



TEKNIikka JA LIIKENNE

Auto- ja kuljetustekniikka

Tuotetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

RaceAboutin tekniset uudistukset 2010

**Työn tekijä: Jouni Saarikko
Työn ohjaajat: Sami Ruotsalainen
Harri Santamala**

Työ hyväksytty: __. __. 2010

**Sami Ruotsalainen
lehtori**



ALKULAUSE

Tässä insinööriyössä käsitellään Metropolia Ammattikorkeakoulun RaceAbout-nimisen projektiauton teknisien uudistuksien suunnittelua ja toteutusta.

Kiitokset haluan esittää RaceAbout-klubille ja erityisesti Pasi Perhoniemelle ja Mikko Karppiselle, jotka ovat tarjonneet käytännön apua ja tietotaitojaan työn kuluessa. Koululle ja erityisesti autolaboratorion väelle iso kiitos erinomaisien opiskelupuitteiden tarjoamisesta. Kiitos kuuluu myös työni ohjaajille lehtori Sami Ruotsalaiselle ja Harri Santamalalle, jotka ovat kiireistään huolimatta ehtineet avustaa minua.

Henry Fordin Säätiötä haluaisin kiittää taloudellisesta tuesta, joka on mahdollistanut täysipainoisen keskittymisen työhön.

Lopuksi haluaisin kiittää vaimoani, lapsiani, vanhempiani ja appivanhempiani, jotka ovat tukeneet minua koko opiskeluni ajan, kukin korvaamattomalla tavallaan.

Helsingissä 2.6.2010

Jouni Saarikko

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Jouni Saarikko	
Työn nimi: RaceAboutin tekniset uudistukset 2010	
Päivämäärä: 2.6.2010	Sivumäärä: 48 s. + 2 liitettä
Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tuotetekniikka
Työn ohjaaja: lehtori Sami Ruotsalainen	
Työn ohjaaja: Harri Santamala	
<p>Tässä insinööriyössä optimoitiin RaceAbout-projektiauton Motec-moottorinohjausjärjestelmän toimintaa sekä rakennettiin autoon uusi täsmällinen ja tunnokas vaihteensiirtojärjestelmä vanhan tilalle. Molemmilla muutoksilla pyrittiin tähtäämään auton yleiseen toimivuuteen sekä käyttäjäystävällisyyteen.</p> <p>Työ alkoi uuden vaihteensiirtomekanismin suunnittelulla ja valmistamisella. Järjestelmässä pyrittiin hyödyntämään kaupallisia osakokonaisuuksia siinä määrin kuin se oli mahdollista. Yksittäiset osat sekä kokonaisuudet, joita ei onnistuttu löytämään valmiina, valmistettiin itse. Lopullisen järjestelmän välyksettömyyteen sekä liikeratojen viimeistelyyn kiinnitettiin suurta huomiota.</p> <p>Vaihteensiirron valmistumisen jälkeen aloitettiin moottorinohjausjärjestelmän optimaalisten säätöjen etsiminen. Säätötyössä ajo- ja kuormitustilanteiden simuloimiseen käytettiin apuvälineenä Maha-alustadynamometriä. Dynamometrillä perussäätöjen löydyttyä siirryttiin tien päällä tapahtuvaan testaukseen, sillä säätöjen toimivuus oikeassa ajossa oli lähtökohtainen tavoite. Myös osa kompensaatiosäädöistä oli helpompi toteuttaa muualla kuin autolaboratorio-olosuhteissa. Tietojen keruuta hyödynnettiin jokaisen ajokerran jälkeisiin säätöjen tarkennuksiin.</p> <p>Työn lopputuloksena syntyi RaceAboutiin korkeat vaatimukset täyttävä vaihteensiirtojärjestelmä, jonka laatu vastaa nyt muun auton viimeistelytasoa. Moottorinohjainlaitteen toiminnan optimoinnista saatiin myös hyviä tuloksia. Moottori vastaa nyt kaasuun paremmin sekä tuottaa enemmän vääntömomenttia kuin ennen säätämistä. Myös aiempia versioita häirinyt ahtopaineen häiritsevä huojuminen saatiin ratkaistua.</p>	
Avainsanat: RaceAbout, Motec, moottorinohjaus, optimointi, vaihteensiirto	

ABSTRACT

Name: Jouni Saarikko	
Title: RaceAbout technical innovations 2010	
Date: 2 June 2010	Number of pages: 48 + 2 attachments
Department: Automotive and Transport Engineering	Study Programme: Automotive Design
Instructor: Lecturer Sami Ruotsalainen	
Instructor: Harri Santamala	
<p>This thesis contains optimisation of Motec engine management system and replacing of old gear linkage mechanism with new accurately manufactured system. Both of these changes were aimed to improve practicality and functionality of RaceAbout project car.</p> <p>Project started with designing and manufacturing of new gear linkage system. System was planned to use completed bolt-on parts as much as possible to reduce a number of self-made parts. Great attention was paid to assemble a finished system without any excessive clearances.</p> <p>After finishing gear linkage system optimisation of engine management system was started. Maha-dynamometer was used to simulate different load and driving circumstances. After the basic adjustments were found with a help of dynamometer, it was time to carry out some rolling road testing. After all, a better functionality in real driving conditions was one of the main goals of this project. Besides adjusting of compensation maps was better to be done in somewhere else than in laboratory. Benefit of data acquisition was also taken in every session.</p> <p>As a result of this thesis, new gear linkage system, which fulfills the high expectations of this project, was manufactured. System is now similar to rest of high quality sports car called RaceAbout. Good results were also received from the field of engine management optimisation. Engine has now better throttle respond and it makes even more torque than it did before. Also a trouble with wobbling boost control was solved.</p>	
Keywords: RaceAbout, Motec, engine control unit, optimization, gear linkage assembly	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

1	JOHDANTO	1
2	TYÖN TAVOITTEET	2
2.1	Motec-moottorinohjainlaitteen toiminnan optimointi	2
2.2	Vaihteensiirtovivuston suunnittelu ja toteutus	3
3	MOTEC ENGINE MANAGEMENT	4
3.1	M400-ohjainlaitteen esittely	4
3.2	Motec M400 -mallin toiminnot	4
3.3	Ohjainlaitteen tarvitsemat anturitiedot	5
3.4	Käytössä olevat toimilaitteet	6
3.5	Motec-ohjelmat ja laitteisto	7
4	MOTEC-SÄÄTÖJEN OPTIMOINTI	10
4.1	Polttoaineensuihkutus	11
4.1.1	<i>Peruspolttoainekartan valmistelu</i>	11
4.1.2	<i>Polttoaineensuihkutuksen pulssinleveyden laskeminen</i>	12
4.1.3	<i>Peruspolttoainekartan säätö</i>	17
4.1.4	<i>Tavoitelambda-arvokartta</i>	18
4.1.5	<i>Käynnistys</i>	20
4.1.6	<i>Jäähdytysnesteen lämpötilan vaikutus</i>	21
4.1.7	<i>Imuilman lämpötilan vaikutus</i>	22
4.1.8	<i>Kiihdytys ja moottorijarrutus</i>	23
4.1.9	<i>Nakutus</i>	25
4.1.10	<i>Suuttimien ajoitus</i>	26
4.1.11	<i>Akkujännitteen vaikutus</i>	26
4.2	Sytytys	28
4.2.1	<i>Oikea sytytysennakko</i>	28
4.2.2	<i>Perussytytyskartan säätö</i>	30
4.2.3	<i>Imuilman lämpötilan vaikutus</i>	32
4.2.4	<i>Jäähdytysnesteen lämpötilan vaikutus</i>	33
4.2.5	<i>Nakutus</i>	34

4.3	Säätöolosuhteet ja apuvälineet	35
4.3.1	<i>Maha-alustadynamometri</i>	35
4.3.2	<i>Irtonaisen moottorin mittauspenkki</i>	37
4.3.3	<i>Rolling road -testaus</i>	37
5	VAIHTEENSIIRTO	37
5.1	Lähtökohdat	37
5.2	Suunnittelu	38
5.3	Valmiit osakokonaisuudet	38
5.4	Omavalmisteiset osat	40
5.5	Kokoonpano ja säätäminen	43
6	PÄÄTELMÄT	44
6.1	Haasteet	44
6.2	Tavoitteiden saavuttaminen	45
	VIITELUETTELO	47
	LIITTEET	

Liite 1. Dynamometritulokset

Liite 2. Motec-ohjelmat, kalibrointitiedosto sekä pulssinleveyden laskuri CD-levyllä

LYHENTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

Seuraavassa luettelossa on kirjan lukemisen helpottamiseksi selostettu lyhenteiden merkityksiä:

AFR	Air Fuel Ratio. Otto-moottorin palotapahtuman seossuhdetta ilmaiseva yksikötön luku. Tarkoittaa sitä kuinka monta kilogrammaa ilmaa on käytännössä käytetty yhden polttoaine kilogramman polttamiseksi.
CAD	Computer Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu on teknisten alojen käyttämä suunnittelutyön apuväline.
CAN	Controller Area Network. Tiedonsiirtoon käytetty väyläteknikka, jossa samoja kanavajohtoja pitkin voidaan lähettää useita käskyjä tai tietoja eri laitteille. Lähetetty käsky sisältää osoitetiedot, josta selviää mille laitteelle käsky tai tieto on tarkoitettu.
ECU	Engine Control Unit. Moottorin toimintaa ohjaava keskusyksikkö, joka muistuttaa toiminnoiltaan ja olemukseltaan tavallista tietokonetta. Yksikkö sisältää esiasetettuja tietoja käytettävästä järjestelmästä sekä pystyy laskemaan olosuhteisiin sopivat käskyt toimilaitteille.
KLSA	Knock Limited Spark Advance. Nakutusrajoitteisuus määrittää tietyn toimintapisteen suurimman sytytysennakon. KLSA raja estää säätämästä sytytysennakkoa MBT pisteeseen. Esiintyy etenkin matalalla kierrosluvulla yhdistettynä korkeaan kuormitukseen.
Lambda	Palotapahtumaan käytetyn ilman massa jaettuna stökiometriseen palotapahtumaan tarvitulla ilman massalla.
MBT	Maximum Best Torque. Sytytysennakon määrä, joka toteuttaa toimintapisteen suurimman mahdollisen vääntömomentin. MBT on ennako, johon kaikki moottorin toimintapisteen pyritään säätämään. Se on parhaan hyötysuhteen ja sitä kautta matala-

limman kulutuksen, toteutuneeseen vääntömomenttiin nähden, toteuttava arvo.

Nakutus Tarkoittaa epäsuotuisaa palamistapahtumaa, jossa polttoaineen ja ilman seos syttyy, joko suunniteltuun palotapahtumaan nähden väärään aikaan tai väärällä tavalla, aiheuttaen haitallisia paineiskuja ja sitä kautta suurta mekaanista rasitusta moottorille. Nakutusta pyritään välttämään kaikissa kuormitus tilanteissa. Nakutusmekanismin syntyyn vaikuttavat eniten moottorin rakenteelliset asiat sekä polttoaineen laatu.

Stökiometrinen seossuhde

Teoriassa täydellisen palamisen toteuttava ilman ja polttoaineen seossuhde, jossa poltettua polttoainetta kilogrammaa kohden on käytetty bensiinin tapauksessa 14,7 kilogrammaa ilmaa. Etanolin vastaava luku on 9.

Toimintapiste

Moottorin toimintapiste voidaan määrittää esimerkiksi asettamalla taulukkoon x-akselille moottorin kierrosnopeuden ja y-akselille kuormituksen. Näin muodostuvassa taulukossa tiettyä kuormitusta ja kierrosnopeutta vastaa aina sama taulukkopiste, joka sisältää jonkin asetetun säätöarvon.

Trionic Saabin 90-luvun alkupuolella esittelemä edistyksellinen moottorinohjausjärjestelmä. Ensimmäinen versio Trionic 5. Uusimmassa Saabeissa on käytössä Trionic 8.

UTC USB To CAN. Tietokoneen ja Motec-ohjainlaitteen välisessä yhteydessä käytetty adapterijohto, joka muuttaa ohjainlaitteen CAN väylän viestit tietokoneelle sopiviksi ja päinvastoin.

WOT Wide Open Throttle. Kaasuläppä on täysin avautuneena, eli maksimaalinen kuormitustilanne. Toisin sanoen kaasu on pohjassa.

1 JOHDANTO

RaceAbout-urheiluautoprojekti on ollut Helsingin ammattikorkeakoulun, nykyisen Metropolia Ammattikorkeakoulun, korkean osaamisen näytteenä nyt jo yli kymmenen vuotta. Aikoinaan kotimaisten ja ulkomaisten tiedotusvälineiden kautta julkisuutta kovastikin saaneen auton parissa on ehtinyt työskentelemään jo suuri määrä insinööriopiskelijoita.

Korkean laadun vaikutelmaa ei ole ainakaan laskenut projektissa aikoinaan hyvinkin tiivis yhteistyö Valmet Automotiven kanssa, joka on valmistanut muun muassa auton hiilikuituiset kanteet erittäin suurella mittatarkkuudella. Auto onkin ollut useissa isoissa ulkomaisissa autonäyttelyissä Valmet Automotiven vetonaulana.

Ensimmäinen projektiin liittyvä opinnäytetyö on valmistunut vuonna 1998, silloisessa Helsingin teknillisessä oppilaitoksessa. Tämä viimeisin työ on järjestyksessään kahdestoista autoon liittyvä insinöörityö.

Auto on käynyt monia vaiheita historiansa aikana lävitse eikä niitä tämän työn yhteydessä käydä lävitse kuin luettelomaisesti. Asiasta kiinnostunut voikin lukea kaikki edeltävät työt lävitse ja saada näin kattavan kuvan auton kehitysvaiheista. Kopio kaikista töistä löytyy Metropolian tekniikan koulutusalan kirjastosta Bulevardi 29:stä.

Aikaisemmat projektiin liittyvät insinöörityön tekijät ja aihepiirit (ei viralliset töiden nimet) aikajärjestyksessä:

- 1998: Jukka Tiainen ja Janne Welin, auton suunnittelu [1]
- 1999: Mikko Karppinen ja Tomi Torttila, auton jatkosuunnittelu ja ensimmäisen prototyypin rakentaminen [2]
- 2000: Kimmo Perhoniemi ja Peter Helenius, ajo-ominaisuuksien kehittäminen ja esittelytilaisuuksien läpivieminen [3]
- 2001: Pasi Perhoniemi, auton tekniset parannukset ja ajo-ominaisuuksien tutkiminen [4]
- 2001: Kimmo Erkkilä, hiilikuituiset koripaneelit [5]
- 2003: Tomi Sulonen, tiedonkeruun perusteet [6]
- 2004: Teemu Harakka, tiedonkeruun asennus [7]
- 2005: Ukko Rummukainen, -05 teknisien muutoksien suunnittelu [8]

- 2005: Pauli Vildén, -05 teknisien muutoksien toteutus [9]
- 2007: Jonas Valkeinen, Motec-moottorinohjainlaitteen asennus [10]
- 2008: Mikko Vaaraniemi, Motec-moottorinohjainlaitteen säätäminen [11]

RaceAbout-klubin vuoden 2009 viimeisessä kokouksessa oli päätetty autosta löytyvän edelleen tekemistä insinööriyön verran. Tarkemman kartoittamisen jälkeen työlle löytyi riittävän innokas tekijäkin.

Tässä insinööriyössä perehdytään RaceAboutiin jo aiemmin asennetun Motec-moottorinohjausyksikön säätämiseen sekä teoriassa, että käytännössä. Tekstin edetessä käydään läpi toimintamalleja, joilla moottorista saadaan ulosmitattua suurin mahdollinen hyötytyö vaihtelevissa olosuhteissa.

Aluksi tutustutaan säätämisen kohteena olevaan laitteistoon, jonka jälkeen siirrytään vääntömomentin synnyttämiseen liittyvien teorioiden ja matemaattisten laskelmien kautta käytännön töihin. Lisäksi perehdytään uuden vaihteensiirtomekanismin suunnitteluun ja toteutukseen liittyneisiin haasteisiin sekä käydään läpi valmiin järjestelmän ominaisuuksia. Työn loppuosassa esitellään käytännöntyön tuloksia sekä pohditaan projektiin liittyneitä haasteita ja kehitysmahdollisuuksia.

2 TYÖN TAVOITTEET

2.1 Motec-moottorinohjainlaitteen toiminnan optimointi

Pääaiheena tässä työssä on optimoida Motec-moottorinohjainlaitteen toimintaa siten, että moottorin toiminta olisi mahdollisimman sujuvaa, tehokasta ja ennalta arvattavaa vaihtelevissa kuormitus- ja ajo-olosuhteissa.

Motec M400 -mallinen ohjainlaite on asennettu autoon vuosina 2006 - 2007 moottorin vaihdon yhteydessä. Moottorina toimii edelleen Saabin valmistama kahden litran bensiinikäyttöinen turbomoottori, kuten auton ensimmäisessäkin versiossa. Alkuperäinen valurautalohkoinen moottori oli mallimerkinnältään B204L ja nykyinen alumiinilohkoinen ja huomattavasti edeltäjänsä kevyempi merkitään B207R.

Ohjainlaitteen säätämistä on käsitelty RaceAbout -projektin historiassa jo aiemminkin, ja perussäädöt ovatkin jo pidemmän aikaa olleet senkaltaiset,

että auto on läpäissyt vuosikatsastukset ja sillä on voitu hyvin ajaa niinä muutamina päivinä vuodesta, jolloin RaceAbout-klubilaiset ovat, pääasiassa moottoriradalla sitä ajaneet.

