

SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU

**OPINNÄYTETYÖ**

Toni Heikinmäki

**BIODIESELIN KÄYTTÖ DIESELMOOTTOREISSA**

Tekniikan Porin yksikkö  
ENERGIA- JA LAIVAKONETEKNIIKAN  
KOULUTUSOHJELMA  
Energiatekniikan suuntautumisvaihtoehto  
2006

## TIIVISTELMÄ

### BIODIESELIN KÄYTTÖ DIESELMOOTTOREISSA

Toni Petteri Heikinmäki  
Satakunnan Ammattikorkeakoulu  
Energia- ja Laivakonetekniikan koulutusohjelma  
Energiatekniikan suuntautumisvaihtoehto  
Tekniikan Porin yksikkö  
Tekniikantie 2  
28600 PORI  
Toimeksiantaja: Erämaavirta Oy  
Marraskuu 2006  
Opinnäytetyön valvoja: lehtori, TkL Pekka Zenger  
Opinnäytetyön ohjaaja: toimitusjohtaja, Ville Erämaavirta  
Opinnäytetyön sivumäärä: 29  
UDK: 621.436, 629.063, 665.75  
Asiasanat: bioenergia, polttoaineet, polttomoottorit

Tämän työn tavoitteena oli koota tiivis aineisto biodieselistä, sen käytöstä sekä valmistuksesta ja suorittaa tutkimuksia oppilaitoksemme diesel-laboratoriossa, biodieselin ja dieselin välisinä vertailukokeina. Vertailukokeet suoritettiin Satakunnan Ammattikorkeakoulun tekniikan Porin yksikössä.

Tämä työ jakautuu kahteen eri osioon kirjalliseen tutkimukseen sekä kokeellisiin testeihin.

Kokeellisen osion perusteella, sekä niistä saaduista tuloksista voidaan todeta, ettei biodieselin käytölle dieselmoottorissa ole niiden osalta mitään estettä.

## ABSTRACT

### BIODIESEL USE IN DIESEL ENGINES

Toni Petteri Heikinmäki  
Satakunta University of Applied Sciences  
School of technology, Pori  
Degree Programme in Energy Technology  
Commissioned by: Erämaavirta Oy  
November 2006  
Tutor: Lecturer, LicTech. Pekka Zenger  
Supervisor: General Manager, Ville Erämaavirta  
Number of pages: 29  
UDK: 621.436, 629.063, 665.75  
Keywords: bio energy, fuels, combustion engines

The purpose of this thesis was to collect a compact material of biodiesel, using of it, making of it and accomplish researches in a diesel laboratory of our institute. These researches was made as a comparison tests between biodiesel and diesel. Comparison tests was made in Satakunta University of Applied Sciences, school of technology in Pori.

This thesis is been divided to two separate sectors, literary research and experimental tests.

Based on the experimental tests, and its results, can be pointed out that there is no obstacles of using biodiesel in diesel engines.

## ALKULAUSE

Opinnäytetyö on tehty Erämaavirta Oy:n toimeksiannosta. Kiitokset haluan osoittaa Erämaavirta Oy:lle sekä ohjaavalle opettajalleni Pekka Zengerille, joiden kanssa tekemäni yhteistyö on ollut toimivaa.

Työn suorittamisessa avustaneita henkilöitä, Jukka Lehtistä sekä Teemu Lähdekorpea tahdon kiittää toimivasta avusta mittauksen suorittamisessa. Erityskiitoksen tahdon osoittaa koulumme laboratorioinsinöörille Pekka Anttoselle, käytössä ilmenneiden ongelmatilanteiden selvittämiseen annetusta ammattimaisesta avusta.

Lisäksi osoitan kiitokseni vaimolleni Meriannalle, joka on jaksanut kannustaa opiskeluissani silloinkin kun oma innostus on ollut puutteellista. Lisäksi kiitän myös muita tämän opinnäytetyön kanssa tekemisissä olleita ja sen valmistumisessa auttaneita tahoja.

Tämä työ oli monipuolinen ja sitä on ollut ilo tehdä. Oma kiinnostukseni biopolttoaineita kohtaan lisääntyi työn myötä ja jäänkin innolla seuraamaan biopolttoaineiden käytön kehittymistä kotimaassamme.

Porissa 9. päivänä marraskuuta 2006

Toni Heikinmäki

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
ALKULAUSE  
SISÄLLYS

<b>1 TERMISTÖ</b> .....	<b>6</b>
<b>2 JOHDANTO</b> .....	<b>7</b>
<b>3 BIOPOLTTOAINEET</b> .....	<b>8</b>
<b>4 BIODIESEL</b> .....	<b>8</b>
4.1 BIODIESELIN OMINAISUUKSIA.....	9
4.2 BIODIESELIN VALMISTUSTAVAT .....	10
4.3 HUOMIOITAVIA ASIOITA BIODIESEL KÄYTÖSSÄ .....	11
<b>5 ESTERÖINTIPROSESSI</b> .....	<b>12</b>
5.1 ESTERÖINTIPROSESSIN KULKU .....	13
<b>6 KOEKÄYTTÖ JA LASKELMAT</b> .....	<b>15</b>
6.1 TUTKIMUSMOOTTORI JA TESTAUSJÄRJESTELY .....	15
6.2 KOKEIDEN SUORITUS .....	16
6.2 KOKEIDEN SUORITUS .....	17
6.3 TESTIAJON KUVAUS .....	20
6.4 LASKELMAT .....	21
<b>7 TULOKSET</b> .....	<b>24</b>
7.1 PÄÄSTÖMITTAUKSET .....	28
<b>8 LOPPUYHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>29</b>
<b>LÄHDELUETTELO</b> .....	<b>30</b>
<b>LIITELUETTELO</b> .....	<b>30</b>

# 1 TERMISTÖ

biopolttoaine	biomassasta eli eloperäisestä aineesta valmistettu polttoaine
biodiesel	kasviöljypohjainen biopolttoaine
FAME	yleisnimitys rasvahappojen metyyliestereille
RME	rypsi metyyli esteri
diesel	tässä työssä sanalla diesel käsitetään perinteistä maaöljypohjaista diesel polttoainetta

## 2 JOHDANTO

Energiakriisit 1970-luvulla ovat saaneet ihmiskunnan pohtimaan uusia vaihtoehtoisia energiamuotoja. Öljyn pelättiin loppuvan ja tämä nosti öljyn hintaa. Tämä öljyn loppumisen pelko ja sen skenaariot ovat tänäkin päivänä aikaansaaneet sen, että ihmiskunta etsii keinoja vaihtoehtoisten energialähteiden hyödyntämiseen. Lisäksi erityisesti vuosituhanen vaihteessa kuvaan on astunut tietoisuus nykyisten energialähteiden vaikutuksista ympäristöömme ja sitä kautta tulevaisuuteen.

Erityisesti 2000-luvulla ovat pinnalle nousseet kysymykset uusiutuvista bioenergiälähteistä. Näistä on löytynyt monia toimivia sovelluksia, niin teollisuus kuin yksityiskäyttöönkin. Muutamia mainitakseni esimerkiksi peltobiomassat, joita kyetään käyttämään voimalaitoskattiloissa, kaura jota voidaan polttaa kotoisissa hakekattiloissa ja biodiesel, esteri jota voidaan hyödyntää niin kodin öljykattilassa kuin dieselmootoreiden polttoaineena.

Tämän työn tarkoituksena on ollut koota yleishyödyllinen tietopaketti biodieselistä, sen käytöstä ja suorittaa tutkimuksia oppilaitoksemme moottorilaboratoriossa, työni teettäjän Erämaavirta Oy:n valmistamalla biodieselillä. Laboratoriotestaukset on suoritettu kahden eri polttoaineen välisinä vertailukokeina.

