

Kimmo Seppälä

# Motec-moottorinohjauksen säätäminen ja päästövertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Auto- ja kuljetustekniikka  
Opinnäytetyö  
27.04.2011

Tekijä Otsikko	Kimmo Seppälä Motec moottorinohjauksen säätäminen ja päästövertailu
Sivumäärä Aika	26 sivua + 2 liitettä 27.04.2011
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaajat	lehtori Sami Ruotsalainen projekti-insinööri Harri Miinin
<p>Työssä tehtiin Motec-moottorinohjausjärjestelmän ohjelmointi bensiinille ja etanolille, turboahtimen hyötysuhteen määrittely laboratorioharjoitussuunnitelmaksi sekä bensiinin ja etanolipolttoaineiden päästövertailu. Työn tavoitteena oli saada moottori käymään tasaisesti sekä saada luotettavia tuloksia päästövertailusta.</p> <p>Moottori säädettiin Superflow-moottoridynamometrissä Motecin omaa säätöohjelmaa käyttäen. Laboratorioharjoitus suunniteltiin teoriassa osien asennusvaiheeseen saakka. Osien asennuspaikat ja liittäminen Moteciin selvitettiin.</p> <p>Pakokaasuvertailu suoritettiin nelikaasuanalysointia käyttäen, jolloin osa tarkoista päästöistä jäi uupumaan. Saaduista tuloksista kuitenkin oli nähtävissä etanolipolttoaineen suuremmat hiilimonoksidipäästöt ja pienen jäännöshapen määrän korkeammilla kierrosluvuilla.</p> <p>Työtä voidaan hyödyntää Motec-moottorinohjausjärjestelmän ohjelmoinnin nopeaan oppimiseen, turboahtimen hyötysuhteen käytännön toteuttamiseen sekä antamaan pohjan paremman pakokaasuvertailun tekemiseen.</p>	
Avainsanat	Motec, päästöt, bensiini, etanoli, hyötysuhde

Author Title	Kimmo Seppälä Adjustment of Motec Engine Management System and Emission Comparison
Number of Pages Date	26 pages + 2 appendices 27 April 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics
Instructors	Sami Ruotsalainen, Senior Lecturer, MSc Harri Miinin, Project Engineer
<p>In this thesis Motec engine control unit was programmed to work with gasoline and ethanol fuels. After that a plan for a laboratory tutorial to calculate turbocharger's efficiency was made, and comparison between gasoline and ethanol fuels emissions was carried out. The goal was to get the engine run smoothly and to obtain reliable results from the emission comparison.</p> <p>The engine was adjusted in a Superflow engine dynamometer with Motec's own software. A step-by-step guide was made to assist future engine programmers. The plan for the laboratory tutorial to calculate the turbocharger's efficiency was made in theory until the phase in which the parts are installed. The locations where the sensors should be mounted were identified and how the parts should be connected to Motec was described.</p> <p>Emission comparison was carried out using a quad gas analyzer, and therefore, some finer emissions of the ethanol fuel were not included in the comparison. The results, however, showed that ethanol fuel produces high amount of carbon monoxide emissions and low amount of residual oxygen emissions at higher rpm.</p> <p>The results of this thesis can be utilized to quickly learn how to program a Motec engine management system and how to carry out a turbocharger's efficiency test in practice. It will also give background information and knowledge for carrying out an emission comparison on a larger scale.</p>	
Keywords	Motec, emissions, gasoline, ethanol, efficiency

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Motec-moottorinohjausjärjestelmä	1
2.1	Motecin yleisiä ominaisuuksia	1
2.2	Motecin sisäänmenevät signaalit	2
2.3	Motecilta lähtevät signaalit	7
3	Motecin säätäminen	8
3.1	Polttoaineen suihkutukseen liittyvien asetusten säätäminen	8
3.2	Sytytykseen liittyvien asetusten säätäminen	10
3.3	Antureiden sekä liipaisun asetusten määrittäminen	10
3.4	Moottorin käynnistäminen	12
3.5	Moottorin käynnin aikainen säätäminen	13
4	Motecin säätäminen E85-polttoaineelle	16
5	Pakokaasuahtimen hyötysuhteen mittaus	16
6	Päästövertailu	19
6.1	98E5-polttoaineen päästömittaukset	20
6.2	RE85-polttoaineen päästömittaukset	23
6.3	Tulosten vertailu ja kommentit	24
7	Yhteenveto	25
	Lähteet	27
	Liitteet	
	Liite 1. Motec-pikaohje	
	Liite 2. Pakokaasuahtimen hyötysuhteen mittaus	

## **1 Johdanto**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli säätää Motec-moottorinohjausjärjestelmä Metropolia AMK:n projektimoottorin luotettavaa käyttöä ajatellen, sekä tulevia laboratorioharjoituksia varten. Koska Motecin manuaali on raskaslukuinen, tein pikaohjeet harjoituksia varten, jotta kuka tahansa saisi moottorin käymään. Harjoitukseksi tehtiin suunnitelmatasolla pakokaasuahtimen hyötysuhteen mittaus. Tutkimuksena tehtiin etanolipolttoaineen päästövertailu bensiinipolttoaineeseen nähden.

Käytetty moottori oli koulun aikaisemmissa projekteissa käytetty Saab B204L -moottori. Moottorissa oli valmiina kaikki toimilaitteet, anturit ja moottorinohjauslaite kiinni. Moottori oli kiinnitetty Superflow-moottoridynamometriin.

Nykyaikaisen polttomoottorin toimimiseen tarvitaan useita antureita, joiden vaikutuksen oppii parhaiten olemalla tekemisissä moottorinohjauksen kanssa. Motec järjestelmä antaa hyvät ohjelmat moottorin toimintaan vaikuttavien antureiden syöttämien tietojen lukemiseen ja reaaliaikaiseen seuraamiseen. Työssä opittuja taitoja on helppoa hyödyntää työelämässä ja moottoreiden vianhaussa.

## **2 Motec-moottorinohjausjärjestelmä**

### **2.1 Motecin yleisiä ominaisuuksia**

Henkilöautoissa tehdasasennetut moottorinohjainlaitteet eivät tarjoa mahdollisuuksia ohjelmoida niitä uudestaan. Monet kotivirittäjät ja etenkin amatikseen moottoreita virittävät henkilöt vaihtavat ohjainlaitteen säädettävään versioon. Tällaisia ohjainlaitteita saa esimerkiksi Haltechilta tai kuten tässä työssä, Motecilta.

Motec-moottorinohjausjärjestelmä on tarkoitettu asennettavaksi alkuperäisen moottorinohjainlaitteen tilalle. Motec M880 tarjoaa laajat mahdollisuudet muokata moottorin palotapahtumaan vaikuttaviin tekijöihin, kuten sytytyksen ennakkoon ja polttoaineen suihkutuksen hetkeen ja määrään.

Motec M880:llä on seuraavia ominaisuuksia:

- 8 ohjaussignaalia polttoainesuuttimille (12 optiona, käyttäen neljää sytytyksen ohjaussignaalia)
- 6 ohjaussignaalia sytytykselle
- Autosport-liitin
- 4 MB:n muisti tiedonkeruuta varten
- 2 laajakaistalambdan sisäänmenoa.

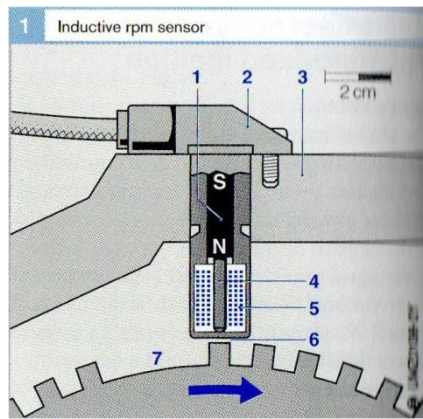
Muina ominaisuuksina M880 tarjoaa esimerkiksi lähtöavustimen, sutimisen eston, anti-lag-järjestelmän turbolle, vaihtamisen aikaisen sytytyksen katkaisun, drive-by-wire-mahdollisuuden ja telemetrian keräämisen. (1, s. 4.)

Ohjainlaitteen tietoja voi lukea tietokoneella, johon saa ilmaiseksi Motecin internetsivuilta ohjelman.

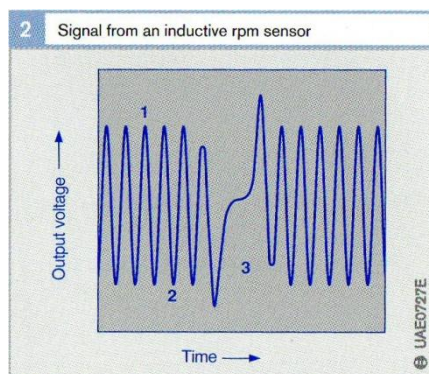
## 2.2 Motecin sisäänmenevät signaalit

Motec, kuten mikä tahansa moottorinohjauslaite, tarvitsee toimiakseen tietoja antureilta sekä tietysti käyttöjännitteen.

*Moottorin pyörintänopeustiedon* perusteella ohjainlaite tietää, kuinka paljon voi aikaa käyttää sytytyksen virran varaamiseen ja sytytyksen ennakkoon sekä milloin polttoaineen voi suihkuttaa moottoriin [1, s. 6]. Anturina käytettiin Saabin omaa induktiivista anturia, jonka syöttämän signaalin esimerkki on kuvassa 2. Induktiivisen anturin esimerkki on kuvassa 1.

