

Teemu Tiainen
Uusiutuvan dieselpolttoaineen testauksen
suunnittelu ja testimoottorin valmistaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Auto- ja kuljetustekniikka
Opinnäytetyö
9.5.2012

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Teemu Tiainen Uusiutuvan dieselpolttoaineen testauksen suunnittelu ja testimoottorin valmistaminen 55 sivua + 1 liite 9.5.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Projekti-insinööri Harri Santamala Koulutuspäällikkö Heikki Parviainen
<p>Tämä opinnäytetyö on tehty osana Metropolia Tekes-rahoitteista Concept Car -hanketta. Opinnäytetyössä on suunniteltu uusiutuvien dieselpolttoaineiden tutkimusmenetelmä sekä suunniteltu ja rakennettu testaamiseen sopiva laitteisto. Uusiutuvien dieselpolttoaineiden vaikutusta dieselmoottorissa on aiemmin tutkittu vain suurikokoisilla testimoottoreilla. Tässä opinnäytetyössä suunniteltuun testauslaitteistoon on valittu mahdollisimman pienikokoinen testimoottori, jolla voidaan tutkia polttoaineen vaikutusta suorituskykyyn, päästöihin ja kulutukseen.</p> <p>Opinnäytetyössä on kuvattu valitun Volkswagenin 1,2 litraisen TDI -moottorin asentaminen SuperFlow-moottoridynamometriin. Edelleen työssä on kuvattu myös moottorinohjauksen asentamisen ja moottorin toimintakuntoon saattamisen työvaiheet. Moottorinohjauksen osalta opinnäytetyö on rajattu ainoastaan moottorin ja sen toimilaitteiden käyntikuntoon saattamiseen. Dieselmoottorin säädön perusteet esitetään työssä vain teorian osalta. Mitataustulosten analysointiin on suunniteltu ajotilapiirros, joka mahdollistaa testauslaitteistolla mitattujen arvojen käyttämisen mallintamaan moottorin toimintaa minkä tahansa ajosyklin aikana missä tahansa ajoneuvossa. Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi dieselpolttoaineen testauslaitteisto sekä tulosten tehokkaaseen analysointiin työkalut, joilla tullaan jatkossa tutkimaan uusiutuvia dieselpolttoaineita osana Concept Car -hanketta.</p>	
Avainsanat	Uusiutuva dieselpolttoaine, moottorinohjaus, ajotilapiirros, moottoridynamometri

Author(s) Title Number of Pages Date	Teemu Tiainen The design of test procedures for examining regenerative diesel fuels and the design and production of required equipment 5 pages + 1 appendix 9 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Harri Santamala, Project Engineer Heikki Parviainen, Head of Degree Programme
<p>This Bachelor's thesis was carried out during the design process of a Concept Car funded by Tekes (The Finnish Funding Agency for Technology and Innovation) at the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The objective of this thesis was to design a test procedure for examining renewable diesel fuels and to design and fabricate test equipment for testing them. The impact of renewable diesel fuels has been examined previously with big test engines only. In this thesis the smallest suitable test engine was chosen for testing the effects of the fuel on performance, emissions and consumption.</p> <p>This thesis describes how the Volkswagen 1.2 litre TDI engine was installed on the Super-Flow dynamometer. The installation of the engine management system is also described as well as the different stages of the process required to get the engine running. Only the procedures required to make the engine and all of its actuators function are included in this thesis. Only the fundamental theories of diesel engine management are described. To analyze test results, a tractive force diagram was designed. It allows the use of the measured values to be used for simulating the functioning of the test engine on any given test cycle in any given car. As a result of this thesis the test equipment for testing renewable diesel fuels and the tools for analyzing the test results effectively were created. Both these tools will be used to examine renewable diesel fuels as part of the Concept Car project.</p>	
Keywords	Regenerative diesel fuel, engine management system, tractive force diagram, engine dynamometer