Polttoaineensuihkutuksen ja sytytyksen perussäädöt ovat siis suurin piirtein kohdilleen säädetyt ja nyt keskitytään säätöjen ja kompensatioiden hienosäätöön toiminnan edelleen parantamiseksi. Moottorin alkuperäisen ohjainlaitteen eli Saabin Trionic 8 -järjestelmän säätöarvoja pyritään käyttämään apuna viimeistelyssä.

2.2 Vaihteensiirtovivuston suunnittelu ja toteutus

Tarvetta rakentaa uusi vaihteensiirtomekanismi on ollut jo pidemmän aikaa. Vanha vaijerikäyttöinen järjestelmä, Volvon vaihdekeppiasetelmiseen, on kovassa käytössä päässyt niin väljäksi ja epätasaiseksi, ettei siitä montakaan osaa pystytä järjestelmää uusittaessa hyödyntämään.

Tarkoituksena on siis poistaa vanha vaihteensiirtokokonaisuus vaihdekeppistä aina vaihteistolle saakka ja korvata se uudella tarkoitukseen suunnitellulla ja valmistetulla järjestelmällä, joka täsmällisellä ja tarkalla toiminnallaan sekä ulkonäöllään istuisi paremmin auton muuten niin viimeisteltyyn kokonaisuuteen (kuva 1).



Kuva 1. RaceAbout nykyisessä ulkoasussaan [12]

3 MOTEC ENGINE MANAGEMENT

3.1 M400-ohjainlaitteen esittely

Projektiautoon moottorinohjainlaitteeksi valittu Motec M400 -laite (kuva 2) ei ole ollut vaihtoehtoista halvin, mutta on tunnettu laadukkaana ja monipuolisena yksikkönä, jonka käyttäjäystävällisyys on korkealla tasolla. Myös teknisen tuen ja avun löytäminen on helpohkoa laitteen ollessa laajalti maailmalla käytetty. Alla mainossitaatti Motecin sivustolta.

“The M400 is a powerful and cost effective ECU for modern four cylinder and two rotor applications. It is fully programmable and has been designed with high performance road cars and racing vehicles in mind. Install it as a stand-alone ECU or as part of a complete motorsport-ready engine management and data acquisition solution.” [13]



Kuva 2. Motec M400 -ohjainlaite [13]

3.2 Motec M400 -mallin toiminnot

Seuraavassa M400-mallin toimintoja listattuna.

- USB to CAN (UTC) yhteys tietokoneen ja ohjainlaitteen välille
- neljän polttoainesuuttimen ohjaus
- neljän sytytyspuolan ohjaus
- 512kB tiedonkeruumuistia (optio)
- Pro analysis; lisäominaisuuksia tiedonkeruuseen (optio)
- laajakaista lambdan käyttö (optio)
- luistonesto (optio)
- sähköisen kaasuläpän ohjaus (optio)
- telemetria, eli mahdollisuus olla yhteydessä autoon esimerkiksi varikolta (optio)

- sytytyksen katkaisu vaihteen vaihtamisen ajaksi (optio)
- Anti-lag -järjestelmä (optio)
- muuttuvan venttiilinajoituksen ohjaus (optio)
- ilokaasujen ohjaus (optio)

[14,s. 3]

Kaikki optiot eli lisäominaisuudet on valmiiksi liitetty osaksi Motec-ohjainlaitetta. Niiden käyttöönotto vaatii vain salasanan syöttämisen järjestelmään. Salasanan taas saa maksuaa vastaan valtuutetulta Motec-kauppiaalta. [13]

RaceAboutin moottorinohjainlaitteeseen on valittu edellä mainitulta listalta kaikki paitsi viisi viimeistä, joita ei ole katsottu tarpeellisiksi.

3.3 Ohjainlaitteen tarvitsemat anturitiedot

Osatakseen toimia oikein, ohjainlaite tarvitsee paljon erilaisia tietoja ohjaamaan prosessista ja sen ympärillä vallitsevista olosuhteista. Näitä tietoja sille tarjoaa siihen johtojen välityksellä kytketyt anturit.

Ohjainlaitteen asennuksesta ja tarvittavista anturien konfiguroinneista on kattava kuvaus Jonas Valkeisen opinnäytetyössä [10]. Seuraavassa kuitenkin vielä lueteltuna tärkeimmät tarvittavat anturitiedot.

Vähintään seuraavat anturitiedot:

- Ref trigger (moottorin pyörimisnopeustieto)
- Sync Trigger (polttoaineensuihkutuksen ja sytytyksen synkronointiin)
- Imusarjan paine (MAP)
- Kaasuläpän asento (TPS)
- Jäähdytysnesteen lämpötila (ECT tai ET)
- Imuilman lämpötila (IAT tai AT)

Suositteluvia anturitietoja:

- Öljynlämpötila
- Laajakaista happitunnistimen arvot (Wideband Lambda)
- Pakokaasun lämpötila (EGT)
- Polttoaineen paine

Valinnaisia anturitietoja:

- G-voimat
- Kaikkien pyörien pyörimisnopeustiedot
- Ohjainlaitteen lämpötila
- Nakutustunnistus (Knock)
- Välijäähdyttimen lämpötila
- Polttoaineen lämpötila
- Vaihteiston lämpötila

[14, s. 6]

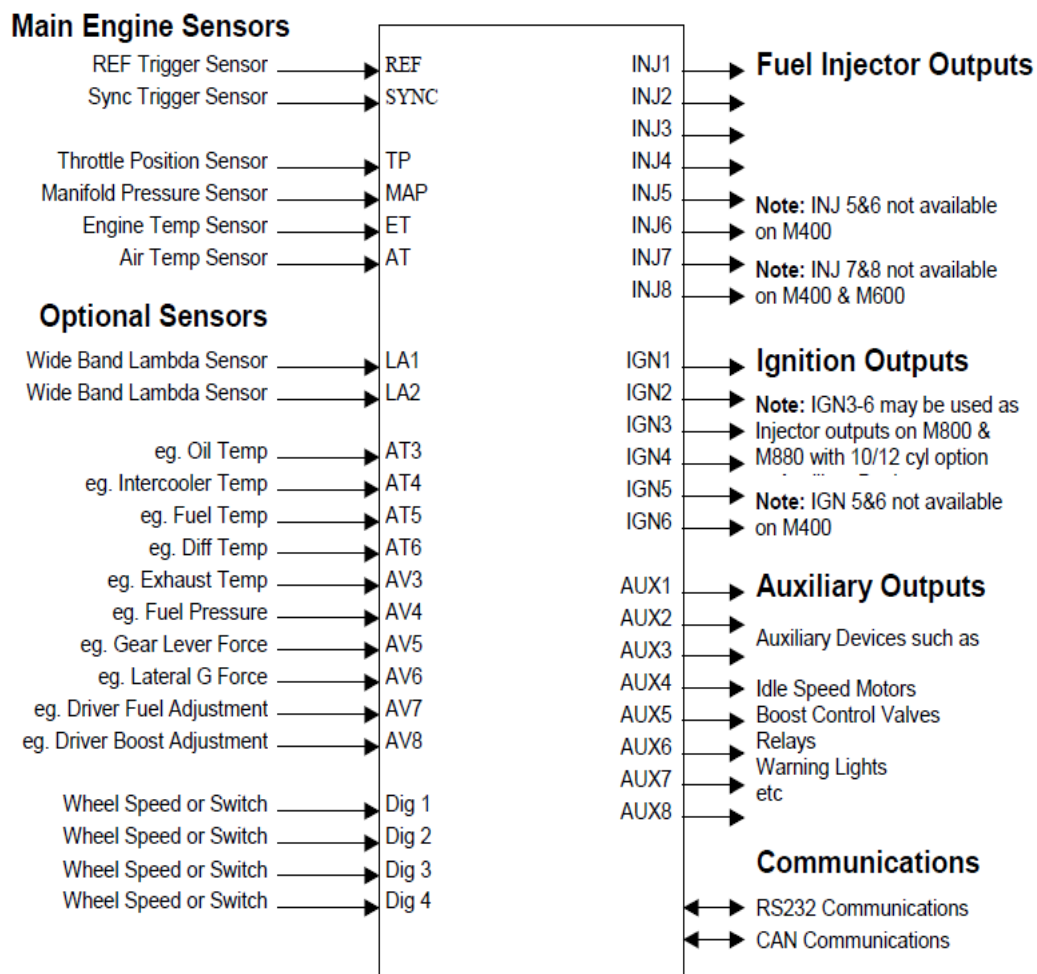
RaceAboutissa on käytössä kaikki edellä mainitut anturitiedot neljää viimeistä lukuun ottamatta.

3.4 Käytössä olevat toimilaitteet

Saamiensa anturitietojen perusteella ohjainyksikkö ohjaa ns. toimilaitteita, jotka suorittavat fyysiset näkyvät toimenpiteet. Toimilaitteiden avulla ohjainlaite pystyy ohjaamaan valvomaansa prosessia haluamaansa suuntaan. Alla listattuna tärkeimmät projektiauton kokoonpanossa käytössä olevat toimilaitteet.

- sähköinen kaasuläppä
- tyhjäkäyntimoottori
- neljä polttoainesuutinta
- neljä yksittäistä suorasytytyspuolaa
- ahtopaineen ohjausventtiili
- releet (mm. polttoainepumppu, tuuletin, jne.)

Kuvassa 3 on esitetty kaaviokuva M400-ohjainlaitteelle tulevista ja lähtevistä signaaleista.



Kuva 3. Kaaviokuva Motec M400:n tulo- ja lähtöliitännöistä [14, s. 6]

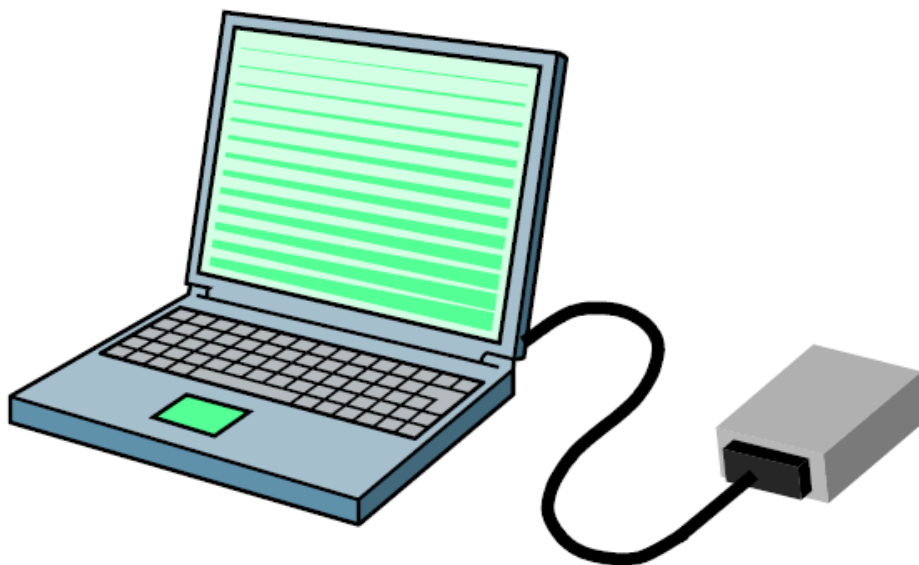
3.5 Motec-ohjelmat ja laitteisto

Motecin valmistajan sivuilla on *download*-välilehti, josta on mahdollista ladata kaikki tarvittavat ohjeet ja ohjelmat ilmaiseksi. Käyttöohjeet ovat kasattuna manuaalit osioon ja säätämiseen tarvittavat ohjelmat uusimpine päivityksineen löytyvät *software*-välilehdestä.

Ohjainlaitteen säätämisen helppouden kannalta on tietokoneen suotavaa olla kannettava mallia, joka on helppo pitää autossa mukana säätötyötä tehtäessä.

UTC-adapteri

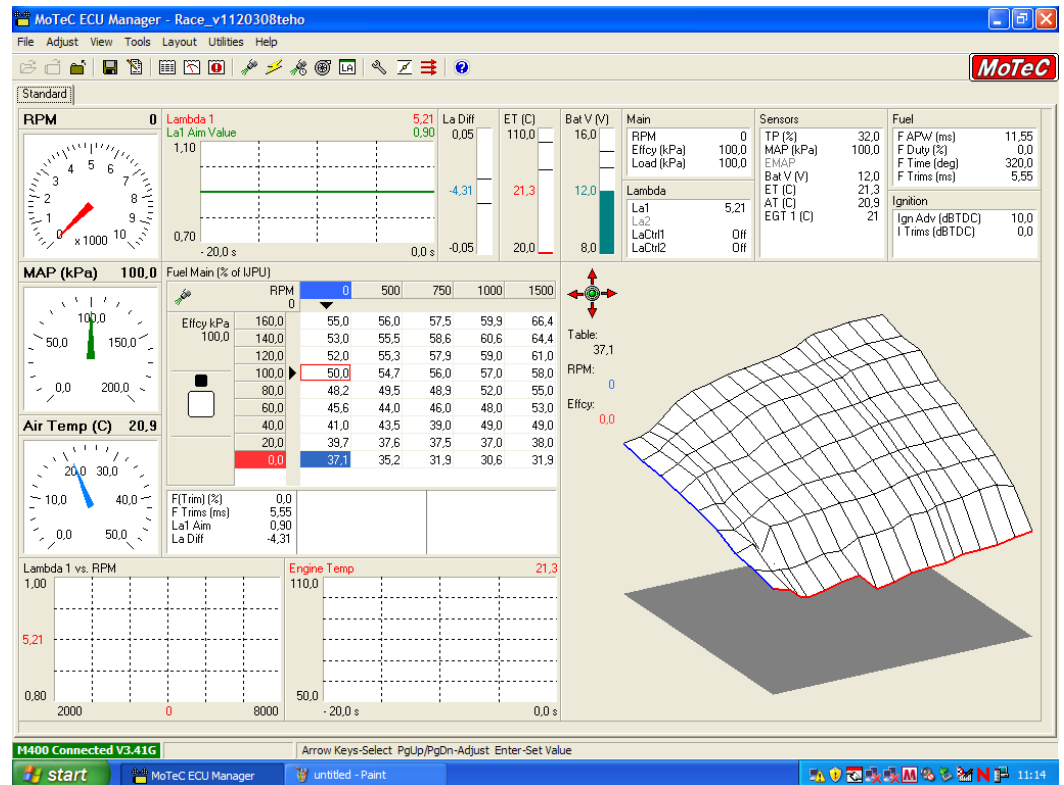
Tietokoneen ja ohjainlaitteen väliin tarvitaan UTC-adapteri. Lyhenne tulee sanoista USB to CAN, eli yksinkertaisesti ohjainlaitteelta luettaessa CAN-väylätieto muutetaan tietokoneelle sopivaksi dataksi ja päinvastoin kun muokattu ohjelma, lähetetään tietokoneelta takaisin ohjainlaitteelle. Kuvassa 4 on esimerkki ohjainlaitteen ja tietokoneen kytkennästä.



Kuva 4. Tietokoneen liittäminen ohjainlaitteeseen [14, s. 15]

ECU Manager

UTC-adapterin asentamisen jälkeen yhteyden muodostamiseksi ohjainlaitteelle tarvitaan tietokoneelle ohjelma nimeltä ECU Manager, joka on ladattavissa myös valmistajan sivuilta. Ohjelma mahdollistaa ohjainlaitteen säätöparametrien muokkaamisen helposti ymmärrettävällä tavalla.



Kuva 5. ECU Manager ohjelman perusnäkyästä [15]

Ohjelman ulkoasu ja käytettyjen anturitietojen esitystyylillä ruudulla on täysin käyttäjän muokattavissa (kuva 5). Monet anturidat on ilmoitettu yhtä aikaa kahdessa tai kolmessakin eri kohdassa havainnollistamisen tehostamiseksi.

Tehtävien säätöjen nopeuttamiseksi ohjelmaa käytetään hiiren lisäksi monilla eri pikanäppäinyhdistelmillä, jotka on hyvä harjoitella heti aluksi turhan työn välttämiseksi.