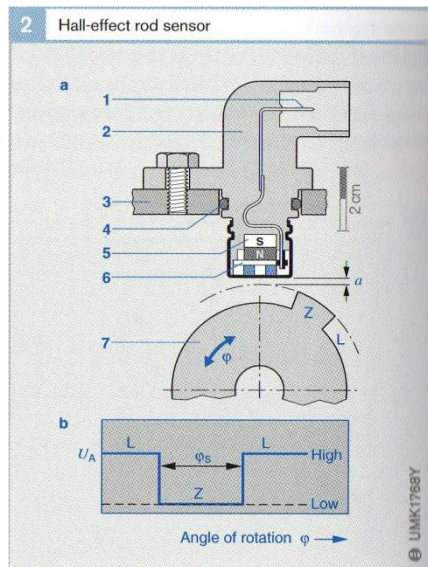


Kuvio 1. Induktiivinen anturi. 1) kestmagneetti, 2) anturin kiinnitysrunko, 3) moottori, 4) napapinni, 5) solenodin käämitys, 6) ilmaväli ja 7) hammaspyörä ja puuttuvat hampaat. (3, s. 268.)



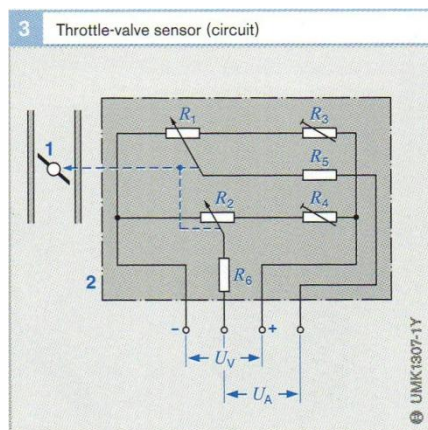
Kuvio 2. Induktiivisen anturin syöttämä signaali. 1) hammas, 2) hammasväli ja 3) puuttuvien hampaiden kohta (3, s. 268).

Synkronointitiedon ohjainlaite saa *nokka-akselin asentoanturilta* [1, s. 6]. Anturi kertoo ohjainlaitteelle ajanhetken, jolloin sylinterit ovat työtahtiensa oikeassa vaiheessa polttoaineen ruiskutuksen kannalta. Anturiksi oli asennettu Boschin hall-anturi, koska moottorissa ei ole alun perin ollut nokka-akselin asentotunnistinta. Hall-anturin esimerkki ja signaalimalli on kuvassa 3. Anturin puuttuessa ei myöskään liipaisupyörää ole ollut moottorin tehtaalta lähtiessä. Aikaisemmin tehdyssä opinnäytetyössä on valmistettu ja asennettu kyseinen liipaisupyörä sekä anturi. (2, s. 11–12.)



Kuvio 3. Hall-anturi. Ylhäällä kuvassa a) anturi ja liipaisupyörä, alhaalla kuvassa b) jännitteen lähtösignaali. 1) liitinosa, 2) anturin runko, 3) moottori, 4) tiiviste, 5) kestmagneetti, 6) hall-elementti, 7) liipaisupyörä, jossa Z on hammas ja L on liipaisuväli sekä  $\varphi$  on pyörimisen kulma. (3, s. 264.)

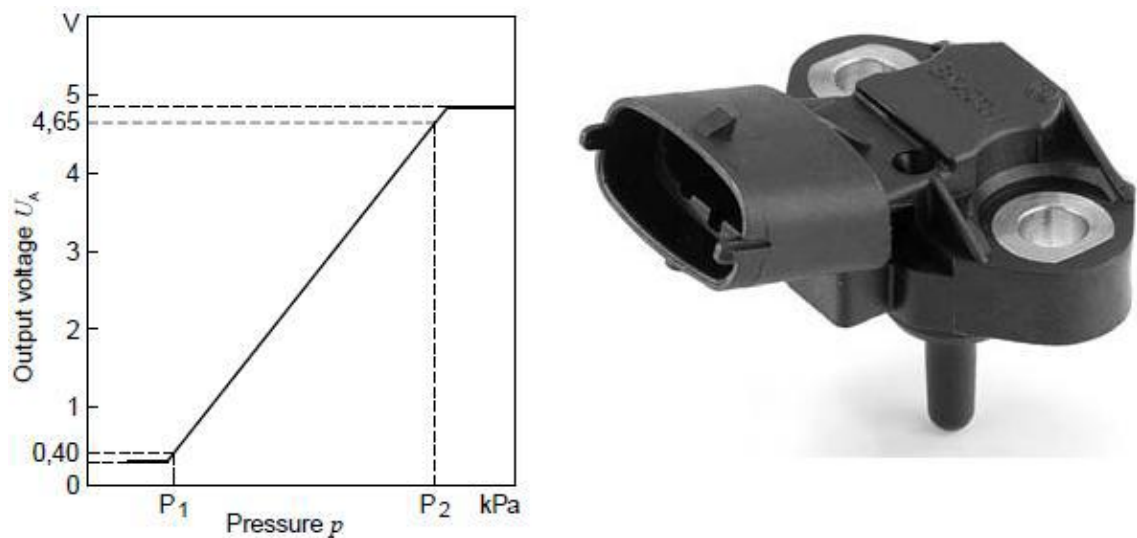
*Kaasuläpän asentoanturi* antaa ohjainlaitteelle tiedon kuljettajan pyytämästä moottorin momentista. Anturia käytetään myös erilaisiin kalibrointitietoihin [1, s. 7]. Anturi on asennettu aikaisemmassa opinnäytetyössä. Esimerkki anturin kaaviokuvasta löytyy kuvasta 4. Anturi on potentiometrianturi, joka toimii välillä  $5 \Omega - 1 \text{ k}\Omega$ . (2, s. 8–9.)



Kuvio 4. Kaasuläpän asentoanturin kaaviokuva. 1) kaasuläppä, 2) asentoanturi,  $U_a$  mittajännite,  $U_v$  toimintajännite, R1 ja R2 potentiometrit, R3 ja R4 kalibrointivastukset ja R5 ja R6 suojavastukset. (3, s. 261.)

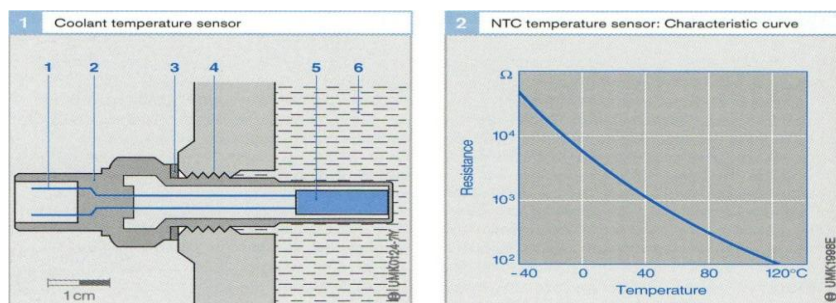


*Imusarjan paineanturi* oli asennettu imuputkistoon välittömästi kaasuläpän jälkeen. Anturin tarkoitus on mitata sylintereihin menevän ilman paine sekä tässä tapauksessa lämpötila. Ohjainlaite osaa tästä määrittellä vaadittavan polttoaineen määrän. Boschin valmistamaan anturiin on integroitu paineanturi ja lämpötila-anturi. Anturin kuva ja ominaiskäyrä ovat kuvassa 5. Painemittauksen raja-arvot kyseisellä anturilla ovat 0,5 kPa – 350 kPa. Lämpötilamittauksen raja-arvot ovat -40 °C – 125 °C. Koska käytetty Saabin moottori oli pakokaasuahdettu, oli imusarjan paineanturi erittäin tärkeä. (2, s. 9.)



Kuvio 5. Boschin paineanturi sekä ominaiskäyrä (4).

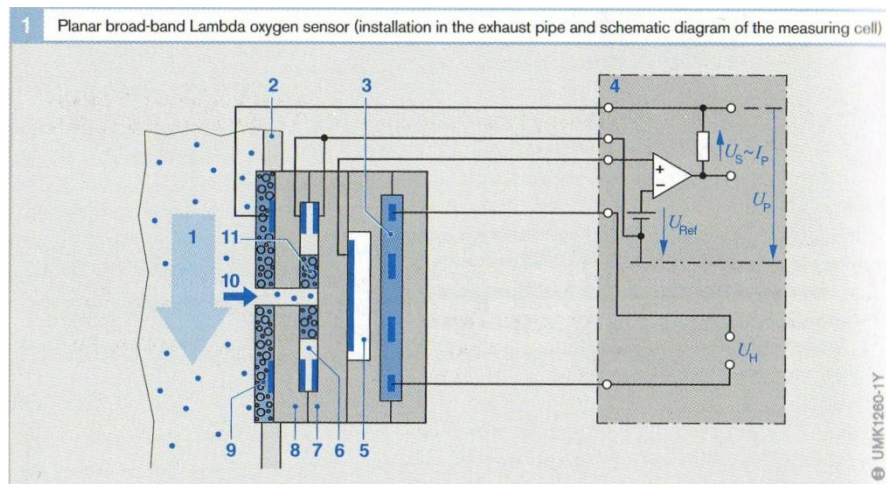
*Moottorin lämpötila-anturiksi* oli asennettu Boschin NTC-tyyppinen anturi. Anturin malli, sekä ominaiskäyräkuva on kuvassa 6. Anturin vastus pienenee lämpötilan kasvaessa [3, s. 258].



