

Niko Väisänen

**MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄN ASENTAMINEN
KORKEAVIRITTEISEEN MOOTTORIIN**

MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄN ASENTAMINEN KORKEAVIRITTEISEEN MOOTTORIN

Niko Väisänen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Niko Väisänen
Opinnäytetyön nimi: Moottorinohjausjärjestelmän asentaminen korkeavirtteiseen moottoriin
Työn ohjaaja: Mauri Haataja
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018
Sivumäärä: 29 + 3 liitettä

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja asennettiin Volvo 240 -henkilöajoneuvon korkeasti viritettyyn moottoriin ohjelmoitava moottorinohjausjärjestelmä. Työssä käsitellään suunnittelun ja asentamisen eri vaiheita ja ohjelmoitavan moottorinohjauksen säätämistä.

Työ aloitettiin valitsemalla Ecumaster-moottorinohjausjärjestelmä. Tämän jälkeen aloitettiin moottorinohjauksen johtosarjan suunnittelu, valmistus ja asennus. Johtosarjan ja moottorinohjausjärjestelmän asentamisen jälkeen tutkittiin ohjelmoitavan moottorinohjauksen säätömahdollisuuksia.

Moottorinohjausjärjestelmän säätäminen ja tehoanalyysi tapahtuivat Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) moottorilaboratoriossa tehonmittauspenkissä. Moottorilaboratorion mittaustuloksista tehtiin teoreettiset laskelmat, joita vertailtiin kokemusperäisiin taulukkoarvoihin. Tuloksista saatiin ohjelmoitavalla moottorinohjauksella saavutetut hyödyt ja parannettavat asiat. Tuloksista voidaan myös vertailla alkuperäisen moottorin ja korkeasti viritetyn moottorin eroavaisuuksia sekä tehon ja vääntömomentin kasvua eri moottorin kierroslukualueilla.

Asiasanat: hyötysuhde, henkilöauto, moottorinohjaus, teho, vääntömomentti

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical Engineering, Vehicle and Transportation Engineering

Author: Niko Väisänen

Title of thesis: Installing a motor control system to a high-powered engine

Supervisor: Mauri Haataja

Term and year when the thesis was submitted: spring 2018

Pages: 29 + 3 appendices

In this thesis, a programmable motor control system for the highly engineered Volvo 240 passenger vehicle was designed and installed. The work involves various stages of design and installation and adjustment of programmable motor control.

The work was started by selecting the Ecumaster engine control system. After that design, manufacture and installation of engine control harnesses were started. Following the installation of the wiring harness and the engine control system, the possibilities of adjusting the programmable motor control were studied.

Engine control system programming and power analysis were carried out at the Oamk Engine Laboratory in dynamometer. Theoretical calculations were made of the measurement results of the engine laboratory, which were compared to the experience-based table values. The results obtained were the benefits and improvements of the programmable engine control. The results can also be used to compare the differences between the original engine and the highly tuned engine as well as the increase in power and torque in different engine speed ranges.

Keywords: car, engine, efficiency, torque, power

ALKULAUSE

Tämä insinööri työ saattaa toteen työn tilaajan Eero Mikkosen harrasteajoneuvon moottorihjauksen toteutuksen ja ohjelmoinnin. Haluan kiittää kaikkia työssäni mukana olleita ja sisällönohjaaja professori Mauri Haatajaa. Suuret kiitokset Eero Mikkoselle, jonka ansiosta sain toteuttaa erittäin mielenkiintoisen ja kehittävän insinööri työn hänen harrasteajoneuvoonsa.

Oulussa 7.6.2018

Niko Väisänen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 OTTOMOOTTORI	9
3 MOOTTORINOHJAUS	10
3.1 KE-Jetronic	10
3.2 Ecumaster EMU	10
4 AJONEUVON TEKNIikka	12
4.1 Moottori	12
4.1.1 Suuttimet	12
4.1.2 Sytytys	12
5 ECUMASTER-MOOTTORINOHJAUKSEN ASENNUS	13
5.1 Ohjaukset	13
5.2 Anturoinnit	13
5.3 Johtosarjan suunnittelu	13
5.4 Johtosarjan asennus	14
6 MOOTTORINOHJAUKSEN SÄÄTÄMINEN	15
6.1 Moottorinohjauksen ylösajo	15
6.1.1 Kampiakselin asentotietoanturi	15
6.1.2 Sytytyskartta	18
6.1.3 Polttoainekartta	18
6.2 Moottorin säätäminen tehodynamometrissä	19
7 MOOTTORIN TEOREETTISET TULOKSET	21
7.1 Mittaustulokset	21
7.2 Moottorin mitoituksen tarkastelu	22
7.2.1 Tehollisen keskipaineen määrittäminen ilmakerroinmenetelmällä	23
7.2.2 Tehollisen keskipaineen määrittäminen rakennevakion avulla vääntömomenttikuvaajasta	23
7.2.3 Sylinteritäytöksen määrä maksimitehon olosuhteissa	24

7.2.4 Ahtimen vaikutus imuilman lämpötilaan	24
7.2.5 Volymetrinen hyötysuhde	25
7.2.6 Ilman massa	25
7.2.7 Polttoaineen massa	26
7.2.8 Polttoaineen massavirta	26
7.2.9 Polttoaineen ominaiskulutus	26
7.2.10 Moottorin kokonaishyötysuhde	26
8 TULOKSIEN TARKASTELU	27
9 YHTEENVETO	28
LÄHTEET	29
LIITTEET	
Liite 1 Volvo 240:n teho- ja vääntömomenttikuvaaja	
Liite 2 Volvo B230F -moottorin teho- ja vääntömomenttikuvaaja	
Liite 3 Kokonaisajovastuskuvaaja	

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö sai alkunsa pitkään kestäneestä projektista, jota hyvä ystäväni ja työn tilaaja Eero Mikkonen on toteuttanut. Projekti alkoi siitä, kun hänen harrasteajoneuvonsa Volvo 240:n moottorikokoonpano oli valmis ja siihen oli toteutettava ohjelmoitava moottorinohjausjärjestelmä. Moottorinohjausjärjestelmä suunniteltiin, rakennettiin, ohjelmoitiin ja testattiin tehodynamometri mittausjärjestelmällä.

Työ toteutetaan vuosimallia 1983 olevaan Volvo 240 -henkilöajoneuvoon, jonka moottori ja voimansiirtolinja oli toteutettu käytännössä uusiksi kokonaan. Moottorina autossa on Volvon valmistama 4-sylinterinen ahdettu ottomoottori. Vaihteisto on jälkiasennettu BMW e36 M3:n 5-portainen manuaalivaihteisto. Taka-akselisto on auton tyypille ominainen akselisto, lukuun ottamatta tasauspyörästäön lukon lisäystä. Taka-akseliston voimansiirron välityssuhde säilyi muuttumattomana.

Tavoitteina on saada toimiva moottorinohjausjärjestelmä kokonaisuus ja samalla tarkastellaan moottorista saatuja tuloksia teoreettiselta näkökannalta työn onnistumisesta. Työssä suunnitellaan ja toteutetaan moottorinohjausjärjestelmä Volvo 240 -ajoneuvoon. Toteutus tapahtuu Eero Mikkosen korjaamotiloissa sekä Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) ajoneuvolaboratoriossa.