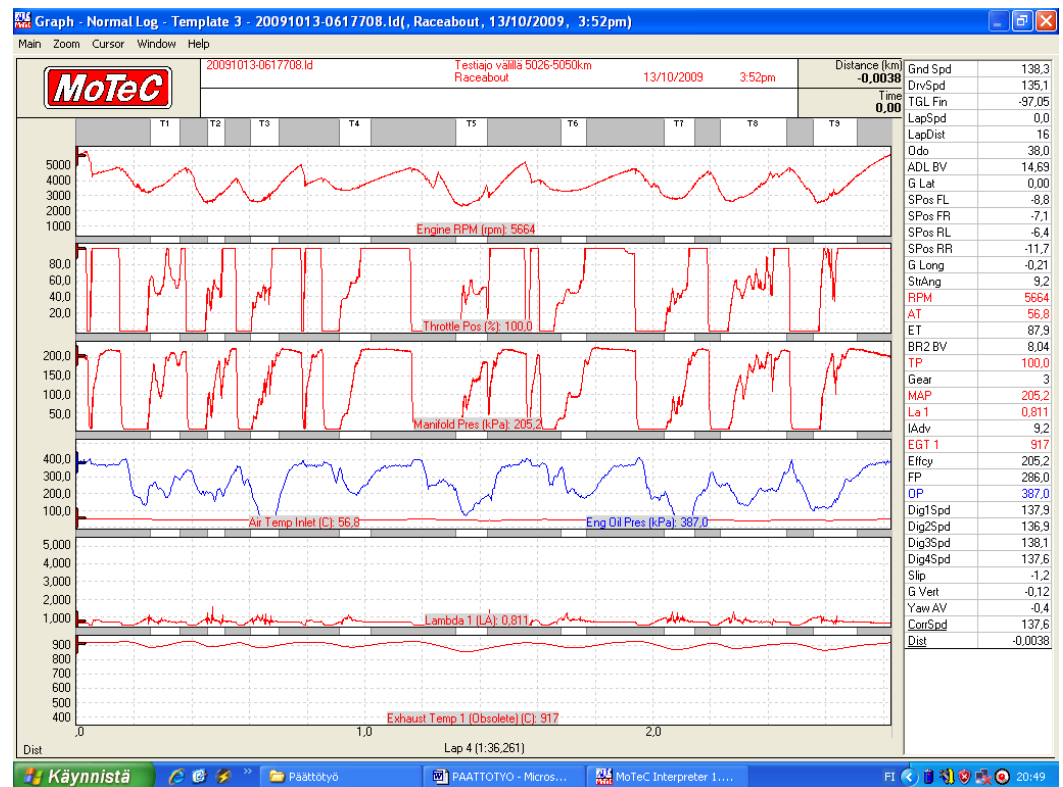
Motec Interpreter- ja i2-tiedonkeruun analysointityökalut

Tehtäessä säätötoimenpiteitä ajamalla dynamometrin tai tien päällä on vaikea seurata kaikkia tarpeellisia anturitietoja yhtä aikaa. Avuksi astuvat ohjelmat nimeltä Motec Interpreter tai i2. Niiden avulla on mahdollista tulkita ajotapahtumista kerättyjä ja tallennettuja tietoja jälkikäteen. Molemmat ohjelmat ovat päteviä työhön, mutta i2 tarjoaa hieman laajemmat mahdollisuudet kerättyjen moottoria koskevien anturitietojen käsittelyyn.

Ajotapahtuman jälkeen puretaan tässä tapauksessa mittaristoon tallennettu tieto ulos. Sen jälkeen avataan nauhoitettu tiedosto Interpreter- tai i2-

ohjelmalla ja tarkastellaan rinnakkain haluttuja anturitietoja ja tehdään korjaussäätöjä ohjainlaitteeseen niiden perusteella (kuva 6). On huomattavasti helpompi havaita ja ratkoa ongelmakohtia, kun ei samalla tarvitse keskittyä ajamiseen.

Interpreterin ja i2 -tietoja voidaan hyödyntää myös suoraan sopivilla aputyökaluilla esimerkiksi polttoainekartan polttoaineen, ja ilman seoksen korjailuun tarkoitetun lambda was -toiminnon hyödyntäminen vaatii tiedonkeruun käyttöä.



Kuva 6. Motec Interpreter -ohjelman perusnäky [15]

4 MOTEC-SÄÄTÖJEN OPTIMOINTI

Moottorin oikean ja tehokkaan toiminnan varmistamiseksi vaihtelevissa olosuhteissa on ohjainlaitteen pystyttävä mukauttamaan suihkutettava polttoaineen määrä ja sytytysennakko saamiensa anturitietojen perusteella.

Moottorin käyntiin saamiseksi riittää kaksi perustaulukkoa eli karttaa. Yksi suihkutettavaa polttoaineen määrää varten ja toinen sytytysvetkeä varten. Molemmista taulukoista löytyy kaksi akselia, joista toinen kertoo moottorin

kuormituksen ja toinen kierrosluvun. Tiettyjä kierrosluku- ja kuormitusarvoja vastaa aina tietty moottorin toimintapiste. Kaikkia pisteitä ei luonnollisesti taulukoista löydy, vaan puuttuvien välien säätöarvot valitaan lineaarisesti interpoloimalla lähimmistä arvoista.

Käytännössä nämä kaksi peruskarttaa eivät kuitenkaan riitä vaan tarvitaan joukko korjauskertoimia eli kompensatioita, jotka olosuhteiden mukaan joko lisäävät tai vähentävät perustaulukoissa ilmoitettuja arvoja parhaan mahdollisen palotapahtuman aikaansaamiseksi.

Tarvitaan monta kompensatiokarttaa moneen erilaiseen tilanteeseen ja olosuhteeseen, ennen kuin moottori vastaa kaasupolkimeen odotetulla tavalla ja antaa parhaan hyödyn käytettyä polttoainemäärää vastaan.

Säätötyöt aloitetaan perus polttoaine- ja sytytyskartoista. Vasta kun niiden arvot on saatu kohdalleen siirrytään kompensatiokarttojen rakentamiseen ja säätämiseen.

4.1 Polttoaineensuihkutus

4.1.1 Peruspolttoainekartan valmistelu

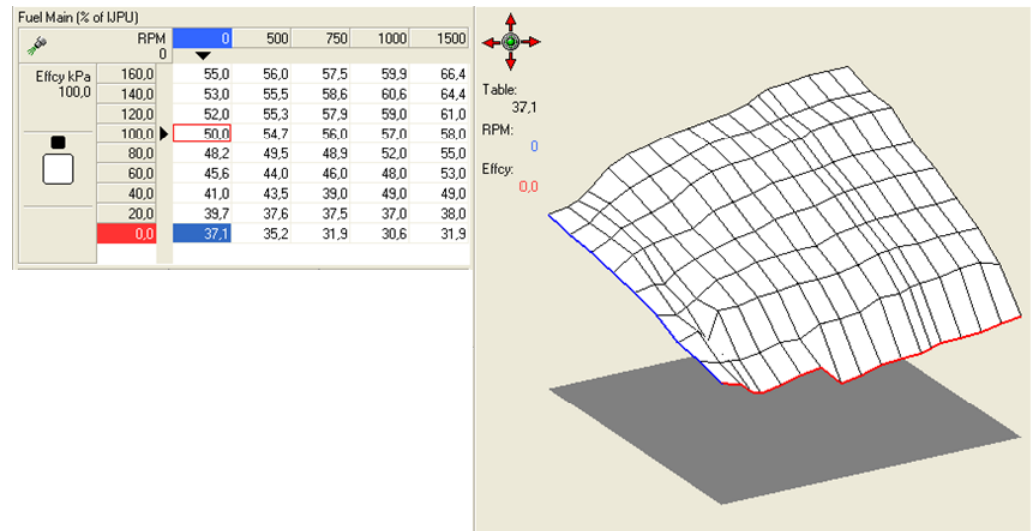
Lähdettäessä rakentamaan peruspolttoaineen suihkutuskarttaa, on ensin valittava x- ja y-akseleille käytettävät tulosignaalit, joiden perusteella voidaan päätellä moottorin pyörimisnopeus ja kuormitus ja niiden funktiona sitten suihkutettava polttoainemäärä.

Moottorin pyörimisnopeuden tulosignaalin valinta on yksikäsitteinen mutta kuormitusta kuvaamaan voidaan valita esimerkiksi kaasuläpän asento, imusarjan paine, moottoriin virtaava ilmamäärä tai jokin niiden johdannainen. [14, s. 19]

Säädettäessä turboahdettua moottoria, kuten tämän työn kohdetta, ei kuormitusta voida pelkällä kaasuläpän asennolla päätellä kuten vapaastihengittävässä moottorissa, koska ahtimen tuottaman lisäpaineen vuoksi voi samaa kaasuläpän avautumaa olosuhteista riippuen vastata täysin eri imusarjanpaine. Vaihtoehdoiksi jäävät ilmamäärämittarin antama ja imusarjan

paine. Tämän projektin puitteissa käytämme jälkimmäistä, koska koko ilmamäärämittari puuttuu kokoonpanosta.

Kuvassa 7 y-akselin kuormitusta kuvaa sana Efficcy eli tehokkuus, joka on tässä tapauksessa on imusarjan paine kilopascalina. X-akselilla näkyy moottorin kierrosnopeus.



Kuva 7. ECU Managerin peruspolttoaine taulukko numeerisena ja graafisena versiona [15]

4.1.2 Polttoaineensuihkutuksen pulssinleveyden laskeminen

Tiedettäessä riittävästi säädettävän järjestelmän kokoonpanon yksityiskohtia, voidaan peruspolttoainekartta laskea melko tarkasti. Säätyötötä dynamometrilla ei voida korvata, mutta lähtöarvojen saaminen niin sanotusti hehtaarille ennen optimoimisen aloittamista käytännön toina helpottaa urakkaa.

Laskukaavasta saadaan tulokseksi toimintapisteeseen sopiva polttoainesuuttimen aukioloaika sekunneissa eli esimerkiksi 0,025 s. Tarkkailun kohteena on yksittäinen polttoainesuutin sekä sylinteritilavuus, johon muodostettu seos päättyy. Laskemistapoja on useampiakin, mutta kaikki käytetyt kaavat pohjautuvat jollain tasolla ideaalikaasun kaavaan ja kaasun käyttäytymiseen. [16]

Ensimmäisenä tietona tarvitaan yhden sylinterin sisältämän ilman massa (1),

$$m_{ilma} = VE \cdot \rho_{ilma} \cdot \frac{D}{N} \quad (1)$$

jossa VE on volymetrinen hyötysuhde [0 - 1], ρ_{ilma} on ilman tiheys [kg / m³], D on koko moottorin iskutilavuus [m³] ja N moottorin sylinterimäärä.

Nyt kun sylinterin sisältämän ilman massa tiedetään, voidaan laskea sekaan suihkutettavan polttoaineen massa (2),

$$m_{polttoaine} = \frac{VE \cdot \rho_{ilma} \cdot D}{14,7 \cdot \lambda \cdot N} \quad (2)$$

jossa kaavan 1 merkintöjen lisäksi on käytetty bensiini-käyttöisen moottorin stökiometristä seossuhdetta vastaavaa lukua 14,7 sekä lambda arvoa λ .

Nyt polttoainesuuttimen suihkutuspulssinpituus voidaan ilmoittaa kaavalla (3),

$$IPW = \frac{m_{polttoaine}}{IFR} = \frac{VE \cdot \rho_{ilma} \cdot D}{14,7 \cdot \lambda \cdot N \cdot IFR} \quad (3)$$

jossa aiemmin mainittujen termien lisäksi on *IFR* eli *Injector Flow Rate*. Se tarkoittaa yhden polttoainesuuttimen virtauskykyä ja yksikkönä käytetään kilogrammaa sekuntia kohden eli kyse on polttoaineen massavirtauksesta. Suuttimien virtauskyky ilmoitetaan yleensä tilavuusvirtana ja se muutetaan massavirtaukseksi kertomalla tilavuusvirtaus polttoaineen tiheydellä. Bensiinin tapauksessa käytetään kertoimena 0,75 kg / m³.

Nyt pulssinleveys olisi muuten laskettavissa mutta ilmantiheyttä ei vielä tiedetä, joten kaavaa joudutaan vielä muokkaamaan ottamalla mukaan ideaali-kaasun tilayhtälö (4), joka perusmuodossaan näyttää tältä

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (4)$$

Yhtälössä 4 p tarkoittaa kaasun painetta pascalleissa, V kaasun tilavuutta kuutiometreissä, n laskettavan kaasun moolimäärää, R yleistä kaasuvakiota $8,3145 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$ ja T kaasun lämpötilaa kelvineissä. Tässä muodossa yhtälöstä ei vielä ole suoraan hyötyä vaan sen jalostamista jatketaan seuraavasti (5),

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad (5)$$

jossa moolimäärä n muutetaan muotoon m / M eli kaasun massaksi jaettuna käytettävän kaasun moolimassalla. Termit uudelleen järjestelemällä edetään muotoon (6)

$$\frac{m}{V} = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \quad (6)$$

ja todetaan, että massa jaettuna tilavuudella on sama asia kuin tiheys. Ilmantiheys olikin termi, jota kaavassa 3 jäätiiin kaipaamaan. Nyt yhtälö on kehitetty siis seuraavanlaiseen muotoon (7)

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \quad (7)$$

ja termejä uudelleen järjestelemällä päästään muotoon

$$\rho = \frac{p}{\frac{R}{M} \cdot T} \quad (8)$$

jossa jakamalla yleinen kaasuvakio R ilman moolimassalla M_{ilma} , saadaan ilman kaasuvakio R_{ilma} (9).

$$R_{ilma} = \frac{R}{M_{ilma}} = \frac{8,3145 \frac{J}{mol \cdot K}}{2,9 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{mol}} = 286,7 \frac{J}{kg \cdot K} \quad (9)$$

Lopullinen ilmantiheyden yhtälö ennen kaavaan 3 sijoittamista on siis

$$\rho_{ilma} = \frac{p}{R_{ilma} \cdot T} \quad (10)$$

Paine p korvataan MAP (Manifold Absolute Pressure) arvolla, joka on siis absoluuttinen imusarjan ilmanpaine pascaleissa ilmoitettuna (11).

$$\rho_{ilma} = \frac{MAP}{R_{ilma} \cdot T} \quad (11)$$

Liittämällä tämä ilmantiheyden yhtälö kaavaan 3, saadaan lopullinen pulssinleveyden laskemiseen tarvittava yhtälö viimein käyttökelpoiseksi (12).

$$IPW = \frac{VE \cdot D \cdot MAP}{14,7 \cdot \lambda \cdot N \cdot IFR \cdot R_{ilma} \cdot T} \quad (12)$$

Tarkistetaan vielä kaava laskemalla se läpi yksiköillä (13).

$$\begin{aligned} IPW &= \frac{1 \cdot m^3 \cdot Pa}{14,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{kg}{s} \cdot \frac{J}{kg \cdot K} \cdot K} \\ &= \frac{m^3 \cdot Pa}{\frac{J}{s}} = \frac{m^3 \cdot \frac{N}{m^2}}{\frac{Nm}{s}} = s \end{aligned} \quad (13)$$

Eli tuloksena syntyy suihkutusaika sekunneissa kuten pitikin.

Kaavassa 12 kaikki muut arvot, paitsi VE eli volymetrinen hyötysuhde ja T eli kaasun lämpötila sylinteriin saapuessaan, ovat yksiselitteisiä. Nämä kaksi viimeksi mainittua joudutaan arvioimaan mikäli faktatietoa ei ole saatavissa.

Volymetrinen hyötysuhde voidaan arvioida riittävällä tarkkuudella tutkimalla vakio moottorin toteuttamaa vääntömomenttikuvaajaa ja päättää siitä korkeimman huipun arvoksi esimerkiksi 1 ja asettaa loput arvot siitä alaspäin käyrän muotoa mukaillen [17].

T eli kaasun lämpötila sylinteriin saapuessa voidaan arvioida jäähdytysnesteiden lämpötilan sekä imuilman lämpötilan sekoitukseksi. Imuilman lämpötila mitataan siis juuri ennen kaasuläppää. Isoilla imuilman virtauksilla painokerroin on enemmän imuilman lämpötilassa ja pienillä virtauksilla jäähdytysnesteiden lämmössä [16].

Suoritetaan vielä yksi laskuesimerkki pulssinleveyden laskemisesta.

Lähtöarvoja ovat:

- VE = 1
- D = $1,985 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- MAP = 230 000 Pa
- λ = 0,85
- N = 4
- IFR = 0,044 kg / s (= 176 ml / 30 s)
- R_{ilma} = 286,7 J / (kg * K)
- T = 350 K

Sijoitus kaavaan 12

$$\begin{aligned}
 IPW &= \frac{1 \cdot 1985 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 230000 \text{ Pa}}{14,7 \cdot 0,85 \cdot 4 \cdot 0,0044 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 286,7 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 350 \text{ K}} \\
 &= 0,02068 \text{ s} \\
 &= 20,7 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Näin laskemalla esimerkiksi Excelissä saadaan aloitusarvot kaikkiin toimintapisteisiin ennen tarkempien arvojen löytymistä dynamometrillä ajaen.

Tämän luvun kaava 3 perustuu pohjimmiltaan lähteeseen nimeltä *Marcin Pohl, From physics to speed density* [16] ja kaavan purkaminen ja toimivaksi todistaminen perustuu lehtori Sami Ruotsalaisen muistiinpanoihin [17].

Liitteenä 2 on CD-levy joka sisältää Excelillä tehdyn valmiin pohjan pulssinleveyksien laskemiseksi. Laskutulokset ovat +/- 5 % tarkkuudella vastaavat kuin dynamometrillä säädetyt. Todennäköiset virheet kaavassa tapahtuvat volymetrinen hyötysuhteen ja sylinteriin saapuvan kaasun lämpötilan arvoissa.

4.1.3 Peruspolttoainekartan säätö

Olettaen että sytytyksen ajoituksen ja polttoaineen suihkutuskäytöiden asetukset ovat riittävän lähellä oikeita arvoja siten, että moottori saadaan käyntiin ja että sitä voidaan kuormittaa dynamometrillä ajaen, voidaan siirtyä säätämään tarkemmin peruspolttoainekartan toimintapisteitä.

Käytännössä pyritään, dynamometrin kuormansimulointeja ja nopeusrajoittimia hyödyntämällä, ajamaan siten, että moottorin toimintapiste kävisi mahdollisimman monessa kuvan 7 esittämässä taulukkopisteessä. Jokaisen pisteen kohdalla säädetään polttoaineen suihkutuskäytöksi, että lambda-arvo saavuttaa halutun arvon. Kuormituksen pitäminen tasaisena vaatii suurta tarkkaavaisuutta.

