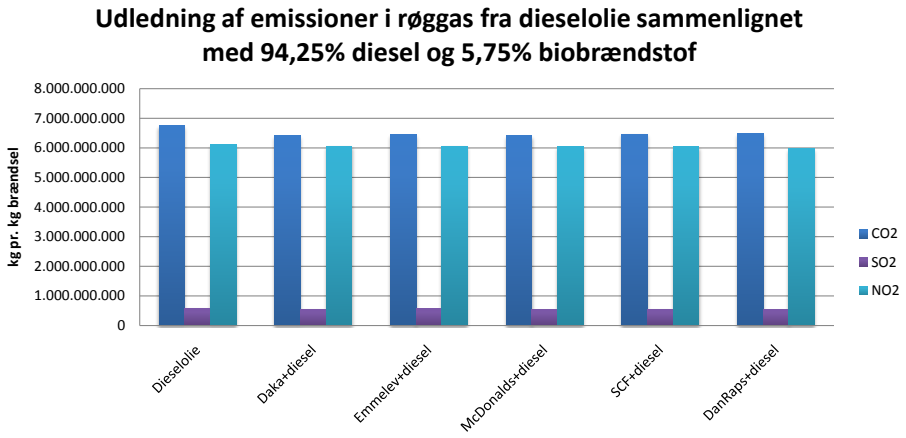
Daka	**Emmelev**	**McDonald**	**SCF**	**DanRaps**
0,12 %	0,28 %	0,12 %	0,3 %	0,42 %

Tabel 8.2. Procent for nettoudledningen af CO_2, efter EUs CO_2-fortrængningskorifficient er fratrukket.

Hvert biobrændstof bliver ganget med det totale dieselforbrug, $m_{biodiesel-5,75}$, den specifikke emission, $\frac{kg}{kg_{br}}$ fra tabel 8.1 og derefter ganget med CO_2-nettoudledningskoefficienten, $CO_{2_{nettokoef}}$ fra tabel 8.2. Derefter fås $CO_{2_{netto}}$-udledningen for hvert enkelt biobrændstof.

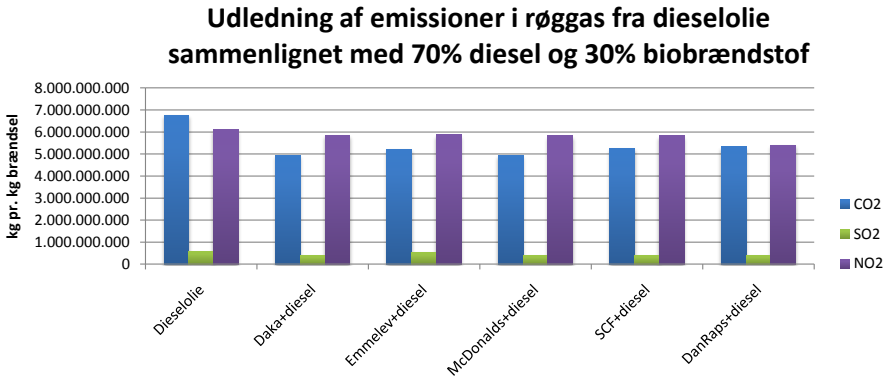
$$CO_{2_{netto}} = m_{biodiesel-5,75} \cdot m_{CO_{2_{emission}}} \cdot CO_{2_{nettokoef}} \tag{8.1}$$

$$\begin{aligned}
Daka: &\quad 121.192ton \cdot 2,806\frac{kg}{kg_{br}} \cdot 0,12 = 40807ton \\
Emmelev: &\quad 121.192ton \cdot 2,784\frac{kg}{kg_{br}} \cdot 0,28 = 94471ton \\
Friture: &\quad 121.192ton \cdot 2,83\frac{kg}{kg_{br}} \cdot 0,12 = 41156ton \\
Slam: &\quad 121.192ton \cdot 2,806\frac{kg}{kg_{br}} \cdot 0,30 = 102019ton \\
DanRaps: &\quad 121.192ton \cdot 2,275\frac{kg}{kg_{br}} \cdot 0,42 = 115798ton
\end{aligned}$$



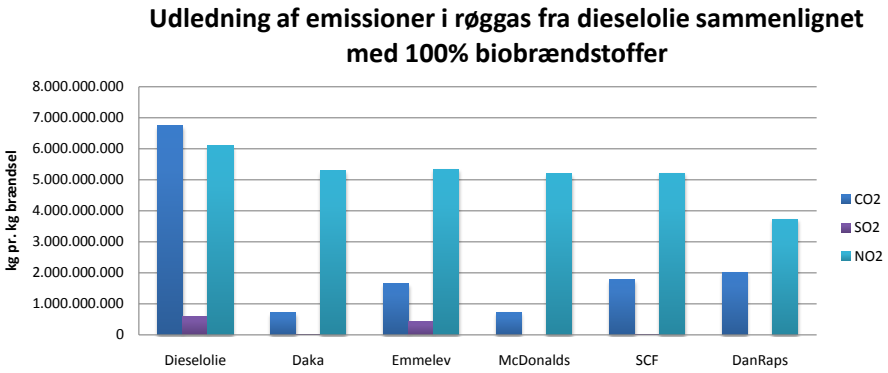
Figur 8.1. Målet i 2012 er 5,75 % biobrændstof for Danmark. Grafen viser emissionerne, hvis der bliver blandet 5,75 % biobrændstof i konventionel diesel. Hvert biobrændstof sammenlignes med konventionel diesel som er afmærket længst til venstre.

Figur 8.1 viser ikke store ændringer i udledningerne når der er 5,75 % biobrændstoffer blandet med dieselolie.



Figur 8.2. Et scenariet med 30 % biobrændstof.

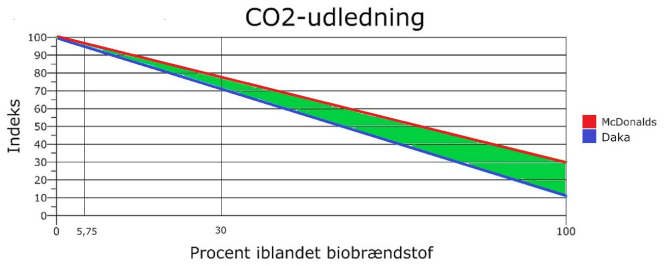
På figur 8.2 er et scenarie med 30 % biobrændstof opstillet. Her ses større ændringer i CO_2-udledningen på grund af de store CO_2-fortrængninger biobrændstofferne har.