2 OTTOMOOTTORI

Ottomoottori on kaksi- tai nelitahtinen sisäisen palotapahtuman polttomoottori, jossa polttoaineilmaseos sytytetään sähköisellä kipinällä. Vuonna 1876 Nicolaus Otto patentoi ottotyökierron, jonka mukaan moottori on saanut nimensä. Seoksen muodostuminen voi tapahtua kaasuttimessa, imukanavassa tai palotilassa. Polttoaineen saannista moottorille huolehtii kaasutin tai suihkutusjärjestelmä, jollainen voi olla mekaaninen tai elektroninen. (1.)

Vasta 1990-luvulla sähköisesti ohjatut suihkutusjärjestelmät syrjäyttivät kaasuttimilla toimivat moottorit. Tähän johti päästöjen tiukentuminen ja sähköisen polttoaineen ruiskutusjärjestelmän polttoaineen taloudellisuus. Sähköisesti ohjattu polttoaineen ruiskutus on huomattavasti tarkempi polttoaineen annostelussa kuin kaasutin, joka johtaa pienempään kulutukseen sekä päästöihin. (2, s. 499.)

Seossuhde

Kaikki sisäisen palotapahtuman moottorit toimivat ilma-polttoaineseossuhteella. Ottomoottorin paras teoreettinen palamissuhde bensiinillä on noin 14,7:1 eli ilman suhde polttoaineeseen on 14,7-kertainen. Tämä on ideaalinen suhde palamisreaktion kannalta, muttei paras tehon tai taloudellisuuden kannalta. Paras teho saavutetaan hieman rikkaalla seoksella vapaasti hengittävissä moottoreissa ja ahdetuissa vielä rikkaammalla. Kuitenkin polttoaineen taloudellisuuden kannalta pyritään matka-ajossa ja osakuormalla seosta laihentamaan yli 14,7:1. (3.)

Ilmapolttoaineseoksella on suuri vaikutus moottorin sisäisesti tapahtuvan palotapahtuman puhtaudella. Palotapahtumassa syntyy haitallisia päästöjä, jotka pystytään kitkemään pois jopa 98-prosenttisesti oikealla ilma-seossuhteella. (3.)

Ilmakertoimella λ =lambda ilmaistaan ihanteellisinta polttoaineilmaseos arvoa. Teoreettisesti imetty ilmanmassa vastaa tarvittua ilmanmassaa, kun $\lambda=1$. Päästöjen kannalta λ täytyy olla 0,97 - 1,03 välillä, jotta katalysaattorilla varustetussa ajoneuvossa katalysaattorin pakokaasujen puhdistus tapahtuisi oikein. (3.)

3 MOOTTORINOHJAUS

Moottorinohjaus on moottorin sähköjärjestelmän toimintojen kannalta merkittävin tekijä. Sen ohjaustoiminnot säätävät moottorin sähköjärjestelmän suureita muun muassa sytytyksen ajoituksen, sylinteritäytöksen ja seoksenmuodostamisen ohjauksen moottorin eri kuormituspisteissä. Moottorinohjausjärjestelmä sisältää runsaasti erinäisiä antureita ja toimilaitteita käsittävän järjestelmän.

3.1 KE-Jetronic

Ajoneuvon alkuperäinen moottorinohjaus oli sähköisesti ohjattu KE-Jetronic. Ke-Jetronic on Boshin valmistama, joka on parannettu versio K-Jetronicin mekaanisesta moottorinohjausjärjestelmästä. (4.)

KE-Jetronicin ruiskutusjärjestelmässä polttoainetta ruiskutetaan jatkuvasti. Mekaaninen ohjauspaineensäädin on korvattu määränjakajan yhteyteen rakennetulla sähköisellä venttiilillä. Moottorinohjausyksikkö vastaanottaa tietoa moottorin käyntinopeudesta, lämpötilasta, kaasuläpän asennosta ja kuormituksesta. Näiden perusteella moottorinohjausyksikkö säätää määränjakaja venttiilin virtausta. Virtaus vaikuttaa polttoaineen ohjauspaineeseen, jonka myötä moottorin seossuhteeseen. Polttoainekartta on myös ahtopaineen mukaan säätävä. (4.)

3.2 Ecumaster EMU

Uudeksi moottorinohjausjärjestelmäksi päättyi Ecumaster EMU. Ecumaster EMU on itsenäinen täysin säädettävissä oleva moottorinohjausyksikkö. EMU:n säätäminen tapahtuu tietokoneella, jossa tietokone ja moottorinohjausyksikkö liitetään toisiinsa USB-kaapelilla. Kyseisellä moottorinohjausjärjestelmällä pystytään ohjaamaan polttoainetta, sytytystä sekä monia apujärjestelmiä 1 - 12 sylinterisissä sähköisen sytytyksen moottoreissa. Ecumaster EMU:n käyttöliittymä on interaktiivinen sovellus eli se opastaa käyttäjää tekemään oikeita parametri- ja raja-arvoja. Kuva 1 havainnollistaa Ecumaster EMU:n ulkorakenteen. (5.)



KUVA 1. EMU-moottorinohjausyksikkö (5)

4 AJONEUVON TEKNIikka

Volvo 240:n alkuperäinen moottori on korvattu Volvon 4-sylinterisellä ottomoottorilla, joka on tyypiltään B230. Moottorin on kytketty ZF:n valmistama 5-portainen manuaalivaihdelaatikko, jota käytetään BMW:n e36 M3 -urheiluautossa.

4.1 Moottori

Moottorina toimii Volvon 4-sylinterin ottomoottori, jossa moottorin iskutilavuus on 2 300 kuutiosenttimetriä (cm³). Kansi on muokattu imuvirtauksen parantamiseksi. Imusarja on itsevalmisteinen ja se parantaa vielä lisää imuilman virtausta. Pakosarja on itsevalmisteinen. Pakosarjaan on kiinnitetty Holset HX35 -pakokaasuvirtausahdin tuottamaan ylipaine imuvirtausjärjestelmään. Ahtimen ja imusarjan välissä on väli-ilmanjäähdytin parantamaan imuilman jäähdytystä. Väli-ilmanjäähdyttimen ansiosta imuilman lämpötila alenee, joka pienentää ilman tiehyttä. Ilman tiheyden aleneminen antaa mahdollisuuden suuremmalle sylinteritäytökselle, jonka ansiosta moottorin teho ja hyötysuhde paranevat.

4.1.1 Suuttimet

Suuttimet on vaihdettu suuremmiksi polttoaineen määrän lisäämistä varten. Ne ovat tyypiltään PL4 ja niiden polttoaineen tuotto yhtä suutinta kohden on 1 000 kuutiosenttimetriä yhtä minuuttia kohden (cc/min). Suuttimet ovat RC Engineerin gin valmistamat. (6.)

4.1.2 Sytytys

Alkuperäinen sytytys perustui mekaaniseen virranjakajatekniikkaan. Virranjakaja sijaitsee moottorin lohossa. Virranjakaja otti sytytys tiedon moottorista mekaanisella menetelmällä, jolloin tiedettiin moottorin asento. Tästä tieto kulki sähköisesti puolalle, joka vahvisti virran ja antoi virran sytytystulpalle.

Uudessa kokoonpanossa puola ja virranjakaja ovat yhdistetty. Näille sytytysignaali tulee kampiakselin asentokulma-anturilta, joka on jouduttu asentamaan jälkiasenteisena. Tämä menetelmä on helpommin säädettävissä, joka tapahtuu elektronisesti.