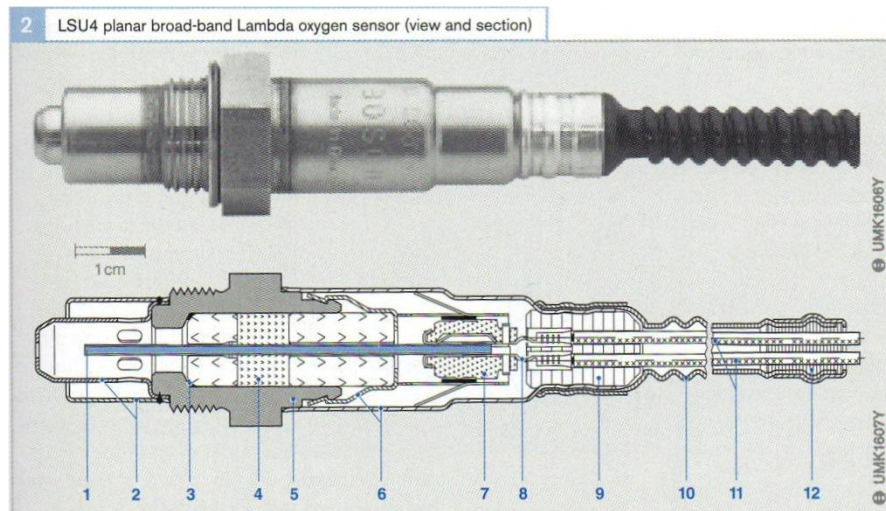
Kuvio 6. NTC-lämpötila-anturi sekä ominaiskäyrä. 1) anturin liitinosa, 2) anturin runko, 3) tiiviste, 4) kierre, 5) mittausvastus ja 6) jäähdytysneste. (3, s. 258.)

*Lambda-anturilla* moottorinohjainlaite seuraa pakokaasujen happipitoisuutta verrattuna ulkoilman happipitoisuuteen. Tästä muodostetulla jännitearvolla Motec osaa laskea toimiiko moottori ilma- vai polttoaineylimäärällä vai stoikiometrisellä arvolla. Ilmaylimäärää kutsutaan laihaksi seokseksi, jolloin ilmaa on enemmän kuin 14,7 osaa yhteen polttoaineosaan nähden. Tällöin lambda on enemmän kuin yksi. Polttoaineylimäärä kutsutaan rikkaaksi seokseksi ja tällöin ilmaa on vähemmän kuin 14,7 osaa yhtä polttoaineosaa kohden. Lambda-arvo on alle yksi. Stoikiometrisessä tilassa lambda on yksi ja ilman ja polttoaineen suhde on 14,7:1. Tällöin katalysaattori puhdistaa pakokaasuja tehokkaimmin. (3, s. 39–40.)

Moottoriin oli asennettu laajakaistalambda, koska kyseinen anturi antaa laajemmalla alueella dataa pakokaasujen happipitoisuudesta tavalliseen lambda-anturiin verrattuna [2, s. 12]. Laajakaistalambdan toimintaperiaate näkyy kuvassa 7 ja laajakaistalambdan kuva on kuvassa 8.



Kuvio 7. Laajakaistalambdan toimintaperiaate. 1) pakokaasut, 2) pakoputki, 3) lämmityselementti, 4) ohjauselektronikka, 5) vertailukkenno, 6) diffuusioväli, 7) Nernstin kenno, 8) hapen pumppauskenno, 9) huokoinen suojakerros, 10) kaasujen kulkuväylä anturiin ja 11) huokoinen diffuusioeste.  $I_P$  pumppausvirta,  $U_P$  pumppausjännite,  $U_H$  lämmittimen jännite,  $U_{REF}$  referenssijännite (450 mV eli lambda = 1) ja  $U_S$  anturi-jännite. (3, s. 286.)



Kuvio 8. Laajakaistalambda. 1) mittauskenno, 2) suojaputki, 3) tiiviste, 4) tiiviste, 5) anturin runko, 6) suojaholkki, 7) liitospidike, 8) liitosklipsi, 9) PTFE holkki, 10) PTFE holkki, 11) viisi liitosjohtoa ja 12) tiiviste. (3, s. 287.)

Muina signaaleina Motec osaa hyödyntää esimerkiksi öljyn lämpötilatietoa, välilämpötilan lämpötilatietoa, voimansiirron lämpötilatietoa, pakokaasujen lämpötilatietoa, polttoaineen painetietoa ja kiihtyvyystietoja [1, s. 6].

### 2.3 Motecilta lähtevät signaalit

*Polttoainesuuttimet* suihkuttavat polttoaineen moottorille. Työssä käytettiin Saabin alkuperäisiä suuttimia, joiden tuotto ( $360 \text{ cm}^3/\text{min}$ ) todettiin työn edetessä rajoittavaksi tekijäksi huipputehoa ja huippuväntöä silmällä pitäen. Suuttimia on moottorissa neljä kappaletta eli yksi jokaista sylinteriä kohden. Suuttimet on sijoitettu suihkuttamaan polttoaine ennen imuventtiilejä eli moottori on imusarjasuihkutteinen. Motec ohjaa suuttimien aukioloaikaa. (2, s. 15.)

*Sytytyspuolat* varaavat tarvittavan energian, jotta sylinterissä oleva seos saadaan syttymään sytytystulpan sytyttämänä. Seoksen syttymiseen vaadittu energia on minimissään 30–50 mJ. Koska puolan ja sytytystulpan kipinävälin välillä on jännitehäviöitä, tarvittava energia puolalla on 60–120 mJ. (3, s. 183–184.)

Moottorissa oli alunperin sytytysjärjestelmä, jossa kaikki puolat olivat kiinni yhdessä paketissa. Aikaisemmassa opinnäytetyössä paketti oli vaihdettu neljään erilliseen puolaan, jolloin vikatilanteissa on helpompaa ja halvempaa vaihtaa yksi puola kuin

koko sytytysyksikkö. Uudet sytytyspuolat olivat Delphin valmistamia. Motec ohjaa ensiöpiirin latausaikaa, katkaisua ja sytytysennakkoa. (2, s. 14.)

Muina signaaleina Motec voi ohjata esimerkiksi turboahtimen hukkaporin ohjausta, vaihtovaloa, ilmastoinnin ohjausta, tyhjäkäyntiventtiiliä, sekä kierroslukumittaria [1, s. 8].

### 3 Motecin säätäminen

Työ aloitettiin säätämällä moottori käymään mahdollisimman luotettavasti. Ohjelmointiin käytettiin Motec ECU Manager -ohjelmaa, jonka voi ladata ilmaiseksi Motecin internetsivuilta. Koska minulla ei ollut aiempaa kokemusta moottorin säätämisestä, aloitin Motecin ohjeiden mukaisesti.

#### 3.1 Polttoaineen suihkutukseen liittyvien asetusten säätäminen

Aluksi säädin polttoaineen suihkutukseen liittyvät säädöt. Näihin säätöihin kuului suuttimien skaalaus, suuttimien virran tarve, akkujännitteen kompensointi, polttoainekartta, ilman lämpötilan kompensointi, moottorin lämmön kompensointi, MAP-tiedon kompensointi sekä kiihdytyksen kompensointi. (1, s. 33–38.)

*Suuttimien skaalauksessa* lähdin liikkeelle ohjelman ehdottamalla arvolla 15 millisekuntia. Tämä vastaa pääkartalla arvolla 100 olevaa pulssin leveyttä. Ahdetuissa moottoreissa käytetään 10 - 15 millisekunnin arvoja, kun taas vapaastihengittävässä moottoreissa arvo on suurempi. *Suuttimien virran tarpeessa* sekä *akkujännitteen kompensoinnissa* luotin ohjelman antamiin oletuksiin, jotka todettiin myöhemmissä testeissä riittäviksi. Itse *pääpolttoainekartta* suositeltiin aluksi tehtäväksi mahdollisimman tasaiseksi, koska siitä on helppo jatkaa quick lambda -toiminnolla eteenpäin. Aiempien opinnäytetöiden perusteella aloitin arvolla 40 eli 40 % säädetyistä skaalausarvosta. Tällöin suuttimen aukioloaika on 6 ms [2, s. 35]. *Imuilman lämpötilan, moottorin lämpötilan* sekä *MAP-tiedon kompensoinnissa* käytetyt alkuarvot olivat myös manuaalin ohjeiden mukaiset. (1, s. 37–38.)

Imuilman lämpötilan kompensoinnilla, kuvassa 9, haettiin rikastusta ilman ollessa kylmää, koska moottori oli imusarjasuihkutteinen ja kylmällä ilmalla suihkutettu polttoaine tiivistyy imusarjan sisäpintoihin [3, s. 41].

Fuel AT Comp (% Trim)													
AT °C	-40,0	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0
	10,0	9,0	8,0	6,0	4,0	2,0	0,0	0,0	0,0	-4,0	-8,0	-10,0	-12,0

Kuvio 9. Polttoaineen suihkutuksen kompensointi imuilman lämpötilan mukaan.

Polttoaine tiivistyy myös palotilan seinämiin moottorin ollessa kylmä, jolloin seosta pitää kompensoida moottorin lämpötilan mukaan. Moottorin ollessa kylmä vaaditaan rikastusta. Kartta kuvassa 10.

Fuel ET Comp (% Trim)															
ET °C	-50,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0
	100	70	60	50	43	26	15	10	0	0	0	0	0	0	5

Kuvio 10. Polttoaineen suihkutuksen kompensointi moottorin lämpötilan mukaan.

Imuilman paineeseen riippuvaa kompensointia tarvitaan myös. Jokaista 100 kPa:n paineen nousua kohtaan tarvitaan 100 prosenttia lisää rikastusta [1, s. 38]. Kartta kuvassa 11.

Fuel MAP Comp (% Trim)						
MAP kPa	0,0	100,0	200,0	300,0	400,0	500,0
	-100	0	100	200	300	400

Kuvio 11. Polttoaineen suihkutuksen kompensointi imuilman paineen mukaan.