### 3 BIOPOLTTOAINEET

Biopolttoaineiden suosio on ollut jatkuvassa kasvussa. Eikä suotta sillä niillä on todettu olevan monia ympäristön ja sitä kautta kestävän kehityksen kannalta suosiollisia ominaisuuksia. Ne ovat uusiutuvia energialähteitä toisin kuin öljy, kivihiihi, uraani, turve jne., jotka katsotaan kuuluvan uusiutumattomiksi niiden todella hitaan kehittymisen vuoksi. Lisäksi biopolttoaineiden katsotaan vähentävän hiilidioksidipäästöjä, koska ne uusiutuessaan varastoivat saman määrän hiilidioksidia, kuin niiden poltossa vapautuu. Tosin täytyy todeta uusimman tutkimustiedon sanovan toista. Tuore VTT:n ja MTT:n tutkimus paljastaa, että mikäli huomioidaan biopolttoaineen tuotanto sekä käyttö, niin kasvihuonepäästöt voivat jopa lisääntyä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Tutkimuksen mukaan biopolttoaineiden tuotanto kulutti 3-5 kertaa enemmän energiaa polttoaineen energiasisältöä kohti kuin fossiilisten polttoaineiden tuotanto./1/

### 4 BIODIESEL

Toisinkuin monesti luullaan biodiesel ei sinällään ole uusi keksintö. Rudolf Diesel (1858–1913) kehitti ensimmäisen maapähkinäöljyllä käyvän moottorin Pariisin 1900 maailman näyttelyyn. Myöhemmin hän totesi että, kasviöljyjen käyttö jäänee melko vähäiseksi, mutta ne saattavat myöhemmin tulla yhtä tärkeiksi, kuin fossiilisetkin polttoaineet.

Biodieseliä valmistetaan yleisimmin rypsiä tai rapsista, muita raaka-aineita voivat olla mm. auringonkukkaöljy, soijaöljy, palmuöljy (ei täytä eurooppalaisen biodieselnormin vaatimuksia) sekä myös ravintoloiden ja elintarviketeollisuuden käytetyt kasviöljyt. Lisäksi on tutkittu eläinrasvojen soveltuvuutta raaka-aineeksi. Lopputuotteen ominaisuudet ovat melko samanlaiset, huolimatta siitä mitä esimerkiksi edellä mainituista on käytetty raaka-aineena./2/



Kasviöljyt eivät sinällään sovellu liikennepolttoaineiksi. Siksi ne täytyy käsitellä ns. esteröintiprosessissa. Kasviöljyt vaihtoesteröidään alkoholin kanssa viskositeetin ja kylmäominaisuuksien säätämiseksi dieselkäyttöön soveltuvaksi. Vaihtoesteröintiin käytetään yleensä metanolia (etanolia voidaan myös käyttää, mutta se on hinnaltaan metanolia kalliimpaa), jolloin kasviöljyjen rasvahapot ja metanoli reagoivat muodostaen rasvahappojen metyyliestereitä, ns. biodieseliä, sekä glyserolia. FAME on yleisnimitys rasvahappojen metyyliestereille./2/ Usein kuulee biodieselistä puhuttaessa käytettävän lyhennettä RME, joka ei sinällään ole väärin, mutta tällöin tarkoitetaan ainoastaan Rypsi Metyyli Esteriä (joka on siis rypsin esteröinnin tuote).



Kuva 4.0 Diesel ja biodieselnäytteet

#### 4.1 Biodieselin ominaisuuksia

Parhaat ominaisuudet ovat rypsi- tai rapsiöljyistä valmistetuilla biodieseleillä. Auringonkukka- ja soijaöljyistä valmistetuilla biodieseleillä rajoittavana

ominaisuutena on usein jodi-arvo ja palmuöljystä valmistetulla kylmäkäyttöominaisuudet (CFPP Cold Filter Plugging Point)./2/

Näiden kylmäkäyttöominaisuuksien on havaittu olevan huomattavasti normaalia dieselöljyä heikkomat muillakin estereillä, kuin vain palmuöljystä tuotetulla. Tätä ominaisuutta parantamaan on biodieseleille kehitetty ja valmistettu omia ”pakkasen” estoaineita, joilla päästään kelpollisiin kylmänkesto-ominaisuuksiin.

Muita heikohkoja ominaisuuksia estereillä on varastostabiilisuuden heikkous, sekä taipumus vaahtoamiseen tankattaessa. Varastoinnin kestävyttä voidaan parantaa kiinnittämällä huomiota raaka-aineiden laatuun ja kestävyteen koko tuotantoprosessin aikana. Vaahtoamisen estämiseksi on taas kehitetty omia lisäaineita./3/

Kasviöljyestereillä on todettu olevan paremmat voiteluominaisuudet kuin perusdieseleillä, ja tämä edesauttaa moottorin suojausta kulumista vastaan, esimerkkinä ruiskutuspumput /2/. Huonona puolena voidaan mainita kasviöljyestereille taipumus pitkäaikaisessa käytössä haurastuttaa luonnonkumia, ja täten siitä valmistettuja tiivisteitä. Ongelma poistuu vaihtamalla tiivisteet muovisiksi.

## 4.2 Biodieselin valmistustavat

Biodieseliä voidaan valmistaa esteröimällä. Esteröintiprosessia kuvataan myöhemmin tässä työssä hieman tarkemmin.

Esteröinnin lisäksi biodieselin valmistamiseksi on tutkittu muitakin keinoja. Neste Oil Oyj on mm. rakentamassa Suomeen biodiesellaitosta, jonka toiminta perustuu esteröinnin sijasta hiilivetyjen tuottamiseen, kuten perinteisissä

maaöljypohjaisissa diesellaaduissa. Tuote kulkee kauppanimellä NExBTL-biodiesel ja tulee markkinoille kesällä 2007./2/4/

Toinen ns. ”toisen sukupolven” biodiesel on Fischer-Tropsch-synteesin avulla synteetikaasusta valmistettava polttoaine. Synteetikaasu on hiilimonoksidin ja vedyn seos. Suomessa potentiaalisia FT-dieselin raaka-aineita ovat metsätähde, turva ja peltobiomassat

### 4.3 Huomioitavia asioita biodiesel käytössä

Biodieselillä on erinomaiset liuotinominaisuudet. Siksi siirryttäessä käyttämään polttoainesekoitetta tai puhdasta biodieseliä, saattaa moottorin polttoainesuodatin likaantua tavallista nopeammin, varsinkin alkuvaiheessa muutosta. Tämä johtuu siitä, että normaalista dieselistä jää epäpuhtauksia tankin ja putkistojen pohjille, jotka biodiesel siten liuottaa mukaansa. Tämä liuotinominaisuus tulee huomioida myös esimerkiksi maalipintojen kanssa, ja pyyhkiä roiskeet välittömästi mikäli näitä ilmenee. Biodieselin pyyhkimiseen käytettyjen rätien tms. varastoinnissa tulee toimia kuten muunkin öljyisen jätteen kanssa.

Mikäli polttoaineseoksessa käytetään yli 20 % biodieseliä, tulee polttoainepuolen luonnonkumiset letkut ja tiivisteet vaihtaa biodieselille soveltuviksi. Tämä johtuu biodieselin taipumuksesta ”haperoittaa” sekä pehmentää näitä materiaaleja.

Mikäli polttoainetta käytetään kylmissä oloissa, tulee varmistua, että siihen on lisätty oikeat lisäaineet kylmäominaisuuksien parantamiseksi.