5 ECUMASTER-MOOTTORINOHJAUKSEN ASENNUS

Moottorinohjauksen asennukseen oli ensin selvitettävä, mitä Ecumaster EMU pystyi ominaisuuksillaan tarjoamaan sekä selvitettiin moottoriin sekä ajoneuvoon halutut toiminnot. Tuloksien seurauksena valittiin halutut anturoinnit ja ohjaukset moottorinohjauskokoonpanoon.

5.1 Ohjaukset

Moottorinohjauksen tärkeimpänä tehtävänä on ohjata moottorin toimintoja. Kyseiseen moottorinohjaus kokoonpanoon tulee seuraavia ohjauksia:

- suuttimet
- sytytys
- ahtopaine.

5.2 Anturoinnit

Moottorinohjauksen toimiakseen tulee sen kerätä antureilta tarvittavaa tietoa ohjausta varten. Moottorille tulevat anturitiedot ovat seuraavat:

- kampiakselinasennon pulssitieto
- öljynpaine
- imusarjan painetieto
- imuilman lämpötilatieto
- polttoaineilmaseos eli lambda
- nakutustieto
- kaasuläpän asentotieto
- jäähdytysnesteen lämpötila.

5.3 Johtosarjan suunnittelu

Johtosarjan suunnittelu alkoi puhtaalta pöydältä. Suunnittelu alkoi johtosarjojen kaavioiden käsin piirtämisestä. Kaavion sähköjohtojen pituudet mitattiin konehuoneesta ja tarvittavat johtojen määrät huomioitiin anturi-toimilaitekaaviosta. Johtosarjan suunnittelussa otettiin huomioon tulevaisuuden muutokset ja muutostarpeet, joten johtosarjaan lisättiin ylimääräisiä johtoja, jotta tarvittaessa anturointeja

tai toimilaitteita voitaisiin lisätä moottorinohjausyksikölle, ilman johtosarjan päivittämistä.

5.4 Johtosarjan asennus

Rakentaminen tapahtui ajoneuvon vieressä suurella pöydällä, jossa olivat johtosarjan mitoista varten mitat joka nurkassa. Johtoja leikattiin oikea määrä oikean pituisiksi ja sitten ne aseteltiin pöydälle. Pöydällä johdot niputettiin yhteen ja laitettiin kutistussukan sisälle. Jokainen johto oli sen mukaan erimittainen sen mukaan, mihin kohtaan moottoria johdon pää viedään. Sen takia johtosarjaan tehtiin y-haara liitoksia, joista johtosarja aina haarautui eri toimilaitteelle tai anturille. Johtosarjan rakentamisen jälkeen oli johtosarjan moottoritilan päähän laitettava moottorinohjausyksikön liitinkampa ja toiseen päähän johtosarjaa antureille sekä toimilaitteille kuuluvat pikaliittimet. Johtosarja asennettiin konehuoneeseen, liittimet laitettiin paikoilleen ja moottorinohjausyksikkö kiinnitettiin liitinkampaan. Moottorinohjausyksikkö sijoitettiin ohjaamon puolelle, jalkatilan yläosaan, moottoritilan ja ohjaamon välisen tulipeltiin.

6 MOOTTORINOHJAUKSEN SÄÄTÄMINEN

Moottorinohjauksen säätäminen oli monivaiheinen prosessi. Ensimmäiset parametrit säädettiin siten, että ajoneuvon moottori saatiin käymään teoreettisella ilma-seossuhteella eri moottorin lämpötiloissa. Seuraavassa vaiheessa ajoneuvon moottori pyrittiin saamaan karkeisiin säätöihin tieolosuhteissa eri kuormitusalueilla. Lopullinen hienosäätö ja tehoanalyysi tapahtuivat Oamkin moottorilaboratoriossa, jossa moottorin säädöt tehtiin tehodynamometripenkissä.

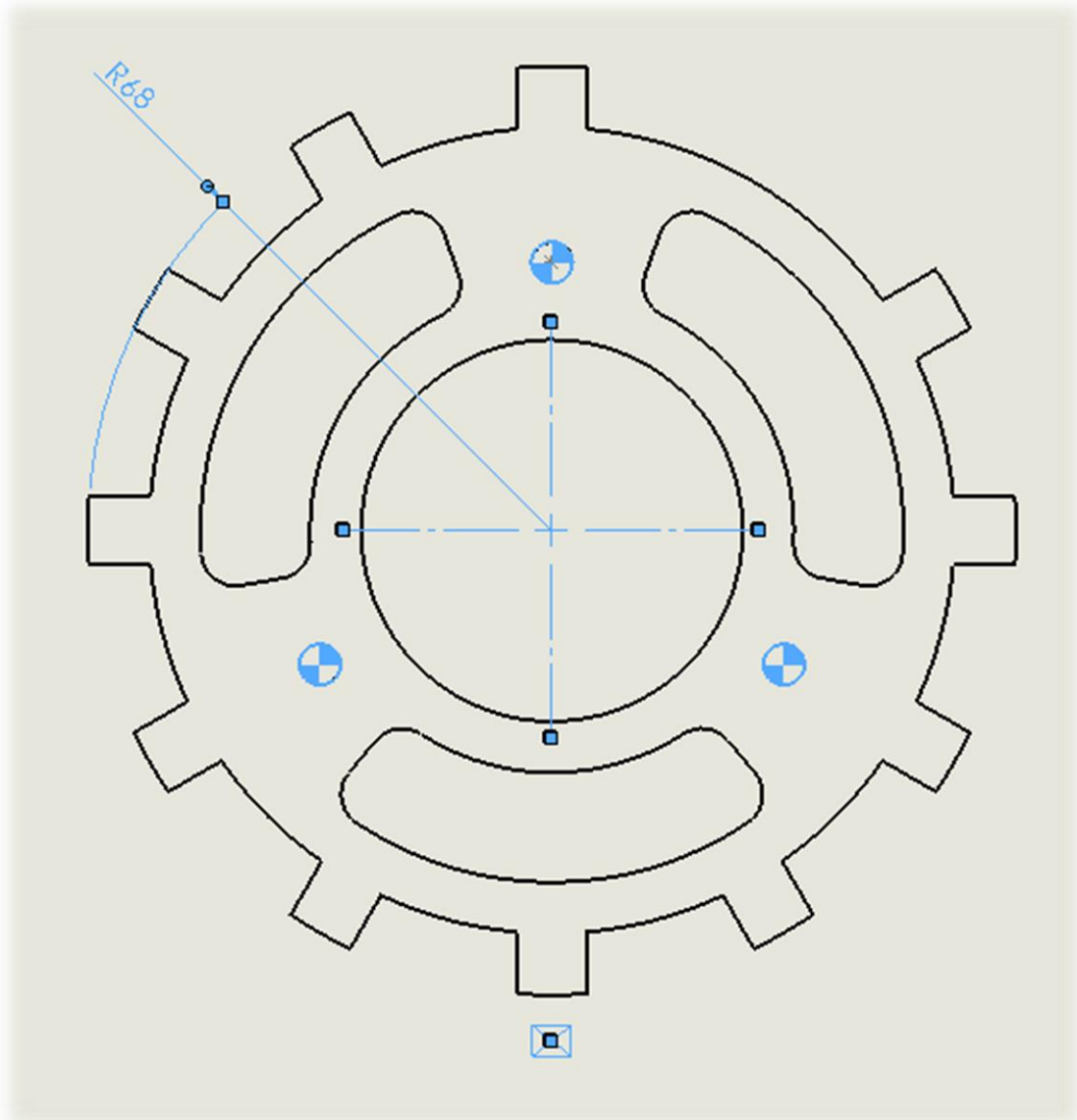
6.1 Moottorinohjauksen ylösajo

Ennen käynnistämistä oli säädettävä useat anturit oikeisiin arvoihin ja oli tehtävä teoreettiset asetukset moottorin käynnistämisen kannalta. Auton sytytysvirrat kytkettynä päälle ja moottorinohjausyksikkö liitetty tietokoneeseen, oli annettava lähötöarvot antureille ja toimilaitteille sekä erinäiset optiot polttoaine- ja sytytyskartoilte.