*Kiihdytystilanteen kompensointia* manuaali, sekä ohjelma suosittelee käytettäväksi alle 4000 kierrosluvun alueilla. Alkuasetuksina käytin suositeltuja arvoja.

Ohjainlaitteen *hyötysuhdepisteen* (efficiency point) laskentatavaksi suositeltiin ahdetuissa moottoreissa käytettäväksi MAP-anturiin perustuvaa laskentaa, koska turboahtimen ahtaessa ilmaa sylintereille imusarjan paine muuttuu radikaalisti verraten vapaastihengittäviin moottoreihin. Hyötysuhdepiste vaikuttaa polttoainekarttojen

laskentaan. *Kuormapisteen* (load point) laskentatavaksi suositeltiin samaa MAP-anturiin perustuvaa laskentaa. Kuormapiste vaikuttaa sytytyskarttojen laskentaan. (5.)

### 3.2 Sytytykseen liittyvien asetusten säätäminen

Sytytyksen tiedoista ohjelmaan tulee syöttää sytytyksen *tyyppi*, *puolien määrä*, *puolien energian varaukseen tarvittava aika*, *viiveaika*, *sytytyskartta*, sekä *imuilman lämpötilan kompensointi*. (1, s. 34.)

Sytytyksen *tyyppinä* käytettiin liipaisun laskevaa signaalia ja *puolia* oli neljä. *Puolien energian varaukseen tarvittava aika* (dwell time) säädettiin muuttuvaksi akkujännitteen mukaan kuvassa 12. *Viiveaikana* käytettiin ohjelman oletusta. *Pääsytytyskartasta* suositeltiin tehtäväksi mahdollisimman konservatiivinen, ei liian aikaiselle eikä liian myöhäiselle. Aiemman opinnäytetyön perusteella alkuarvoksi asetettiin 25 astetta ennen yläkuolo kohtaa [2, s. 40]. *Imuilman lämpötilan kompensointi* asetettiin ohjelman suositukseen kuvan 13 mukaisesti [5].

Ign Dwell (msec)					
Bat V V	8,0	10,0	14,0	16,0	
		7,0	5,2	3,1	2,6

Kuvio 12. Puolien energian varaukseen tarvittava aika akkujännitteeseen suhteutettuna.

Ign AT Comp (Trim)									
AT °C	-40,0	-20,0	0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0	
		-6,0	-4,0	-2,0	0,0	0,0	-2,0	-4,0	-6,0

Kuvio 13. Imuilman lämpötilan kompensointi sytytysajankohtaan.

### 3.3 Antureiden sekä liipaisun asetusten määrittäminen

Erilaisten antureiden asetukset, anturit mainittuna luvussa 2.1, asetettiin vaaditulla tavalla. *Kaasulämpöpöytäanturin* arvoiksi saatiin suljettuna 5,7 % sekä täysin avonaisena 77,3 %.

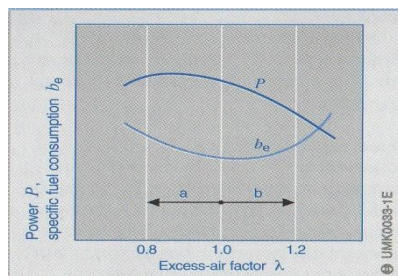


*Referenssi* ja *synkronointiasetuksiksi* asetettiin kuvan 14 mukaiset asetukset. Asetuksen REF arvo tarkoittaa kahta puuttuvaa hammasta referenssipyörästä kahdesti työkiertoa kohden. CRIP arvo kertoo ensimmäisen sylinterin liipaisutiedon kammenkulmana ennen yläkuolokohtaa. Referenssipyörän anturi oli induktiivinen ja synkronointipyörän anturi Hall-tyyppinen.

REF SYNC Setup	
Parameter	Value
Ref / Sync Mode (REF)	7
Crank Ref Teeth (CRT)	60
Tooth Ratio	50
Crank Index Position (CRIP)	118,0
REF Sensor Type	2
REF Sensor Edge Polarity	1
REF Trigger Voltage	0,0
SYNC Sensor Type	1
SYNC Sensor Edge Polarity	0
SYNC Trigger Voltage	0,0

Kuvio 14. Referenssi ja synkronointiasetukset.

*Lambda-anturin* mukaan tapahtuma polttoaineen suihkutuksen säätö todettiin nopeimmaksi ja riittävän tarkaksi tässä opinnäytetyössä tarvittaviin käyttötarkoituksiin. Tämän vuoksi lambdakartasto säädettiin sopivaksi aikaisessa vaiheessa (kuva 16). Tyhjäkäynnille sopivaksi arvoksi määriteltiin mahdollisimman vähän polttoainetta kuluttava arvo 1,05, koska moottorissa ei ollut katalysaattoria puhdistamassa pakokaasuja. Tehon ja kulutuksen suhteen näkee kuvassa 15. Lopullinen lambda kartta on kuvassa 16. Kierrosten ja kuorman noustessa lambda-arvon tuli pienentyä eli seoksen rikastua. (3, s. 40.)



Kuvio 15. Tehon ja kulutuksen suhde lambda-arvoon (3, s. 40).

Lambda Table (Lambda)		0	1000	2000	4000	6000	7000
LA	RPM						
Load kPa	220,0	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	200,0	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
	190,0	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84
	180,0	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85
	160,0	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86	0,85
	140,0	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
	120,0	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
	100,0	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	80,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	60,0	1,00	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00
	40,0	1,00	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00

Kuvio 16. Lambdakartta. X-akselilla kierros-luku, y-akselilla kuormitus ja pisteen arvo lambda-arvo.

Tämän kartaston perusteella ohjelman quick lambda -toiminnolla kyettiin hakemaan seokselle nopeasti sopiva polttoaineen suihkutusarvo.

### 3.4 Moottorin käynnistäminen

Kun kaikki pohjatiedot oli ohjainlaitteelle syötetty, voitiin moottori käynnistää ensimmäisen kerran. Ohjelman käynnistyksen aikaisen polttoaineensuihkutuksen kompensointi todettiin auttavan hankalaa ensikäynnistystä. Tällä arvolla saatiin aikaan suhteutettu rikastus seokselle. Kuvassa 17 käynnistyksen aikainen rikastus. Myös ensimmäiselle suihkutukselle asetettiin rikastusarvo, joka lisäsi polttoainetta 80 %.

Fuel Cranking Comp (% Trim)		0,00	0,50	3,00	5,00	8,00
CrTm s						
		120	100	20	10	0

Kuvio 17. Käynnistyksen aikainen rikastus prosentteina aikaan suhteutettuna.

Apuna käynnistyksen jälkeiseen käymiseen käytettiin omaa kompensatiotaulukkoa, joka lisäsi ruiskutusaikaa prosentteina moottorin lämpötilaan ja aikaan suhteutettuna (kuva 18).



Fuel Post Start Comp (% Trim)		RunTm s	0,0	5,0	10,0	20,0	40,0
ET °C	120,0	6	0	0	0	0	0
	100,0	8	0	0	0	0	0
	80,0	10	2	0	0	0	0
	60,0	20	10	0	0	0	0
	40,0	26	10	4	2	0	0
	20,0	36	20	8	4	0	0
	0,0	60	30	12	10	0	0

Kuvio 18. Polttoaineen rikastus prosentteina moottorin lämpötilan ja ajan suhteen.

### 3.5 Moottorin käynnin aikainen säätäminen

Kun moottori saatiin käymään, alettiin hakemaan tarkempia arvoja tyhjäkäyntialueelle. Tässä hyödynnettiin kuvan 16 lambdataulukkoa sekä ohjelman tarjoamaa quick lambda-toimintoa. Toiminto laskee halutun lambdataulukon, kierrosluvun, sekä kuormituksen perusteella vaaditun polttoaineen suihkutusajan, jotta haluttu lambda-arvo saavutetaan.

Tyhjäkäynnin oltua tasainen alettiin kierroksia nostamaan 500 kierrosta kerrallaan ja haettiin samalla jatkuvasti sopivaa suihkutusaikaa quick lambda-dalla. Ajatellen tulevia laboratorioharjoituksia, tarpeellisin kierroslukualue todettiin olevan 2500–5000 kierrosta minuutissa. Tämän alueen suihkutusajat haettiin mahdollisimman tarkasti. Lopullinen polttoainekartta kuvassa 19 ja 20.