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Laitteistokokonaisuuden suunnittelu	3
2.1	Laitteiston perusvaatimukset	3
2.2	Moottorin valinta	5
2.3	Moottoridynamometri	6
2.4	Tulosten analysointi	7
2.4.1	Simpukkakuvaajan mittaaminen	8
2.4.2	Ajotilapiirros	10
3	Moottorin testipenkin valmistus	13
3.1	Moottorin asennus SuperFlow-moottoridynamometriin	13
3.1.1	Moottorin kiinnittäminen dynamometrin runkoon	13
3.1.2	Moottoridynamometrin ja dieselmoottorin akseleiden liitos	15
3.1.3	Oheislaitteet ja kiinnitys laboratorioon	19
3.1.4	Polttoainejärjestelmän muutokset	21
4	Moottorinohjausjärjestelmä	22
4.1	Dieselmoottorin ohjaus teoriassa	23
4.1.1	Polttoainejärjestelmä	23
4.1.2	Magneettiventtiiliohjatut suuttimet	25
4.1.3	Palamistapahtuma ja siihen vaikuttaminen	26
4.2	Tunnistimien ja apuohjainlaitteiden mittaaminen	29
4.2.1	Alkuperäisen moottorinohjausjärjestelmän asennus laboratorioon	30
4.2.2	Lämpötilatunnistimet	30
4.2.3	Painetunnistimet	31
4.2.4	Kaasupolkimen asentotunnistin	33
4.2.5	Apuohjainlaitteiden ohjauksen selvittäminen	34
4.2.6	Asentotunnistimet	37
4.2.7	Toimilaitteiden ohjaus.	37
4.2.1	Kampiakselin asentotunnistin	39
4.3	Moottorin johtosarja	41
4.3.1	KytKentäkaavio	42
4.3.2	Moottorin johtosarjan kytKentä	42

4.3.3	Releiden kytkentä	44
4.4	Käyntikuntoon saattaminen	44
4.4.1	Kampiakselin ja nokka-akselin asentotunnistimien konfigurointi	44
4.4.2	Muiden tunnistimien konfigurointi	47
4.4.3	Polttoaineen paineen säätö	48
4.4.4	Moottorin käynnistäminen	49
4.4.5	Apulaitteiden toiminnan testaus	50
5	Yhteenveto ja pohdintaa	54
	Lähteet	56
	Liitteet	
	Liite 1. Moottorin kytkentäkaavio.	

Lyhenteet ja määritelmät

Ajotilapiirros	Ajotilapiirroksella simuloidaan matemaattisesti auton toimintaa erilaisissa ajonopeuksissa ja kuormitustiloissa.
Ajosykli	Ajosyklillä tarkoitetaan jotakin tiettyä ajokokonaisuutta, joka määritellään ilmoittamalla ajoneuvon nopeus ajan funktiona.
FAME	Fatty-acid methyl ester on ensimmäisen sukupolven biodieseliä, joka valmistetaan yhdistämällä eläinrasvoihin metanolia.
CO	Carbon Oxide eli hiilimonoksidi on haitallinen pakokaasupäästö, jota muodustuu kun polttoaineen täydelliseen palamiseen ei ole riittävästi happea saatavilla.
HC	Hydrocarbon eli hiilivety on palamistapahtumasta jäljelle jäävää epätäydellisesti palanutta polttoainetta.
NOx	NOx-päästöillä tarkoitetaan typpioksidien (Nitrogen oxide) ja typpidioksidien (Nitrogen dioxide) yhteen laskettua määrää. Molempia muodostuu ilman typen hapettuessa korkeassa lämpötilassa mutta kuitenkin eri lämpötiloissa. Typpidioksidi vaatii lisäksi kaksi kertaa enemmän happea muodostuakseen.
Fischer-Tropsch	Fischer-Tropsch-menetelmä on kemiallinen reaktio, jossa hiilimonoksidia ja vetyä muunnetaan erilaisiksi nestemäisiksi hiilivedyiksi.
Setaaniluku	Setaaniluku kuvaa dieselin itsesyttymisen vaatimaa painetta. Mitä suurempi luku, sitä pienemmässä paineessa polttoaine syttyy.