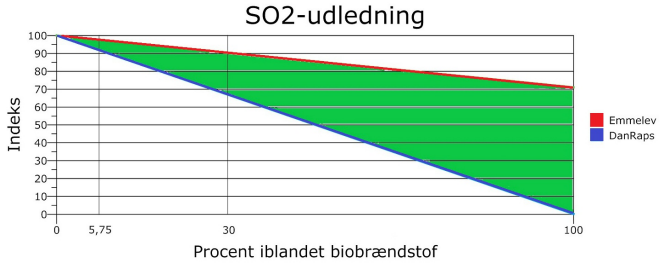
Figur 8.3. Fiktivt mål med 100 % biobrændstof.

Et usandsynligt scenarie med 100 % biobrændstof er opstillet på figur 8.3. Her ses reduktionen i CO_2-udledningen tydeligt.

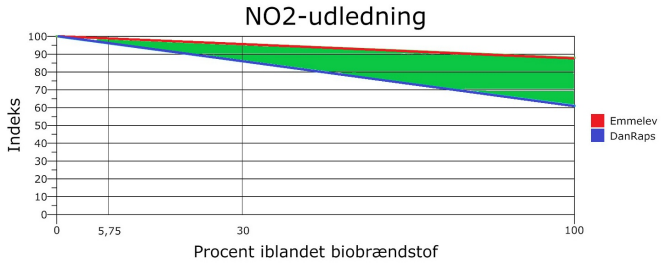
Herunder er opstillet grafer der viser udledningen af emissioner ved diesel med iblandet 0-100 % biobrændstof.
Emissionerne fra 100 % konventionel diesel, og derved 0 % biobrændstof har indeks 100. Ydergrænserne er de, af de fem udvalgte biobrændstoffer, med henholdsvis flest og færrest emissioner. De øvrige biobrændstoffer er derfor placeret mellem disse to i de grønne felter. Der kigges på indførelse af biobrændstof fra 0 % og op til et forbrug på 100 %. Der er afmærket med lodrette linjer ved henholdsvis 5,75 %, 30 % og 100 %. Emissionerne er faldende ved større indførsel af biobrændstof, som ses på figur 8.4, 8.5 og 8.6:



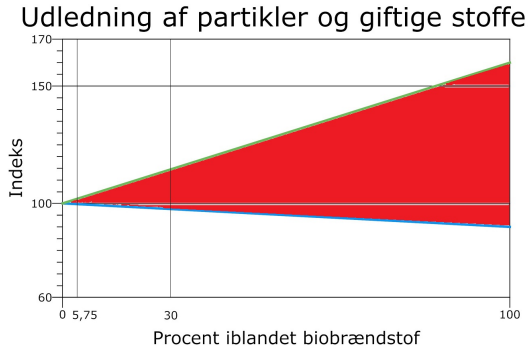
Figur 8.4. CO_2-udslippet ved afbrænding af vejtransportens årlige forbrug af brændstof med hhv. 0 til 100 % biobrændstof iblandet konventionel diesel.



Figur 8.5. SO_2-udslippet ved afbrænding af vejtransportens årlige forbrug af brændstof med hhv. 0 til 100 % biobrændstof iblandet konventionel diesel.



Figur 8.6. NO_2-udslippet ved afbrænding af vejtransportens årlige forbrug af brændstof med hhv. 0 til 100 % biobrændstof iblandet konventionel diesel.



Figur 8.7. Hypotetisk fremstilling for udledning af partikler fra biobrændstoffer.

Ved at kigge på ovenstående grafer ses det, at ved 5,75 % implementering af biobrændstof, vil effekten på emissionerne ikke have så stor en indvirkning. Derimod sker der en væsentlig reduktion af emissioner ved indførelse af 100 % biobrændstof. Figur 8.7 viser en hypotetisk fremstilling for udledning af partikler med 0-100 % koncentration af biobrændstof. En forøget mængde af partkler kan blandt andet skyldes urenheder i biobrændstoffet samt, at biobrændstoffer er et forholdsvis nyt område, og mange forsøg og målinger ikke er foretaget til mindskning af disse partikler. Partiklerne er sundhedskadlige og skal derfor blive opsamlet i partikelfiltre. Hvis der sker en formindskning af emissioner ved kørsel med biobrændstoffer og en forøgelse af partikler, kan man vurdere på om implementering af biobrændstoffer er optimal. Kunne nuværende eller nyopfundne partikelfiltre opfange det øgede andel af partikler, vil indførelsen af biobrændstoffer ikke have de samme negative konsekvenser mht. partikeludledning.

Der er nu blevet gennemgået beregningerne og resultaterne fra scenarieanalysen. Ved hjælp af BEV-modellen har det været muligt at udregne emissioner ved et scenarie, hvor de fem udvalgte biobrændstoffer bliver implementeret med en andel fra 0 til 100 %. Der blev også opstillet en hypotetisk graf over ændringen i udledningen af partikler. En hypotese, som skulle have været efterprøvet af forsøgene som beskrevet i bilag B.3. Resultatet fra scenarieanalysen er på baggrund af BEV-modellen, at implementering af biobrændstof vil føre til en reduktion i udledningen af CO_2, SO_2, NO_2, men ifølge hypotesen føre til en stigning i udledninger af partikler og giftige stoffer. I scenarieanalysen kan det yderligere konkluderes, at det biobrændsstof der udviklede færrest emissioner var Daka.

Konklusion 9

Der kan på baggrund af problemanalysen konkluderes, at Folketinget har vedtaget, at der skal indføres 5,75 % biobrændstof i år 2012 på grund af de klima- og ressourceproblemstillinger, der er ved landtransporten i dag. Klimaproblemerne er dokumenteret med IPCC's rapporter, der vurderer at den globale opvarmning er forårsaget af udledningen af drivhusgasser. Danmark har derfor med Kyotoaftalen pålagt sig at reducere udledningen af drivhusgasser. Transportsektoren er den største udleder af CO_2 i Danmark med 37,6 % af det samlede nationale udledning, og transportsektorens andel er stigende. Transportsektoren udleder også andre drivhusgasser, partikler samt giftige stoffer. Disse partikler er af en sådan størrelse, at de kan finde vej til menneskers lunger, og på den måde blive optaget i blodet. Dette kan føre til hjerte-kar-sygdomme, astma og kræft. Derudover har transportsektoren også et stort energiforbrug. Danmark anslås at være selvforsynende med olie til år 2029, hvor Danmarks forbrug af olie i højere grad kan blive påvirket af udefrakommende faktorer. Det konkluderes derfor, at Danmark står overfor en række klima-, miljø- og energiproblemstillinger i transportsektoren.