6.1.1 Kampiakselin asentotietoanturi

Kampiakselin asentotietoanturi on Hall-anturi, joka mittaa signaalitietona hammaspyörältä puuttuvaa hammasta. Signaalitieto menee moottorinohjausyksikölle, jossa se prosessoidaan moottorinpyörimisnopeustiedoksi, josta saadaan ilmi moottorin männän asento suhteessa nokka-akseliin. Tämä määrittelee tiedon, milloin sytytyskipinä annetaan tulpalta sekä milloin polttoainetta ruiskutetaan. Yleisesti hammaspyörästä käytetään termiä ”triggeripyörä”.

Kampiakselin asentotietoanturia varten jouduttiin suunnittelemaan triggeripyörä. Triggeripyörän hammasluvuksi valittiin 12-1 eli 12 hampaasta yksi hammas puuttuu. Triggeripyörä 12-1 osoittautui parhaaksi vaihtoehdoksi, kun otettiin huomioon hammaspyörän halkaisija ja tilan ahtaus. Hammaspyörän suunnittelu ja valmistus tapahtuivat Oamkin tiloissa. Triggeripyörän valmistus toteutettiin Oamkin vesileikkauskoneessa. Kuvassa 2 havainnollistetaan triggeripyörän CAD-piirustusta, jonka mukaan triggeripyörä valmistettiin.



KUVA 2. Itse valmistetun triggeripyörän CAD-piirustuskuva

Kuvasta 3 nähdään Ecumaster-käyttöliittymän Ignition – Primary trigger -välilehdelle syötetyt arvot. Taulukkoon piti määrittellä triggeripyörän asento suhteessa männän yläkuolokohtaan, sylintereiden lukema ja puuttuvien hampaiden lukumäärä. Kuvasta 4 nähdään määritetyt moottorinohjauksen sytytyksen ulosmenotiedot, eli mistä kaikista lähtöporteista menee tieto sytytyspuolalle kipinää varten.

Primary trigger	
Sensor type	Hall / Optical sensor
VR sensitivity switch	15000 RPM
Enable pullup	<input checked="" type="checkbox"/>
Trigger type	Toothed wheel with 1 missing tooth
Trigger edge	Falling
Number of cylinders	4
Num teeth (incl. missing)	12
First trigger tooth	0
Trigger angle	108
Cranking gap detection scale	100 %
Next edge rejection angle	0 deg
Input delay	0 us
Enable scope	<input checked="" type="checkbox"/>
Ignition angle lock	<input type="checkbox"/>
Locked angle	20

KUVA 3. Ignition - Primary triggerin asetusarvotaulukko

Ignition outputs	
Spark distribution	Coils
Coils type	Coils with built in amplifier
Output offset	0
Ignition event 1	Ignition output 1 (10A, G8)
Ignition event 2	Ignition output 2 (10A, G16)
Ignition event 3	Ignition output 1 (10A, G8)
Ignition event 4	Ignition output 2 (10A, G16)
Ignition event 5	None
Ignition event 6	None
Ignition event 7	None
Ignition event 8	None
Ignition event 9	None
Ignition event 10	None
Ignition event 11	None
Ignition event 12	None

KUVA 4. Ignition – Outputs

6.1.2 Sytytyskartta

Sytytyskartan säädöt määriteltiin ennen moottorinkäynnistämistä. Sytytysennakkokartta laadittiin olettamalla ja muutamissa tapauksissa kokemusperäisistä tiedoista, joilla moottori arvioitiin toimivan. Sytytyskartan asetukset ovat 20 kPa:n välein x-askelilla ja 500 rpm:n välein taulukon y-askelilla. Sytytyskartan arvot ilmentävät sytytyksen ajankohdan kampiakselin kulma-asteina ennen sylinterin yläkuolokohtaa (YKK), jossa moottorin mäntä on yläkohdassa. (Kuva 5.)