Kuvassa 8 nähdään esimerkki lambda-arvon tavoitetaulukosta moottorin eri toimintapisteissä. 14,7 vastaa lambda 1,00 arvoa, joka tarkoittaa siis sitä, että jokaista poltettua polttoainekilogrammaa kohden käytetään 14,7 kg ilmaa. 1,00:aa pienemmät lukemat vastaavat rikasta seosta ja isommat laihaa seosta.

Osakuormalla ajettaessa säädetään polttoaineen suihkutuskäytöksi, että lambda 1,00 -arvo toteutuu, Tämä siitä syystä, että silloin polttoaineen ja ilman seossuhde olisi niin sanotusti stökiometrinen ja palamistapahtuma olisi bensinikäyttöiselle moottorille ihanteellista, jolloin syntyisi mahdollisimman vähän päästöjä ja katalysaattorin toiminta olisi optimaalista. [15]

Mahdollisimman matalaa kulutusta haettaessa lambda-arvo 1,05 olisi laihana seoksena optimaalinen. [15]

Isolla kuormalla ja suurta vääntömomenttia toivottaessa on suositeltavaa säätää moottori hieman rikkaalle eli valita toimintapisteiden polttoainemäärät korkeammiksi, jotta saavutettaisiin keskimäärin suurimman vääntömomentin antava lambda-arvo 0,85 [15], joka vastaa siis palotapahtumana n. 12,5 kg ilmaa per käytetty polttoainekilogramma. On erittäin tapauskohtaista, millä lambda-arvolla suurin vääntömomentti saavutetaan, ja se selviää vain kokeilemalla eri arvojen toteuttamaa vääntömomenttia dynamometrillä.

Kuva 8 kertoo Saabin tronic-ohjainlaitteen näkemyksen lambda-arvotavoitteista AFR-muodossa kierrosluvun (x-akseli) ja kuormituksen (y-akseli, MAP) funktiona. Laatikoiduissa pisteissä käytetään lambda-takaisinkytkentää eli tarkkaillaan toteutunutta seosta happianturilla pakoputkesta ja säädetään tarvittaessa seosta halutun arvon saavuttamiseksi.

	-0,84	-0,76	-0,68	-0,52	-0,36	-0,28	-0,20	-0,04	0,12	0,28	0,44	0,60	0,76	0,92	1,08	1,24
6200	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,30	13,10	12,90	12,70	12,60	12,40	12,20	12,00
5760	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,20	14,00	13,80	13,60	13,40	13,20	13,00	12,90
5440	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,10	13,90	13,70	13,50	13,30	13,10	12,90	12,70
5060	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,90	13,70	13,60	13,40	13,20	13,00	12,80	12,60
4680	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,80	13,60	13,40	13,20	13,10	12,90	12,70	12,50
4300	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,70	13,50	13,30	13,10	12,90	12,70	12,60	12,40
3920	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,60	13,40	13,20	13,00	12,80	12,60	12,40	12,20
3540	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,40	13,20	13,10	12,90	12,70	12,50	12,30	12,10
3160	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,30	13,10	12,90	12,70	12,50	12,40	12,20	12,00
2780	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,30	13,10	12,90	12,80	12,60	12,40	12,20	12,00
2400	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,40	13,30	13,10	12,90	12,70	12,50	12,30	12,10
2020	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,60	13,40	13,20	13,00	12,80	12,60	12,40	12,30
1830	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,60	13,40	13,30	13,10	12,90	12,70	12,50	12,30
1640	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,70	13,50	13,30	13,10	12,90	12,80	12,60	12,40
1260	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	13,80	13,60	13,50	13,30	13,10	12,90	12,70	12,50
880	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,00	13,80	13,60	13,40	13,20	13,00	12,80	12,60

Kuva 8. Lambda-tavoitekartta AFR (Air Fuel Ratio)-muodossa [18]

4.1.4 Tavoitelambda-arvokartta

Oikein täytetty lambda-arvotaulukko eli kartta, joka siis sisältää kuvan 8 tai 9 mukaisesti tavoitteellisen seossuhdearvon jokaiselle moottorin toimintapisteelle, on erittäin tärkeä. Säädetäessä moottoria toteutuneen lambda-arvon ja taulukkoon täytetyn arvon suhdetta seurataan jatkuvasti reaali-

ajassa ja lisäyksiä tai vähennyksiä polttoaineen suihkutukseen tehdään suhteen perusteella.

Lambda Table (Lambda)		RPM	0	500	800	900	1000	1250	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
Load kPa	220.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.90	0.87	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	200.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.90	0.87	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	180.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.90	0.87	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	160.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.90	0.87	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	140.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.90	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
	120.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.92	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	100.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	60.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
	40.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
La1 Aim Value							La2 Long Term Trim (%)											
La2 Aim Value							La2 Short Term Trim (%)											
La1 Long Term Trim (%)																		
La1 Short Term Trim (%)																		

Kuva 9. Lambda-arvon tavoitekartta [15]

Lambda-arvojen saamiseksi oikeisiin lukemiin on Motec ECU managerissa olemassa erittäin hyödyllisiä apuvälineitä.

Quick -lambda on nopein ja yksinkertaisin työkaluista, jotka ovat tarkoitettu helpottamaan seoksensäätötyötä. Moottorin ollessa käynnissä ja halutussa toimintapisteessä peruspolttoainekartalla painetaan vain Q-kirjainta ja kyseisen pisteen polttoaineen suihkutusaika säätyy sellaiseksi, että se toteuttaa lambda-karttaan valitun arvon. Tällä tavoin läpi käymällä kaikki toimintapisteet saadaan perus polttoainekartta säädettyä. [14, s. 49]

Toinen hyödyllinen työkalu on Lambda was -toiminto, jota voidaan hyödyntää jälkikäteen kerättyjä tietoja tutkimalla. i2- tai interpreter-ohjelmista katsotaan minkä lambda-arvon moottori on tietyllä kuormitus- ja kierrosnopeustasolla toteuttanut ja kyseinen arvo syötetään kenttään, joka aukeaa ruudulle painettaessa L-kirjainta vastaavassa peruspolttoainekartan toimintapisteessä. Näin tehtäessä kone laskee uuden suihkutusaajan valittuun pisteeseen. Moottorin ei tarvitse olla siis käynnissä eikä tietokoneen yhdistettynä ohjainlaitteeseen. Sopii siis esimerkiksi ”kotitehtävien” tekoon ennen seuraavaa ajokertaa. [14, s. 69]

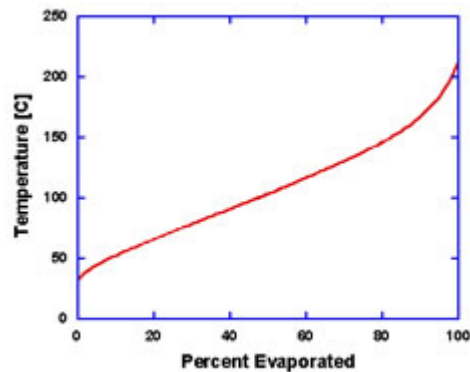
Ohjainlaitteessa on myös lambda control -niminen osio, joka suorittaa haluttaessa niin sanottua takaisin kytkettyä lambdasäätöä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että laite itse säätää itseään määrätyn prosenttiosuuden verran, jotta palamistapahtuma toteuttaisi lambdakarttaan merkityn arvon. Säätöä tapahtuu lyhyellä aikavälillä ja pitkällä aikavälillä. Lyhyellä aikavälillä tapahtuva säätö korjaa hetkellistä lambda-arvoa toimintapisteeseen verrattuna

ja pitkällä aikavälillä tapahtuva säätö aikaansaa eräänlaisen yleis-kertoimen, jolla perussuihkutusaikoja kerrotaan jatkuvasti oikean tuloksen aikaansaamiseksi. Ruudulla näkyy punaisella "Lambda control on", silloin kun takaisinkytkentä on aktiivisena.

4.1.5 Käynnistys

Polttoaineen höyrystyminen ennen saapumistaan sylinteriin on syttymisen ja palamisen edellytys, sillä mikään polttoaine ei syty nestemäisessä muodossa. Siksi polttoainesuuttimet ovat asennettuina ja suunnattuina imu-sarjassa siten, että polttoainesuihku osuu imuventtiilien lautasiin, jotka taas imupuolen kuumimpina osina aiheuttavat polttoaineen höyrystymisen ennen avautumistaan imutahdin alussa. [19, Module 3, s. 17]

Edellä mainittu höyrystyminen imuventtiin luona tapahtuu käytännössä hyvin moottorin ollessa lämmin mutta kylmällä moottorilla tilanne on toinen. Käynnistettäessä moottoria, jonka jäähdytysnesteen lämpötila on 20 - 30 °C, ainoastaan n 10 - 20 % polttoaineesta höyrystyy imuilmaasta ekstraktiomallaan energialla. Kylmemmällä säällä vielä pienempi osuus höyrystyy (kuva 10). [19, Module 3, s. 17]



Kuva 10. Polttoaineen höyrystyminen imuilman lämpötilan funktiona [19, Module 3, s. 18]

Käynnistettäessä on siis suihkutettava moninkertainen määrä polttoainetta verrattuna määrään, jolla lämmin moottori pysyy käynnissä, jotta edes pieni osa höyrystynyttä syttymiskelpoista polttoainetta saavuttaisi sytytystulpan.

Tilanne on huomattavasti parempi jo 30 sekunnin päästä käynnistyksestä kun imuventtiilien lautaset ovat saavuttaneet toimintalämpötilansa ja höyrystävät kunnolla polttoaineen. [19, Module 3, s. 25]

Motecissa käynnistämistä varten voi esimerkiksi virittää seuraavanlaisen kartan: x-akselille käynnistysmoottorin pyörittämiseen käytetty aika sekunneissa, y-akselille jäähdytysnesteen lämpötila ja näiden funktiona lisärikastus.

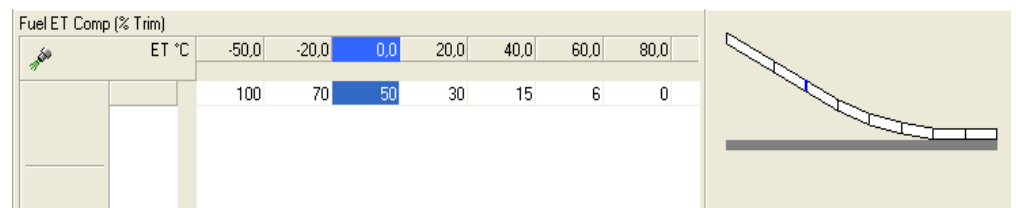
Käynnistysrikastuksen määrään on helppo vaikuttaa myös peruspolttoainekartan 0 RPM -sarakkeen suihkutuspulssin leveyttä lisäämällä.

Sopivien käynnistysrikastusmäärien löytäminen on kokeilun ja kokemuksen onnekas yhteensattuma, sillä seossuhteen mittaamiseen käytettävä lambda-anturi lämpenee toimintalämpötilaan parhaimmillaankin vasta vajaan puolen minuutin käytön jälkeen ja imuputkiston seinille jäävän pisaroituneen polttoaineen määrää ei tiedetä.

4.1.6 Jäähdytysnesteen lämpötilan vaikutus

Jäähdytysnesteen lämpötilan perusteella ohjainlaite päättää, onko kyseessä lämmin moottori vai kylmä, ja sen mukaan määrittelee tarvittavan kylmäkäyntirikastuksen määrän. Ylimääräistä polttoainetta ei kannata turhaan suihkuttaa, joten moottorin lämpötilan noustessa lisärikastus vähennetään nolaa kohti.

Kuvassa 11 näkyy esimerkki kylmäkäyntirikastuksien valitsemisesta jäähdytysnesteen lämpötilan funktiona. Luvut tarkoittavat kuinka monta prosenttia peruspulssinleveyttä lisätään milläkin lämpötilalla. Kaikkia lämpötiloja akselille ei tarvitse laittaa. Laite interpoloi lineaarisesti välit, joita ei ole merkitty. Tämä sääntö pätee kaikissa Motecin kartoissa ja akseleissa.



Kuva 11. Polttoaineensuihkutuksen lisämäärä (%) jäähdytysnesteen lämpötilan funktiona [15]

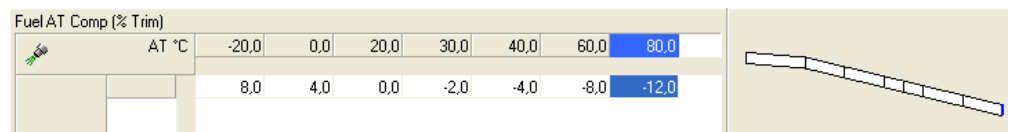
Käynnistettäessä kylmää moottoria suihkutettavan polttoaineen määrä määräytyy usean kerran yhteen lasketuista rikastuksista. Siis peruspolttoainekartan määrä, jäähdytysnesteen lämpötilan aiheuttama rikastus ja vielä päälle käynnistysrikastus. Näistä syntyy hetkellisesti käynnistettäessä suuri määrä suihkutettavaa polttoainetta, ja onkin huolehdittava parametreja ja karttoja säädettäessä, ettei moottori saa liikaa polttoainetta.

4.1.7 Imuilman lämpötilan vaikutus

Imuilman lämpötilan noustessa se sisältää vähemmän happea, koska ilman tilavuus kasvaa lämpötilan noustessa, ja sitä mahtuu siten vähemmän samaan tilaan ideaalikaasun tilanyhtälön mukaisesti. Vähemmän happea imuilmassa tarkoittaa, että vähemmän polttoainetta voidaan ilman sekaan suihkuttaa halutun seossuhteen muodostamiseksi. [19, Module 3, s. 30]

Imuilman ollessa viileämpää se vie vähemmän tilaa, joten sitä mahtuu vastaavasti sylinteriin enemmän, ja sitä kautta on käytössä enemmän happea. Viileän imuilman sekaan voidaan siis suihkuttaa enemmän polttoainetta. [19, Module 3, s. 30]

Kuvassa 12 on esitetty tarvittavan polttoaineen suihkutusmäärän muutos prosentteina imuilman lämpötilan funktiona. Prosenttiosuus joko vähennetään tai lisätään peruspulssinpituuteen nähden. Kuvaajan muoto voidaan laskea karkeasti luvussa 4.1.2 esitetyn kaavan avulla muuttelemalla imuilman lämpötilaa ja pitämällä muut lukuarvot vakioina.



Kuva 12. Polttoaineen suihkutusmäärän muutos imuilman lämpötilan funktiona [15]

4.1.8 Kiihdytys ja moottorijarrutus

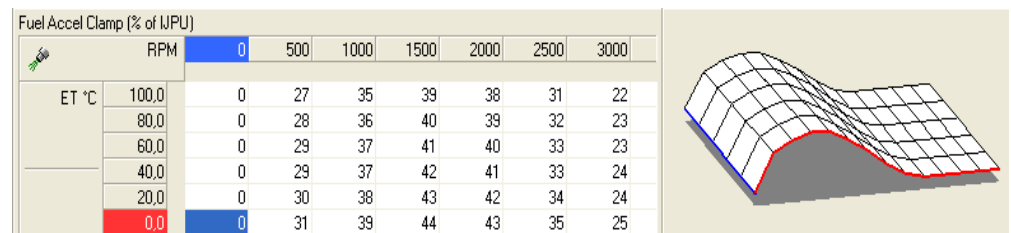
Nopeissa kaasuläpän aukeaman muutoksissa peruspolttoainekartta ei pysty riittävällä tarkkuudella huolehtimaan oikeasta suihkutettavasta polttoainemäärästä. Avattaessa nopeasti kaasuläppää seossuhde pyrkii laihaksi ja sul-

jettaessa nopeasti läppää tapahtuu päinvastainen ilmiö eli seossuhde menee rikkaaksi.

Näitä kiihdytys- ja jarrutustilanteita varten on käyttöön otettava joukko korjauskarttoja, joilla saadaan nopeista kaasuläpän asentomuutoksista huolimatta pidettyä seossuhde mahdollisimman lähellä haluttua.

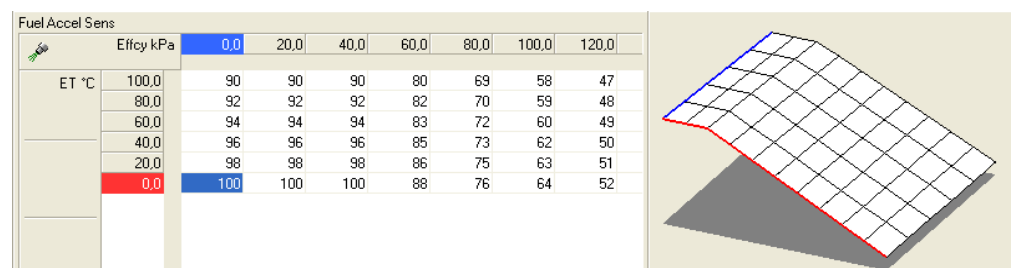
Moottorijarrutus- ja kiihdytystilanteita varten on Motecissa yhteensä kuusi karttaa; kolme molempiin tapahtumiin.