Et løsningsforslag er indførelsen af biobrændstoffer. Danmark vil gradvist indfase 5,75 % biobrændstof i landtransporten hen imod året 2012. Biobrændstoffer deles op i 1., 2. og 3. generation. Fælles for alle biobrændstoffer er, at energien, som er lagret i det organiske materiale gennem fotosyntesen, kommer fra solen. Problemet med 1. generations biobrændstof er, at kilderne i sig selv er CO_2-neutrale, men ikke når man tager livscyklusvurderingen i betragtning. Der bliver nemlig udledt CO_2 når 1. generations biobrændstoffer skal forarbejdes og høstes. Nogen af dem, som fx palmeolie, skal transporteres over lange afstande, hvilket giver en yderligere CO_2-udledning. Ud fra livscyklusvurderingerne kan der konkluderes, at de udvalgte biobrændstoffer alle giver anledning til yderligere undersøgelse i henhold til udledning ved brug af disse. De foretagne forsøg er "produktion af biodiesel ud fra fritureolie", hvilket forløb planmæssigt og der blev produceret 7.4 liter biodiesel. "Måling af brændværdi" forløb også planmæssigt, og det kan her konkluderes, at forsøget opfyldte hypotesen om, at biobrændstoffernes brændværdi ville ligge på det samme niveau, men et stykke under almindelig diesel. Efter "Viskositet forsøg", kan det konkluderes, at alle biobrændstoffer blev meget påvirket af at blive kølet ned. Det overraskende var, at Daka allerede var krystalliseres ved 3.8°C, hvilket betyder at Daka skal forbedres ved at sænke frysepunktet. Alle biobrændstoffer var frosne ved -20°C, hvilket er en temperatur der dog meget sjældent vil forekomme i Danmark. "Mikroskopforsøg" viste,

at der er en forskel på de urenheder, der findes i de fire biobrændstoffer. Det kan konkluderes, at animalsk fedt var det biobrændstof, hvor mængden af urenheder var mindst, hvorimod raffineret raps var det biobrændstof, der havde flest urenheder sammenlignet med de andre biobrændstoffer.

Der blev i projektet fremstillet en matematisk model, som er i stand til at beregne de emissioner, der vil befinde sig i udstødningsgassen, beregne virkningsgrad og afbillede et pV-diagram for en dieselmotors kørsel. Denne matematiske model skulle have været verificeret af et forsøg. Forsøgsbeskrivelsen af dette forsøg findes i Bilag B. Det var dog ikke muligt at foretage forsøget, idet forsøgsmotoren ikke var funktionsdygtig. Dette forsøg skulle bruges til at sammenligne de teoretisk udregnede data med det fysiske forsøg. Endvidere kunne det tab, som måtte forekomme i motoren, også beregnes, da de teoretiske størrelser er kendt. Dette gøres ved at sammenligne motorens data, med den udregnede virkningsgrad, fraregnet den fysiske virkningsgrad. Det optimale ville være, at kunne køre forsøget på flere forskellige dieselmotorer, der er ombygget til at køre på biodiesel. De forskellige motorer kunne give os et gennemsnitsudslip af emissioner, og ligeledes kunne man se, om der var forskel på virkningsgraderne. I modellen kan det ses, at det biobrændstof der udviklede færrest emissioner var DanRaps (figur 7.7). Dog er nettoudledningen mindst ved Daka, når CO_2-fortrængningskoefficienten medregnes.

Tests på emissioner og virkningsgrad med flere forskellige biobrændstof, kunne også have givet et indblik i, hvilke biobrændstoffer den danske regering skal satse mere på. Der er på nuværende tidspunkt ikke regler for, hvor biobrændstoffet skal komme fra, kun at lovgivningen på 5,75 % biobrændstof i transportsektoren bliver overholdt. Der kan derfor sættes spørgsmålstegn ved, hvilke af disse biobrændstoffer der er hensigtsmæssige i denne lovgivning.

Ud fra modellen blev rapsolie bestemt til at være den bedste emissionsmæssigt. På baggrund af den matematiskfremstillet BEV-model, kan der konkluderes, at en implementering af biobrændstof i den danske transportsektor vil føre til reduktion i transportsektorens udledning af CO_2, SO_2, NO_2. Modellen viser, at reduktionen vil stige i takt med en højere koncentration af biobrændstof i transportsektoren, hvilket vil være med til at løse transportsektorens klima- og energiproblemstillinger, som blev beskrevet i kapitel 1. Ud fra livscyklusanalyserne i kapitel 3 og mikroskopforsøgene i kapitel 6, fremkom hypotesen, at implementering af biobrændstof vil føre til en stigning i transportsektorens udledning af partikler og giftige stoffer, hvis sundhedsskadelig virkning er dokumenteret i kapitel 1. Denne hypotese skulle have været efterprøvet af motorforsøgene som beskrevet i bilag B3, men dette forsøg blev ikke foretaget.

Danmark har lovgivet, at indføre 5,75 % biobrændstof i år 2012. Dette vil ifølge BEV-Modellen føre til en reduktion i udledningen af CO_2, SO_2, NO_2, men ifølge hypotesen føre til en stigning i udledninger af partikler og giftige stoffer. Ud fra BEV-Modellens emissionsberegninger, kan det konkluderes, at Danmark kan opnå en CO_2-, SO_x- og NO_2-reduktion ved brug af biobrændstoffer. Der forekom ikke et biobrændstof, der var en klar vinder mht. emissionsreduktion ved en 5.75 % implementering. Derfor kan det konkluderes, at alle de undersøgte biobrændstoffer, på det kriterium, vil være en mulighed til

implementering. Det andet parameter som biobrændstofferne er undersøgt på i denne rapport, er partikeludledning. I og med, at de undersøgte biobrændstoffer var lige gode emissionsmæssigt, så kan partikelemission være det parameter, man vælger det bedste biobrændstof ud fra. Hypotesen er, at biobrændstofferne rapsolie og animalsk fedt ville give en reduktion i partikelemission, hvorimod bio-olie produceret på slam og fritureolie vil give en stigning i partikler og giftige stoffer. Denne hypotese kunne som tidligere nævnt ikke efterprøves. Hvis resultatet af forsøget var, at et biobrændstof viste at have den mindste udledning af partikler og giftige stoffer, så kunne dette biobrændstof på baggrund af emissionsberegninger af BEV-modellen og motorforsøgene fremhæves på disse kriterier, til at være det biobrændstof der skal satse på til implementeringen af biobrændstoffer. Hvis forsøget viste at alle de undersøgte biobrændstoffer gav en stigning af partikler og giftige stoffer, kunne det på baggrund af dette projekt konkluderes, at der fra lovgivningsmæssig side skulle stilles et krav om, at alle biler i den danske bilpark fik monteret et partikelfilter.