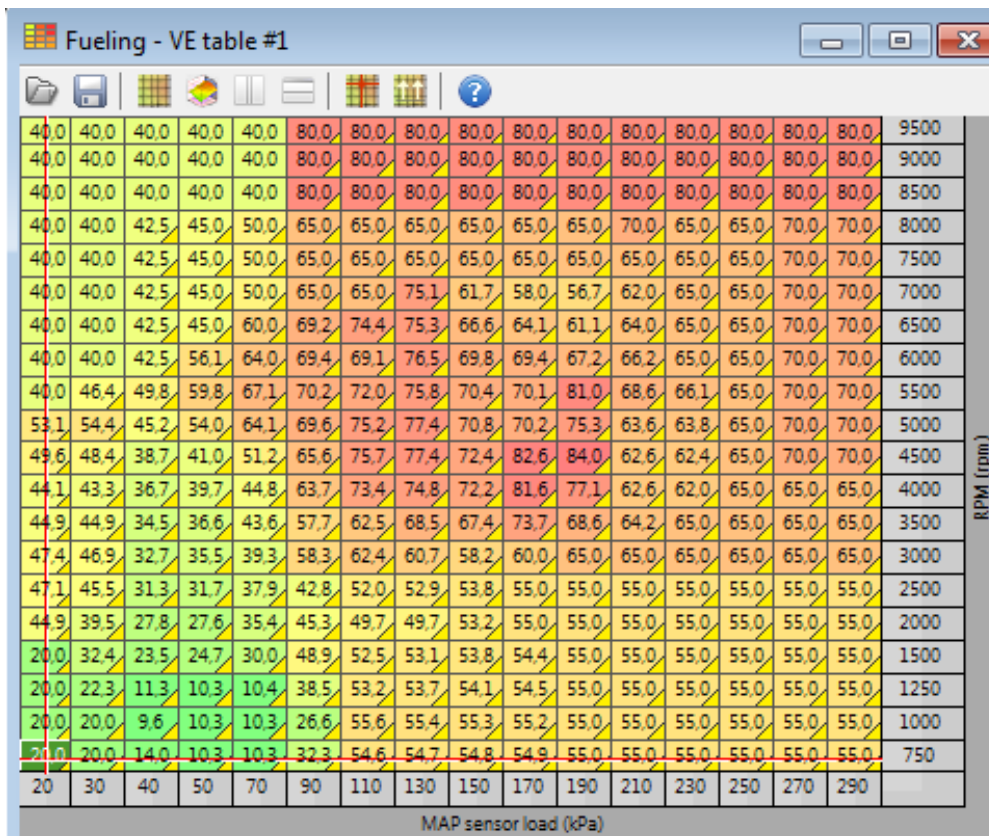
MAP sensor load (kPa)	20	30	40	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	RPM (rpm)
9500	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	28,0	24,5	22,0	21,0	19,5	18,0	14,0	9500
9000	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	28,0	24,5	22,0	21,0	19,5	18,0	14,0	9000
8500	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	28,0	24,5	22,0	21,0	19,5	18,0	14,0	8500
8000	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	28,0	24,5	22,0	21,0	19,5	18,0	14,0	8000
7500	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	28,0	24,5	22,0	21,0	19,5	18,0	14,0	7500
7000	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	28,0	24,5	22,0	21,0	19,5	18,0	14,0	7000
6500	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	28,0	24,5	22,0	21,0	19,5	18,0	14,0	6500
6000	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	28,0	24,5	22,0	21,0	19,5	18,0	14,0	6000
5500	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	27,0	24,0	22,0	21,0	19,5	18,0	14,0	5500
5000	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	27,0	24,0	22,0	20,0	19,0	18,0	14,0	5000
4500	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	33,0	25,0	22,0	22,0	19,0	18,0	17,0	15,0	4500
4000	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	31,0	25,0	22,0	18,0	18,0	17,5	17,0	15,0	4000
3500	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	37,0	34,0	28,0	23,0	21,0	18,0	18,0	17,0	16,0	15,0	3500
3000	30,0	33,5	36,5	41,0	41,0	38,5	36,0	31,0	28,0	20,0	19,0	18,0	18,0	16,5	15,0	13,0	3000
2500	25,0	28,5	31,5	37,0	41,0	38,5	33,0	28,0	26,0	20,0	19,0	18,0	15,5	14,5	13,0	13,0	2500
2000	20,0	23,5	28,0	33,0	38,0	38,5	27,5	24,0	24,0	20,0	19,0	18,0	13,0	11,5	10,0	10,0	2000
1500	20,0	20,0	20,0	21,0	21,0	21,5	20,5	20,0	20,0	20,0	15,5	11,0	10,0	9,0	8,0	8,0	1500
1250	20,0	18,5	18,0	16,5	16,5	17,5	18,5	20,0	20,0	20,0	15,5	11,0	10,0	9,5	9,0	9,0	1250
1000	20,0	18,0	16,0	16,5	16,5	13,5	16,5	20,0	20,0	20,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	1000
750	20,0	10,0	16,0	16,5	16,5	13,5	16,5	20,0	20,0	20,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	750

KUVA 5. Säädetyin moottorin sytytyksen ennakon kartta pyörimisnopeuden ja ah-
topaineen funktiona

6.1.3 Polttoainekartta

Polttoainekartalla määritellään moottorinohjauksessa polttoaineilmaseoksen määrä sytytys tapahtumassa. Reaaliaikaisesta lambda mittausarvosta voidaan päätellä, että käykö moottori rikkaalla vai laihalla. Mahdollisimman optimaaliseen lambda arvo määrittelee moottorin tyhjäkäynnin tasaisuuden ja eri kuormitus tilapisteissä moottorin optimaalisen käynnin.

Ennen käynnistämistä täytyi tyhjäkäyntialueelle antaa joitain arvoja polttoainekarttaan. Käynnistysvaiheessa tuli seurata lambda mittarin arvoa, jottei moottori käy liian rikkaalla tai laihaalla. Sen mukaan taulukon arvoa säädettiin pienemmälle tai suuremmalle. Ajokokeita toistettiin lukemattomia määriä niin, että moottorinohjauksen polttoainemäärä arvot oltiin saatu tyydyttäväiksi. Kuvassa 6 nähdään seossuhteen säätöarvot.



KUVA 6. Säädetyin moottorin polttoaineen ruiskutuksen kartta pyörimisnopeuden ja ahtopaineen funktiona

6.2 Moottorin säätäminen tehodynamometrissä

Tehodynamometrikokeissa havaittiin moottorinohjauksen hienosäädöllä olevan vaikuttava merkitys saataviin teho- ja vääntömomenttiarvoihin. Ensimmäisessä mittauksessa moottorin teho- ja vääntömomenttikäyrä toteutettiin karkeilla säädöillä tehdyillä asetuksilla. Mittausarvot osoittivat, että teho- ja vääntömomenttikäyrä olivat verraten epämääräisiä ja ei täten vastannut odotuksia. Moottorin säätöjä sovitettiin useiden mittausten avulla ja lopullisten tulosten saaminen ja niihin

tyytyminen tuottivat tulosta, kun moottorin sytytysennakon säätöä tarkennettiin ja samalla pyrittiin säilyttämään ilmakertoimen (λ) arvo optimaalisena.

Polttoainekarttaa säädettäessä dynaamisessa ajotilasimuloinnissa tehodynamometrissä huomattiin, että pienikin laihalla arvon meneminen aiheutti moottorin lämpökuorman kasvamisen. Tästä syystä pakosarjan lähettyviltä vesiletku sulii pakosarjan korkeasta kuumuudesta, mikä aiheutti nestevuodon. Tämän seurauksena huomattiin, että moottorinohjaus kokoonpanoon pitää lisätä tulevaisuudessa pakosarjan lämpötila-anturi moottorin suojaustoimintojen parantamiseksi.



KUVA 7. Volvo 240 tehodynamometrissä

7 MOOTTORIN TEOREETTISET TULOKSET

Tässä osiossa tarkastellaan moottorista saatuja lopullisia tuloksia teoreettiselta näkökannalta. Päähuomiona on tarkastella moottorin viritystasetta ja rakenteellista näkökulmaa nykyisillä kokoonpanoilla. Moottorin mitoituksen tarkastelua verrataan kokemusperäisistä tuloksista laadittuun taulukkoon 1.