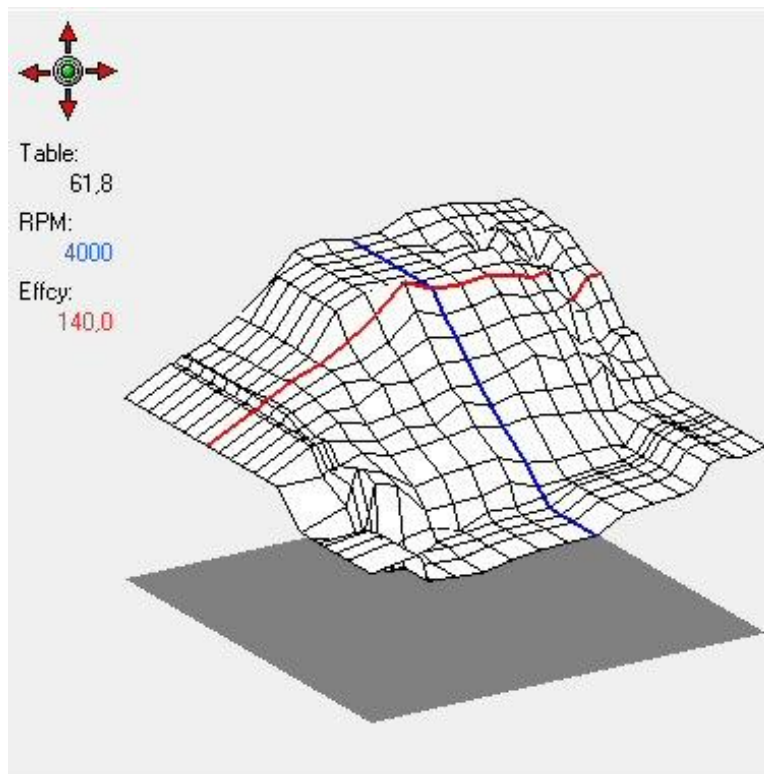
Superflow-moottoridynamometrin käyttöpöydästä haettiin jarrulle kierrosalue potentiometriä säätämällä. Tämän jälkeen moottorin kierrokset nostettiin kyseiselle kierrosluvulle kaasua säätämällä. Kun moottori oli alueella, dynamometri piti kierrokset vakiossa ja kaasulla säädettiin haluttu kuormitus. Kuormituksen aikana kuunneltiin myös nakutusta erityisillä kuullokkeilla joihin oli vedetty letku sylinterilohkon kyljestä.

2500 kierrokselle minuutissa tehdyn säädön jälkeen siirryin säätämään sytytyksen ennakon sopivaksi. Suurensin ennakkoa vähän kerrassaan, kunnes moottori alkoi nakuttamaan. Tämän jälkeen pudotin arvoa muutamalla asteella.

Mainitulla tekniikalla kävin läpi 500 kierroksen välein kierroslukualueen aina 5500 kierrokseen minuutissa asti. Tällä kierrosluvulla toimintaa alkoi rajoittaa moottorin nakutusherkeyys, joten suurilla kuormituksilla sytytyksen ennako piti pitää hyvin pienenä. Lopullinen sytytyskartta kuvissa 21 ja 22.

Fuel Main [% of IJPU]		RPM	1000	1100	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Effcy kPa	180,0		44,6	43,9	46,5	50,5	59,5	62,3	61,9	62,0	62,2	60,9
	170,0		44,6	43,9	46,5	50,5	59,5	62,3	61,9	62,0	62,2	59,3
	160,0		44,6	43,9	46,8	50,5	59,5	62,3	61,9	62,0	62,2	63,8
	150,0		44,6	44,4	46,8	50,2	59,5	62,3	61,9	62,0	62,2	62,0
	140,0		44,6	44,9	47,8	50,2	53,9	58,7	64,9	61,8	61,3	62,0
	130,0		44,6	44,9	47,3	50,2	50,9	53,8	59,7	57,2	57,9	59,3
	120,0		44,6	44,9	46,8	49,0	48,5	51,9	55,0	53,6	54,1	55,4

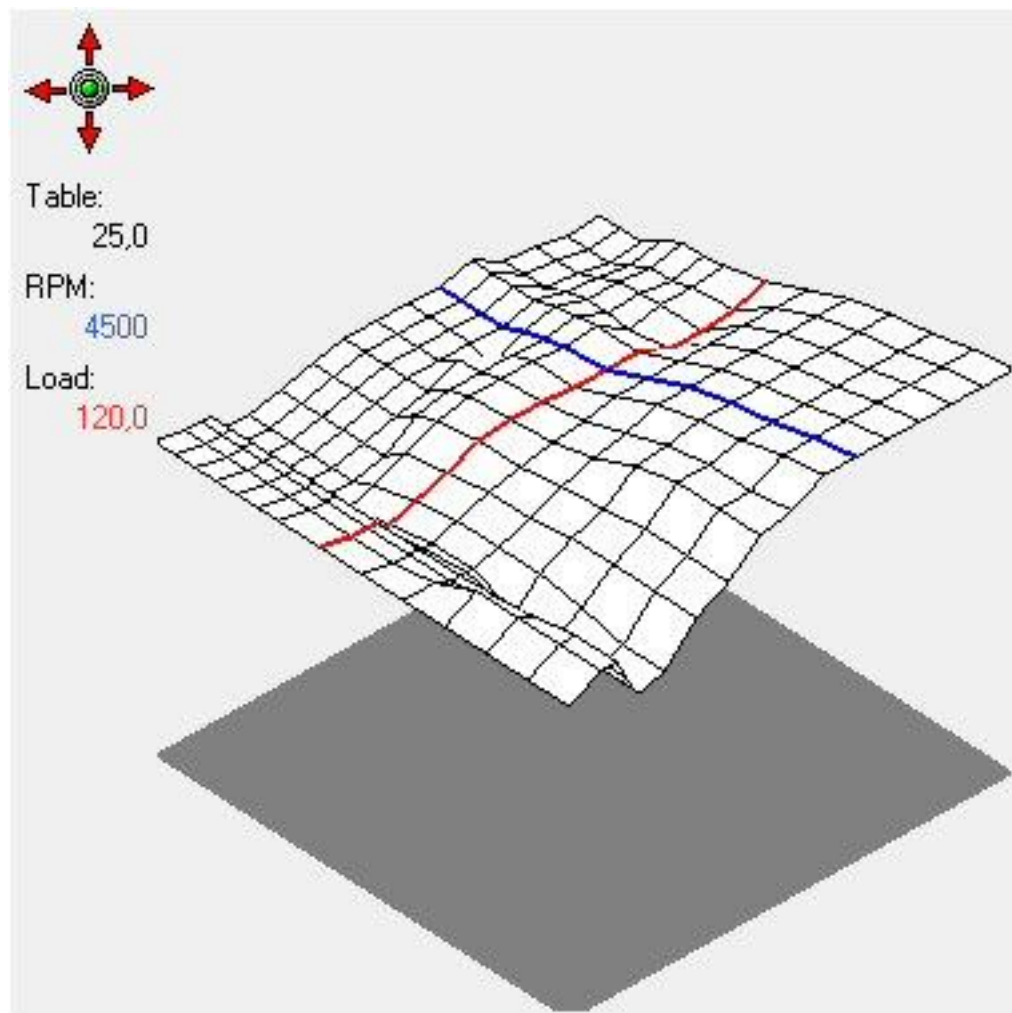
Kuvio 19. Osa lopullisesta polttoainekartasta.



Kuvio 20. Kolmiulotteinen kartta polttoaineen suihkutuksesta.

Ign Main (°BTDC)		RPM	900	1000	1100	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
⚡	200,0		18,0	15,0	12,6	12,5	14,5	17,0	19,0	19,0	19,0	18,5	21,0
	190,0		18,0	15,0	12,6	12,5	14,5	17,0	19,0	19,0	19,0	18,5	21,0
Load kPa	180,0		18,0	15,0	12,6	12,5	14,5	17,0	19,0	19,0	19,0	18,5	21,0
	170,0		18,0	15,0	12,6	12,5	14,5	17,0	19,0	19,0	19,0	18,5	21,0
	160,0		18,0	15,0	12,6	12,5	14,5	17,0	19,0	23,0	16,0	21,0	23,0
	150,0		18,0	15,0	12,6	12,5	14,5	21,0	23,0	23,0	23,0	22,5	24,0
	140,0		18,0	15,0	12,6	15,0	19,0	23,0	25,0	25,0	25,0	24,0	25,0
	120,0		18,0	15,0	15,6	18,0	21,0	25,0	26,0	26,0	25,0	25,0	25,0
	100,0		18,0	17,0	17,6	20,0	23,0	25,0	27,0	28,0	30,0	30,0	30,0
	80,0		18,0	18,0	18,0	20,0	23,0	27,0	30,0	32,0	35,0	35,0	35,0

Kuvio 21. Osa lopullisesta sytytyskartasta.



Kuvio 22. Kolmiulotteinen kartta sytytyksestä.

#### 4 Motecin säätäminen E85-polttoaineelle

Etanolipohjainen polttoaine eroaa tavallisista 95E10- ja 98E5-polttoaineista pienemmän energiasisältönsä takia. Tästä johtuen polttoainetta tulee ruiskuttaa enemmän, jotta palamiseen tarvittava reaktio saadaan aikaiseksi. Karttojen pohjana käytettiin bensiinille tehtyjä karttoja, jotta päästiin helpommin tekemään luotettavasti käyvä moottorinohjaus. Tässäkin työtä nopeutti quick lambda -toiminto, jolla ohjelma itse haki lambda-arvon perusteella oikeat suihkutusajat. Ainoat suuresti muuttuneet kartat olivat juuri polttoaineen suihkutuksen sekä käynnistykseen vaadittavat kartat. Kuvissa 23 ja 24 on polttoainekarttojen osia.

Fuel Main (% of IJPU)		RPM	0	800	900	1000	1100	1500	2000	2500	3000
Effcy kPa	120,0		40,9	47,0	30,0	33,0	33,2	36,9	36,1	38,3	43,8
	110,0		40,9	47,0	30,0	33,0	33,2	36,9	36,1	38,3	43,8
	100,0		40,9	47,0	30,0	33,0	33,2	36,9	36,1	36,5	42,0
	90,0		40,9	47,0	30,0	33,0	33,2	36,9	36,1	36,5	41,5
	80,0		40,9	40,9	30,0	33,0	33,2	36,9	36,1	36,5	37,3
	60,0		32,6	39,4	30,0	33,0	33,2	36,9	33,0	30,9	28,8

Kuvio 23. Osa E85-polttoaineen suihkutuskartasta.