Litteratur

Aage B. Lauritsen, Søren Grundtoft, A. B. E. [2007], *Termodynamik*, Handbook, Nyt Teknisk Forlag. ISBN-10: 87-571-2613-5.

Aalborg Universitet [2009], Demonstration of sustainable bio-oil production using catliq technology phase 1, Technical report, Department of Energi Technology.

Allan Malmberg [2007], 'Bioteknologi - fra affald til biobrændstof.'. Artikel nr. Dansk kemi, 88 nr. 5.

Bech, N. [1994], *Forbrænding, Teori og Praksis, bind 2*, Handbook, Nicolai Bech og Polyteknisk Forlag. ISBN 87-502-0765-2.

Blarke, M. B. [2008], From stardust to sustainability, Technical report, Department of Development and Planning, Aalborg Universitet, URL: `http://people.plan.aau.dk/~blarke/teaching/vms/kursusgang1/essay%20-%20from%20stardust%20to%20sustainability%20.pdf`.

Carlsen m.fl. [2006], *CO_2 reduktionsomkostninger ved biodiesel*, Handbook. ISBN: 87-7992-046-2.

Caye M. Drapcho, Nghiem Phu Nhuan, T. H. W. [2008], *Biofuels engineering process technology*, Handbook, Mc-Grawhill. ISBN 978-0-07-148749-8.

Createrainforest [2008], *Palmeolie - fakta om palmeolie*, URL: `http://www.createrainforest.org/da/news/3896976`.

Dajolka [2010], *Elsbett 1-tank system til motorer med direkte indsprøjtning og fordelerpumpe*, URL: `http://www.dajolka.dk/teknologi/Elsbett/elsbett_1-tank-TDI_pumpe_dyse.htm`.

Daka [2010], *Daka Biodiesel*, URL: `http://www.dakabiodiesel.dk/page539.asp`.

Danmarks Miljøundersøgelser [2009*a*], 'Drivhusgasser - kilder, opgørelsesmetoder og internationale forpligtigelser.'. ISBN: 978-87-7070-149-5.

Danmarks Miljøundersøgelser [2009*b*], *Luftforurenende stoffer*, URL: `http://www.dmu.dk/Luft/Stoffer/`.

Danmarks Miljøundersøgelser [2009*c*], 'Luftforurening med partikler - et sundhedsproblem.'. ISBN: 978-87-7070-126-6.

Danmarks Statistik [2006], *Transportens andel af samtlige nationale udledninger efter tid og stoftype*, URL: http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectVarVal/Define.asp?Maintable=TERM2&PLanguage=0.

Danmarks Statistik [2009*a*], *Bestanden af personbiler pr. 1. januar efter drivmiddel og egenvægt (1993-2009)*, URL: http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectVarVal/Define.asp?MainTable=BIL10&PLanguage=0&PXSId=0.

Danmarks Statistik [2009*b*], *Im- og eksport KN (Kombineret nomenklatur) efter im- og eksport, varer, land og enhed*, URL: http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectVarVal/Define.asp?MainTable=KN8Y&PLanguage=0&PXSId=0.

Den Store Danske [2009], *Turbolader*, URL: http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Energi,_varme_og_k%C3%B8leteknik/Forbr%C3%A6ndingsmotorer,_damp-_og_vandkraft/turbolader.

Emmelev [2010*a*], *100.000 Ha raps*, URL: http://emmelev.dk/?page_id=121.

Emmelev [2010*b*], *Emmelev Biodiesel*, URL: http://emmelev.dk/?page_id=108.

Energiogolieforum.dk [2009], *Benzinens oktantal*, URL: http://www.oliebranchen.dk/Viden/Temaer/Benzin/Artikler/Benzinens%20oktantal.aspx.

Energistyrelsen [2005*a*], 'Analyse vedrørende olie og naturgasressourcer energistyrelsen: baggrundsrapport til energistrategi 2025'. ISBN: 87-7844-530-2.

Energistyrelsen [2005*b*], 'Brintteknologier - strategi for forskning udvikling og demonstration i danmark'. ISBN: 87-7844-522-1.

Energistyrelsen [2007], *Nationale allokeringsplan 2008 - 2012*, URL: http://www.ens.dk/graphics/Energipolitik/dansk_energipolitik/CO2_kvoter/allokering/NAP2_godk.pdf.

Energistyrelsen [2008], *Olieprisens udvikling*, URL: http://www.ens.dk/PublishingImages/Undergrund%20og%20Forsyning/Undergrund/Olie%20og%20gas/Oekonomi_fig/Fig7-2_DK_700px.gif.

Energistyrelsen [2009*a*], 'Danmarks olie- og gasproduktion 2008'. ISBN: 978-87-7844-775-3.

Energistyrelsen [2009*b*], 'Energistatistik 2008'. ISBN: 978-87-7844-807-1.

Erik Quist, R. R. [2009], *Autostart bogen 6 udgave 1. oplag*, Handbook, Erhvervsskolernes forlag. ISBN: 978-87-7082-040-0.

EU [2009], *Bekendtgørelse om biobrændstoffers bæredygtighed*, URL: https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=129358.

Folkecenter [2001], *Planteolier til transport*, URL: http://www.folkecenter.dk/plant-oil/publikation/Raps_Hoering.htm.

Folketinget [2009], *Lov om bæredygtige biobrændstoffer*, URL: http://www.ft.dk/dokumenter/tingdok.aspx?/samling/20081/lovforslag/l181/som_vedtaget.htm.

Frituredyt.dk [2008], *Biodiesel*, URL: http://www.frituredyt.dk/bio1.html.

Geologiportalen [2009], *Oliepriser*, URL: http://www.geologi.dk/oliegas/e2/d24.htm.

IPCC [2007], *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 - Synthesis report.*, URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf.

Jon Starbuck, G. D. H. [2009], *Run your diesel vehicle on biofuels*, Handbook. ISBN: 978-0-07-160043-9.

Karsten H. Jensen, Kathrine A. Thyø, H. W. [2007], *Life Cycle Assessment of Bio-diesel from Animal Fat*, URL: http://www.dakabiodiesel.dk/lib/files.asp?ID=518.

Martin Larsen, V. S. S. [1999], *Køretøjsteknik-Dieselanlæg*, Handbook, Industriens Forlag. ISBN: 87-600-086-0.

Mette Buck Jensen, S. W. [2005], *Brintsamfundet er spild af energi*, URL: http://ing.dk/artikel/66301-brintsamfundet-er-spild-af-energi.

Miljøcenter Århus [2008], Notat om vvm-screening af forsøg med medforbrænding af glycerin på aalborg portlands ovn 87, Technical report, Miljøcenter Århus.