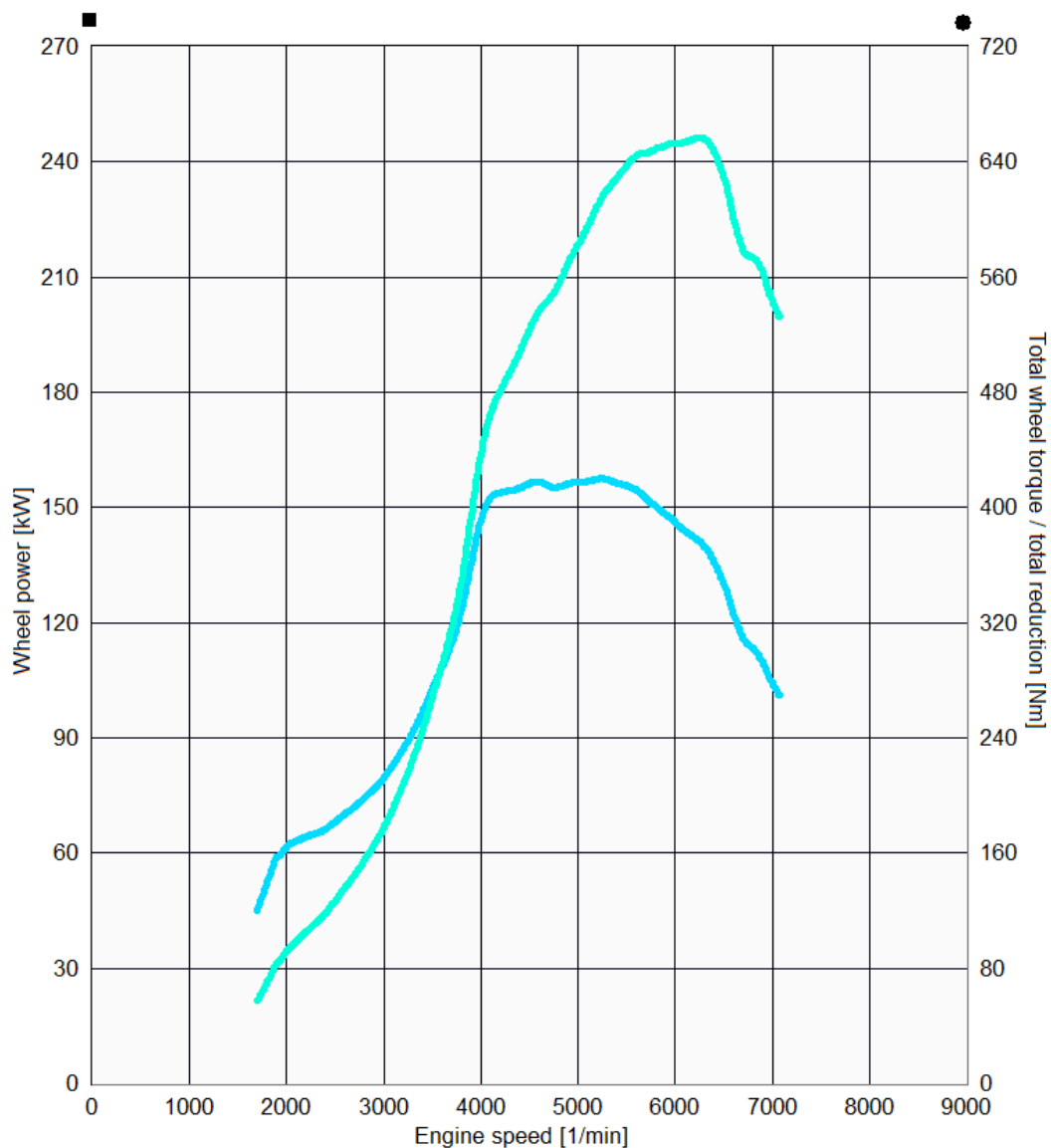
TAULUKKO 1. Kokemusperäisiä arvoja ja dataa moottorin mitoitusta varten (7, s. 457)

Engine type/ application			Engine speed n_{nom} rpm	Com- pression ratio ϵ	Max. mean pres- sure p_e bar	Power output per liter kW/l	Weight- to- power ratio kg/kW	Specific fuel con- sumption g/kWh	Torque increase %
Gasoline engines	Motor- cycles	4- stroke	5,000–13,000	9–12	9–13	50–150	2.5–0.5	230–280	10–15
	Pass. cars	NAE	5,000–8,000	9–13	11–14	40–80	2.0–0.8	220–270	15–20
		IC/ SCE	5,000–7,500	9–12	15–22	60–110	1.5–0.5	220–250	20–40
Diesel engines	Pass. cars/ Light comm. veh.	NAE	3,500–4,500	19–24	7–9	20–35	4.0–2.0	220–260	5–10
		SCE/ IC	3,500–4,500	18–22	12–20	35–55	3.0–1.3	200–220	20–40
	Comm. veh.	SCE/ IC	1,800–2,600	15–18	18–24	25–40	4.0–2.5	180–210	20–40

NAE = Naturally aspirated engine; SCE = Supercharged engine; IC = Intercooling

7.1 Mittaustulokset

Mittaustulokset saatiin Oamkin tehodynamometrissä lopullisilla moottorinohjauksen asetuksilla. Mittaustuloksia varten oli ilmoitettava dynamometrille ajoneuvon voimansiirron välityssuhteet, joista se laski teho- ja vääntömomenttiarvon eri kierroslukuarvoille. 2 300 kuutiosenttimetrin iskutilavuus moottorista saatiin 210 kPa:n imusarjanpaineella 246,4 kW teho, joka saavutettiin 6260 rpm:n kohdalla. Suurin saavutettu 420,1 Nm vääntömomentti sijoittui 5240 rpm:n kohdalle. Mitatut tulokset olivat pyörältä mitattuja arvoja, joten teoriassa moottorin teho ja vääntömomentti arvot ovat suuremmat, koska voimansiirron häviöt ovat n.10% luokkaa. Näin ollen voidaan olettaa, että moottorilta on saatu 271 kW teho ja 462,1 Nm vääntömomentti.



KUVA 8. Säädetyin moottorin vääntömomentti- ja tehokäyrät moottorin pyörimisnopeuden funktiona.

7.2 Moottorin mitoituksen tarkastelu

Moottorin päämitoitus tapahtuu itse mitatuilla arvoilla ja olosuhteet määritellään itse, mutta olosuhteet oletetaan lähes laboratorio olosuhteita vastaavaksi. Oletamme, että testausolosuhteet tapahtuvat +20 celsiusasteen lämpötilassa ilmanpaineen ollessa $1,25 \text{ kg/m}^3$

7.2.1 Tehollisen keskipaineen määrittäminen ilmakerroinmenetelmällä

Tehollisen keskipaineen määrittämiseen tarvitaan iskutilavuus, teho ja tehollinen kierrosluku. Normien mukaan tehollinen keskipaine määritetään aina tehon mukaan. Kaavalla 1 lasketaan moottorin tehollinen keskipaine moottori tehon mukaan. (3.)

$$p_e = \frac{P_e * j}{V_i * n_e} = \frac{271000W * 2}{2,3 * 10^{-3} m^3 * (\frac{6260}{60}) 1/s} = 2258647 Pa \sim \mathbf{22,5bar} \quad \text{KAAVA 1}$$

p_e = tehollinen keskipaine (Pa)

P_e = moottori teho (W)

j = kertoo onko 2 – vai 4 – tahtimoottori

$j = 2$ = nelitatti, $j = 1$ = kaksitahti

V_i = iskutilavuus (m^3)

n_e = moottorin kierrosluku huipputehon aikana ($1/s$)

7.2.2 Tehollisen keskipaineen määrittäminen rakennevakion avulla vääntömomenttikuvasta

Tehollisen keskipaineen määrittämistä varten täytyy määrittää ensin rakennevakio. Rakennevakion määrittämiseen tarvitaan iskunpituus, sylinteriluku ja männän halkaisija. Rakennevakio lasketaan kaavalla 2. (3.)

$$K_r = \frac{D^2 * s * i}{8 * j} = \frac{(0,096m)^2 * 0,080m * 4}{8 * 2} = 1,8432 * 10^{-4} m^3 \sim \mathbf{184cm^3} \quad \text{KAAVA 2}$$

K_r = Rakennevakio

D = männän halkaisija [m]

s = iskunpituus [m]

i = sylinterien lukumäärä

j = toimintatapa kertoin; kertoo onko 2 – vai 4 – tahti moottori,

$j = 2$ nelitatti, $j = 1$ kaksitahti

Rakennevakion määrittämisestä pääsemme kaavaan 3, jossa tehollista keskipainetta tarkastellaan väännön ja rakennevakion avulla. (3.)

$$p_e = \frac{T}{K_r} = \frac{462\,100\,Nmm}{184320mm^3} = 2,50\,N/mm^2 \sim \mathbf{25bar} \quad \text{KAAVA 3}$$

$p_e = \text{tehollinen keskipaine [Pa]}$

$K_r = \text{Rakennevakio}$

Tuloksen perusteella väännön ja rakennevakion avulla laskettu tehollinen keskipaine on suurempi kuin ilmakerroin menetelmän avulla. Oletan, että selitys löytyy väännöstä ja sen sijainnista matalammalla kierroslukualueella.