Fuel Cranking Comp (% Trim)		CrTm s	0,00	0,50	3,00	5,00	8,00
			200	160	40	10	0

Kuvio 24. Käynnistykseen aikainen rikastus E85-polttoaineella.

#### 5 Pakokaasuahntimen hyötysuhteen mittaus

Opinnäytetyön toisena tavoitteena oli valmistaa laboratorioharjoitus tuleville autoalan opiskelijoille. Pakokaasuahntimen hyötysuhteen mittaus sopii harjoitukseksi hyvin. Siinä tutustuu energiatekniikkaan, sekä Superflow-moottoridynamometrin käyttöön.

Työ tehtiin suunnitelmaksi, koska sopivien antureiden löytäminen on vaikeaa ja hankintahinta on korkea. Laskentakaavat tarvitsevat paine- ja lämpötilatiedon ahtimen jokaiseen imu- ja pakolinjaan. Turbon kompressoripuolella antureilta ei vaadita niin

korkeaa lämmönsietokykyä kuin turbiinipuolelta. Turbiinipuolella korkeat pakolämpötilat vaikeuttavat lämpötilaa kestävien antureiden löytämistä. Etenkään paineanturit eivät kestä korkeita lämpötiloja, mutta sopivia lämpötila-antureita kyllä löytyy. Kuvassa 25 näkyy antureiden sopivat kiinnityspaikat.

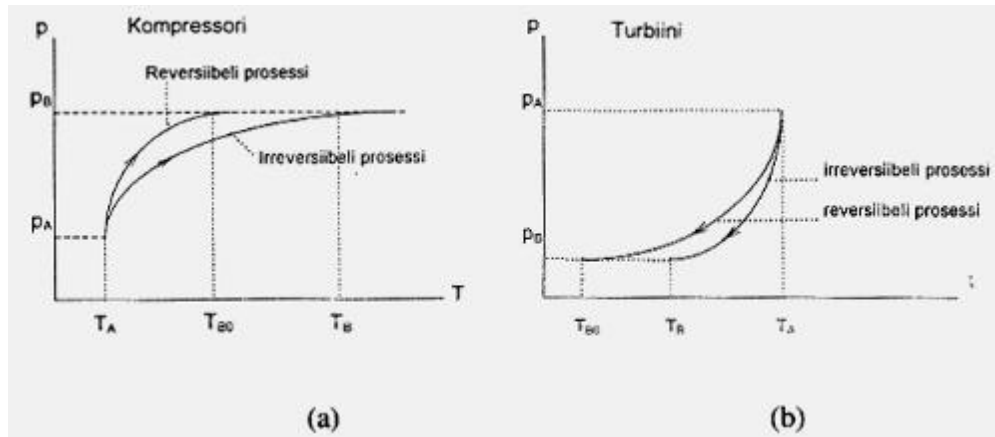


Kuvio 25. Pakokaasuahdin. Ympyröidyt paikat osoittavat antureiden kiinnityspisteitä.

Antureiden kiinnitysten jälkeen pitää antureiden johdotukset kytkeä Motec-järjestelmään, jotta antureiden dataa saisi luettua. Nämä johdot liitetään yhteiseen liittimeen, jotta Motecin väheneviä input-signaalien portteja voitaisiin nopeasti tulevaisuudessa vaihdella ja käyttää tarvittaessa erilaisiin anturointeihin. Vapaina Motecin liittimessä olisi vielä kuusi analogista sisäänmenoa, sekä neljä digitaalista sisäänmenoa.

Kun anturit on kalibroitu Motec ECU Managerissa, pystyy tietoja lukemaan ohjelman reaaliaikaisella seurannalla tai tallentaa ne luettavaksi Motec i2 -ohjelmalla tarkempaa analyysia varten.

Markku Lampisen kirjassa Termodynamiikan perusteet vuodelta 1997, osoitetaan, että todellisen prosessin hyötysuhde voidaan laskea laskemalla aluksi ideaalinen hyötysuhde ja vertaamalla näitä arvoja keskenään. Kuvassa 26 on verrattuna todellisen ja ideaalin prosessin kuvaajat. Reversiibeli prosessi esittää ideaalista prosessia ja irreversiibeli prosessi todellista prosessia. (6, s. 108, 119–120.)



Kuvio 26. Kompressorin ja turbiinin ideaalisen ja todellisen prosessin vertailu (6).

*Kompressorin ideaalisen hyötysuhteen laskeminen:*

$$\eta_k = \frac{T_{BO} - T_A}{T_B - T_A} \quad (1)$$

$\eta_k$  on kompressorin ideaalinen hyötysuhde

$T_{BO}$  on kaasun lämpötila kelvineissä kompressorin jälkeen ideaalisessa prosessissa

$T_A$  on kaasun lämpötila kelvineissä ennen kompressorin

$T_B$  on kaasun lämpötila kelvineissä kompressorin jälkeen todellisessa prosessissa.

*Turbiinin ideaalisen hyötysuhteen laskeminen:*

$$\eta_t = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_{BO}} \quad (2)$$

$\eta_t$  on turbiinin ideaalinen hyötysuhde

$T_{BO}$  on kaasun lämpötila kelvineissä turbiinin jälkeen ideaalisessa prosessissa

$T_A$  on kaasun lämpötila kelvineissä ennen turbiinia

$T_B$  on kaasun lämpötila kelvineissä turbiinin jälkeen todellisessa prosessissa.

Edellisissä kaavoissa käytetty  $T_{BO}$  eli kaasun lämpötila ideaalisissa prosesseissa, saadaan kaavasta

$$T_{BO} = T_A \left( \frac{p_B}{p_A} \right)^{\frac{K-1}{K}} \quad (3)$$

jossa

$p_B$  on paine bareissa ennen kompressoria tai turbiinia

$p_A$  on paine bareissa kompressorin tai turbiinin jälkeen

$K$  on vakiopaineisen kaasun ominaislämpökapasiteetti jaettuna vakioilavuuksisen kaasun ominaislämpökapasiteetilla ideaalikaasuilla.

Itse mittaukset tulisi suorittaa eri kierrosalueilla ja eri kuormituksilla useampaan otteeseen, jotta saadaan luotettavia tuloksia ja onnistutaan tekemään ahdinta kuvaava kartta. Sopivia käyttöalueita voisi olla tyhjäkäynti, osakuormitus pienillä ja suuremmilla kierroksilla sekä täyskuormitus pienillä ja suuremmilla kierroksilla. Liitteessä 2 on esimerkki laboratorioharjoituksen taulukosta.

## 6 Päästövertailu

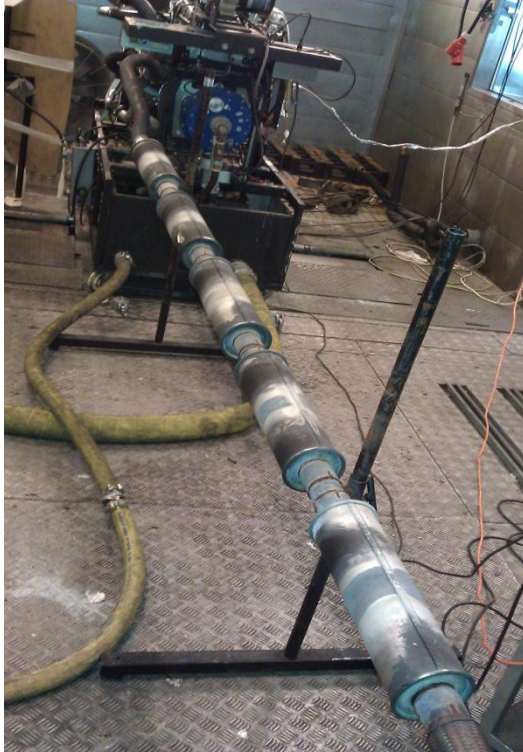
Työni kolmantena osana oli kahden eri polttoaineen muodostamien päästöjen vertailu. Käytetyt polttoaineet olivat Nesteen 98E5-polttoaine, jossa etanolipitoisuus saa enimmillään olla 5 prosenttia, sekä ST1-ketjun RE85, jonka etanolipitoisuus on enimmillään 85 prosenttia.

Tarkoituksena oli vertailla heti käynnistyksen jälkeen tulevia päästöjä sekä käyttö kierroksilla osakuormituksella tulevia päästöjä. Alun perin oli tarkoitus vertailla kylmäkäynnistyksen jälkeistä käyntiä, mutta pääsin tekemään työni vasta säiden lämmentyä, jolloin todellisia kylmäkäynnistyspäästöjä en päässyt mittaamaan.



## 6.1 98E5-polttoaineen päästömittaukset

Mittaus suoritettiin Boschin nelikaasuanalysointilaitteella pakoputken päästä. Kuvissa 27 ja 28 on esiteltyä pakoputkijärjestelmää, joka oli käytössä moottoridynamometrin kanssa, sekä itse pakokaasuanalysointilaitteita.



Kuvio 27. Dynamometrissa käytetty pakoputkijärjestelmä.



Kuvio 28. Bosch-nelikaasuanalysointilaitteita.



Pakoputkijärjestelmässä oli käytössä viisi äänenvaimenninta, koska haluttiin mahdollisimman hiljaiset ja ympäristöä meluhaitoilta mahdollisimman paljon säästävät testausolosuhteet.

Mittausten ajan laboratorioissa pyrittiin pitämään mahdollisimman tasainen ilma ja tässä onnistuttiin hyvin, koska laboratorioon on rakennettu hyvät tuuletusjärjestelmät. Ilmanpaineena mittauksen ajan oli 1016,7 hPa, ilmanlämpötilana oli 9,9–11 celsiusastetta ja ilman suhteellinen kosteusprosentti oli 46–50. Mittaukset suoritettiin tyhjäkäynnillä, sekä vähintään 2000 kierroksella minuutissa, kuten auton katsastuksessa tehdään. Koska pakoputkistossa ei ollut katalysoattoria, sovellettiin 1.10.1986 ja sen jälkeen käyttöönotettujen ajoneuvojen päästörajoja vertailuksi [7].