Ensimmäisenä on Fuel Accel Clamp -kartta (kuva 13), joka määrittää ja rajoittaa suurimman mahdollisen rikastuksen määrän kiihdytystilanteessa. Luku ilmoittaa kuinka monta prosenttia perussuihkutuspulssin leveyttä lisätään enimmillään moottorin kierrosluvun ja lämpötilan funktiona. Matalilla kierroksilla rikastustarve on suurempi kuin korkeilla. Samoin kylmää moottoria pitää rikastaa kiihdytystilanteessa enemmän kuin lämmintä. [20, s. 123]



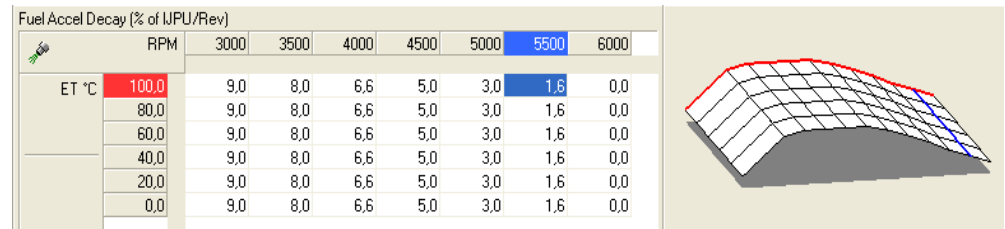
Kuva 13. Fuel Accel Clamp -kartta [15]

Toisena tulee Fuel Accel Sensitivity -kartta, joka määrittää, kuinka paljon ja kuinka nopeasti polttoainetta lisätään (kuva 14). Tämä riippuu suoraan siitä, kuinka nopeasti kaasupoljinta liikutetaan. Taulukon lukuarvolla kerrotaan kaasuläpän asennon muutosnopeus ja tuloksena saadaan rikastuserroin, joka ei kuitenkaan voi ylittää Fuel Accel Clamp -kartan arvoja. [20, s. 124]



Kuva 14. Fuel Accel Sens -kartta [15]

Seuraavana on Fuel Accel Decay -kartta, jonka lukema tarkoittaa kuinka nopeasti lisärikastus otetaan pois eli kuinka monta prosenttia rikastusta vähennetään per moottorin kampikierron (kuva 15). Mitä isommaksi lukema asetetaan, sitä nopeammin rikastus viedään pois. Ilman Decay-karttaa kiihdytysrikastus jäisi päälle ja moottori tukehtuisi polttoaineeseen. [20, s. 125]



Kuva 15. Fuel Accel Decay -kartta [15]

Moottorijarrutuksissa seossuhde muuttuu jo aiemmin luvun alussa mainituista syistä rikkaaksi, jolloin seoksen laihentamiseksi on otettava käyttöön omat karttansa. Moottorijarrutuslaihennus aktivoituu kun kaasuläppä suljetaan nopeasti kesken ajon. Tällaisia tilanteita varten on olemassa vastaavat kartat kuin edellä selostetut kolme kiihdytyskarttaa. Lukemat vain ovat päinvastaisia kiihdytystilanteeseen nähden eli seosta laihennetaan rikastuksen sijaan.

Rajatapauksena ja erona kiihdytystilanteisiin on täysi moottorijarrutus, jonka aikana polttoaineen syöttö katkaistaan kokonaan kulutuksen minimoimiseksi. Katkaisu aktivoituu, kun kaasuläppä on täysin kiinni ja moottorissa on silti vielä kierroksia päällä.

4.1.9 Nakutus

Nakutus tarkoittaa seoksen syttymis- ja palotapahtumaa, joka tapahtuu väärään aikaan ja/tai ei odotetulla syttymistavalla. Nakuttavaan palamiseen liittyy aina vakavan moottorivaurion riski moottorin osien joutuessa koville mekaanisille ja termisille rasituksille.

Nakuttavan palamisen tunnistamiseen käytetään tuotantomootoreissa ja moottorinohjausjärjestelmissä kiihtyvyyssantureita tai sytytystulpan ionisaatiovirtaa tarkkailevia toimintoja. Tämän projektin kokoonpano ei sisällä mitään ohjainlaitteen omia automaattisia nakutuksentunnistuksia, eikä siitä johdettuja välittömiä säätömuutoksia, kuten alkuperäisissä auton valmistajien

ohjainlaitteissa, voida hyödyntää vaan on suoriuduttava sananmukaisesti korvakuulolla ja korjattava manuaalisesti tarvittavat osa-alueet.

Nakuttavaa palamista esiintyessä on ohjainlaitteen puitteissa tehtävissä kolmea eri toimenpidettä yksin tai yhdessä: sytytysennakon vähentäminen (luku 4.2.6), ahtopaineen laskeminen tai lisäpolttoaineen suihkuttaminen. Kaksi ensin mainittua ovat tehokkaimmat tavat ratkoa ongelma, koska ne laskevat tehokkaimmin sylinteripaineen maksimiarvoa. Matalammasta sylinteripaineesta taas seuraa vähäisempi taipumus nakutukseen.

Ylimääräisen polttoaineen suihkuttaminenkin laskee taipumusta nakutukseen, mutta vaikutus ei perustu siihen, että ylimääräinen polttoaine suoraan jäähdyttäisi prosessia kuten yleisesti luullaan. Totuus on, että liikaa rikastettu seos palaa hitaammin kuin optimaalinen ja tästä seuraa, että sylinteripaine nousee myös hitaammin ja saavuttaa se matalamman huippuarvon. [21, s. 185]

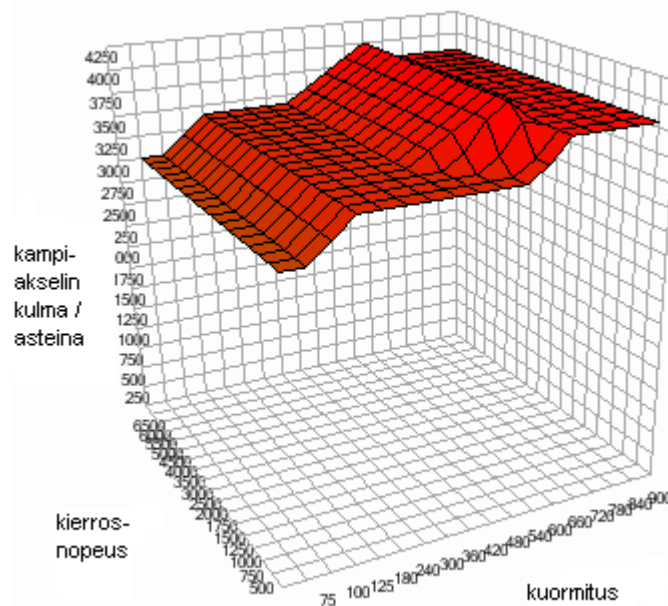
Nakuttavaa palamista ilmenee herkimmin suurella kuormalla, jolloin ollaan valmiiksi usein olosuhteissa, joissa polttoainetta suihkutetaan suuria määriä. Kuvassa 8 nähdään, että maksimaalisessa kuormitustilanteessa tavoiteltu seossuhde on jo lähellä AFR 12 -lukua ja juurikaan lisää polttoainetta ei enää voida suihkuttaa, ettei palotapahtuman laatu heikkenisi liian rikkaan seoksen johdosta.

Jos päädytään Motecia säätäessä yrittää laskea nakutustaipumusta lisäämällä polttoainetta on se hoidettava rikastamalla peruskarttaa.

4.1.10 Suuttimien ajoitus

Polttoaine tulisi suihkuttaa sellaisella ajanhetkellä, että se ehtisi suurimmaksi osaksi höyrystyä ennen imuventtiilin aukeamista. Matalilla kierroksilla ja matalalla kuormalla suihkutusmäärät ovat pieniä ja palotapahtuman täydellisyyteen vaikuttaa olennaisesti onko polttoaine valmiiksi höyrystynyttä saapuesaan palotilaan vai suihkuttaako suutin polttoainetta suoraan avonaisen venttiilin ohitse höyrystymättä palotilaan. Tämän asian vaikutus esimerkiksi tyhjäkäynnin tasaisuuteen saattaa olla merkittävä. Korkeilla kuormilla suuttimet ovat suurimman osan ajasta auki, joten ajoituksella ei ole niin suurta vaikutusta palotapahtuman laatuun. [19, Module 3, s. 39]

Polttoaineen suihkutushetki voidaan päättää esimerkiksi kierrosluvun ja kuormituksen funktiona kuten kuvassa 16. Kuvassa pysty-akselilla ilmoitettu kampiakselin kulma on polttoainesuuttimen sulkeutumishetki asteina ennen työtahdin alkua.

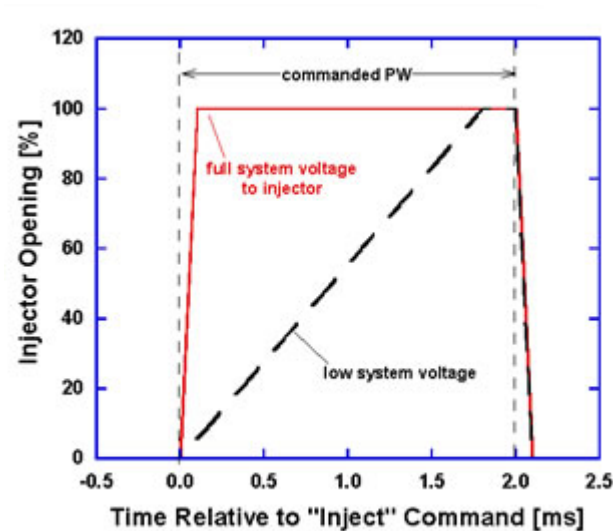


Kuva 16. Polttoainesuuttimien sulkeutumishetki kampiakselin kulmina 0,1 asteen tarkkuudella. [18]

4.1.11 Akkujännitteen vaikutus

Polttoainesuutin on pulssisuhdeohjattu magneettiventtiili, joka avataan akkujännitteellä moottorinohjainyksikön ohjaamana ja suljetaan jousivoimalla. Suuttimen avaaminen tapahtuu siis jousivoimaa vasten.

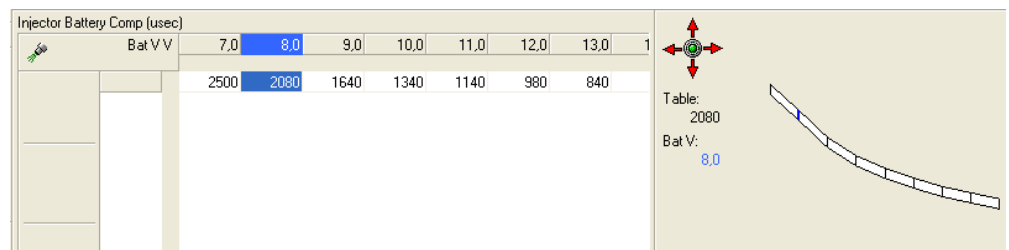
Akkujännitteen vaikutus polttoainesuuttimen aukioloaikaan ja sitä kautta suihkutettuun polttoainemäärään nähdään havainnollisesti kuvasta 17. Kuvassa x-akseli esittää pulssinleveyttä eli ohjainlaitteen polttoainesuuttimelle lähettämän ohjaussignaalin pituutta millisekunneissa. Y-akseli esittää suuttimen aukeamaa prosenteissa, 100 % on täysin auki oleva suutin. Punainen kuvaaja esittää polttoainesuuttimen käyttäytymistä täydellä akkujännitteellä ja musta katkoviiva taas vajaalla jännitteellä.



Kuva 17. Akkujännitteen vaikutus polttoainesuuttimen aukioloaikaan [19, Module 3, s. 26]

Edellisen kuvan perusteella on selvää, ettei polttoainetta ehdi virrata suuttimen läpi riittävää määrää vajaalla akkujännitteellä, ja siksi on otettava korjauskerroin käyttöön.

Kuvasta 18 nähdään, miten korjauskertoimet valittiin projektautun moottorissa käytetyille Siemensin polttoainesuuttimille sopiviksi. X-akselilla näkyy akkujännite ja laatikoihin täytetyt arvot ovat mikrosekunnissa ilmoitettuja lisäyksiä peruspulssin pituuteen. Luvut ovat Saabin oman ECU:n sisältä poimittuja arvoja, joita käyttämällä saadaan suuttimien aukioloaika pysymään vakiona vaihtelevasta akkujännitteestä huolimatta. Arvojen suuruus on täysin riippuvainen suuttimen mallista ja rakenteesta.



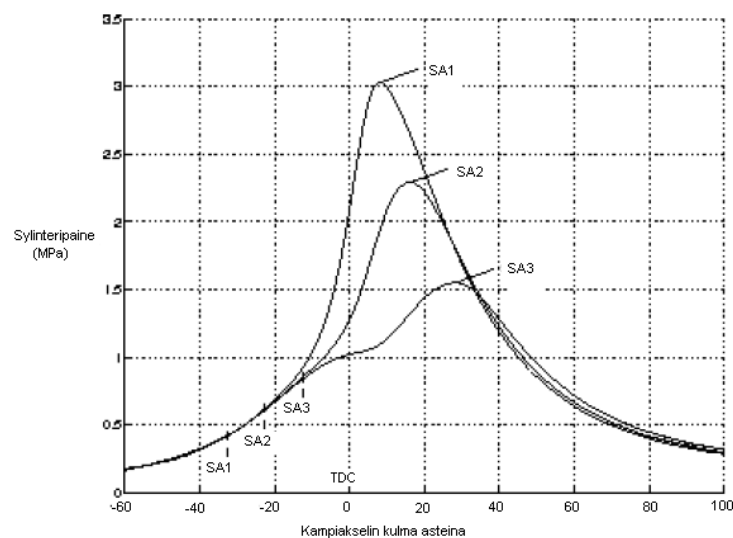
Kuva 18. Polttoaineen suihkutuskertoimen kerroin akkujännitteen funktiona [15]

4.2 Sytytys

4.2.1 Oikea sytytysennakko

Kun sylinteri on saatu täyteen palamiskelpoista polttoainetta ja ilman seosta, on tärkeää sytyttää se juuri oikealla hetkellä, jotta palotapahtumasta saataisiin ulos suurin mahdollinen työ. Se edellyttää, että palamisreaktion sylinterissä aikaansaama painehuippu ajoittuu hetkeen, joka on 15 - 20 astetta JYKK (jälkeen yläkuolokohtaan) kampiakselin asteina. Jotta edellä mainittu toteutuisi, on seos sytytettävä normaali ajo-olosuhteissa 15 - 30 astetta EYKK (ennen yläkuolokohtaa). [22]

Kuva 19 havainnollistaa sylinteripaineen käyttäytymistä kolmella eri sytytysennakolla. Aikaisempi sytytys antaa yleensä korkeamman paine- ja lämpötilahuipun. Kuvan tilanteissa sytytysennakot ovat; SA1: seos sytytetty 32,5 astetta EYKK, SA2: 22,5 astetta EYKK, SA3: 12,5 astetta EYKK. [22]

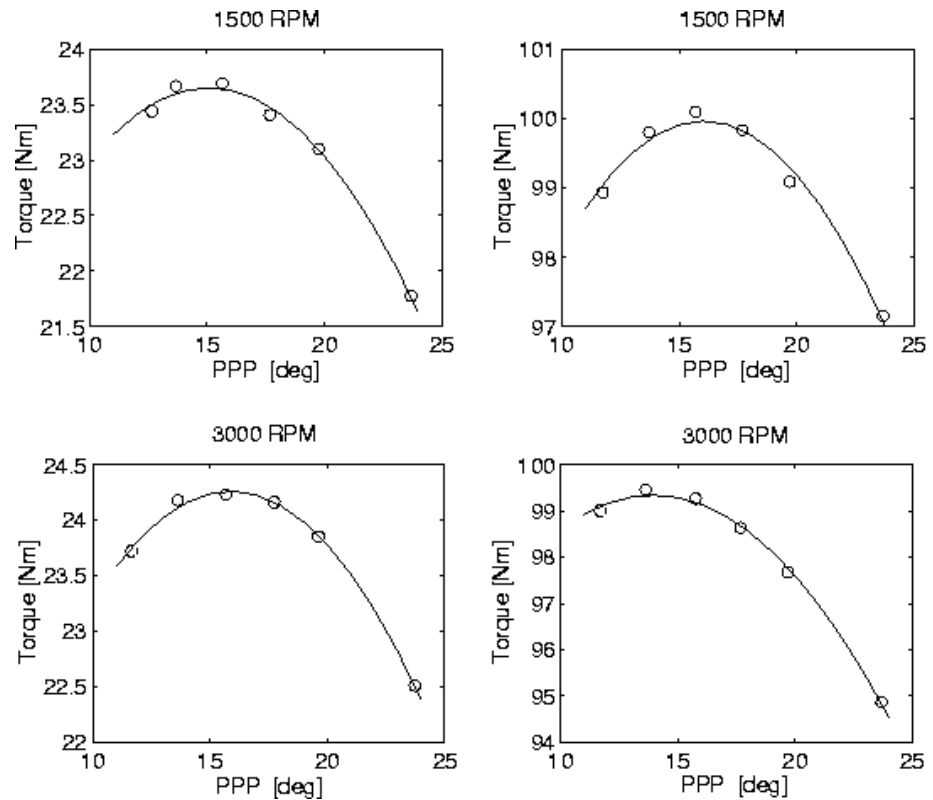


Kuva 19. Sytytysennakon vaikutus sylinteripaineeseen [22]

Edellisen kuvan käyristä SA2:n sytytys hetki on lähinnä optimaalista ja sen aiheuttama palamishuippu asettuu noin 17 astetta JYKK. SA1:n tapauksessa sylinteripaine nousee jyrkästi jo ennen yläkuolokohtaa ja aiheuttaa näin negatiivista työtä sekä ylimääräistä rasitusta moottorille. SA3:n sytytysennakko on auttamattomasti myöhässä ja mäntä ehtii ns. paeta alta ennen paineen nousua. [22]

Kuvassa 21 on esitetty toteutunut vääntömomentti sylinteripaineen maksimiarvon asteluvun funktiona. Tilannetta havainnollistetaan kahdella eri kierros-

luvulla sekä molemmista vielä kahdella eri kuormituksella. Kuvasta nähdään, että vaikka sytytysennakon määrä vaihtelee kuormituksesta ja kierrosnopeudesta johtuen, suurin vääntömomentti syntyy sellaisella sytytysennakolla, joka toteuttaa sylinteripaineen maksimiarvon noin 15 astetta JYKK. [22]



Kuva 20. Sylinteripaineen huippuarvon sijainnin (PPP = Peak Pressure Point) ja toteutuneen vääntömomentin suhde [22]

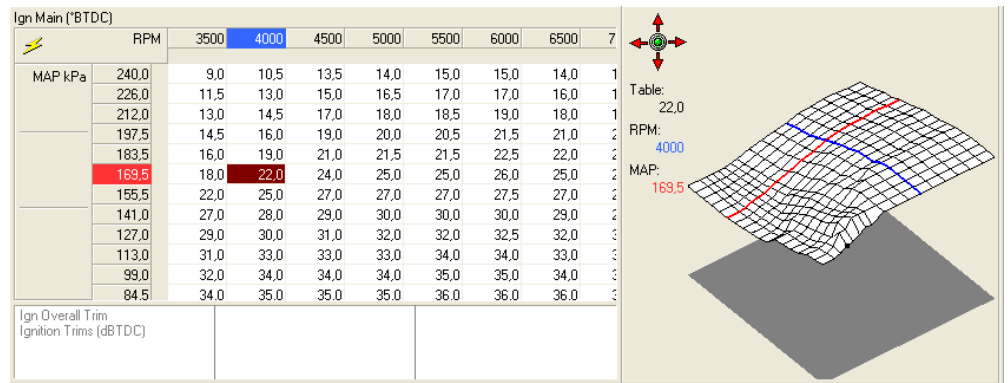
Tämän luvun tutkimukset ja tulokset ovat Linköping University:n aikaansaannoksia ja koskevat Saabin 2,3 litran vapaastihengittävää moottoria. Tulokset eivät siis ole absoluuttisia oikeita arvoja kaikille moottoreille mutta niistä saadaan silti arvokasta tietoa säätämistä ajatellen.