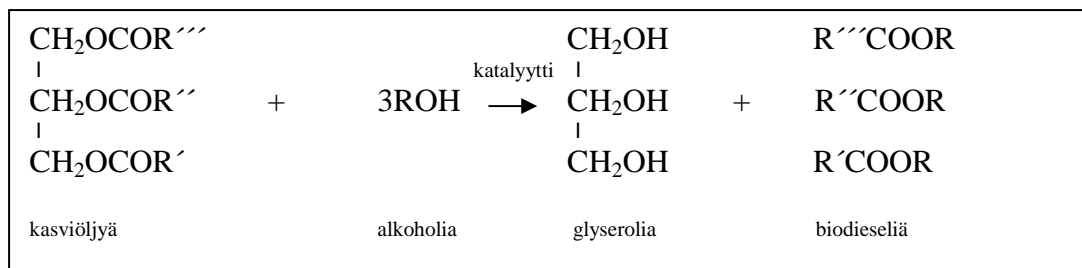
Polttoainetta tulisi säilyttää puhtaassa, kuivassa sekä pimeässä tilassa. Suositeltavia tankkimateriaaleja säilytykseen ovat teräs, alumiini, fluoripinnoitettu polyetyleni sekä polypropyleeni ja teflon. Mikäli biodieseliä varastoidaan

kauemmin kuin puoli vuotta tulee sen happamuus mitata tai valmistus vaiheessa lisätä siihen varastointia parantavia lisäaineita./5/

## 5 ESTERÖINTIPROSESSI

Tässä osiossa on tarkoitus selvittää esteröintiprosessin kulku pääpiirteittäin. Rasvahappometyyliesterin valmistusta kutsutaan transesterifikaatioksi (*transesterification*), eli tutummin esterinvaihtoprosessiksi. Tämä prosessi on suosittu, koska prosessi ei vaadi korkeita lämpötiloja ja paineita. Lisäksi prosessin hyötysuhde (raaka-aine/lopputuote) on korkea, sekä sivutuotteet ovat vähäiset ja reaktioaika varsin lyhyt./6/

Esteröintiprosessi on selvitetty alla:



Kuva 5.0 Esteröintiprosessi/6/

## 5.1 Esteröintiprosessin kulku

Tässä esteröintiprosessin kuvauksessa voidaan olettaa alkoholin olevan esimerkiksi metanolia ja katalyytin lipeää (NaOH).

### Alkoholin ja katalyytin sekoitus

Lyhytkejuinen alkoholi sekä katalyytti sekoitetaan tasaiseksi seokseksi /6/.

### Reaktio

Alkoholi-katalyyttiseos johdetaan reaktiosäiliöön, jonka jälkeen joukkoon lisätään prosessissa käytettävä rasva. Säiliön täytyy olla täysin tiivis, jotta estetään alkoholin haihtuminen sekä epäpuhtauksien pääsy säiliöön. Reaktioseoksen lämpötilaa pidetään alkoholin kiehumispisteen yläpuolella (78.3°C), reaktion nopeuttamiseksi./6/

Käytettävän rasvan kohdalla täytyy olla tarkkana sen vesipitoisuuden sekä vapaiden rasvahappojen kanssa. Mikäli nämä määrät ovat liian korkeita, tulee ongelmia saippuan muodostuksen kanssa ja glyserolin/lopputuotteen erottuminen heikkenee./6/

### Erotus

Reaktion valmistuttua on säiliöön erottunut kaksi selvästi havaittavaa nestekerrosta: glyseroli ja biodiesel. Molemmissa aineissa on vielä reaktion jäljiltä huomattava määrä käytettyä alkoholia. Reaktion jälkeinen seos voidaan tässä vaiheessa vielä neutralisoida, mikäli tarpeellista. Glyseroli on suuremman tiheydensä vuoksi säiliön pohjimmaisena, siksi se onkin helppo erottaa biodieselistä esimerkiksi pohjaventtiilin kautta pois valuttamalla. Myös separaattoria voidaan käyttää seoksen nopeampaa erottelua varten./6/

### Alkoholin poisto

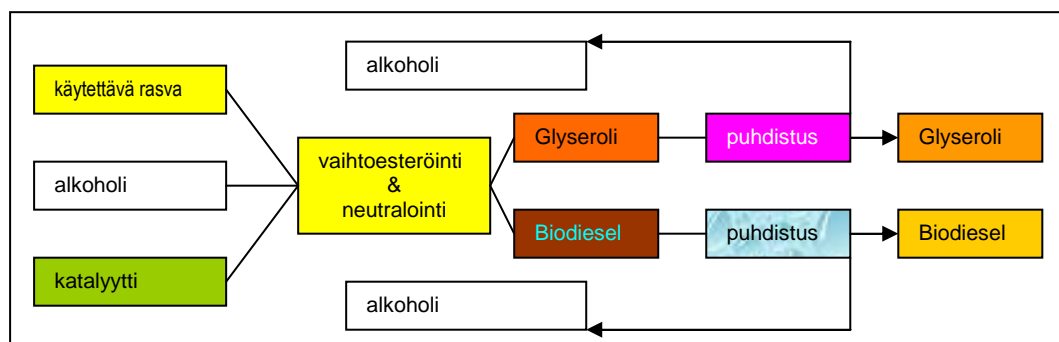
Biodiesel ja glyseroli faasien erotuksen jälkeen, poistetaan molemmista faaseista ylimääräinen alkoholi esimerkiksi tislamalla. Muita tapoja on esimerkiksi aiemmin mainittu neutralointi ennen faasien erottamista./6/

### Glyserolin neutralisointi

Sivutuote-glyseroli sisältää käyttämättömiä katalyyttejä sekä saippuonia, jotka on neutraloitu hapolla. Joissain tapauksissa tähän faasiin kerääntynyt suola voidaan käyttää lannoitteena. Veden ja alkoholin poiston jälkeen voidaan glyserolia(80%–88%) käyttää raakaglyserolina./6/

### Metyyli esterin pesu

Faasien erottamisen jälkeen saatu biodiesel pestään vedellä, jolloin varmistetaan jäännös katalyytin ja saippuan poistuminen. tämän jälkeen polttoaine ”kuivataan” ja varastoidaan./6/



Kuva 5.1 Biodieselin valmistuksen peruskaavio

Tärkeimpiä huomioitavia asioita biodiesel-tuotannossa ongelmattoman diesel-käytön varmistamiseksi ovat:

- Yhtenäinen, täydellinen, aukoton reaktio
- Glyserolin poisto
- Katalyytin poisto
- Alkoholin poisto
- Vapaiden rasvahappojen poissaolo

## 6 KOEKÄYTTÖ JA LASKELMAT

Omakohtainen biodieselin käyttö sekä tutkimus päätettiin suorittaa biodieselin sekä dieselin vertailukokeena koulumme moottori laboratoriossa. Työn tavoitteena oli tuottaa tietoa kotivalmisteisen biodieselin toiminnasta diesel-käytössä, niin käytön aikana tehtyjen havaintojen perusteella, kuin laskelmienkin kautta.