Ensimmäisessä mittauksessa, joka suoritettiin tyhjäkäynnillä 1100 kierroksella minuutissa, moottorin lämpötila oli 38,8 celsiusastetta ja imuilman lämpötila 19,5 celsiusastetta. Imuilman lämpötilan ero muuhun ilman lämpötilaan johtuu moottorin rakenteesta. Imuilma imetään aivan turboahtimen ja pakosarjan vierestä, jotka lämmittävät ilmaa. Tämän lisäksi käytössä ollut välijäähdytin on mitoitettu liian pieneksi. Toisessa mittauksessa, joka suoritettiin 2550 kierroksella minuutissa, moottorin lämpötila oli 60,4 celsiusastetta ja imuilman lämpötila 21,2 celsiusastetta. Näiden mittausten tulokset löytyvät kuvasta 29.

Mittaus 1		Mittaus 2	
>BOSCH ETT 008.55 U5.82< * HELSINGIN AMK * * STADIA * * KALEVANKATU 43 * * 00180 HELSINKI * ----- Mittaus 1 ----- 21.04.11 12:36 -----		----- Mittaus 2 ----- 21.04.11 12:39 -----	
PEtr	----	PEtr	----
°C	----	°C	----
l/min	1100	l/min	2550
% vol CO	0.823	% vol CO	1.938
% vol CO2	13.08	% vol CO2	13.86
% vol O2	2.75	% vol O2	0.58
ppm vol HC	256	ppm vol HC	192
Lambda	1.094	Lambda	0.962
% vol COvai	0.888	% vol COvai	1.938

Kuvio 29. Ensimmäiset päästömittaukset 98E5-polttoaineella.

Tämän jälkeen moottorin annettiin hieman jäähtyä ennen seuraavia mittauksia. Koska aikaa oli rajatusti, moottorin annettiin jäähtyä 78 celsiusasteesta 63 celsiusasteeseen. Kolmannessa mittauksessa kierroslukuna oli 1040 kierrosta minuutissa, moottorin lämpötila oli 66,1 celsiusastetta ja imuilman lämpötila oli 19,1 celsiusastetta. Neljännessä mittauksessa kierroslukuna oli 2510 kierrosta minuutissa, moottorin lämpötilana 70,2 celsiusastetta ja imuilman lämpötilana 18,3 celsiusastetta. Tulokset on esitetty kuvassa 30.

Mittaus 3		Mittaus 4	
21.04.11	13:05	21.04.11	13:07
PEtr	---	PEtr	---
°C	---	°C	---
1/min	1040	1/min	2510
% vol CO	0.352	% vol CO	1.436
% vol CO2	12.59	% vol CO2	14.22
% vol O2	3.92	% vol O2	0.77
ppm vol HC	256	ppm vol HC	147
Lambda	1.178	Lambda	0.986
% vol COvap	0.408	% vol COvap	1.436

Kuvio 30. Mittaukset 3 ja 4 98E5-polttoaineella.

Kun vertailee näitä tuloksia lakisääteisiin tuloksiin, nähdään, että moottori olisi teoriassa laillinen. CO-päästöjä tyhjäkäynnillä saa olla enimmillään 3,5 prosenttia, HC-päästöjä enimmillään 600 ppm [7]. Ensimmäisessä ja kolmannessa mittauksessa nämä arvot alitettiin selvästi. Kun verrataan tyhjäkäyntipäästöjä katalysaattorilla varustettuun autoon, jäädään enimmäisarvojen yläpuolelle HC-päästöjen osalta selkeästi. Katalysaattori alentaa sekä HC-päästöjä että sekä CO-päästöjä [3, s. 341].

Korotetulla kierrosluvulla ja osakuormituksella päästömittauksia voi verrata vain katalysaattorilla varustettuun autoon, koska vuonna 1986 voimaan tullessa asetuksessa ei otettu huomioon korotetun kierrosluvun päästöjä [7]. Näin ollen myös nämä päästöt ylittävät sallitut rajat, koska käytössä olleessa pakoputkistossa ei ollut katalysaattoria.

## 6.2 RE85-polttoaineen päästömittaukset

Mittaukset suoritettiin vastaavalla tavalla kuin 98E5-polttoaineella. Mittausolosuhteissa oli kuitenkin eroja, koska mittauksia ei kyetty suorittamaan samana päivänä. Pitkä aurinkoinen jakso oli lämmittänyt itse rakennusta niin paljon, ettei yhtä viileisiin olosuhteisiin enää päästy. Laboratorion ilmanpaine mittausten ajan pysyi 1023 hPa:ssa, ilman lämpötila 16,9 - 18,2 celsiusasteessa ja ilman suhteellinen kosteusprosentti 26 - 37.

Ensimmäisessä mittauksessa moottorin lämpötila oli 41,8 celsiusastetta ja imuilman lämpötila 23,3 celsiusastetta. Moottorin kierrosluku oli 1100 kierrosta minuutissa. Toinen mittaus korkeammalla kierrosluvulla ja osakuormituksella tehtiin moottorin ollessa 65,4 celsiusastetta, imuilman lämpötila 26,3 celsiusastetta ja kierrosluvun ollessa 2560 kierrosta minuutissa. Tulokset on esitetty kuvassa 31.

Mittaus 1		Mittaus 2	
27.04.11	11:22	27.04.11	11:27
PEtr	---	PEtr	---
°C	---	°C	---
1/min	1100	1/min	2560
% vol CO	0.249	% vol CO	2.062
% vol CO2	13.35	% vol CO2	14.07
% vol O2	2.79	% vol O2	0.29
ppm vol HC	288	ppm vol HC	211
Lambda	1.114	Lambda	0.948
% vol COvrai	0.275	% vol COvrai	2.062

Kuvio 31. Ensimmäiset päästömittaukset RE85-polttoaineella.

Tämän jälkeen moottorin annettiin jäähtyä kuten 98E5-polttoaineella 67 asteesta 55 asteeseen. Kolmannen mittauksen aikana moottorin lämpötila oli 57,8 celsiusastetta, imuilman lämpötila 28 celsiusastetta ja kierrosluku 990 kierrosta minuutissa. Viimeisessä mittauksessa moottorin lämpötila oli 68,1 celsiusastetta, imuilman



lämpötila 24,8 celsiusastetta ja kierrosluku oli 2560 kierrosta minuutissa. Tulokset on esitetty kuvassa 32.

Mittaus 3		Mittaus 4	
27.04.11	11:44	27.04.11	11:46
PEtr		PEtr	
°C	---	°C	---
l/min	990	l/min	2560
% vol CO	0.342	% vol CO	2.295
% vol CO2	13.69	% vol CO2	13.92
% vol O2	2.40	% vol O2	0.37
ppm vol HC	167	ppm vol HC	162
Lambda	1.097	Lambda	0.945
% vol COvrai	0.365	% vol COvrai	2.295

Kuvio 32. Mittaukset 3 ja 4 RE85-polttoaineella.

Verrattaessa tuloksia katsastuslainsäädäntöön [7], RE85-polttoaineen päästöarvot tyhjäkäynnillä alittavat ilman katalysaattoria varustetun auton arvot selvästi. Kun vertailu tehdään katalysaattorilla varustettuun autoon, CO-päästöt alittavat maksimiarvot, mutta jälleen HC-päästöjen osalta päästöt ovat liian korkeat. Korotetulla kierrosluvulla päästöt ylittävät selkeästi sallitut arvot johtuen katalysaattorin puutteesta.

### 6.3 Tulosten vertailu ja kommentit

Tyhjäkäyntikierroksilla hiilimonoksidipäästöt olivat molemmilla polttoainella lähes identtiset, kuten myös hiilidioksidipäästöt, jäännöshappi ja hiilivety-päästöt. Jäännöshapen arvon avulla korjattu hiilimonoksidipäästöarvo on hieman pienempi RE85-polttoaineella, kuin 98E5-polttoaineella. Pitkällä käyttäjaksolla eroja on kuitenkin nähtävissä, pääasiassa RE95-polttoaineen hieman pienemmän hiilimonoksidipäästöjen osalta ja etenkin jäännöshapen avulla korjatun arvon takia.

Korkeammilla kierroksilla ja kuormituksella tulokset kuitenkin kääntyvät toisinpäin. RE85-polttoaine tuottaa selkeästi enemmän hiilimonoksidipäästöjä, kuin 98E5-polttoaine. Myös jäännöshapen arvolla korjattu päästöarvo on selkeästi suurempi.

Hiilidioksidi- ja hiilivety päästöjä polttoaineet tuottavat keskimäärin yhtä paljon. Etanolipolttoaine tuottaa vähemmän jäännöshapetta.

Käytetty pakokaasuanalysointilaitteisto on suunnattu perinteisille polttoainelle katsastuslainsäädännön mukaan, eikä se siksi näyttänyt kaikkia päästöjä tarkasti. Etenkin etanolin päästöt eroavat hiukkasten osalta perinteisistä bensiineistä. Tarkoituksena oli liittää tuloksiin myös polttoaineen tarkka kulutus, mutta laitteistona käytetty PLU-virtausmittari rikkoutui ennen ensimmäistä mittausta, enkä sen takia voinut tätä tehdä.