4.2.2 Perussytytyskartan säätö

Sytytyskartan säätö suoritetaan periaatteessa polttoainekartan säätämisen jälkeen mutta, koska sytytysennakon säätö muuttaa taas seossuhdetta, joudutaan karttojen välillä hyppimään useita kertoja edestakaisin, ennen kuin optimaaliset lukemat löytyvät.

Sytytyksen säätämiseksi dynamometri on korvaamaton apu, koska siinä pystytään pitämään tasainen kuormitus ja renkailta rullille välittyvä vääntö-

momentti nähdään reaaliajassa. Jonkinlainen nakutuksentunnistus on myös pakollinen työkalu. Se voi olla kiihtyvyyssanturi lohkon kyljessä monine variaatioineen tai yksinkertaisimmillaan kuulosuojaimet, joihin porataan reikä korvan kohdalle ja työnnetään letku siitä läpi. Letkun toinen pää asennetaan mahdollisimman lähelle sylinterilohkon yläosaa. Nakutuksen tunnistusmenetelmällä ei ole väliä, kunhan sellainen on, sillä nakutus voi aiheuttaa helposti moottorivaurion.



Kuva 21. Perus sytytyskartta [15]

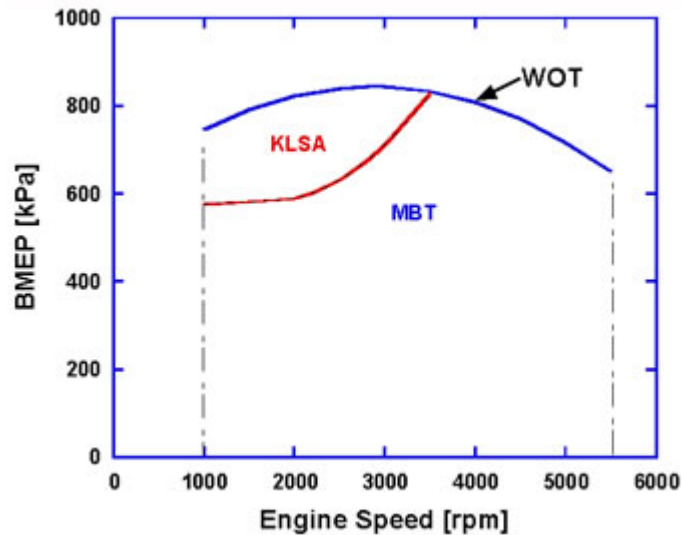
Periaatteena on etsiä kaikkiin moottorin toimintapisteisiin (kuva 19) pienin sellainen sytytysennakko, joka toteuttaa mahdollisimman suuren vääntömomentin (MBT = Minimum advance for Best Torque tai Maximum Best Torque) dynamometriin ilman nakutusta (kuva 20). Tämän kartan säätäminen on erittäin työlästä. Mitään valmista arvoa, joka toteuttaisi maksimaalisen vääntömomentin, ei ole, vaan se pitää kohta kohdalta etsiä. Perussytytyskartan pikkutarkka säätäminen palkitsee lopulta sillä se sisältää kaikista kartoista suurimman potentiaalisen vääntömomentin lisäämiseksi. [19, Module 5, s. 5]



Kuva 22. MBT –pisteen sijainti sytytysennakon ja moottoritehon funktiona [20, s. 111]

Kuva 21 kertoo, kuinka matalilla kierroksilla bensiinikäyttöinen moottori joudutaan säätämään nakutusrajan (KLSA = Knock limited spark advance) tullessa vastaan ennen suurinta vääntömomenttia. Toisin sanoen kuvassa 21 sininen kuvaaja esittää sellaista sytytysennakkoa joka täydellä kuormituksella toteuttaa suurimman mahdollisen vääntömomentin mutta, koska punaisen kuvaajan yläpuolella moottori nakuttaa, pitää ennakko jättää sellaiseksi, että se toteuttaa punaisen kuvaajan alapuolelle jäävän vääntömomentin. [19, Module 4, s. 4]

Lisähuomautuksena tankatessa korkeampi oktaanista polttoainetta, jolla on korkeampi nakutuksen kestävyys, voidaan käyttää suurempia sytytysennakoita ja siten saada varsinkin alakierroksilla enemmän vääntömomenttia ulos moottorista käytettyä polttoainemäärää kohden. Korkeampi oktaanisella bensiinillä ajettaessa on siis yksinkertaistettuna mahdollista saavuttaa parempi moottorin kokonaishyötysuhde.



Kuva 23. Kuvaaja bensiinikäyttöisen moottorin nakutusrajoittuneisuudesta. (BMEP = Brake mean effective pressure = tehollinen keskipaine). [19, Module 4, s. 4]

4.2.3 Imuilman lämpötilan vaikutus

Kuten luvussa 4.1.6 todettiin, sisältää kylmempi imuilma enemmän happea, koska se on tiheämpää ja sitä mahtuu siten enemmän määrätyn kokoiseen tilaan. Kylmempään imuilmaan voitiin siis suihkuttaa enemmän polttoainetta, joka tarkoittaa enemmän vääntömomenttia.

Samoin kylmä ilma sietää enemmän sytytysennakkoa, joka myös usein tarkoittaa enemmän vääntömomenttia. Kylmempi imuilma vähentää nakutusriskiä ja kuuma taas lisää [19, Module 4, s. 41]. Imuilman lämpötilan noustessa voimakkaasti joudutaan sytytysennakkoakin vähentämään kaavan 8 mukaan jopa 10 astetta, mikä tuntuu kuljettajalle asti moottorin voimattomuutena. Johtopäätöksenä on siis erittäin tärkeää moottorin kestämisen ja tehontuoton kannalta, järjestää sille käyttöön viileää imuilmaa. Kuvassa 22 nähdään sytytysennakon muutokset imuilman funktiona.

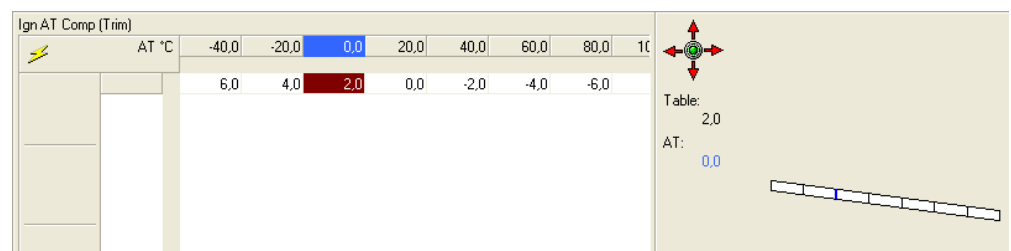
Imuilman vaikutus sytytysennakkoon laskettiin seuraavalla kaavalla (8)

$$A_{IAT} = SA_{IAT} - SA_{std} = (SA_{std} + 15^{\circ}) \left[\left(\frac{T_{std}}{T_{IAT}} \right)^{1.4 - 0.271\phi^{3.51}} - 1 \right] \quad (8)$$

Kaavan symbolien merkitykset:

- A_{IAT} = korjaus sytytysennakkoon asteina halutulla imuilman lämpötilalla
- SA_{IAT} = kokonaisennakko halutulla imuilman lämpötilalla
- SA_{std} = kokonaisennakko toimintapisteessä
- T_{std} = vertailu lämpötila kelvineissä
- T_{IAT} = haluttu imuilman lämpötila kelvineissä
- φ = lambda -arvon käänteisluku [19, Module 4, s. 41]

Tarkkaa imuilman lämpötilan korjauskarttaa tehtäessä pitäisi akseleiksi valita lämpötilan lisäksi laskentapisteessä käytössä olevat seossuhde ja perusenakko. Kyseessä olevien korjausarvojen tärkein tehtävä on kuitenkin estää moottoria nakuttamasta isolla kuormalla, joten kartan yksinkertaistamiseksi valittiin arvot huipputehoa vastaavaksi eli seokseksi lambda 0,85 ja sytytysennakoksi 10 astetta ennen yläkuolokohtaa. Kuva 22 havainnollistaa laskentatuloksia.



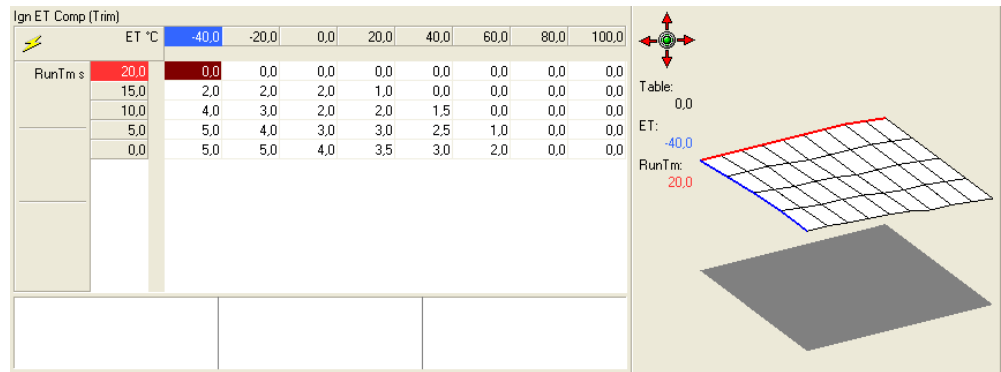
Kuva 24. Imuilman lämpötilan vaikutus sytytysennakkoon [15]

4.2.4 Jäähdytysnesteen lämpötilan vaikutus

Jäähdytysnesteen ja moottorin ollessa kylmiä lämpöhäviöt viileisiin pintoihin ovat suuria. Tämä vaikuttaa myös sylinterin sisältämän kaasun lämpötilaan laskevasti ja matalammassa lämpötilassa liekkirintama etene hitaammin. Sytytysennakkoa on siis lisättävä kylmään moottoriin. [19, Module 4, s. 30]

Jäähdytysnesteen ollessa kuumaa on muikin moottori kuuma. Myös imu-sarja ja sen läpi kulkeva imuilma, joka lämpenee siten myös. Lämmenneestä imuilmasta taas seurasi luvussa 4.2.3 mainitut haitat, eli myös korkea jäähdytysnesteen lämpötila aiheuttaa tarpeen sytytysennakon vähentämiseen.

Kuvassa 23 on esitetty sytytysennakon suuruus jäähdytysnesteen lämpötilan ja moottorin käynnistymisestä kuluneen ajan funktiona.



Kuva 25. Jäähdytysnesteen lämpötilan vaikutus sytytysennakkoon [15]

4.2.5 Nakutus

Luvussa 4.1.8 käsiteltiin nakuttavaan palamiseen liittyviä asioita, ja kuten edellä mainittiin, on sytytysennakolla suuri merkitys nakutuksen syntyyn. Kuvassa 24 on esimerkki Saabin oman ohjainlaitteen yhdestä tavasta päästä eroon nakutuksesta. Y-akselilla on moottorin kierrosnopeus ja x-akselilla kuormitus. Kuormitus on ilmoitettu baareina ja vain ylipainepuolella, koska tämä kartta voi aktivoitua vain yli 0,4 bar:n ylipaine tilanteissa (MAP = 140 kPa). Asteluvut toimintapisteissä kertovat kuinka paljon sytytysennakkoa vähennetään maksimissaan nakutuksen ilmettyä.

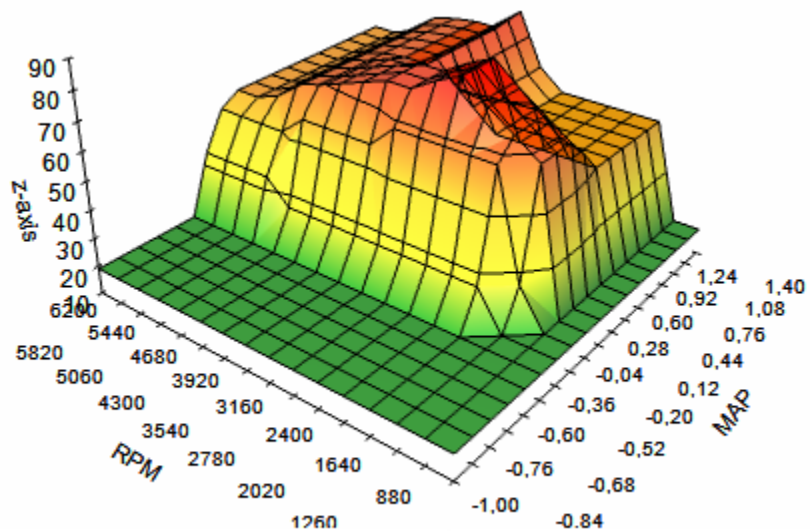
	0,28	0,44	0,60	0,76	0,92	1,08	1,24	1,40
6200	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5820	4,00	4,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5440	5,00	5,00	3,50	4,00	2,00	1,00	1,00	1,00
5060	5,00	5,00	3,50	5,00	2,00	1,00	1,00	1,00
4680	5,00	5,00	5,00	5,00	2,50	1,00	1,00	1,00
4300	6,00	7,00	5,00	6,00	2,50	1,00	1,00	1,00
3920	5,50	8,00	6,50	5,00	2,50	1,00	1,00	1,00
3540	5,00	8,00	6,50	6,00	2,50	1,00	1,00	1,00
3160	4,50	8,00	7,00	5,00	2,50	2,00	1,00	1,00
2780	7,00	8,50	8,50	7,00	3,50	3,00	1,00	0,00
2400	6,00	9,00	8,50	6,00	2,00	2,00	0,00	0,00
2020	6,00	8,00	8,50	4,00	3,00	2,00	0,00	0,00
1640	7,00	6,00	3,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
1260	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
880	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Kuva 26. Esimerkki Saabin ohjainlaitteen nakutuksen torjunnasta [18]

Mitään elektronista nakutustunnistusta ei projekti-auton ohjainlaitteen kokoonpanossa ollut käytössä, joten sytytystä säädettäessä, aiemmin kuvailtuja nakutuskuulokkeita käyttäen nakutusta havaittaessa palattiin sytytysennakossa 1 - 2 astetta myöhäisemmälle.

Isolla kuormituksella sytytysennakkoa vähennettäessä on tarkkailtava pakokaasun lämpötiloja, sillä ne saattavat nousta jyrkästi liian myöhäisellä sytytysennakolla. Säädettävälle moottorille 900 astetta Celsiusta on turvallinen yläraja pakokaasun lämpötilalle mitattaessa ennen ahdinta. Puolikin astetta aikaisempi ennako saattaa laskea pakokaasun lämpötilan riittävän alas. [21, s. 42]

Asian selventämiseksi kuvassa 25 on esitetty moottorin kuormituksen ja kierrosnopeuden funktiona projektin konetta vastaavan Saabin moottorin nakutusherkeyys. Z-akselilla olevat numerot ovat vain puhtaita yksiköttömiä luku-arvoja, joiden tarkoitus on havainnollistaa, missä toimintapisteissä nakutusta todennäköisimmin esiintyy.



Kuva 27. Saabin ohjainlaitteen ajatus moottorin nakutusherkeyydestä [20]

4.3 Säätoolosuhteet ja apuvälineet

4.3.1 Maha-alustadynamometri

On mittaus- ja ajosimulointilaitte, jossa on kahdeksan kappaletta hallin lattiaan upotettuja isoja rumpuja, joiden ulkokehää pitkin ajoneuvon renkaat rullaavat (kuva 28). Kaksi rullaa rengasta kohden, joista etummainen rumpu on yhdistetty mittausyksikköön, jonka toimintaa ohjaamalla ja monitoroimalla on mahdollista mitata tarkasti kaksi- tai nelivetoisen auton renkailta vääntömomentti, jonka moottori pystyy tuottamaan.