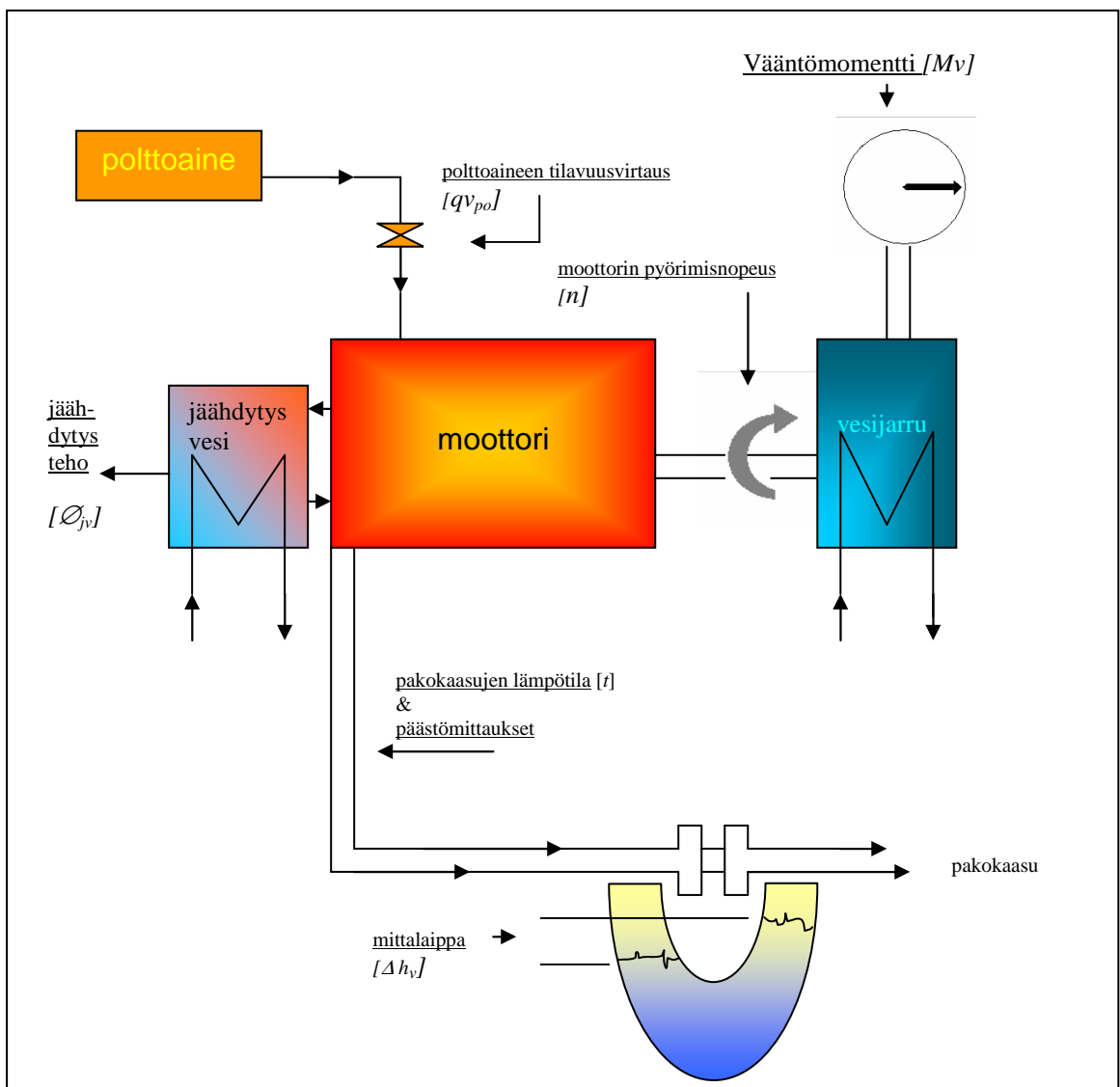
### 6.1 Tutkimusmoottori ja testausjärjestely

Testimoottorina työssä toimi Valmet 411 ASA. Moottorin tarkemmat tiedot ovat seuraavassa taulukossa, sekä liitteessä tämän työn lopussa (Liite1).

Taulukko 6.1. Tutkimus moottorin tietoja

Moottorityyppi	Valmet 411 ASA
Toimintaperiaate	4-tahtinen, puristus sytytteinen
Sylinterilukumäärä	4
Sylinteritilavuus	4180cm <sup>2</sup>
Suurin kierros-luku	2600 r/min
Suurin teho SAE	92 kW
Puristussuhde	17
Sylinterihalkaisija/iskun pituus	108mm/114mm

Alla on (Kuva 6.1) kuvattu dieselmoottorilaboratorion testausjärjestely.

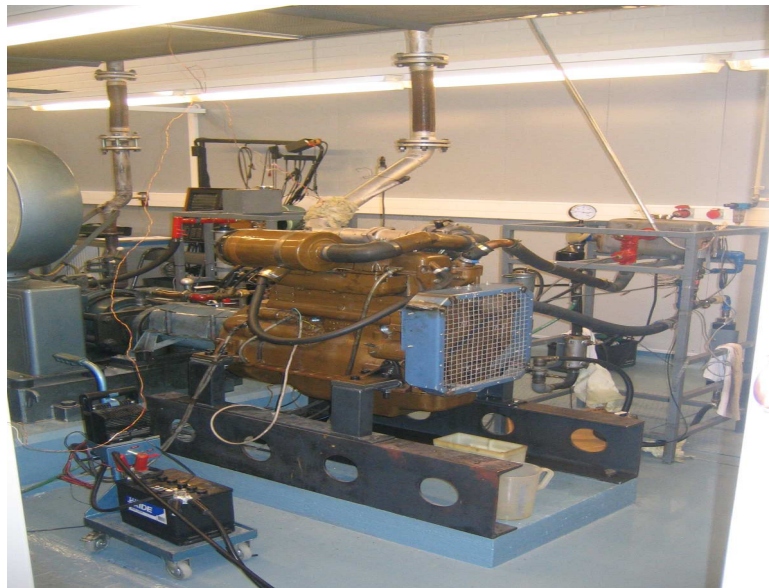


Kuva 6.1. Dieselmoottorin testausjärjestely



## 6.2 Kokeiden suoritus

Kokeet suoritettiin kahden eri polttoainetyypin vertailukäyttönä. Polttoaineina toimivat työni teettäjän valmistama biodiesel, jonka valmistuksen raaka-aineina oli hyödynnetty elintarviketeollisuuden käytettyjä kasviöljyjä. Vertailupolttoaineeksi valittiin Neste Oyj:n kesälaadun diesel polttoainetta.



Kuva 6.2.0 Testimoottori, Valmet 411 ASA

Kokeiden suoritusten pohjana toimi SAMK:in energiatekniikan laboratoriotyö, polttomoottorit. Tämän pohjalta tehtiin mittapöytäkirjat (Liitteet 2 & 3), joihin käytön aikaiset mittaustulokset kirjattiin. Tämän lisäksi katsottiin hyväksi ottaa päästömittaukset (Liite 5) erillisillä käyttökerroilla. Nämä erilliset käyttökerrat molemmille polttoaineille suoritettiin mahdollisimman tasaisilla kuormilla, jotta välttyttiin päästöjenmittauslaitteiston nokeentumiselta.

Molempien polttoaineiden kohdalla noudatettiin samaa ajojärjestelyä. Ensimmäiseksi käytettiin normaalia dieseliä, jonka jälkeen biodieseliä:

- koneen lämmitysajo
- koneen mittaus ajo
- päästöjenmittausajo



Kuva 6.2.1 Biodiesel mittalasisissa

Koneen mittausajo suoritettiin molemmille polttoaineille kolme kertaa. Kolmannella käyttökerralla ajettiin kolmen eri kierrosluvun arvot. Tämän kolmannen ajon tarkoitus oli näyttää, kumman arvot kahdesta ensimmäisestä käyttökerrasta olivat luotettavimmat.