Simpukkakuvaaja	Simpukkakuvaajalla tarkoitetaan moottorin toiminnan hyötysuhdetta kuvaavaa tasa-arvokäyräkuvaajaa, jossa vaaka-akselilla on moottorin kierrosluku ja pystyakselilla kuormitus. Arvoiksi merkitään esimerkiksi polttoaineen kulutus grammoina per sekunti.
EGR	EGR eli Exhaust Gas Recirculation tarkoittaa pakokaasujen takaisinkierrätysjärjestelmää, jossa palaneet pakokaasut johdetaan imusarjaan ja sitä kautta takaisin palotilaan.
Closed-loop	Closed-loop-säätöjärjestelmällä tarkoitetaan sellaista säätöjärjestelmää, joka tarkkailee säädön suoraa vaikutusta johonkin arvoon ja säätää arvoon vaikuttavaa toimilaitetta sen mukaisesti.
Open-loop	Open-loop-järjestelmässä tarkkaillaan muita ulkoisia arvoja ja säädetään säädintä niiden perusteella, mutta ei kuitenkaan tarkkailla sitä arvoa, johon säätö suoraan vaikuttaa.
Alasliipaisu	Alasliipaisu tarkoittaa erilaisten asentotunnistimien signaalien jännitetason äkillistä laskua.
rpm	Revolutions Per Minute tarkoittaa moottorin pyörimisnopeutta, 4-tahtimoottorissa yksi rpm tarkoittaa sitä että kampiakseli pyörähtää yhden kierroksen yhden minuutin aikana ja nokka-akseli kaksi kierrosta.

1 Johdanto

Metropolia Ammattikorkeakoulu aloitti syksyllä 2010 Tekes-rahoitteen Concept Car -hankkeen jonka lopputuloksena valmistuu demonstraatioajoneuvo, joka on määrä esitellä Geneven Autonäyttelyssä keväällä 2014. Ajoneuvosta tulee moderni kaupunki-auto, joka valmistetaan mahdollisimman ekologisesti, auton koko elinkaari huomioon ottaen. Tutkimus keskittyy suurelta osin auton valmistamiseen ekologisemmista, kierrätettävistä materiaaleista. Tutkimusten mukaan 60–80 prosenttia nykyaikaisen auton koko elinkaaren aikaisista päästöistä syntyy ajon aikana (1). Tästä johtuen on luontevaa keskittyä pienentämään myös ajon aikaisten päästöjen muodostumista.

Sähköautot tarjoavat tähän hyvän ratkaisun, sikäli kun sähköverkosta saatava latausvirta tuotetaan ekologisesti. Sähköautot eivät kuitenkaan ole vielä nykypäivää, vaan tulevaisuuden ratkaisuja. Sähköautotekniikan laajemman käytön esteenä on se, että sen vaatima infrastruktuuri on vasta suunnittelun alkuvaiheessa, eikä autojen tekniikkakaan vielä mahdollista laajamittaista sarjatuotantoa taloudellisesti kannattavasti. Tarjolla on myös kaasumuotoisia polttoaineita, kuten maakaasu ja vety. Näiden jakeluverkostot ovat kuitenkin vielä valitettavan suppeat ja osittain myös turvallisuuden kannalta ongelmalliset. Lisäksi tämän hetkiset polttoaineiden tuotantomäärät eivät riittäisi vastaamaan niiden laajamittaista henkilöautokäyttöä. Projektin linjauksen mukaisesti haluttiin suunnitella nimenomaan nykyaikainen auto, joten päädyttiin käyttämään polttoainetta, jolle on jo olemassa sekä infrastruktuuri että sen tehokkaaseen käyttöön kykenevää tekniikkaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sellaisen nestemäisen polttoaineen käyttöä, joka toimii nykyaikaisessa polttomoottorissa.

Bensiinin ekologisuuden lisääminen tarkoittaa tällä hetkellä etanolin osuuden lisäämistä, ja näin päästäänkin yleisesti vertailtavien CO-, HC-, ja NOx-päästöjen arvoissa lähelle normaalin bensiinin päästötasoja lämpimällä moottorilla. Ongelmaksi kuitenkin muodostuu kylmällä moottorilla selkeästi kohoavat päästöt. Lisäksi testeissä on havaittu aldehydien määrän kasvavan jopa 24 kertaiseksi normaaliin bensiiniin verrattuna. Valtaosa aldehydeistä on toistaiseksi harmittomaksi tulkittua asetaldehydiä, mutta myös limakalvoja ärsyttävää ja joidenkin epäilysten mukaan myös syöpää aiheuttavaa for-

maldehydiä muodostuu lähes kymmenkertainen määrä normaaliin bensiiniin verrattuna. (2.)