Miljøministeriet [2009], *Euronormer for bedre miljø*, URL: http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Luft/Hvor_kommer_luftforureningen_fra/Biler_busser_og_andre_koeretoejer/Euronormer_for_bedre_miljoe.htm.

Nielsen, M. P. [2006], 'Brint og fremtidens energiteknologier'. FFE&M Blad 44.

NOAA [2010], *CO_2 koncentrationen i marts 2010.*, URL: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/webdata/ccgg/trends/co2_trend_gl.pdf.

Nordjyske Innovations- og Kompetencecenter for Vedvarende Energi [n.d.], Fremtidens energi i region nordjylland, Technical report, NIK-VE.

Oliens Brancheorganisation [2009], *Råolie priser*, URL: http://oliebranchen.dk/da-DK/Priser-og-Forbrug/~/media/grafer/Raaoliepriser/Raaoliepriser_Fra%201987.ashx.

Parr Instrument Company [2010], *6300 Automatic Isoperibol Calorimeter*, URL: http://www.parrinst.com/default.cfm?Page_ID=367.

Rosendahl, L. [2009], Catliq distillate as motor fuel, Technical report, Department of Energi Technology.

Rump, T. [2004], *Maskin Ståbi 9 udgave*, Handbook, Nyt Teknisk Forlag. ISBN 87-571-2547-3.

SCF Technologies [2010], *EUDP Project - Demonstration of sustainable bio oil production using Catliq technology.*

Teknologirådet i 2009 [2009], *Hvidbog om perspektiver for biobrændstoffer i Danmark*, URL: http://www.tekno.dk/pdf/nummer266.pdf.

Teknologisk Institut [2007], *Projekt - Waste to value*, URL: `http://www.teknologisk.dk/projekter/27675`.

Thomas Rump, B. H. [2004], *Varme Ståbi 4. Udgave*, Handbook, Nyt Teknisk forlag. ISBN: 87-571-2546-5.

Transport og Energiministeriet [2005], 'Energistrategi 2025'. ISBN: 87-91511-39-9.

Transportministeriet [2008], 'Nøgletal for transport'. ISBN: 978-87-501-1740-7.

E-mail A

Email fra Oliens brancheorganisation angående svar på, hvilke retninglinjer der gælder for biobrændstofferens oprindelse, til at opfylde 5,75 % biobrændstof i år 2012

Sendt: 3. marts 2010 21:21
Til: Frederikke Elisabeth Johansen; EOF/OFR [ofr@oliebranchen.dk]
Cc: egiB224 [egi2b224@tnb.aau.dk]

Hej Frederikke

Biobrændstofferne skal være bæredygtige for at kunne opfylde loven.

Kriterierne for bæredygtighed er beskrevet i bekendtgørelsen om biobrændstoffers bæredygtighed:

https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=129358

Kriterierne er kopieret fra blandt andet EU's brændstofdirektiv (artikel 7 b)

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0088:0113:DA:PDF

eller fra VE-direktivets artikel 17 (samme tekst som i Brændstofdirektivet)

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DA:PDF

Der er ingen krav til, at biobrændstofferne skal komme fra bestemte lande eller regioner. Hvis producenten/olieselskabet kan dokumentere, at de pågældende biobrændstoffer opfylder de opstillede bæredygtighedskriterier, så er det ligegyldigt, hvilket land biobrændstofferne kommer fra.

Typisk vil bio-ethanol komme fra Brasilien eller Europa (Danmark, Tyskland, Frankrig m.fl.)

Bio-diesel vil typisk komme fra Danmark (for eksempel DAKA biodiesel eller Emmelev Mølle) eller Tyskland som de formentligt største leverandører.

I er velkomne til at vende tilbage, hvis I har andre spørgsmål

Held og lykke med jeres projekt

Med venlig hilsen

Michael Mücke Jensen
Teknik- og miljøchef
Telefon: +45 3345 6514
Mobil: +45 2042 2636

eof energi- og olieforum.dk

Figur A.1. E-mail fra Oliebranchen

Forsøgsbeskrivelser B

B.1 Fremstilling af biodiesel af brugt fritureolie

Filtrering
Lad olien bundfælle i to dage ved stuetemperatur, pump det øverste af olien fra. Filtrer med størrelse 100-200 mikrometer filter, dernæst 50 mikrometer.

Neutralisering - titrering
Olien neutraliseres og renses ved at blive tilsat NaOH og metanol. For at finde ud af, hvor meget NaOH olien skal tilsættes, laves først en titrering.

Materialeliste

- Beskyttelsesbriller
- Nitrill handsker
- Kittel
- Magnetomrører
- Kogeplade og gryde
- Termometer
- 15 liters dunk med taphane
- Pipetter og sprøjter med måleenheder
- Bægerglas til titrering samt til opløsning af NaOH i metanol
- Katalysatorer: NaOH
- Demineraliseret vand
- Isopropyl alkohol
- Indikator: Phenolphtalein
- Metanol

Fremgangsmåde

Olien skal varmes op til 45°C for at gøre processen lettere.

Først laves en katalysator som skal have en styrke på 0,1 % NaOH i 1 liter vand. Dette

gøres ved at blande 1 gram NaOH i 1 liter demineraliseret vand. Beholderen skal være lukket under forløbet.

Under hele forsøget skal man bruge den samme indikator.

Der skal laves en pH-måling på Isopropyl alkoholen, da den kan svinge i pH-værdi. Den skal være neutral (pH 7).

1 ml olie tilsættes 10 ml Isopropyl alkohol samt lidt indikator under omrøring.

NaOH-blandingen tilsæt dråbe for dråbe Isopropyl alkohol-blandingen under omrøring indtil indikatoren skifter farve.

Omrøringen forsætter, og der tilsættes dråbe for dråbe NaOH-blanding indtil farven fastholdes i 30 sekunder.

Dette gennemføres 3 gange, hvorefter gennemsnittet af den tilsatte mængde NaOH beregnes og bruges i efterfølgende trin.

Pr. ml NaOH-blanding som tilsættes, skal der 1 gram NaOH pr liter olie i metanolen.

Almindelig raffineret olie skal bruge 5 g NaOH pr. liter, så vores olie skal have 5 g + antallet af ekstra milliliter NaOH pr. liter olie.

NaOH blandes i 220ml metanol pr. liter olie og rystes i minimum 5 minutter. Efter det er blevet rystet, skal det stå i minimum 8 timer, for glycerinen bundfælder.

Vask olien med vand
For at vaske alle indikatorer og kemikalier ud tilsættes vand, hvorefter olie og vand omrystes og vandet og urenhederne bundfælder. Dette gøres min 3 gange indtil vandet er klart i bunden.

Fjern vandet
Olien varmes op til 105°C, så vandet fordamper. Det må ikke sprøjte eller boble.