Kun molempien polttoaineiden mittausajot olivat suoritettu, asennettiin päästöjenmittauslaite (Testo 300M), ja annettiin moottorin hieman samanaikaisesti jäähtyä. Päästöjenmittausajo suoritettiin kierrosluvulla 2000 1/min, vesijarrulla säädetyin kuorman ollessa 274 Nm. Polttoaineen kulutus oli tällä tehoalueella mittauksen keskiluokkaa. Päästöjen mittaukset suoritettiin järjestyksessä, biodiesel-diesel. Siihen miksi päädyin näihin testausjärjestelyihin oli useita syitä. Seuraavassa niistä muutamia:

- Järjestys minimoi polttoaineiden vaihdot kesken testausten, koska polttoaineet vaihdettiin ns. ”lennosta”.
- Ajamalla päästömittaukset peräkkäin testin loppuun säästyttiin testilaitteiston edestakaiselta asentamiselta.
- Järjestys mahdollisti sen, että viimeinen päästöjenmittausajo dieselille toimi samalla vaadittuna ”puhdistus” ajona moottorille.

Biodieselkokeiden päätteeksi koneelle suoritettiin ns. puhdistusajo normaalilla dieselillä. Puhdistusajon tarkoituksena oli huuhdella moottori biodieselistä. Katsoimme kokeiden keston olevan sen verran lyhytaikaista, ettei ollut tarpeellista vaihtaa koneen polttoainepuolen tiivisteitä, putkia yms.

Kuvasta 6.2.2 on nähtävillä koekäyttöpulpetti, mittalasi (joista oikeanpuoleinen dieselmoottorin, kuten myös oikeanpuoleinen kaasuvipu), taustalla näkyy myös vesijarrun näyttö, jonka kuormitusta ohjataan pulpetilta.



Kuva 6.2.2. Koekäyttöpulpetti

### 6.3 Testiajon kuvaus

Testiajojen aikaiset mittaukset suoritetaan kolmesta eri pisteestä. Varsinainen ajo suoritetaan koekäyttöpulpetilta, siitä hallitaan niin koneen käynnistäminen, kierrosluvun säätö kuin kuorman vaihtelutkin. Koneen käyttäjä operoi polttoaineen syöttöä ja ajanottoa sekä havainnoi koneen kierrosluvun sekä kuorman ja ilmoittaa arvot kirjurille. Näiden lisäksi tulee hänen valvoa koneen muitakin toiminta-arvoja joita ei ajon aikana kirjata ylös. Kirjurin tehtävänä on toiminta-arvojen ylöskirjaamisen lisäksi havainnoida pakokaasujen lämpötilat koneella, sekä koneen ottama jäähdytysteho. Näiden kahden lisäksi mittaa kolmas henkilö mittalaipalla sijaitsevan U-putkimanometrin vesipatsaiden korkeuseron, sekä kirjaa ylös pakokaasujen lämpötilan mittalaipalla.



Kuva 6.3 Vesijarru sekä U-putki

## 6.4 Laskelmat

Koekäyttöjen pohjalta tehtyjen laskelmien avulla saatiin selvitettyä moottorin tehojakaumat sekä polttoaineenkulutus. Laskelmissa esiintyvät epätarkkuudet ovat harkittuja, johtuen lähinnä siitä ettei koulullamme ollut tarvittavia välineistöjä esimerkiksi polttoaineen lämpöarvon tarkkaan määrittelyyn sekä alkuainekoostumusten määrittelyyn. Tämän vuoksi onkin laskelmissa turvauduttu esimerkiksi pakokaasun ominaislämpökapasiteettiä laskiessa vastaavan lämpöisen ilman ominaislämpökapasiteettiin. Polttoaineiden lämpöarvojen määrittelyssä auttoi alan lähteiden tutkimista. Havaittiin, ettei muiden tahojen tutkimana ollut esimerkiksi biodieselin (FAME) lämpöarvoissa ollut suuriakaan eroja. Täten päädyttiin käyttämään lämpöarvoissa biodieselille 38MJ/kg ja dieselille 43 MJ/kg arvoja /2/. Tämän työn tavoitteiden kannalta katsottiin, että yllä olevat tiedot ovat riittäviä riittävän tarkkojen lopputulosten saamiseksi.

Polttoaineiden tiheyden määrittäminen suoritettiin koulun kemian laboratorion vaakoja hyväksi käyttäen. Tiheyksiksi saatiin dieselille  $835,2 \text{ kg/m}^3$  ja biodieselille  $881,4 \text{ kg/m}^3$ . Laskentatuloksia esitetään myöhemmin tässä työssä niin käyrä, kuin taulukkomuodoissa vertailun helpottamiseksi. Alla on laskennan perusteina käytetyt kaavat käyty lyhyesti läpi, sekä symbolien merkitykset. Kaavojen kohdilla on myös lisäksi esitetty esimerkkilaskelmat molemmilla polttoaineilla. Laskelmat perustuvat ensimmäisten mittausajojen arvoihin kierrosluvun ollessa  $2000 \text{ rpm}$ . Laskelmien lyhenteissä alaviite  $_d$  tarkoittaa dieselpolttoainetta ja vastaavasti  $_{bd}$  biodieselpolttoainetta.

## Akseliteho

$$P_a = M_v * 2\pi n \quad (1)$$

$$P_{ad} = 281 \text{ Nm} * 2\pi * (2000 \text{ rpm} / 60) = 58853 \text{ W}$$

$$P_{abd} = 274 \text{ Nm} * 2\pi * (2000 \text{ rpm} / 60) = 57386 \text{ W}$$

$P_a$	akseliteho [W]
$M_v$	vääntömomentti akselilla
$2\pi n$	kulmanopeus, $\omega$ , [rad/s]

## Polttoaineteho

$$\dot{\phi}_{po} = \dot{m}_{po} * H_{po} = \rho_{po} * \dot{V}_{po} * H \quad (2)$$

$$\dot{\phi}_{dpo} = (0,0001 \text{ l} / 20 \text{ s}) * 835,2 \text{ kg/m}^3 * 43\,000\,000 \text{ kJ/kg} = 179568 \text{ W}$$

$$\dot{\phi}_{bdpo} = (0,0001 \text{ l} / 21 \text{ s}) * 881,4 \text{ kg/m}^3 * 38\,000\,000 \text{ kJ/kg} = 159491 \text{ W}$$

$\phi_{po}$	polttoaineteho [W]
$\dot{m}_{po}$	polttoaineen massavirta [kg/m <sup>3</sup> ]
$H_{po}$	polttoaineen lämpöarvo [kJ/kg]
$\rho_{po}$	polttoaineen tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]
$\dot{V}_{po}$	polttoaineen tilavuusvirta [m <sup>3</sup> /s]

### Moottorin hyötysuhde

$$\eta = \frac{P_a}{\phi_{po}} \quad (3)$$

$$\eta_d = 58853 \text{ W} / 179568 \text{ W} = 32,8\%$$

$$\eta_{bd} = 57386 \text{ W} / 159491 \text{ W} = 35,9\%$$

$\eta$  moottorin hyötysuhde

### Polttoaineen ominaiskulutus

$$b = \frac{\dot{m}_{po}}{P_a} = \frac{(\rho_{po} * \dot{V})}{P_a} \quad (4)$$

$$b_d = (835,2 \text{ kg/m}^3 * 0,0001 \text{ l} / 20 \text{ s}) / 58853 \text{ W} = 255,4 \text{ g/kWh}$$

$$b_{bd} = (881,4 \text{ kg/m}^3 * 0,0001 \text{ l} / 21 \text{ s}) / 57386 \text{ W} = 263,3 \text{ g/kWh}$$