Moottoriteho lasketaan mittaustapahtuman päätteeksi tutkimalla voimansiirron pyörittämiseen tarvittavaa vääntömomenttia ja vähentämällä se sitten saadusta pyörien tuottamasta vääntömomentista. Tulos kerrotaan vielä kulmanopeudella jolloin saadaan piirrettyä näytölle moottoritehon kuvaaja, jota asiaan vihkiytymättömänkin on havainnollista seurata.



Kuva 28. RaceAbout kiinnitettynä Maha-dynamometriin

Tehonmittaus on yksi dynamometrin toiminnoista. Moottorinohjainlaitteen säätämistä ajatellen tärkeämpi ominaisuus on erilaisten kuormien simulointimahdollisuus. Dynamometrin tietokoneelle voidaan esimerkiksi asettaa tarkka nopeusraja, jonka yli laite ei anna ajoneuvon pyörien nopeuden nousta. Tällöin moottorin kierrosnopeus ei nouse lainkaan rajoituksen tullessa vastaan mutta kuormitusta voidaan säätää kaasupolkimella portaattomasti. Sopivin välein tehtyjä nopeusrajoitettuja vetoja tehden, päästään käymään kaikissa olennaisissa moottorin toimintapisteissä ja saadaan ne säädettyä.

4.3.2 Irtonaisen moottorin mittauspenkki

Huomattavasti suurempaan tarkkuuteen säätötyössä päästäisiin mittaamalla pelkästään moottoria tarkoitusta varten rakennetussa mittauspenkissä (esim. Super Flow), jossa moottorin perään asennetaan suoraan mittausyksikkö. Suurempi tarkkuus saavutettaisiin ensinnäkin mahdollisuudella kuormittaa

moottoria erittäin tarkasti halutuilla kierrosluvuilla, eli jokaista moottorin toimintapistettä voitaisiin säätää niin pitkään kuin halutun tuloksen saaminen vaatisi. Toiseksi moottorin säätöolosuhteet saadaan laboratoriohuoneessa juuri halutunlaisiksi. Kyseinen järjestely tietysti vaatii moottorin irrottamisen autosta, joten se ei tullut tämän projektin puitteissa kysymykseen.

4.3.3 *Rolling road -testaus*

Tien päällä tehtäessä testauksessa vaikuttavat autoon ja moottoriin kaikki oikeat ajovastukset ja ajo-olosuhteet. Anturien keräämät tiedot voivat poiketa hyvinkin paljon dynamometrillä kerätyistä tiedoista. Lopullisten säätöjen toimivuus onkin aina tarkistettava tien päällä ajaen.

5 VAIHTEENSIIRTO

5.1 Lähtökohdat

Lähtötilanne vaihteensiirrossa oli varsin huono. Vaihdekepin liike oli epätas-mällistä ja tahmeaa. Oli selvää, ettei paljoakaan vanhasta kokoonpanosta voitu hyödyntää uuteen järjestelmään. Tämä antoi toisaalta uusia vapauksia ja vaihtoehtoja suunnitteluun.

Koska kyseessä oli urheiluauto, odotettiin vaihteensiirrolta hieman enemmän kuin niin sanotulta ”hinnat alkaen kaupunkiautolta”. Vaihdekepin liikkeiden tuli olla sopivan lyhyitä sekä liikkeen täsmällinen ja jämäkkä, mutta silti herkkä ja kevytkäyttöinen. Monesta kohdin koteloimaton ja suojaamaton rakenne vaati myös järjestelmän ulkonäköön paneutumista.

5.2 Suunnittelu

Koska tarkoituksena oli valmistaa täysin uusi vaihteensiirto-järjestelmä, päädyttiin käyttämään suunnittelun apuna CAD-ohjelmaa, jolla mittasuhteet ja liikeradat on helppo testata ja hioa kohdilleen ennen varsinaista osien valmistuksen aloittamista. CAD-ohjelmista CATIA oli ainut vaihtoehto, sillä siihen oli valmiiksi riittävä osaaminen projektin läpi viemiseksi.

Materiaaleina päädyttiin käyttämään samoja metallilajeja, joita oli suosittu projektin autossa jo aiemmin, eli ruostumatonta terästä ja alumiinia. Näiden materiaalien etuihin voidaan laskea lujuus, korroosionkestävyys ilman pinnoitustarvetta ja alumiinille vielä helppo työstettävyys ja keveys.

Suunnittelu alkoi tutustumisella saatavilla oleviin valmiisiin komponentteihin, joiden pohjalta omavalmisteisien osien määrä voitiin päättää. Tarkoituksena ei ollut yrittää päästä mahdollisimman pienellä vaivalla, mutta ei ollut järkevää myöskään yrittää tehdä itse sellaisia aikaa vieviä komponentteja, joita oli valmiiksi ja suhteellisen edullisesti saatavissa joltain alihankkijalta.

5.3 Valmiit osakokonaisuudet

Vaihdekepin juurilaakeri

Alun perin suunnitelmissa oli löytää vaihdekepin juureen metallinen pallonivel, joka olisi laipan sisällä. Metallinen siksi, että aikaisemmin käytössä ollut järjestelmä sisälsi muovisen pallonivellaakerin ja juuri siitä oli syntyneet suurimmat välykset kepin liikkeisiin.

Tarkemmin asiaa tutkittaessa huomattiin, ettei kenenkään valmistajan kuvastosta löytynyt metallista vaatimukset täyttävää palloniveltä. Muovinen oikeanlainen sen sijaan löytyi Iso-Britanniasta Igusin valikoimista. Tuotetiedoista selvisi 16 mm:n keskireiällä olevan laakerin kuormansietokyvyn rajat olevan niin korkealla, että se ilman pienintäkään epäilystä kestäisi suunnitellut vaihdekeppiin kohdistuvat voimat. Kuvassa 29 on esitelty tehtävään valittu laakerimalli Igus EFSM-16.



Kuva 29. Ibus EF5M-16 -mallinen kovamuovinen laipanivel vaihdekepin juureen

Vaihdevaijerit

Vaihdevaijerien löytäminen saksalaiselta toimittajalta nimeltä RCS Remote Control systems GmbH oli tärkeä etappi vaihteensiirtoa suunniteltaessa. Toimiakseen suunnitellusti käyttökohteessaan, tarvitsee vaihdevaijerin kyetä välittämään voimaa sekä veto- että työntösuunnassa. Tavallinen vaijerihan pystyy välittämään vain vetosuunnassa voimaa.

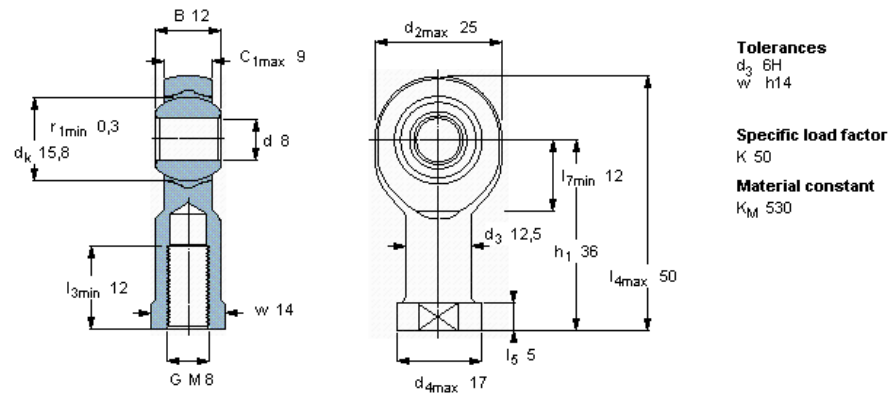
RCS vaijerit valmistetaan vain mittatilauksena ja kaikki vaijeriin ja sen kuoreen liittyvät yksityiskohdat täytyy erikseen yksilöidä tilausta tehtäessä.

Koska vaihdekepin liikesuuntia oli kaksi, sivulle ja pitkittäin, tarvittiin kaksi vaijeriakin. Pitkittäisliike toiseen vaijeriin saadaan suoraan kepin alaosaan kiinnittämällä, mutta sivuliikkeen muuttaminen pitkittäiseksi, jotta liike saataisiin siirrettyä vaihteistolle asti, asetti suunnittelulle lisähaasteita.

Uniball-päätynivelet

Kuvan 30 mukaisia metallisia uniball-niveviä järjestelmään tuli yhteensä kuusi kappaletta. Nivelten mitoitus valittiin siten, että ne kävivät suoraan kiinni tilattujen vaihdevaijereiden päissä oleviin 8 mm kierretankoihin. Yhteensä neljä niveltä käytettiin siis vaijereiden päihin. Kahdesta jäljelle jääneestä tehtiin kuvassa 33 näkyvä välitanko.

Valittujen nivelten etuihin voidaan laskea huoltovapaus sekä lähes täysin välyksetön liikerata. Välyksettömyyden varjopuolena järjestelmä tulee aluksi olemaan suunniteltua raskaskäyttöisempi johtuen nivelten suurehkosta kitkasta. Ongelmaa yritettiin ratkaista suihkuttamalla niveliin ohutta öljyä, mutta tuloksetta.

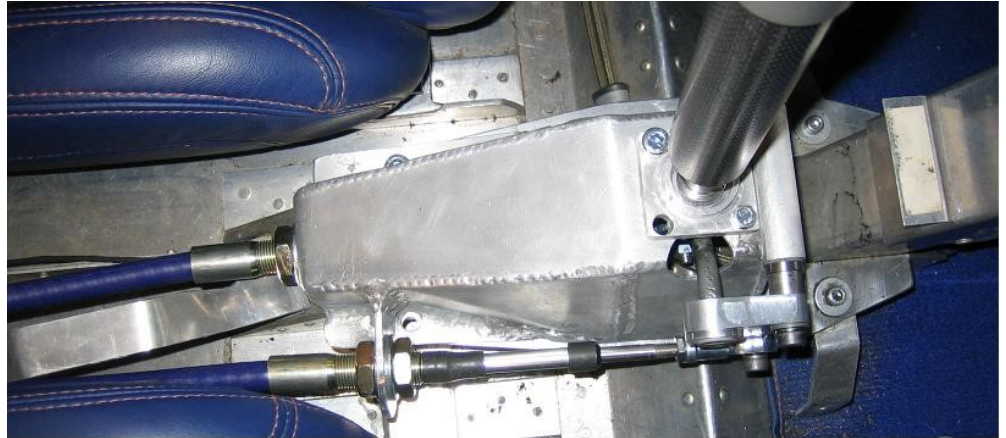


Kuva 30. Kepin liikkeen välityksessä käytetty SKF:n SIKB 8 F -nivelmalli

5.4 Omavalmisteiset osat

Vaihdekepin alustakotelo

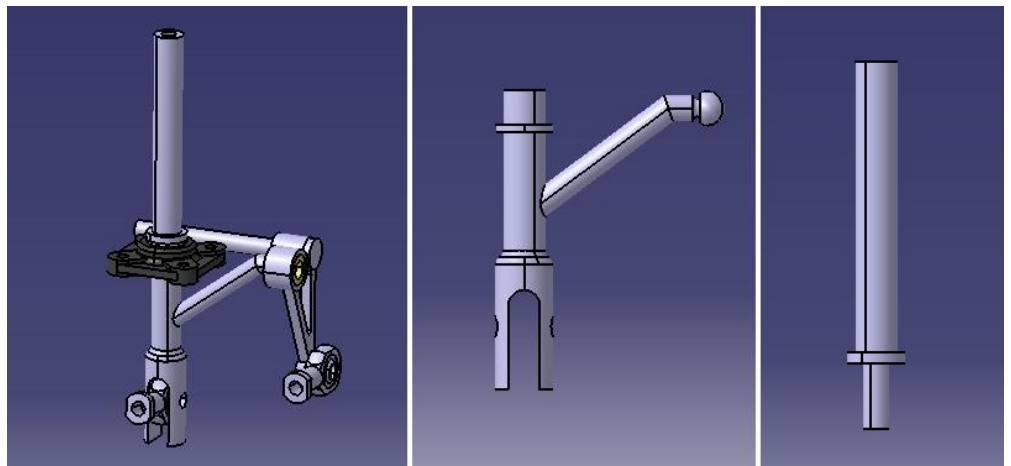
Vaihdekeppi kiinnittyy sen juureen asennetun laakerin välityksellä tukevaan koteloon, joka valmistettiin suorasta 2 mm alumiinipelistä tig-hitsaamalla. Kotelon ulkomitat ovat pitkälti yhtäläiset edellisen järjestelmän vastaavan kotelon kanssa, johtuen tarkasti mitoitetusta alkuperäisestä verhoilusta, joka valmiin kotelon päälle lopuksi taas asennetaan. Kuva 31 havainnollistaa, kuinka vaijerit mekanismeimeen kiinnitettiin koteloon.



Kuva 31. Vaihdekepin itse tehty torni keppeineen, vaijereineen ja mekanismeimeen

Vaihdekeppi

Vaihdekeppi valmistettiin ruostumattomasta teräksestä koneistamalla pyöreästä tankoaihiosta 16mm vahvuinen noin 20 cm pituinen pätkä, joka jaettiin kahteen, kierteillä toisiinsa lukittavaan osaan. Kepin ylä- ja alaosaan väliin asennettiin kuvassa 29 näkyvä kovamuovinen laippanivellaakeri. Alaosa liitettiin alimmasta kohdastaan kuvan 30 esittämän nivelen välityksellä vaihteensiirtovaijeriin. Kepin alaosaan liitettiin vielä yhdystanko keinuviivulle, joka muutti kepin sivuttaisliikkeen pitkittäiseksi. Kuvassa 32 on esitetty osa vaihteenvälitsimen kokoonpanosta sekä kepin ala- ja yläosa erikseen.



Kuva 32. Vaihdekeppi osakokoonpanossa sekä ala- ja yläosa erikseen esitettynä

Vaihdevaijerinkuoren kiinnikkeet

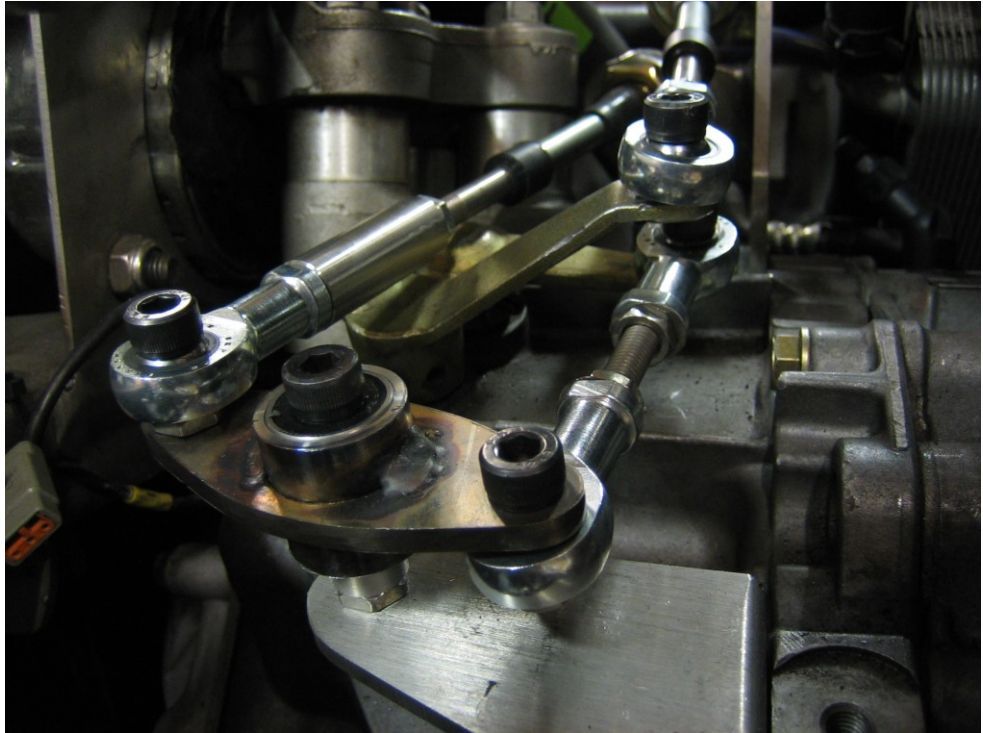
Vaihdekepin liikkeisiin ei haluttu ylimääräistä jouston tuntua missään olosuhteissa. Siksi vaihdevaijerien tukeviin kiinnityksiin kiinnitettiin erityistä huomiota työtä tehtäessä.

Vaihteiston päälle rakennetut kiinnikkeet, joihin vaijerinkuoret valmiissa kokoonpanossa asennettiin, valmistettiin 5 millimetrin vahvuisesta ruostumattomasta teräksestä. Materiaalin vahvuus tuntui aluksi ylimitoitettulta mutta osoittautui pian oikeaksi valinnaksi nopeista vaihtenvaihdosta syntyneiden voimien hallitsemiseksi.

Nivelet vaihteiston päällä

Moottori vaihteistoineen on alkujaan sijainnut Saab 9-3:n konehuoneessa matkustamon etupuolella. Projektiautossa voimansiirtopaketti taas sijaitsee matkustamon takapuolella. Tästä järjestelystä johtuen vaihtenvalitsimelta lähtevät vaijerit saapuivat vaihteistolle päinvastaisesta suunnasta kuin alkuperäisessä Saabin kokoonpanossa.