Myös dieselpolttoaineiden ekologisuutta on parannettu sekoittamalla kasviöljyn sekaan etanolia. Näin muodostettua FAMEa myydäänkin laajalti ympäri Eurooppaa BioDieselinä. FAME:n käytössä on kuitenkin monia ongelmia. Siitä on esimerkiksi havaittu säilytyksen aikana erottuvan vettä erilliseen faasiin, joka on aiheuttanut monien autovalmistajien mukaan muun muassa polttoainelaitteistojen hapettumista. Haittavaikutuksia pyritään estämään sekoittamalla FAMEa enimmillään 5–7 prosenttia normaalin dieselin sekaan, ja useat autovalmistajat ovatkin kieltäneet sitä suurempien FAME-pitoisuuksien käytön autoissaan (3). Pohjoismaisesta näkökulmasta ehkä suurin ongelma on kuitenkin FAME:n alhainen, -5 c:n suodattumislämpötila. Suomalaiset polttoainevalmistajat ovat kuitenkin kehittäneet toisenlaisen tavan valmistaa biodieseliä muuntamalla muun muassa metsäteollisuuden hakkuujätteitä Fischer-Tropsch-menetelmällä nestemäiseksi raaka-aineeksi, josta voidaan jatkojalostaa dieseliä. Näin valmistettu diesel täyttää kaikki EN 590 -standardin mukaiset dieselpolttoaineen vaatimukset pois lukien tiheyden, joka on hiukan standardin vaatimusta pienempi. Näin valmistetun puhtaan polttoaineen palamisominaisuudet ovat itse asiassa jopa huomattavan paljon normaalia dieseliä paremmat, sillä sen setaaniluku on lähellä 90:tä, kun normaalilla dieselillä se on noin 51–55. (4.)

Pienestä tiheyden poikkeamasta huolimatta Fischer-Tropsch-menetelmällä valmistettu biodiesel toimii sellaisenaan kaikissa nykyaikaisissa dieselmootoreissa. Korkeasta setaaniluvusta johtuen sillä on kuitenkin mahdollista saavuttaa myös selviä etuja verrattuna normaaliin dieseliin. (5.) Dieselmootorin palaminen perustuu paineen aiheuttamaan itsesyttymiseen. Mikäli polttoaine ruiskutetaan moottoriin kerralla, joudutaan se ruiskuttamaan jo huomattavasti ennen moottorin puristustahdin yläkuolokohtaa, jotta se syttyisi optimaalisella hetkellä. Tällöin sylinteriin on kuitenkin ehtinyt jo ennen syttymishetkeä virrata suuri määrä polttoainetta, joka kerralla syttyessään aiheuttaa erittäin nopean paineen nousun ja sitä kautta huomattavan lämpökuorman moottorille lisäten samalla typen oksidien muodostumista. Nykyaikaisissa moottoreissa ongelma on pyritty ratkaisemaan ruiskuttamalla polttoaine vaiheittain, jolloin suurin osa polttoaineesta ruiskutetaan vasta, kun esiruiskutettu osuus on jo syttynyt. Tällöin suurin osa polttoaineesta syttyy välittömästi sylinteriin päästyään ja paine kasvaa sylinterissä hi-

taammin. Tämä alentaa typen oksidien muodostumista ja hukkalämmön määrää. Biodieselissä setaaniluku on kuitenkin huomattavasti suurempi, eli se syttyy paineen vaikutuksesta herkemmin. Tällöin ei välttämättä tarvita ainakaan yhtä runsasta esiruiskutusta, mikäli ollenkaan, mikä taas auttaa kulutuksen ja päästöjen laskussa. Kun palamistapahtumaa voidaan hallita paremmin, voidaan myös moottorin ahtopainetta nostaa ja tällöin moottorista on mahdollista saada suurempi suorituskyky ilman mekaanisia muutoksia.