$b$  polttoaineen ominaiskulutus akselitehon suhteen [g/kWh]

## Pakokaasuteho

$$\dot{\phi}_{pk} = \dot{m}_{pk} * c_{pk} * \Delta t_{(pk-ymp)} \quad (5)$$

$$\dot{\phi}_{pkd} = 0,0877 \text{ kg/s} * 1,0618 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * 518 \text{ } ^\circ\text{C} = 48,3 \text{ kW}$$

$$\dot{\phi}_{pkd} = 0,0843 \text{ kg/s} * 1,0623 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * 490 \text{ } ^\circ\text{C} = 43,9 \text{ kW}$$

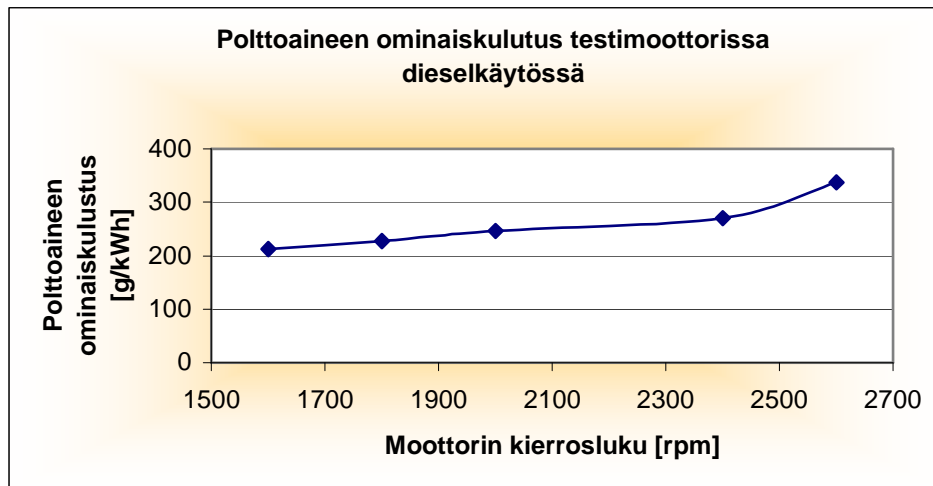
$\dot{m}_{pk}$	pakokaasun massavirta [kg/s]
$c_{pk}$	pakokaasun ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg $^\circ$ C]
$\Delta t_{(pk-ymp)}$	pakokaasun ja ympäristön lämpötilan välinen lämpötilaero [ $^\circ$ C]

## 7 TULOKSET

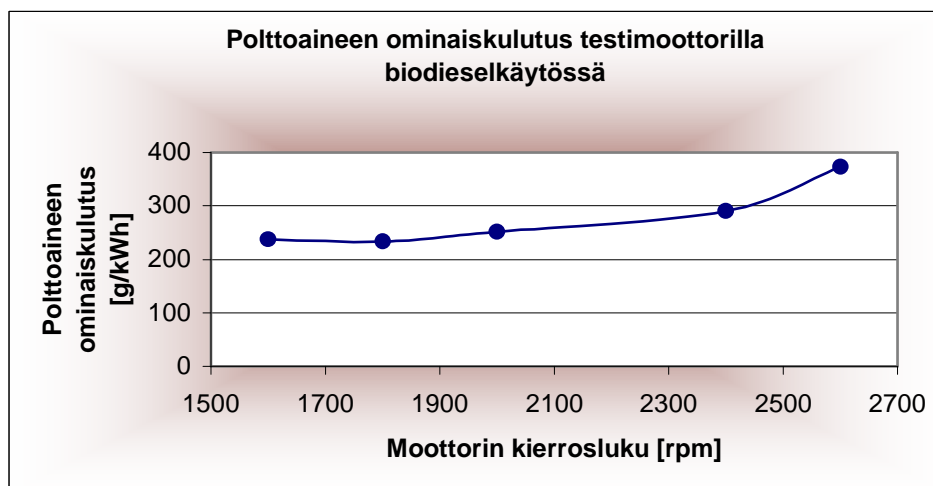
Laskettujen arvojen pohjalta tein Exceliä apuna käyttäen erilaisia kaavioita tuloksista. Mittaustulosten kuten myös laskettujen arvojenkaan pohjalta ei voi sanoa että toisen polttoaineen kohdalla moottorin käyntiarvot olisivat ns. parempia kuin toisella. Erot joita havaittiin, ovat yleisesti olleet tiedossa biodieselikäytöstä jo aikaisemminkin.

Moottorin polttoaineen ominaiskulutus (g/kWh), on suurempi käytettäessä biodieseliä. Tämä johtuu biodieselin dieseliä pienemmästä lämpöarvosta (biodiesel 38MJ/kg, diesel 43MJ/kg). Taasen polttoaineiden litramääräiset kulutukset eivät juuri poikkea toisistaan, johtuen biodieselin dieseliä suuremmasta tiheydestä. Kuvaajat 7.0 ja 7.1 kuvaavat polttoaineiden ominaiskulutukset eri pyörimisnopeuksilla.