Filtrering af slutprodukt Den sidste filtrering skal laves med filter, der kan fjerne partikler på 10 micrometer eller mindre hvis muligt.

[Jon Starbuck, 2009]

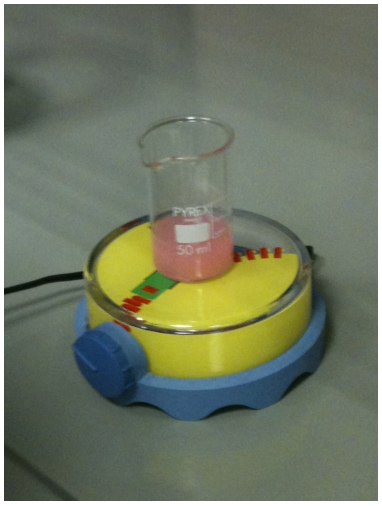
Billeder af forsøg



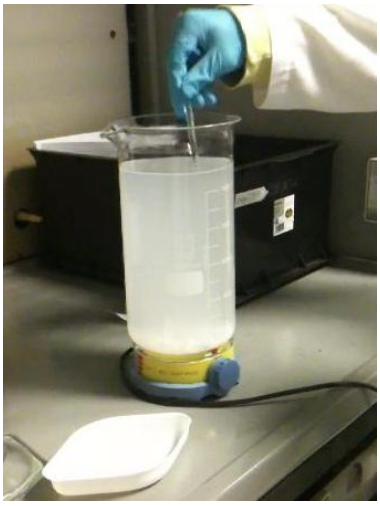
Figur B.1. Trin b: Olien opvarmes til 45°C.



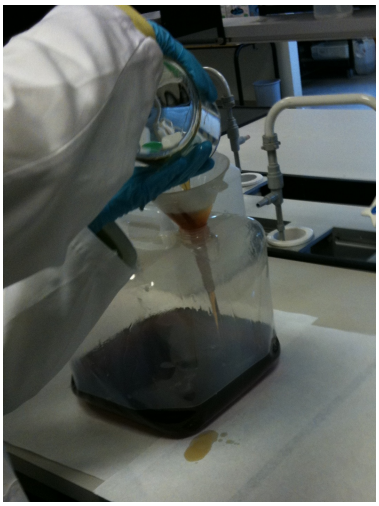
Figur B.2. Trin c: NaOH blandes i demineraliseret vand.



Figur B.3. Trin e: Titrering.



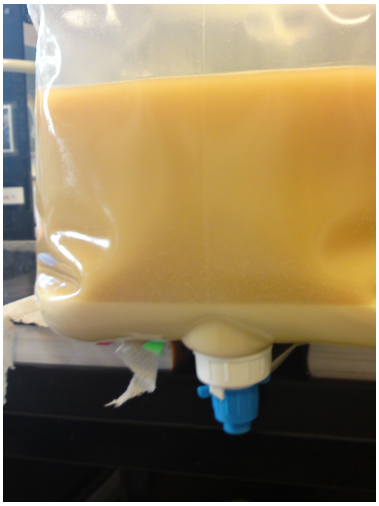
Figur B.4. Trin f: NaOH opløses i metanol.



Figur B.5. Trin g: Olien hældes på dunken med taphane.



Figur B.6. Trin h: Efter metanol og NaOH er tilsat, får olien lov at bundfælde.



Figur B.7. Trin i: Olien vaskes med vand flere gange og bundfælder, til bundfaldet er klart vand.



Figur B.8. Trin j: Olien står uden låg, så det sidste vand kan fordampe.

B.2 Måling af brændværdier

Følgende kapitel er en gennemgang af forsøget, som omhandler måling af brændværdier. Dette forsøg blev udført i et laboratorium hos firmaet Teknos A/S i Vamdrup.

Formål

Forsøgets formål er at bestemme brændværdier for de fire udvalgte brændstoffer. En yderligere brændværdiprøve vil blive bestemt på fossil diesel til sammenligning med biobrændstofferne.

Materialeliste

- Parr 6300 Calorimeter fra Holm og Halby (Bombekalorimeter)
- 4 biobrændstoffer; raffineret rapsolie, raffineret fritureolie, animalsk fedt og rapsolie
- Fossil diesel fra Q8
- Pipetter
- Bomuldssnor
- Digital Mettler toledo vægt med vejehus

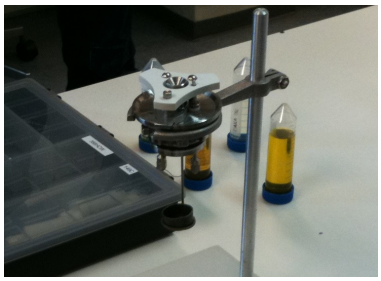
Fremgangsmåde
Først tørres den holder, som brændstoffet anbringes i, figur B.9. Denne holder må ikke være våd, da det bliver sværre at antænde prøven.

Efter aftørringen afvejes en mængde brændstoffet, som ses på figur B.10, på en vægt. Dette skal tastes ind i bombekalorimeteret til udregning af den eksakte brændværdi. Vægten ses på figur B.11.

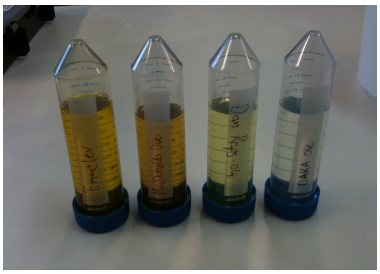
Brændstoffet, som nu er kommet over i en beholder, monteres i holderen, som skal ned i bombekalorimeteret. Bommuldssnoren monteres på en ståltråd over brændstoffet,så den hænger med lidt afstand lige over brændstoffet. Denne snor brændes over og antænder brændstoffet, når en strøm går gennem ståltråden

Efter dette, sættes beholderen med brændstoffet og stofsnoren ned i bombekalorimeteret, som ses på figur B.12.

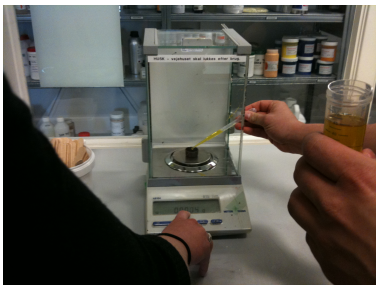
Dernæst indtastes brændstoffets masse og navnet på prøven.



Figur B.9. Opstillingen, hvorpå beholderen med brændstoffet placeres, samt snoren, som skal antænde prøven, påmonteres.



Figur B.10. De fire biobrændstofferne som blev testet hos Teknos A/S.



Figur B.11. Brændslet bliver nøjagtigt opmålt.