Metropolian Concept Car -hankkeen demonstraatioajoneuvoon päätettiin asentaa toisen sukupolven biodieseliä käyttävä moottori. Vaikka henkilöautojen dieselmoottorit toimivat kyseisellä polttoaineella jo sellaisenaan, haluttiin demonstraatioajoneuvon moottorilla tutkia, kuinka paljon moottoriin tehtävillä muutoksilla olisi mahdollista säästää hyötyä verrattuna normaalille dieselille suunniteltuun moottoriin. Polttoaineen etujen tutkintaa varten päätettiin suunnitella ja valmistaa testauslaitteisto, jolla moottorin toiminta voitaisiin optimoida toisen sukupolven biodieselille luotettavissa laboratorio-olosuhteissa. Tekemällä moottorin testit käyttäen erillistä testauslaitteistoa, voidaan kokeiden tulosten avulla arvioida minkä tahansa auton kulutuksen ja päästöjen muutoksia tilanteessa, jossa autoon asennettaisiin kyseinen moottori. Moottorilla päästäisiin lopulta tekemään testejä myös käytännön ajotilanteissa, kun moottori asennetaan demonstraatioajoneuvoon.

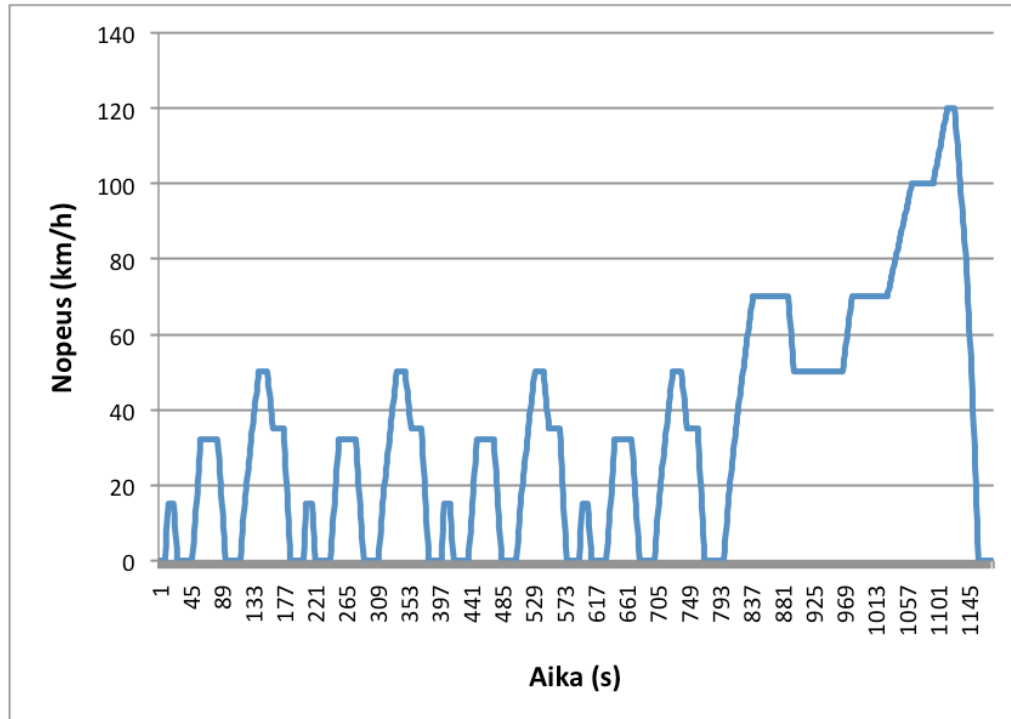
Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella uusiutuvan dieselpolttoaineen tutkimiseen menetelmä sekä suunnitella ja valmistaa siihen soveltuva testauslaitteisto. Laitteisto oli saatava niin valmiiksi, että sillä pystytään opinnäytetyön valmistuttua aloittamaan uusiutuvan dieselpolttoaineen tutkiminen.