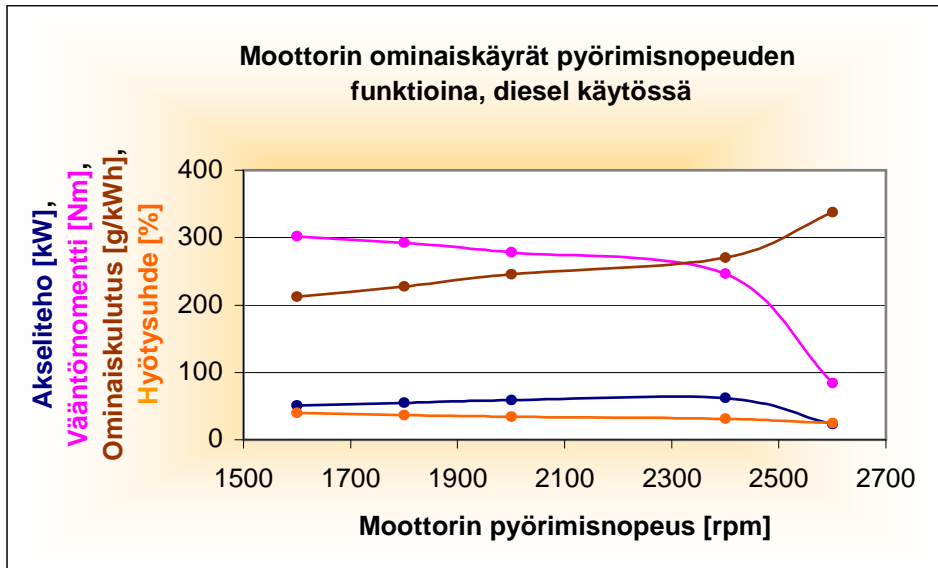


Kuva 7.0 Ominaiskulutus dieselpolttoaineella

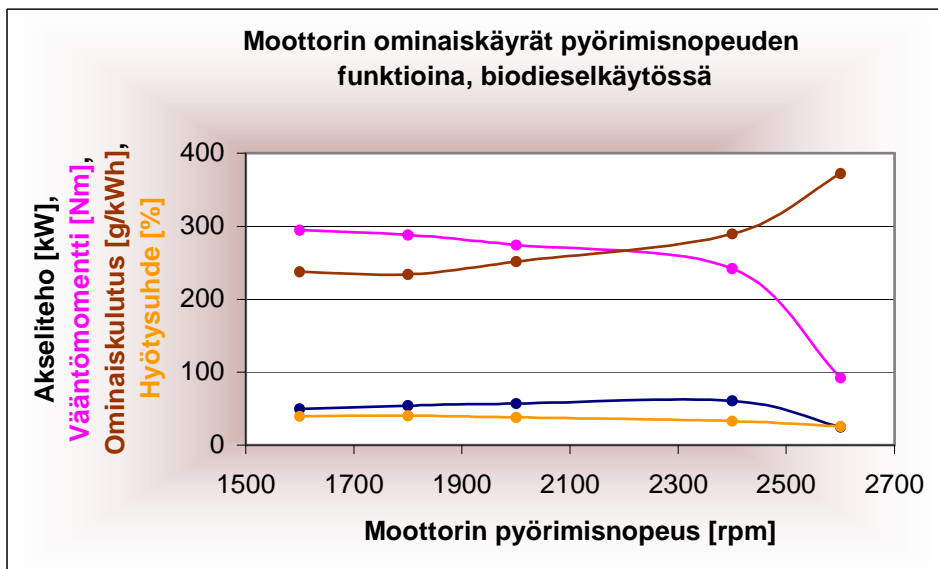


Kuva 7.1 Ominaiskulutus biodieselpolttoaineella

Moottorin ominaiskäyrät pyörimisnopeuden funktiona on kuvattu kuvaajissa 7.2 ja 7.3. Kuten kuvaajista on havaittavissa, polttoainelaadulla ei tässä tapauksessa ollut mitään tekemistä moottorin hyötysuhteen paranemiseen. Mikä näistä kuvaajista on nähtävissä, on sama aiemmin mainittu polttoaineiden ominaiskulutuksien välinen ero.



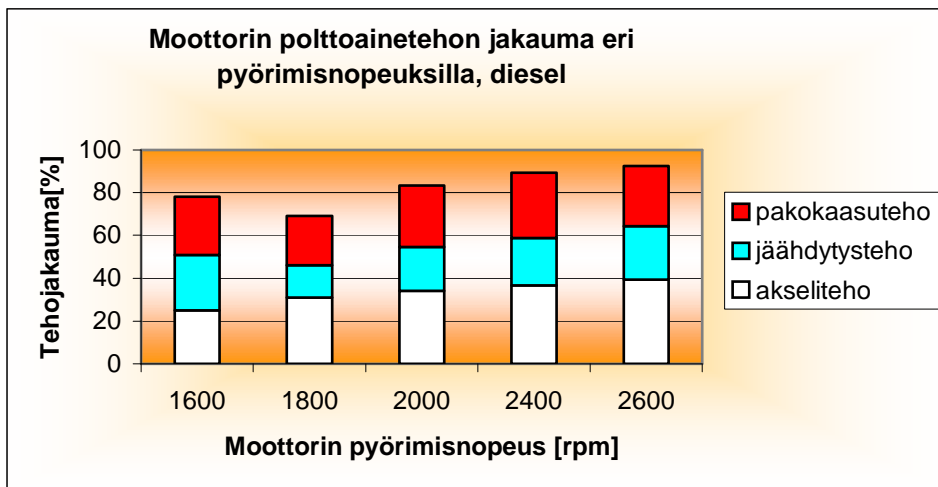
Kuva 7.2 Ominaiskäyrät dieselpolttoaineella



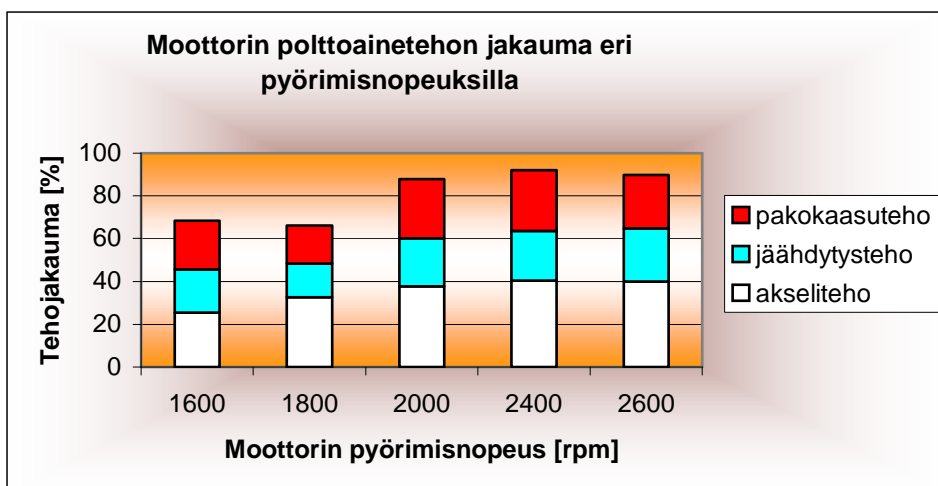
Kuva 7.3 Ominaiskäyrät biodieselpolttoaineella

Polttoainetehon jakautuminen akseli-, jäähdytys-, pakokaasu- sekä muihin häviötehoihin (mm. lämpöhäviöt pinnoilta), on havaittavissa kuvaajista 7.4 sekä 7.5. Kuvaajissa palkkien yläpuolelle jäävä tyhjä tila kuvaa aiemmin mainittuja muita häviötehoja. Näistä tuloksista, kuten myös mittaustuloksista (Liitteet 2 ja 3) voidaan havaita, että koekäytön aikana moottorin pakokaasujen lämpötila ja tätä kautta jäähdytystehon tarve on pienempi biodieseliä kuin dieseliä käytettäessä. Näiden havaintojen todistaminen vaatisi kuitenkin useampia lisäkokeita virhemarginaalien poistamiseksi. Yksi selitys näille arvoille löytyy

päästömittauksista. Lambda-arvo on korkeampi biodieseliä käytettäessä, mikä viittaisi laihempaan seokseen, ja tätä kautta alhaisempiin pakokaasulämpötiloihin. Polttoaineen syöttöjärjestelmää olisikin luultavasti tarpeellista säätää vaihdettaessa polttoainetyyppejä, parempien käyntiominaisuuksien aikaansaamiseksi.



Kuva 7.4 Polttoainetehon jakautuminen, diesel



Kuva 7.5 Polttoainetehon jakautuminen, biodiesel

## 7.1 Päästömittaukset

Päästömittaukset suoritettiin Testo 300M-savukaasutesterillä. Päästömittausten tuloksille ei kannata laskea liian suurta painoarvoa, koska polttoainekohtaiset lähtötiedot, joita laite olisi vaatinut antaakseen tarkat arvot savukaasuista, ei voitu antaa. Kuitenkin päästömittauksista laadittu pöytäkirja on liitteenä tässä työssä (Liite 5).

## 8 LOPPUYHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli koota yleishyödyllinen tietopaketti biodieselistä, sen käytöstä ja suorittaa vertailututkimuksia oppilaitoksemme moottorilaboratoriossa, työni teettäjän Erämaavirta Oy:n valmistaman biodieselin ja Neste Oil Oyj:n valmistaman dieselpolttoaineen välillä. Tavoitteet asetettiin ja ne täyttyivät.

Laskennan sekä koekäyttöjen lopputuloksena voidaan todeta, ettei näiden pohjalta tehdyissä havainnoissa ole mitään mikä estäisi biodieselin käytön dieselmoottoreiden polttoaineena. Kokeissa käytetty biodiesel oli 100 % biodieseliä, eikä siihen seostettu dieseliä. Koneen käynnissä ei havaittu mitään ongelmaa biodieselin kanssa.