Figur B.12. Bombekalorimeteret,Parr 6300 Calorimeter.

B.3 Forsøg med en dieselmotor. Emission, virkningsgrad og pV-diagram

Herunder vil følge en beskrivelse af det forsøg, der har til formål at verificere projektets matematiske model. Forsøget blev ikke fortaget, da motoren var ude af drift.

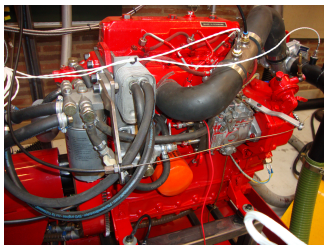
Formål

Forsøgets formål er at bestemme virkningsgraden og emissioner for de fire udvalgte biobrændstoffer. Derudover testes fossil diesel til sammenligning af resultaterne. Resultaterne skal bruges til at verificere den teoretiske model, samt give et indblik i, hvilke ukendte emissioner der må være.

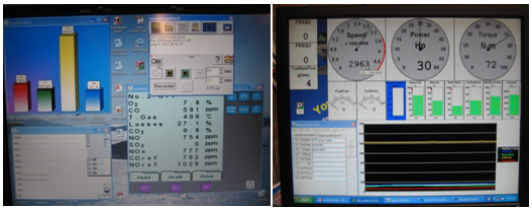
Materialeliste

- Buhk DV 48 ME dieselmotor
- Biokit fra Dajolka påmonteret på Buhk dieselmotor
- Multilyzer NG analyzer til måling af emissioner
- Power analyzer software med XS221 system(omdrejningstal, moment, effekt, temperatur)
- Brændstofforbrug bestemt vha. tab af masse i brændstoftankene
- Computer forbundet med motor
- Raffineret rapsolie (Emmelev)
- Raffineret fritureolie (McDonalds)
- Animalsk fedt (Daka)
- Rapsolie (Danraps)
- Fossil diesel (Q8)

Forsøgsopstilling



Figur B.13. Motoren, som skulle have været brugt til forsøget [Rosendahl, 2009].



Figur B.14. Softwaren, som skulle bruges til at justere omdrejningstallet og aflæse emmissionerne [Rosendahl, 2009].

Fremgangsmåde

Dieselmotoren varmes op i 30 min med fossil diesel fra Q8, da motoren er mere stabil efter kørsel med almindelig diesel. Herefter findes en belastning på motoren, som holdes konstant under hele forsøget. Herefter kan en given mængde biobrændstof tilføres til dieselmotoren, således der køres på rent biobrændstof, og derved kan virkningsgrad og emissioner bestemmes, værdierne gemmes på computeren. Denne proces gentages for alle fire biobrændstoffer.
Endvidere vil biobrændstoffets egenskaber blive undersøgt ved blandingsforhold, 94,25 % fossil diesel og 5,75 % biobrændsstof, derved kan der vurderes på, hvilke indvirkninger dette blandingsforhold vil have for virkningsgraden og emissioner.

Resultater

Forsøget kunne ikke laves, da der var oversvømmelse på AAU Energiteknik den 18. november 2009.

Manual til EES program C

Brugerfladen i programmet består af:

- Elementaranalyse
- Cylinderstørrelse
- Øvrige

Elementaranalysen
Input-mulighederne er Carbon, Hydrogen, Oxygen, Svovl og vand. Tallene skal indtastes i procent og skal tilsammen være så tæt på 100 % som muligt, for at få det bedste resultat. Ud fra elementaranalysen bliver der udregnet en teoretisk brændværdi, så det er ikke nødvendigt at indtaste en brændværdi i brugerfladen.

Cylinderstørrelser
Input-mulighederne er Volumen_1 (Volumen i cylinderen ved start - stemplet er i nedre dødpunkt), Volumen_2 (Volumen når stemplet er i øvre dødpunkt), p_1(Trykket i cylinderen ved start - stemplet er i nedre dødpunkt) og T_1 (Temperaturen i cylinderen ved start - stemplet er i nedre dødpunkt). Disse inputs er en nødvendighed for, at programmet virker, og skal derfor have en værdi.

Øvrige
Input-mulighederne er brændværdi, hastighed (Rounds per minute) og indsprøjtningsforhold (Forholdet mellem luft og brændstof).

Brændværdien bliver kun brugt, hvis der ikke er intastet noget i elementaranalysen.

Kildekode til BEV-modellen D

"!Dieselmotormodel (idealiseret uden varme- og mekaniske tab - arbejdsmediet antages at være luft. Der tages hensyn til variable varmekapaciteter ved kompressions- og ekspansionsprocesserne)"
PROCEDURE brande(hs;Br:bv)
if (hs<1) then a:=Br else a:=hs
bv:=a
END

"!Input"
lambda=1,7
pro=0,01

"!Diverse størrelser"
R_air=R#/molarmass(air) Gaskonstant for luft
m_luft=p[1]*Volumen[1]*convert(cmˆ3;mˆ3)/(R_air*T[1])
Masse af gas under idealgasforudsætning, [kg]

"!Kompressionsproces 1->2"
u[1]=intenergy(air;T=T[1])
v[1]=volume(air;T=T[1];p=p[1]) Specifikt volumen inden kompression [mˆ3/kg]
v[1]/v[2]=Volumen[1]/Volumen[2] Beregning af specifikt volumen ved kompressorudløb [mˆ3/kg]
s[1]=entropy(air;T=T[1];p=p[1]) Entropi ved indløb [kJ/kg*K]
s[2]=s[1] Antag isentropisk kompression
p[2]=pressure(air;v=v[2];s=s[2]) Tryk ved udløb af kompressor, [kPa]
T[2]=temperature(air;v=v[2];s=s[2]) Temperatur ved udløb af kompressor, [K]
h[2]=enthalpy(air;v=v[2];s=s[2]) Specifik entalpi ved udløb af kompressor, [kJ/kg]

"!Varmetilførsel ved konstant tryk"
p[3]=p[2] Isobar varmetilførsel
v[3]/v[2]=Volumen[3]/Volumen[2] Volumenforhold - beregning af v[3]
T[3]=temperature(air;p=p[3];v=v[3]) Temperatur efter varmetilførsel, [K]

h[3]=enthalpy(air;v=v[3];p=p[3]) Specifik entalpi efter varmetilførsel, [kJ/kg]
Q_ind=m_luft*(h[3]-h[2]) Tilført varme fra forbrændingsproces, [kJ]