2 Laitteistokokonaisuuden suunnittelu

2.1 Laitteiston perusvaatimukset

Laitteistolla on tarkoitus tutkia uusiutuvan dieselpolttoaineen käytön vaikutuksia nykyaikaisessa dieselmoottorissa. Vaikutukset halutaan selvittää kaikilta moottorin toiminnan määrittelemiltä osa-alueilta. Tämä johtaa siihen, että niin kulutuksen, päästöjen, kuin tehon muutoksia on kyettävä mittaamaan. Jotta mittaus tulokset olisivat mahdolli-

simman vertailukelpoisia markkinoilla oleviin autoihin, tulee mittaukset suorittaa yleisimmin käytettyjen tapojen mukaisesti. Tulosten todettiin olevan vertailukelpoisia silloin, kun kulutus- ja päästölukemat mitataan NEDC-ajosyklin aikana, sekä mitataan moottorin tuottama teho kilowatteina ja vääntömomentti newtonmetreinä koko kierrosalueella (Kuva 1).



Kuva 1. NEDC-ajosykli.

Laitteistolla suoritettavien testien tulee antaa tuloksia, jotka voidaan tarvittaessa toistaa tulosten luotettavuuden varmistamiseksi. NEDC-ajosyklin aikana auton nopeutta vähennetään toisinaan niin, että käytännössä jarrutusvoima kannattaa tuottaa niin sanotulla moottorijarrutuksella. Moottorijarrutuksella tarkoitetaan sitä, että vaihteen ollessa kytkettynä keskeytetään polttoaineen syöttäminen moottorille ja annetaan moottorin puristuskäynnin aiheuttaman vastuksen hidastaa auton nopeutta. Moottorijarrutusten aikana ei siis sinänsä ole välttämätöntä kyetä mittaamaan päästöjä tai kulutusta, sillä kummastakaan ei ole mitattavaa arvoa. Periaatteessa siis tarvittaisiin moottorin pyörittämiseen kykenevä moottoridynamometri, jos halutaan mittaustulos saavuttaa yhtäjaksoisella mittauksella. Tällaisen dynamometrin tarpeellisuus pystytään kuitenkin kiertämään mittaamalla moottorin toimintaa riittävän monessa toimintapisteessä jotta niiden avulla voidaan moottorin toiminta simuloida minkä tahansa ajosyklin aikana.

Testauslaitteisto koostuu siis käytännössä moottoridynamometrillä, siihen asennetusta testimoottorista, dynamometrin ohjauskeskuksesta sekä päästömittauslaitteistosta. Päästömittauslaitteiston suunnittelu on rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Tämän opinnäytetyön puitteissa ainoastaan asennettiin moottorin hiukkassuodattimen tuloon ja lähtöön tarvittavat liitännät, joihin yleisimmät pakokaasuanalysointilaitteet voidaan liittää (Kuva 2).



Kuva 2. Moottorin hiukkassuodatin, jossa liitännät päästömittauslaitteistolla.

Pakokaasujen koostumusta halutaan mitata sekä ennen että jälkeen hiukkassuodattimen, jotta suodattimen toimintaa biodieselillä voidaan valvoa.

2.2 Moottorin valinta

Moottoriksi tarvittiin nykyaikainen ja pienikokoinen henkilöauton dieselmoottori. Nykyaikaisuuden määritelmänä pidettiin sitä, että moottori täyttää alkuperäisessä asennuskohteessaan EURO 5 -luokan päästömääräykset. Tiedettiin, että esimerkiksi Aaltoyliopistolla oli jo aiemmin tehty vastaavia testejä suurikokoisella kuorma-auton moottoriin pohjautuvalla testimoottorilla. Tässä projektissa haluttiin valita selkeästi poikkeava, pienikokoinen ja suhteellisen nopeakäyntinen moottori. Smartin Fortwo-mallia on saa-

tavana varustettuna 0,8-litraisella dieselmoottorilla, joka täyttää asetetut vaatimukset kaikilta osin. Kyseinen moottori on kuitenkin tilankäytöllisistä syistä johtuen suunniteltu selvästi takaviistoon, jolloin sen asentaminen moottoridynamometrin runkoon olisi tarpeettoman hankalaa.