## **7 Yhteenveto**

Työn tarkoitus oli tarkastella Motec-moottorinohjauksen ohjelmointia ja tehdä työstä pikaohje. Tämän lisäksi tarkoitus oli tehdä laboratorioharjoitukseksi turboahtimen hyötysuhteen mittaus sekä etanoli- ja bensiinipolttoaineiden päästövertailu.

En ollut ennen tätä opinnäytetyötä ollut suoranaisesti työstämässä moottorinohjausjärjestelmää, joten en osannut aavistaa, millainen työ aiheessa todellisuudessa on. Insinööriopinnoistani hyödyin hieman, mutta suurin apu tuli työharjoittelustani korjaamoalalla sekä itseoppimalla tehdessäni tätä opinnäytetyötä. Varsinkin vikatilanteissa korjaamotaustani auttoi nopeasti löytämään viat ja korjaamaan ne. Motec-järjestelmään löytyy onneksi hyvin ohjeita internetistä, ettei tarvinnut lähteä työstämään aihetta aivan tyhjästä. Tekemäni pikaohje, joka on liitteessä 1, helpottaa varmasti tulevaisuudessa Motecin kanssa töitä tekeviä pääsemään alkuun. Työssä tavoite oli saada moottori toimimaan mahdollisimman tasaisesti ja luotettavasti. Tavoite saavutettiin, ja moottori toimi luotettavasti tehtävissä mittauksissa.

Laboratorioharjoitukseksi tarkoitettu turboahtimen hyötysuhteen mittaus jäi toteuttamatta aikarajoitusten sekä kustannusten takia. Sopivia antureita oli hyvin vaikea löytää. Tässä työssä sain selvitettyä, kuinka anturit saisi kytkettyä Moteciin ja kuinka niiden saamaa tietoa voisi lukea i2-ohjelmiston avulla. Tehtyä työtä voi suoraan käyttää käytännön toteutukseen.

Johtuen käyttämästäni analysaattorista, en osannut odottaa näkeväni suuria eroja polttoaineiden päästövertailun tuloksissa. Pakokaasuja talteenottavalla ja tarkalla laitteistolla saisi varmasti selkeämpiä eroja. Ilmojen lämmitessä en saanut parhaalla mahdollisella tavalla vertailtua kylmäkäynnistyksen eroja polttoaineiden osalta. Myöskään laitteiston rikkoutumisen takia en saanut polttoaineen kulutuksen osalta riittävän tarkkoja tuloksia, jotta niitä olisi voinut tähän työhön liittää.

## Lähteet

- 1 M400/M600/M800/M880 User's Manual. Verkkodokumentti. Motec Pty Ltd. <[http://www.motec.com.au/filedownload.php/M400\\_M600\\_M800\\_M880\\_Manual\\_A5.pdf?docid=1087](http://www.motec.com.au/filedownload.php/M400_M600_M800_M880_Manual_A5.pdf?docid=1087)>. 7.11.2003. Luettu 19.1.2011.
- 2 Pulkkinen, Valteri. 2010. Moottorinohjauksen suunnittelu, asentaminen ja säätäminen. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 3 Gasoline-Engine Management. 2nd edition. Postfach: Robert Bosch GmbH. 2004.
- 4 Bosch Sensors 2006 | 2007. Robert Bosch GmbH. 2008.
- 5 Motec ECU Manager. Version 3.52P2. <[http://www.motec.com/filedownload.php/m800\\_352P2.exe?docid=3654](http://www.motec.com/filedownload.php/m800_352P2.exe?docid=3654)>. 8.4.2010.
- 6 Lampinen, Markku. Termodynamiikan perusteet. Espoo. Otatieto Oy. 1997.
- 7 Pakokaasupäästöt. Verkkodokumentti. A-Katsastus Oy. <<http://www.a-katsastus.fi/Autolija-info/tehopaketti%20tietoa%20autoilijoille/pakokaasupaastot/Sivut/default.aspx>>. Luettu 21.4.2011.

## Motec-pikaohje

Tässä kerrotuilla tavoilla saa Motec-moottorinohjauksella varustetun auton säädöt lähtökohtaisesti oikeaan suuntaan. Tarkemmat säädöt vaativat tutustumista tarvittaviin laskentakaavoihin sekä moottorin kokeilemistä dynamometrillä. Tässä pikaohjeessa myös oletetaan, että moottori on valmis käynnistymään eli kaikki apulaitteet on kytketty.

1. Tarkista suuttimien asetukset Adjust -> General Setup -> Fuel -> Setup.  
Skaalaus eli IJPU tulee asettaa oikeaan arvoon.  
Yhden suuttimen tarvitsema huippuvirta-arvo tulee syöttää.  
Suuttimien akun jännitteen kompensointi löytyy Adjust -> General Setup -> Fuel -> Battery Comp -kohdasta.
2. Laskentatavat pitää määrittää Adjust -> General Setup -> Main Setup kohdista Eff Calc Method sekä Load Calc Method. Turboahdetuille moottoreille suositellaan MAP-anturin antaman tiedon perusteella toimivaa laskentaa. Tästä valikosta tulee myös määrittää moottorin sylinterilukumäärä.
3. Antureiden tiedot tulee tarkistaa Adjust -> Sensor Setup -> Input Setup valikosta.
4. Liipaisuasetukset määritetään Adjust -> Sensor Setup -> REF/SYNC Sensor Setup -> Setup valikosta. Tänne tulee syöttää liipaisuun liittyvät asetukset, kuten referenssipyörän puuttuvien hampaiden lukumäärä työkiertoa kohden. Liipisuantureiden tiedot muutetaan kohdassa 3 (Hall- vai induktiivinen anturi).
5. Sytytykseen liittyvät tiedot muutetaan Adjust -> General Setup -> Ignition -> Setup ja Dwell -kohtien valikoista. Tarvittavat tiedot saa sytytyspuolan tai sytytyspuolien datalehdistä.
6. Kaasuläpän asentoanturi kalibroidaan Adjust -> Sensor Setup -> Throttle Position Hi/Lo -kohdassa annettujen ohjeiden mukaisesti.
7. F5-näppäimellä pääsee vaihtelevaan pääasiallisen polttoainekartan sekä sytytyskartan välillä. Polttoainekartan tulisi alussa olla tasainen. Jos kartta ei näytä tarpeellisia arvoja akseleillaan, niitä voi muokata klikkaamalla hiiren oikeata nappia kartan päällä ja valitsemalla Axis Setup.
8. Adjust -> Fuel -> Compensations -> Air Temp Comp saa säädettyä ilman lämpötilan vaikutusta polttoaineen suihkutukseen. Kylmällä rikastusta ja kuumalla laihennusta.



9. Adjust -> Fuel -> Compensations -> Eng Temp Comp saa säädettyä moottorin lämpötilan vaikutusta polttoaineen suihkutukseen. Kylmällä hieman rikastusta, joka laskee lämpötilan noustessa.
10. Adjust -> Fuel -> Compensations -> MAP Comp tulee muokata sellaiseksi, että aina paineen lisääntyessä 100 kPa, rikastuksen tulee nousta 100 %:n.
11. Adjust -> Fuel -> Accel Enrichment -> Fuel Accel Clamp tulisi muokata niin, että alle 4000 kierrosten alueella on rikastusta.
12. F5-näppäimellä hakee pääasiallisen sytytyskartan ja säätää sen tasaiseksi sekä arviolta sopivaksi, ei liian myöhäisellä eikä liian aikaisella, ettei moottori ala nakuttaa.
13. Adjust -> Ignition -> Compensations -> Air Temp Comp -käyrän tulisi olla kylmällä negatiivinen, normaalilämmöissä 0 sekä kuumalla jälleen negatiivinen.
14. F8-näppäimellä pääsee lambdasäätöön. Matalilla kierroksilla sekä alhaisella kuormituksella lambda-arvon olisi hyvä olla noin 1, mutta kierrosten kohotessa sekä kuormituksen lisääntyessä tulisi arvon pienentyä. Tämä myös mahdollistaa polttoainekartalla Q-näppäimen käytön, joka tarkoittaa quick lambda -toimintoa.

Näiden tietojen syöttämisen jälkeen pitää tarkistaa vikakoodit F3-näppäimellä ja poistaa viat. Jos vikojen poistamisen jälkeen ilmestyy samoja vikoja välittömästi uudelleen, tulee viat tutkia tarkemmin.

Moottorin käynnistymistä voi auttaa Adjust -> Fuel -> Overall Trim -kohdasta.

Moottorin käydessä voi aloittaa polttoainekartan säätämisen. Q-näppäimellä saadaan ohjelma hakemaan halutun lambdan mukaisen arvon polttoainekarttaan.

Polttoainekarttojen ollessa sopivia voi aloittaa sytytyskartan hakemisen kohdilleen.

**Pakokaasuahtimen hyötysuhteen mittaus**

	Tyhjäkäynti 1000 rpm	Osakuormitus 2500 rpm	Osakuormitus 4500 rpm	Täyskaasu 2500 rpm	Täyskaasu 5500 rpm
Paine ennen kompressoria					
Paine kompressorin jälkeen					
Lämpötila ennen kompressoria					
Lämpötila kompressorin jälkeen					
Paine ennen turbiinia					
Paine turbiinin jälkeen					
Lämpötila ennen turbiinia					
Lämpötila turbiinin jälkeen					
$\eta_k$					
$\eta_t$					

Tarvittavat kaavat:

$$\eta_k = \frac{T_{BO} - T_A}{T_B - T_A} \quad \eta_t = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_{BO}} \quad T_{BO} = T_A \left( \frac{p_B}{p_A} \right)^{\frac{K-1}{K}} \quad \text{Ilmalla } K = 1,40$$