7.2.3 Sylinteritäytöksen määrä maksimitehon olosuhteissa

Moottoria ajetaan maksimi teholla bensiinillä, jonka ominaislämpöarvo on $h_n = 43MJ/kg$. Ulkolämpötilan oletetaan olevan $+20\,^{\circ}C$. Koska kyseessä on korkeasti viritetty ottomoottori, oletamme ilmakerroin arvon olevan $\lambda = 0,88$. Koska moottorissa on kohtuullisen suuri ahdin, oletamme taulukkoarvosta, että ahtimen isentrooppinen hyötysuhde on $\eta_{isc} = 0,80$ ja ahtimen isentrooppinen vakio on $K=1,4$. Ahtimen ahtama maksimaalinen paine, jossa hukkaportti aukeaa on 1,1 baarin ylipaine, joka on mitattu huipputehon alueella. (3.)

7.2.4 Ahtimen vaikutus imuilman lämpötilaan

Ahdin vaikuttaa imuilman lämpötilaan volymetrasta hyötysuhdetta laskettaessa. Lämpötilan muutos ahtimessa voidaan määrittää kaavalla 4. (3.)

$$\Delta T_{ac} = \frac{T_{ac}}{\eta_{isc}} * \left[\left(\frac{p_a}{p_{oc}} \right)^{\frac{K_{isc}-1}{K_{isc}}} - 1 \right] = \frac{T_o}{\eta_{isc}} * \left[\left(\frac{p_a}{p_{oc}} \right)^{\frac{K_{isc}-1}{K_{isc}}} - 1 \right] = \frac{293K}{0,80} * \left[\left(\frac{210KPa}{95KPa} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = \mathbf{93,165K} \quad \text{KAAVA 4}$$

$T_{ac} = \text{ahtimeen tulevan ulkoilman lämpötila [K]}$

$p_a = \text{ahtopaine [kPa]}$

$p_{oc} = \text{ahtimeen tuleva ulkoilmanpaine [kPa]}$

$\eta_{isc} = \text{ahtimen isentrooppinen hyötysuhde}$

$K_{isc} =$ ahtimen isentrooppinen vakio noin 1,4

Ahtimessa tapahtuvan lämpötilan muutoksen määrittelyä, voidaan ilman lämpötila ahtimen jälkeen määrittää kaavalla 5. (3.)

$$T_a = T_{ac} + \Delta T_{ac} = 293K + 93,165K = \mathbf{386,2K} \quad \text{KAAVA 5}$$

Ahtimen ja imusarjan välillä on huomioitava ilman viileneminen. Kaava 6 esittää lämpötilan sylinterissä puristustahdin alussa. (3.)

$$T_1 = 70 + \frac{5}{6} * T_a = 70 + \frac{5}{6} * 386,2K = \mathbf{391,8K} \quad \text{KAAVA 6}$$

7.2.5 Volymetrinen hyötysuhde

Volymetrinen hyötysuhde kertoo sylinteritäytöksen hyvyydestä imutahdin aikana. Vapaasti hengittävät <1, kun taas turboahdetut >1. (3.)

$$\eta_v = \frac{T_o * p_1}{T_1 * p_o} = \frac{293K * 210kPa}{391,8K * 95kPa} = \mathbf{1,65} \quad \text{KAAVA 7}$$

$\eta_v =$ volymetrinen hyötysuhde

$T_o =$ ulkoilman lämpötila [K]

$p_1 =$ ahtopaine [kPa]

$p_o =$ ahtimeen tuleva ulkoilmanpaine [kPa]

Koska kone on turboahdettu, näin ollen tulos on paikkansa pitävä. Volymetrinen hyötysuhde on erittäin hyvä, mikä johtuu suuresta ahtimesta ja välijäähdyttimestä.

7.2.6 Ilman massa

Kaavalla 8 lasketaan ilman massa yhtä työkiertoa kohden moottorin huipputeholla. (3.)

$$m_i = \eta_{vol} * \rho_o * V_i = 1,65 * \frac{1,25kg}{m^3} * 2,3 * 10^{-3}m^3 = 0,004744kg \approx \mathbf{4,74g}$$

$\rho_o =$ ilman tiheys [1,25kg/m³] KAAVA 8

7.2.7 Polttoaineen massa

Vastaavasti kaavalla 9 lasketaan polttoaineen massa yhtä työkiertoa kohden moottorin huipputeholla. (3.)

$$m_f = \frac{m_i}{\lambda * L_o} = \frac{0,004744kg}{0,88 * 12,5kg/kg} = 0,000431kg \approx \mathbf{0,43g} \quad \text{KAAVA 9}$$

$\lambda = \textit{lambda}$

$L_o = \textit{ilmavakio [kg/kg]}$

7.2.8 Polttoaineen massavirta

Jotta moottorin ominaiskulutus voidaan laskea, tarvitsee ensin määrittää polttoaineen massa virta kaavalla 10. (3.)

$$m_f^o = \frac{m_f}{\left(\frac{1}{n_e}\right)} = \frac{0,000431kg}{\left(\frac{2}{\left(\frac{6260}{60}\right)^{1/s}}\right)} = 0,022kg/s \approx \mathbf{79200g/h} \quad \text{KAAVA 10}$$

7.2.9 Polttoaineen ominaiskulutus

Polttoaineen ominaiskulutus saadaan, kun polttoaineen massavirta jaetaan moottorin huippu teholla. Polttoaineen ominaiskulutus lasketaan kaavalla 11. (3.)

$$b = \frac{m_f^o}{P_e} = \frac{79200g/h}{271 Kw} = \mathbf{292g/kWh} \quad \text{KAAVA 11}$$

7.2.10 Moottorin kokonaishyötysuhde

Kaavalla 12 lasketaan moottorin kokonaishyötysuhde. Hyötysuhteen laske-
miseksi tarvitaan polttoaineen lämpöarvo ja ominaiskulutus.

$$\eta_e = \frac{3,6 * 10^6}{b * h_n} = \frac{3,6 * 10^6}{\frac{292g}{kWh} * 43000kJ/kg} = 0,287 = \mathbf{29\%} \quad \text{KAAVA 12}$$

$h_n = \textit{polttoaineen lämpöarvo [kJ/kg]}$

8 TULOKSIEN TARKASTELU

Teoreettiset tulokset yllättivät positiivisesti. Kun vertaa kokemusperäisistä tuloksista laadittua taulukkoa saatuihin tuloksiin niin saatiin seuraavat johtopäätökset. Moottorin tehollisen keskipaineen teoreettiset laskelmat osuivat taulukkoarvojen raja-arvojen sisälle. Tehollinen keskipaine on laskennallisesti ja kokemusperäisesti kohtuullisen korkea moottorin turboahtimen ja väli-ilmanjäähdyttäjän seurauksena. Polttoaineen ominaiskulutus ei taas sattunut taulukon raja-arvojen sisälle, vaan laskemalliset tulokset olivat hieman liian suuret. Tämä todennäköisesti on seurausta kohtuullisen rikkaasta polttoaineilmaseoksesta. (Taulukko 1.)