Seuraavaksi pienin markkinoilta löytyvä moottori oli selvityksen aikaan Volkswagen Polon 1,2-litrainen moottori, joka myös täyttää EURO 5 -päästönormin (taulukko 1). Lisäksi se on suunniteltu asennettavaksi pystysuoraan, minkä vuoksi sen asentaminen moottoridynamometriin arvioitiin Smartin moottoria helpommaksi tehtäväksi. Lisäksi Volkswagenin jälkimarkkinointiverkosto pääkaupunkiseudulla on Smartia parempi, jolloin varaosien tilaus olisi tarvittaessa helpompaa ja nopeampaa. Testauslaitteiston moottoriksi tulikin Volkswagenin 1,2-litrainen TDI-moottori. Vaikka moottorin lopullinen valinta perustuikin käytännössä yksinomaan sen soveltumiseen Concept Car -hankkeen demonstraatioajoneuvon voimanlähteen vaatimuksiin, on valittu moottori edellä esitetyistä syistä täydellinen valinta myös dieselpolttoaineiden testauslaitteiston pääkomponentiksi.

Taulukko 1. Valitun moottorin tiedot (6).

Moottorin tunnuskirjaimet	CFWA
Rakenne	3-sylinterinen rivimoottori
Iskutilavuus	1199 cm ³
Sylinterin halkaisija	79,5 mm
Iskunpituus	80,5 mm
Venttiilejä/sylinteri	4
Puristussuhde	16,5 : 1
Enimmäisteho	55 kW käyntinopeudella 4200 1/min
Enimmäisvääntömomentti	180 Nm käyntinopeudella 2000 1/min
Moottorinohjaus	Delphi DCM 3.7
Polttoaine	DIN EN590 -normin mukainen dieselpolttoaine
Pakokaasujen käsittely	Pakokaasujen takaisinkierrätys, hapetuskatalysaattori, dieselhiukkassuodatin
Pakokaasunormi	EU5

2.3 Moottoridynamometri

Moottoridynamometriksi valittiin Metropolia AMK:n kylmälaboratorioon asennettava SuperFlow SF-901, jolla kyetään mittaamaan suurimmillaan 1000 hevosvoiman mootto-

ritehoa pyörimisnopeudella 10000 kierrosta per minuutti. SuperFlow SF-901 -moottoridynamometrissä on moottoria jarruttava vesijarru, jonka jarruttava osa ja moottoriin kiinnittyvä runko-osa on liitetty toisiinsa voimavarren avulla. Dynamometri mittaa voimavarteen kohdistuvaa vetovoimaa, ja tästä voimasta saadaan vääntömomentti kertomalla se voimavarren ja akselin keskipisteen välisellä etäisyydellä. Mittamalla lisäksi pyörimisnopeutta saadaan vääntömomentista laskettua teho. Vesijarru jarruttaa moottoria muuttamalla sen pyörimisliikkeen veden virtaukseksi, ja veden virtauksessa suuri osa liike-energiasta muuttuu lämmöksi. Dynamometrin liiallisen lämpenemisen estämiseksi on vettä järjestelmässä yhteensä noin 3000 litraa, josta suurin osa on kylmälaboratorion kellariin asennetussa säiliössä. Dynamometriä ohjataan kylmälaboratorion valvomossa sijaitsevasta ohjauspaneelistä, josta käsin moottori voidaan käynnistää ja säätää sen pyörimisnopeutta ja kuormaa. Tuloksia voidaan lukea joko suoraan ohjauspaneelistä tai siihen liitetyllä tietokoneella käyttäen WinDyn-ohjelmistoa. Tarvittaessa kylmälaboratorio saadaan jäähdytettyä jopa $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilaan, jolloin laboratorioissa pystytään tutkimaan moottorin toimintaa myös erittäin kylmissä olosuhteissa.