"!Ekspansionsproces ved konstant volumen"
v[4]=v[1] Isochor ekspansionsproces
s[3]=entropy(air;v=v[3];p=p[3]) Entropi efter varmetilførsel, [kJ/kg*K]
s[4]=s[3] Antagelse om isentropisk ekspansion
p[4]=pressure(air;v=v[4];s=s[4]) Tryk efter ekspansion, [kPa]
u[4]=intenergy(air;v=v[4];s=s[4]) Specifik indre energi efter ekspansion, [kJ/kg]
T[4]=temperature(air;v=v[4];s=s[4]) Temperatur efter ekspansion, [K]
Q_ud=m_luft*(u[4]-u[1]) Afgivet arbejde, [kJ]
W_net_arbejde=Q_ind-Q_ud Net arbejdsoutput fra proces, [kJ]

"!Resultater vedrørende virkningsgrad og motoreffekt"
Q_ind=m_diesel*bv*convert(MJ/kg;kJ/kg) Relater Q_ind til faktuelt brændstofinputenergi, [kJ]
m_diesel=m_luft/bra Brændstofandel i cylinderen - ikke korrigeret for volumetrisk virkningsgrad, [kg]
m_dot_diesel=(rpm/60)*m_diesel Tilført massestrøm af brændstof per sekund [kg/s]
eta_motor=convert('-';'%')*W_net_arbejde/Q_ind Motorens teoretiske virkningsgrad (fraregnet varmetab og mekaniske tab), [-]
W_dot_motor=(W_net_arbejde/m_luft)*m_dot_diesel
W_dot_motor_hk=W_dot_motor*convert(kW;hp)

"!Udregner Emissioner:"
Lmin=1,86*((c*pro)+5,55*(h*pro)+0,7*(s*pro)-0,7*(o*pro))/0,21Luftforbruget[mˆ3 pr. kg Brændsel]
vCO2=((c*pro)/12,0112)*22,26Volumen af CO2 i røggassen [mˆ3 pr. kg Brændsel]
mCO2=vCO2*1,9768massen af CO2 i røggassen [kg/kg brændsel]
vH2O=((h*pro)/2,0158)*22,4+1,24*(w*pro)Volumen af H2O i røggassen [mˆ3 pr. kg Brændsel]
mH2O=vH2O*0,804massen af HO2 i røggassen [kg/kg brændsel]
vSO2=((s*pro)/32,064)*21,89Volumen af SO2 i røggassen [mˆ3 pr. kg Brændsel]
mSO2=vSO2*2,9263massen af SO2 i røggassen [kg/kg brændsel]
vN2=0,79*lambda*LminVolumen af N2 i røggassen
mN2=vN2*1,2505massen af N2 i røggassen [kg/kg brændsel]
vO2=0,21*(lambda-1)*LminVolumen af O2 i røggassen [mˆ3 pr. kg Brændsel]
mO2=vO2*1,42895massen af O2 i røggassen [kg/kg brændsel]

"!Uregning af tør og fugtig røggas"
vt=vCO2+vSO2+vN2+vO2Volumen af tør røggas [mˆ3 pr. kg Brændsel]
vf=vt+vH2OVolumen af fugtig røggas [mˆ3 pr. kg Brændsel]

"!Udregn kuldioxid CO2 i den tørre røggas udregnes i procent"
CO2t=vCO2/vt

”!Brændværdi”
HHV=(337*c-126*o+1420*h+93*s)/1000 Øvre brændværdi [MJ/kg]

”!Procedure”
CALL brande(HHV;Br:bv)

Produktionsdiagrammer over biobrændstoffer

E

Daka Produktion		**Stof**
Input	Råmateriale	Animalsk fedt
		Metanol
	Katalysatorer	H_2SO_4 (96 %)
		KOH (88 %)
		H_3PO_4 (75 %)
		Nitrogen
		Vand
	Energi	Elektricitet
		Transport
		Naturgas/glycerin
Output	Produkter	Biodiesel
		Katalysatorrest
		Glycerin
		Destillationsrest
	Restprodukt (vand)	Vand
		Metanol
		Metylester
		COD
	Restprodukt (luft)	Nitrogen
		Metanol

Tabel E.1. Materialer til produktionen af Daka biodiesel, andre produkter samt restprodukter.

Emmelev produktion		**Stof**
Input	Råmateriale	Raps
	Gødning	Gødning N
		Gødning P
		Gødning K
		Pesticider
		Vand
	Energi	Brændstof til dyrkningsmaskiner
		Transport
Mellemled 1	Produkter	Rapsfrø
		Rapshalm
	Restprodukt (luft)	NH_3
		N_2O
		NO
		CO_2
	Restprodukt (vand)	Nitrogen
Mellemled 2	Råmateriale	Rapsolie
	Katalysatorer	H_2SO_4 (96 %)
		KOH (88 %)
		H_3PO_4 (75 %)
		Nitrogen
		Vand
	Energi	Elektricitet
		Naturgas/glycerin
Output	Produkter	RME biodiesel
		Katalysatorrest
		Glycerin
	Restprodukt (vand)	Vand
	Restprodukt (luft)	Nitrogen
		Metanol

Tabel E.2. Materialer ved produktion af rapsolie, raffinering af Emmelev biodiesel og produkt samt restprodukter.

Rapsolie produktion		**Stof**
Input	Råmateriale	Rapsfrø
	Gødning	Gødning N
		Gødning P
		Gødning K
		Pesticider
		Vand
	Energi	Brændstof til landbrugsmaskiner
		Transport
Mellemled	Produkter	Rapsfrø
		Rapshalm
	Restprodukt (luft)	NH_3
		N_2O
		NO
		CO_2
	Restprodukt (vand)	Nitrogen
Output	Produkt	Rapskage
		Rapsolie
		Vand

Tabel E.3. Materialer ved produktion af DanRaps-olie.

Fritureolie produktion		**Stof**
Input	Råmateriale	Fritureolie
		Metanol
	Tilsætningstoffer	Phenolphthalein
		NaOH
		Isopropyl alkohol
		Vand
	Energi	Elektricitet
		Transport
Output	Produkter	Biodiesel
		Katalyseatorrest
		Glycerin
		Partikler
	Restprodukt (vand)	Vand

Tabel E.4. Materialer ved produktion af biodiesel lavet af McDonalds fritureolie [Jon Starbuck, 2009].

SCF bio-olie produktion		**Stof**
Input	Råmateriale	Slam
		Vand(H_2O)
	Katalyser	KOH (Homogen)
		ZrO_2 (Heterogen)
	Energi	Elektricitet
		Tryk (250 bar)
		Varme (300-370 ° C)
		Transport
Output	Produkter	Bio-olie
		Aske
		Katalysatorrest
	Restprodukt (vand)	Vand med organiske produkter
	Restprodukt (luft)	Gas(CO_2, H_2, CH_4)

Tabel E.5. Materialer ved produktion af biodiesel lavet af slam.