Moottorin tehon ja vääntömomentin kasvu oli erittäin suuri verrattuna alkuperäisen moottorin teho ja vääntömomentti käyriin. Tähän merkittävänä tekijänä lukeutuu turboahtimen ja välijäähdyttimen lisääminen, sekä ruiskutusjärjestelmän vaihtaminen. Kuitenkin tärkein tekijä oli moottorin tehon ja vääntömomentin kasvulle moottorin oikeaoppinen säätäminen ohjelmoitavalla moottorinohjausjärjestelmällä, joka tapahtui tehodynamometrissä. Tehodynamometrissä säätäminen on melkeinpä välttämätöntä, jotta moottorinohjausjärjestelmä toimii kaikissa kuormitustilanteissa optimaalisesti. (Liitteet 1 ja 2.)

Liitteessä 3 on esitetty Excel-ohjelmistolla laaditut ajotilatutkimuskuvaajat. Niistä havaitaan kuinka moottorin tuottamat vääntömomenttiarvot eri vaihteiston välityssuhteilla riittävät voittamaan kaikki ajovastusvoimat eri ajotilavaiheissa.

9 YHTEENVETO

Moottorinohjausjärjestelmän toteutus korkeavirtteiseen ahdettuun ottomoottoriin onnistui tavoitteiden mukaisesti. Ohjelmoitava Ecumaster EMU -moottorinohjausjärjestelmä todettiin erittäin toimivaksi ja tarkoituksenmukaiseksi ratkaisuksi toteuttaa Volvo 240:n ajoneuvon moottoriin. Ohjelmoitavalla moottorinohjauksella tuotettiin laajan kuormitusalueen omaava moottori, jossa suurennettiin moottorin tehoa ja vääntömomenttia. Pää tarkoituksena oli rakenteellisesti kestävä ja korkean hyötysuhteen omaava moottori.

Moottorilaboratoriomittauksissa havaittiin muutamia puutteita anturoinnin suunnittelussa, ja lisäksi teoreettista laskentaa varten olisi ollut hyvä suorittaa sylinteripaine mittaus maksimaalisella teho- ja vääntömomenttialueella. Pakosarjan lämpötila-anturin puuttuminen todettiin merkittäväksi tekijäksi, koska pakosarjan lämpötila saattoi nousta muutamissa sekunneissa erittäin korkeaksi. Tämä huomattiin vasta, kun vesipumpun jäähdytinnesteletku alkoi vuotamaan sulamisen takia.

Kokonaisuutena opinnäytetyön tavoitteet ja tulokset saavutettiin niin teoriassa kuin käytännössäkin. Työssä joutui perehtymään varsinkin syvällisesti moottorinohjauksen perusteisiin ja perinteiseen moottoritekniikkaan.

LÄHTEET

1. Ottomoottorin teoriaa. 2014. Autowiki. Saatavissa: <http://www.autowiki.fi/index.php/Ottomoottori> Hakupäivä 6.6.2018.
2. Bauer, Horst – Crepin, Jürgen – Dietsche, Karl-Heinz – Dinkler, Folkhart, 2003. Autoteknillinen taskukirja. 6. painos. Robert Bosch GmbH. Suom. Jyväskylä: Gummerus Oy.
3. Niskanen, Perttu 2015. T332103 Polttomoottori 1 3 op. Opintojakson luennot syksyllä 2015. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö
4. 4. KE-Jetronic moottorinohjausjärjestelmä. 2014. Autowiki. Saatavissa: <http://www.autowiki.fi/index.php/KE-Jetronic> Hakupäivä 6.6.2018.
5. Ecumaster EMU moottorinohjausjärjestelmä. 2018. Ecumaster. Saatavissa: <https://www.ecumaster.com/products/emu/> Hakupäivä 6.6.2018.
6. RC fuel injection 1 000 cc/min suuttimet. 2018. RC Fuel Injection, Inc. Saatavissa: <http://www.rcfuelinjection.com/Store/c/performance-injectors/p/pl4-1000-bosch-style-top-peak-hold-injector> Hakupäivä 6.6.2018.
7. Bosch Automotive Handbook 9th edition. 2014. Germany: Robert Bosch GmbH’.
8. Volvo B230F -moottorin teho- ja vääntömomenttikuvaaja. 2010. Towerymt. Saatavissa: <https://a4.pbase.com/g1/22/59322/2/104733044.k1CxyZFb.jpg> Hakupäivä 6.6.2018.

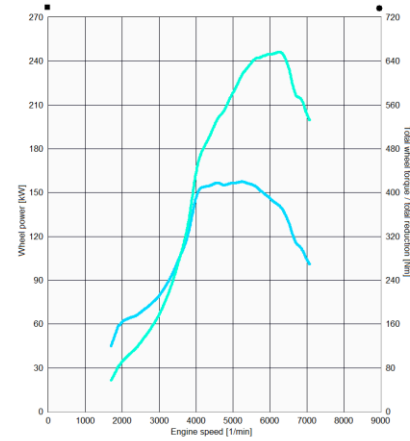


OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Performance Snapshot

Test ID #12
 Created 2018-03-02 11:14:34.793
 Vehicle ID hrh-238
 Vehicle make volvo
 Vehicle model 240
 Engine b230
 Mileage
 Test mode Dynamic 500
 Test fuel
 Customer
 Description

Measured at [1/min]
 Max power [kW] 246.4 6260
 Max torque [Nm] 420.1 5240
 Correction None
 Atm pressure [hPa] 800 - 800
 Comments



Engine speed [1/min]	Corr power [kW]	Corr torque [Nm]	Wheel speed [1/min]	Total red [1/x]	Total wheel torque [Nm]	Total wheel torque / total red [Nm]	Wheel power [kW]	Inl temp [°C]	Rel hum [%]	Amb temp [°C]	Oil temp [°C]	Corr factor
2500	47.6	181.8	641	3.900	709	181.8	47.6	-100	0	-40		1.000
3000	66.7	212.1	769	3.900	827	212.1	66.7	-100	0	-40		1.000
3500	100.5	274.1	897	3.900	1069	274.1	100.5	-100	0	-40		1.000
4000	163.9	391.1	1026	3.900	1525	391.1	163.9	-100	0	-40		1.000
4500	196.4	416.7	1154	3.900	1625	416.7	196.4	-100	0	-40		1.000
5000	218.5	417.3	1282	3.900	1628	417.3	218.5	-100	0	-40		1.000
5240	230.5	420.1	1344	3.900	1639	420.1	230.5	-100	0	-40		1.000
5500	239.1	415.1	1410	3.900	1619	415.1	239.1	-100	0	-40		1.000
6000	244.7	389.6	1538	3.900	1519	389.6	244.7	-100	0	-40		1.000
6260	246.4	375.9	1605	3.900	1466	375.9	246.4	-100	0	-40		1.000
6500	236.2	347.1	1667	3.900	1354	347.1	236.2	-100	0	-40		1.000
7000	203.8	278.1	1795	3.900	1085	278.1	203.8	-100	0	-40		1.000