Vaihdekepin sivuttaissuuntainen liike oli vaihtenvalitsimen luona muutettu pitkittäiseksi liikkeeksi ja se saapui ensimmäistä kaapelia pitkin oikean suuntaisena vaihteistolle. Toisen kaapelin liike, joka toteutti kepin pitkittäissiirtoja sitä vastoin oli käännettävä matkan varrella 180 astetta eli takaisin tulosuuntaansa, jotta liike valitsimen luona pysyi oikeana. Kuvassa 33 nähdään miten suunnan vaihto on toteutettu herkäksi laakeroidulla keinuvivulla.



Kuva 33. Vaihteiston päälle rakennetut vivustot.

5.5 Kokoonpano ja säätäminen

Ensimmäistä kertaa kootaessa järjestelmän liikeradat olivat vielä liian lyhyet siihen, että vaihteet olisivat kytkeytyneet päälle asti. Kaksiosaisesta vaihdekepiä sorvattiin juurilaakeria vasten olevat laippapinnat halkaisijaltaan pienemmäksi ja liikerata kasvoi riittäväksi.

Vaihdekepin liikeratojen pituus, sekä pituus- että sivusuunnassa, on portaattomasti säädettävissä vaijerien kiinnityspisteitä siirtämällä. Kepin liikematkat päätettiin säätää niin lyhyiksi kuin oli mahdollista ilman sekaantumisen vaaraa kytkettävästä vaihteesta.

Liikeratojen linjauksiin kiinnitettiin erityistä huomiota, nimittäin jos pitkittäiseksi suunniteltu liike toteuttaakin samalla sivusuuntaista liikettä, tuntuu tämä epätarkkuutena vaihteenvaihtimella.

Oikeiden säätöjen löydyttyä avattiin kaikki liitokset vielä kerran ja niihin lisättiin joko ruuvilukitetta tai lukkoaluslevy, minkä jälkeen liitokset kiristettiin oikeaan momenttiin.

6 PÄÄTELMÄT

Työn päätavoitteet olivat uuden vaihteensiirtojärjestelmän suunnittelu ja toteutus sekä tärkeimpänä osana työtä Motec-moottorinohjausjärjestelmän toiminnan optimointi.

6.1 Haasteet

Lähtökohtainen haaste työssä oli projektikokonaisuuteen nähden myöhäinen aloitusajankohta. Ensimmäisen kerran mahdollisesta projektista keskusteltiin joulukuun lopulla. Työhön tartuttiin heti vauhdilla, mutta silti deadline saapui, omaan mielenkiinnon suuruuteen nähden liian aikaisin. Vuodenvaihteesta kevään ensimmäisiin ajotapahtumiin aikaa oli noin 4,5 kuukautta.

Sopivien komponenttien löytäminen vaihteensiirtojärjestelmään sekä niiden löytymisen jälkeen koitunut pitkä toimitusaika kulutti projektiin käytettävissä olevaa aikaa liikaa.

Moottorinohjainlaitteen säätötyön haasteena oli alusta pitäen saada auto-laboratorion olosuhteet sellaisiksi, ettei moottoria kuormitettaessa dynamometrissä imuilman lämpötila olisi noussut liian korkeaksi. Välijäähdytin sijaitsee RaceAboutissa vasemman takapyörän etupuolella ja varsinainen jäähdytin auton keulalla. Laboratoriossa oli mahdollista käyttää vain yhtä puhallinta, ja tästä seurasi, että vain toista edellä mainituista kennoista voitiin jäähdyttää kerrallaan.

Ensimmäisellä dynamometrissä ajetulla säätökerralla imuilmanlämpötila nousi täydellä kuormituksella peräti 80 celsiusasteeseen. Laboratorion siirrettävän jäähdytys-puhaltimen paikkaa optimoimalla ja välijäähdyttimen pintaan ajoittain suihkutetulla vedellä saatiin lämpötila laskemaan vastaavassa kuormitus tilanteessa lähemmäs 60:tä celsiusastetta. Se oli jo huomattavasti lähempänä tien päällä mitattuja imuilman lämpötiloja, jotka jäivät kuumassa kesäkelissäkin alle 40:n celsius asteen.

Dynamometrillä toteutetut säädöt eivät myöskään kaikilta osin toimineet ihan suoraan tien päällä oltaessa vaan karttojen suihkutusmääriä jouduttiin hie-man pudottamaan pääosin alemmilta kierrosalueilta.

6.2 Tavoitteiden saavuttaminen

Vaihteensiirtojärjestelmän toteutuksen arviointi on täysin subjektiivisella tasolla, sillä mitään mittalaitetta, joka tunnistaisi vaihteensiirron tuntuman kuljettajalle, ei ole. Työn alussa asetetut tavoitteet kuitenkin täytettiin sillä toiminta vaikuttaa täsmälliseltä ja tarkalta. Ainoat välykset järjestelmään syntyvät vaijerin välyksestä kuorensa sisällä, johon ei projektissa ollut mitään mahdollisuutta vaikuttaa.

Käytettyjen nivelten välyksettömyyden varjopuoliin voidaan laskea niiden aiheuttama hienoinen nihkeys vaihdekepin liikkeisiin, joka tuntuu lähinnä siinä, ettei keppi jaksa keskittää itseään täysin. Nivelten kuluessa ja herkistyessä tilanteen toivotaan kuitenkin paranevan.

Vaihteensiirron ulkonäkö vaikuttaisi myös täyttävän muun auton korkean tason. Järjestelmän kestävyys ja huollontarve selviävät vasta käytössä, mutta ottaen huomioon materiaalien ja niiden vahvuuksien valinnat, ei ongelmia pitäisi ilmetä.

Motec-moottorinohjainlaitteen optimointiin käytettyyn aikaan nähden saavutetut tulokset vaikuttavat hyviltä. Ennen työn aloittamista moottoria vaivasivat heikko kaasun vastaavuus, ahtopaineiden huojunta kuormituksessa sekä heikko käynnistyvyys.

Kompensaatiokartat täytettiin peruspolttoaine- ja sytytyskarttojen säätämisen jälkeen suurella tarkkuudella. Edellä mainituista ongelmista heikko kaasun vastaavuus ratkesi kiihdytysrikastuksia hienosäätämällä ja ahtopaineiden seilaaminen puolestaan ratkesi huolellisella hukkaportin säätöparametrien valikoimisella. Käynnistyvyyden parantaminen on vielä kirjoitushetkellä kesken.

Liite 1:stä nähdään toteutuneet vääntö- ja tehokäyrät. Paksuin oranssi sekä paksuin punainen käyrä kuvaavat tällä hetkellä käytössä olevia voimavaroja. Ohuimmat viivat havainnollistavat erilaisten sytytysennakoiden sekä seoksien vaikutusta moottoritehoon. Oranssilla katkoviivalla on merkitty vakio-moottorin vääntökäyrän muoto.

Sytytyksen ajoitukset sekä polttoaineen ja ilman seossuhteet säädettiin 98-oktaanisella bensiinillä ajaen aivan nakutusrajan alapuolelle. Jatkossa oli

tarkoitus ajaa RaceAboutia yli 99-oktaanisella polttoaineella, jolloin on arvioitu turvavälin nakutukseen kasvavan.

Huipputehoon saataisiin parannusta aikaiseksi, mikäli käytettäisiin jo säädetäessä korkeampioktaanista polttoainetta. Se sallisi käyttää korkeilla kuormituksilla hieman laihempaa seosta sekä suurempaa sytytysennakkoa ilman nakutusta. Tällöin tosin menetettäisiin nykyinen turvallinen välimatka nakutukseen.

Säädettäessä huomattiin lambda-arvon 0,85 antavan parhaan vääntömomentin kierrosalueesta riippumatta. Yli 4000 rpm:n lukemissa ilmeni tällöin kuitenkin jo vahvaa taipumusta nakutukseen, joten seos säädettiin lambda 0,83:een sekä sytytysennakkoa vähennettiin 1 - 2 astetta kyseisissä olosuhteissa. Kuvassa 8 nähdään, kuinka Saabin oma ohjainlaite tavoittelee korkeimmilla kuormilla jopa AFR 12 lukua, joka vastaa lambdaa alle 0,82-lukua.

Huipputehoa olisi nostanut huomattavasti myös matalampien imuilman lämpötilojen saavuttaminen. Imuilmalämpötilalla tarkoitetaan tässä kuten aiemmissakin luvuissa lämpötilaa, joka mitataan ennen kaasuläppää. Sillä on hyvin vähän tekemistä ilmanpuhdistimelta moottoriin imetyn ilman lämpötilan kanssa, sillä imuilman lämpötila nousee turboahtimen ohittaessaan sekä paineen nousun johdosta että ahtimen fyysisen korkean lämpötilan vaikutuksesta.

Esimerkiksi imuilmalämpötilan ollessa 70 celsiusastetta (kuten liitteen 1 mitaushetkellä), voidaan siihen suihkuttaa 10 % vähemmän polttoainetta kuin jos sen lämpötila olisi 20 celsiusastetta. Tämä vastaa karkeasti vastaavaa prosenttiosuutta tehoerossa. Vertailun vuoksi tien päällä ajettaessa maksimi imuilmalämpötilat ovat 30 - 40 celsiusastetta.

Lopuksi todettakoon, että tiukasta aikataulusta huolimatta päästyihin tavoitteisiin oltiin tyytyväisiä. Työn lopputulos vastaa odotettua ja paljon uusia asioita opittiin matkan varrella. RaceAboutissa riittää vielä haasteita ja tutkimuskohteita monelle innokkaalle insinööriopiskelijalle.

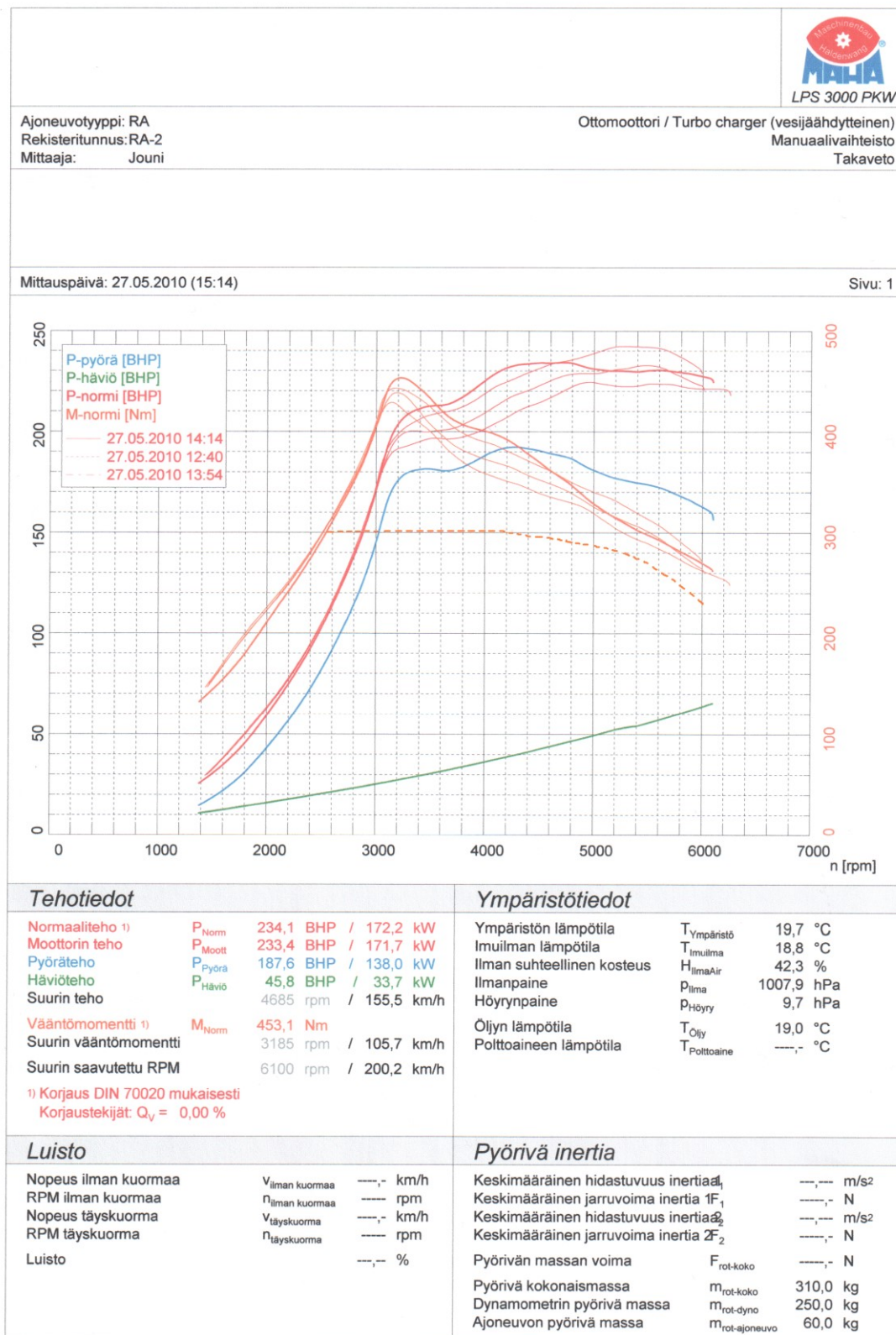
VIITELUETTELO

- [1] Jukka Tiainen, Janne Welin, Urheiluautoprojekti. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 1998.
- [2] Mikko Karppinen, Tomi Torttila, RaceAbout 2000 - suomalainen urheiluauto. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 1999.
- [3] Helenius Peter, Perhoniemi Kimmo, RaceAbout 2000 -urheiluauto. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 2000.
- [4] Perhoniemi Pasi, RaceAbout 2000 -urheiluauton jatkokehitys. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 2001.
- [5] Erkkilä Kimmo, Muovikomposiitit prototyyppien valmistuksessa. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 2001.
- [6] Sulonen Tomi, Urheiluautojen ajo-ominaisuuksien mittaaminen. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 2003.
- [7] Harakka Teemu, Tiedonkeruun asennus RaceAbout urheiluautoon. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 2004.
- [8] Rummukainen Ukko, RaceAbout 05:n tekniset muutokset. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 2005.
- [9] Vildén Pauli, RaceAboutin tekninen kehitys. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 2006.
- [10] Valkeinen Jonas, Motec moottorinohjausyksikön asennus ja konfigurointi. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 2007.
- [11] Vaaraniemi Mikko, RaceAboutin MOTECin käyttö ja tehoversiot. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Auto- ja kuljetustekniikka. Helsinki. 2008.
- [12] RaceAbout Association. [verkkosivusto] Päivitetty 1.3.2005 [viitattu 31.5.2010] Saatavissa: http://www.raceabout.fi/index_3html
- [13] Motec Pty Ltd. *Engine management & data acquisition systems* [verkkodokumentti] Päivitetty 26.3.2008 [viitattu 25.5.2010] Saatavissa: <http://www.motec.com/m400/m400overview/>
- [14] Motec Pty Ltd. *Motec M400 user manual.pdf* [verkkodokumentti] Päivitetty 30.6.2010 [viitattu 25.5.2010] Saatavissa: <http://www.motec.com/downloads/downloadmanuals/>

- [15] Motec Pty Ltd. *Motec ECU Manager V3.52*. [tietokoneohjelma] Päivitetty 8.4.2010 [viitattu 25.5.2010] Saatavissa: :
<http://www.motec.com/software/latestreleases/>
- [16] Marcin Pohl, *From physics to speed density* [verkkodokumentti] Päivitetty 3.12.2006 [viitattu 30.5.2010] Saatavissa:
<http://76.189.90.9:8080/cars/gto/pics/engine/tuning/HowSpeedDensityWorks16.doc>
- [17] Lehtori Sami Ruotsalaisen haastattelu. 14.5.2010. Metropolia Ammatti-
korkeakoulu.
- [18] Dilemma & J.K. Nilsson. *T5 Suite Professional 2.0* -Trionic ohjainlaitteen
säätöohjelma. [tietokoneohjelma] Päivitetty 20.5.2010 [viitattu 25.5.2010]
Saatavissa: <http://www.trionic.mobixs.eu/>
- [19] Professor Ronald D. Matthews. *Race engine calibration for optimal perfor-
mance by Ron Matthews*, kurssimateriaali 2010 [CD-ROM] [viitattu
25.5.2010] Saatavissa:
<http://www.sae.org/servlets/pdevent/otherproduct/PD130701/PDD>
- [20] Motec Pty Ltd. *Motec ECU Seminar v3.3 2008 Tuning.pdf* [verkkodokumen-
ti] Päivitetty 30.4.2010 [viitattu 25.5.2010] Saatavissa: <http://www.motec.com/download/downloadseminars/>
- [21] Dilemma & J.K. Nilsson. *Trionic T5 ja T8 documentation.pdf* [verkkodoku-
mentti] [viitattu 25.5.2010] Saatavissa: <http://trionic.mobixs.eu/>
- [22] Linköping University. *Spark-Advance Control by Ion-Sensing and Interpretor*
[verkkodokumentti] Päivitetty 25.11.1998 [viitattu 31.5.2010] Saatavissa:
<http://www.vehicular.isy.liu.se/~larer/Projects/main.html>

LIITTEET

Liite 1. Dynamometritulokset



Liite 2. Motec-ohjelmat, kalibroitiedosto sekä pulssinleveyden laskuri CD-levyllä