Polttoaineen litramääräinen kulutus testimoottorissa oli likimain sama molemmilla polttoaineilla. Pakokaasujen alhaisemmat lämpötilat biodieselnkäytössä selittyvät mitä ilmeisimmin laihemmasta polttoaineseoksesta.

Opinnäytetyö osoittautui monessa mielessä opettavaiseksi. Ennen kaikkea se opetti tiedonkeräämisen kannalta tärkeitä asioita, mm. mikä tieto on tarpeellista, minkä voisi karsia ja mitä asioita lyhentää yms. Tämän lisäksi saimme laboratorioryhmämme kanssa syventyä dieselmoottoriin tarkemmin, kun kokeidemme aluksi ilmeni käyntihäiriöitä moottorissa. Saimme sellaista oppia moottoreista, mitä luennoilla ei ole mahdollista saada. Ongelmista selvittiin ja kokeet saimme suoritettua ajallaan.

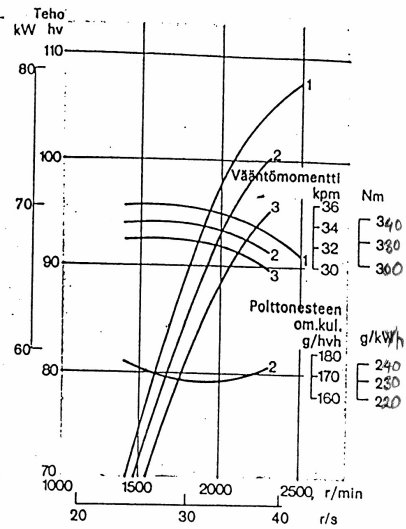
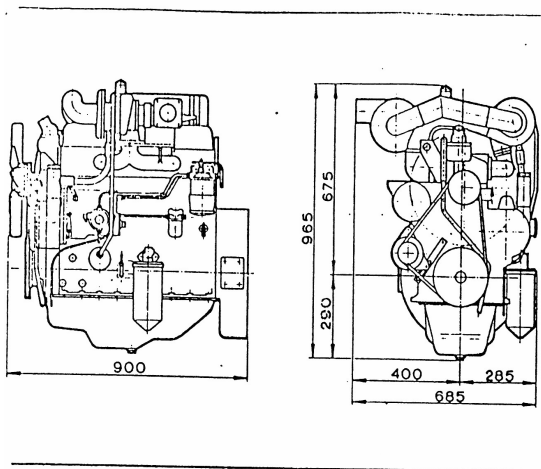
Jatkossa polttoaineiden tarkempaa analysointia varten olisi oppilaitoksellemme hyvä saada ajanmukaiset välineet. Tämä helpottaisi opetustyötä monilla aloilla esimerkiksi Kemian-, Prosessi- ja Energiatekniikan koulutusohjelmissa. Lisäksi ne antaisivat merkittävän lisäarvon tulevaisuudessa mahdollisesti tehtäville vastaavanlaisille opinnäytetöille.

## LÄHDELUETTELO

- /1/ [http://www.yle.fi/tekstiv/html/P106\\_01.html](http://www.yle.fi/tekstiv/html/P106_01.html)  
25.10.2006
- /2/ <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2288.pdf>  
22.10.2006
- /3/ <http://www.motiva.fi/fi/yjay/kuljetusala/polttoainevaihtoehdot/biodieselkasvioljyesterit.html>  
22.10.2006
- /4/ <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,63,310,3718,3882>  
22.10.2006
- /5/ [http://www.biodiesel.org/pdf\\_files/fuelfactsheets/bdusage.PDF](http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/bdusage.PDF)  
21.10.2006
- /6/ [http://www.biodiesel.org/pdf\\_files/fuelfactsheets/prod\\_quality.pdf](http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/prod_quality.pdf)  
18.10.2006

## LIITELUETTELO

- LIITE 1 Tarkemmat tiedot tutkimusmoottorista
- LIITE 2 Mittauspöytäkirja, diesel
- LIITE 3 Mittauspöytäkirja, biodiesel
- LIITE 4 Mittauspöytäkirjojen merkkien selitykset
- LIITE 5 Koeajon päästömittaukset



*Andetta*

**VALMET 411 BS • TEKNILLISET TIEDOT**

— toimintaperiaate .....	4-tahtinen
— sylinterilukumäärä .....	4
— sylinterinhalkaisija .....	108 mm
— iskun pituus .....	114 mm
— iskutilavuus .....	4,18 dm <sup>3</sup> (4,18 l)
— suurin kierrosluku .....	43,3 r/s (2600 r/min)
— suurin jatkuva teho DIN A ...	70 kW (95,5 hv)
kierrosluvulla .....	40 r/s (2400 r/min)
— suurin jatkuva teho DIN B ..	77 kW (105 hv)
kierrosluvulla .....	40 r/s (2400 r/min)
— suurin teho SAE .....	92 kW (125 hv)
kierrosluvulla .....	43,3 r/s (2600 r/min)
— suurin vääntömomentti DIN	346 Nm (35,3 kpm)
kierrosluvulla .....	26,5 r/s (1600 r/min)
— puristussuhde .....	17
— paino (kuiva) .....	430 kg
— pyörimissuunta kats. päin	vastapäivään
vauhtipyörää .....	
— sylinteriputket .....	kuivat
— suihkutukset .....	suora
— jäähdytys .....	neste (vesi)
— öljytilavuus .....	13,0 dm <sup>3</sup> (13,0 l)

1. DIN 6270 ylitteho 10 % = lyhytaik. teho.
2. DIN 6270 B teho
3. DIN 6270 A teho

Huom. Jäähdytyspuhaltimella varustettuna ovat teho ja vääntömomentti noin 5 % alemmat ja ominaiskulutus vastaavasti n. 5 % korkeampi.

Yo. tehot pätevät hyvin sisäänajetulla moottorilla.



VALMET Oy, Linnavuoren Tehdas, Linnavuori, puh. 931-410 300  
Pääkonttori: Punanotkonkatu. 2, Helsinki 13, puh. 11 441







**MITTAUSPÖYTÄKIRJOJEN MERKKIEN SELITYKSET**

$n, (1/min)$	moottorin kierrosluku, kierrosta minuutissa
$t, (s)$	aika, sekunti
$M_v, (Nm)$	vääntömomenttikuorma, Newton-metri
$V_{po}, (ml)$	mittalasin polttoainetilavuus, millilitra
$\dot{Q}_{jv}, (kW)$	jäähdytysteho, kilowatti
$t_{pk}, (^\circ C)$	pakokaasujen lämpötila moottorilla, celsius
$t_{ymp}, (^\circ C)$	ympäristön lämpötila, celsius
$t_1, (^\circ C)$	pakokaasujen lämpötila mittalappalla, celsius
$h_v, (cm)$	veden pintojen korkeusero U-putkessa, senttimetri

## KOEAJON PÄÄSTÖMITTAUKSET

## Diesel ja biodiesel- polttoainevertailu

Päästömittaukset suoritettu moottorin kierrosluvun ollessa 2000 rpm ja väännön 274 Nm.

Käyttö/mittaus henkilöt: Toni Heikinmäki, Jukka Lehtinen, Teemu Lähdekorpi 3.11.2006

Polttoaine	<b><u>Biodiesel</u></b>	<b><u>Diesel</u></b>
Savukaasujen lämpötila (°C)	365	419,8
CO <sub>2</sub> -pitoisuus (%)	10	10
Savukaasuhäviö (%)	19,4	21,1
$\lambda$ (lambda arvo)	1,53	1,44
O <sub>2</sub> -pitoisuus (%)	7,3	6,3
CO-pitoisuus (ppm)	735	1348
Ulkoilman lämpötila (°C)	25	25