2.4 Tulosten analysointi

Tulosten analysointiin suunniteltiin erillinen ajotilapiirros, johon voidaan syöttää moottorin toiminta simpukkakuvaajan muodossa. Kuten ajosyklin aikaisesta nopeusprofiilista voidaan havaita, on NEDC-ajosyklin kesto lähes 20 minuuttia (Kuva 1). Mikäli testeissä ajettaisiin aina koko sykli, pitäisi siis jokaisen pienen säätötoimenpiteen jälkeen ajaa koko 20 minuutin sykli uudelleen, jotta muutosten vaikutukset saataisiin selville. Suunnitellun testauslaitteiston avulla moottorin toimintaa mitataan useissa eri toimintapisteissä, ja mikäli vain jollekin kierrosalueelle tehdään muutoksia, tarvitsee ainoastaan säädetyn alueen toimintapisteet mitata uudelleen. Tämän jälkeen tulokset voidaan syöttää ajotilapiirroksen. Vaikka NEDC-ajosykli onkin viranomaisten käyttämä sykli, se ei vastaa tosielämän ajotilanteita kovinkaan hyvin, ja siksi polttoaineen vaikutuksia moottorissa arvioidaan useiden eri syklien avulla. Ajotilapiirroksen avulla jokaisen muutoksen vaikutus voidaan saman tien laskea vaikka useammallakin syklillä, jolloin muutosten kokonaisvaltaiset vaikutukset tulevat selkeämmin esille. Suurin hyöty valitusta mittaustavasta onkin tulosten analysoinnin nopeus.

2.4.1 Simpukkakuvaajan mittaaminen

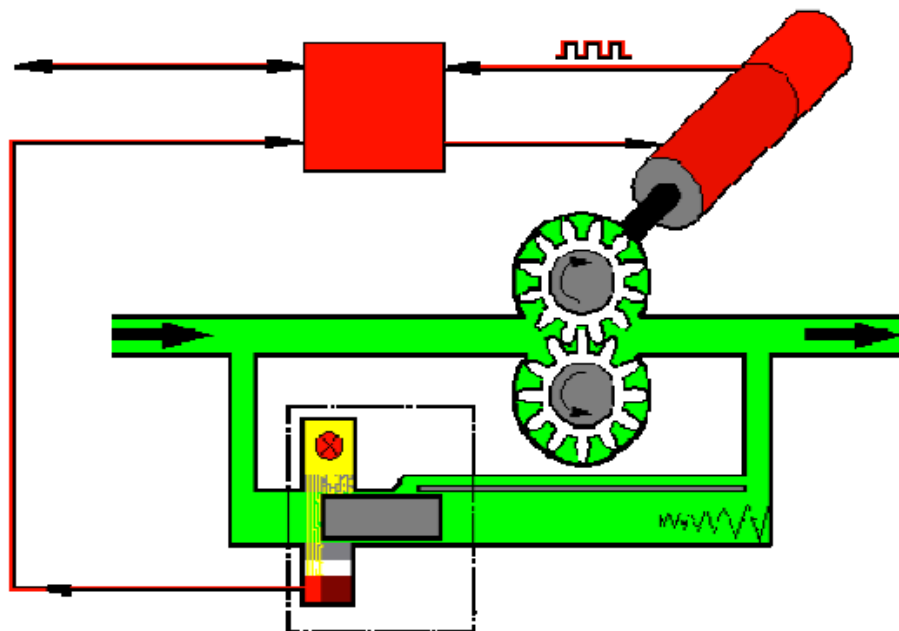
Mittaukset suoritetaan useissa toimintapisteissä ja niistä muodostetaan niin sanottu simpukkakuvaaja. Tällöin ajotilapiirroksen avulla pystytään nopeasti laskemaan moottorin toiminta minkä tahansa ajosyklin aikana. Mittauspisteiden tiheys vaikuttaa tulosten tarkkuuteen, mutta toisaalta taas liian tiheillä väleillä mittaaminen lisää mittaustyön määrää hyvin nopeasti. Valitun moottorin kierrosluku on alkuperäisessä ohjausjärjestelmässä rajattu 5500 kierrokseen minuutissa, eikä tämän muuttamiseen nähty tarvetta. Moottorin pienestä koosta johtuen sillä ei käytännön ajotilanteissa juurikaan pysty ajamaan alle 1000 kierrosta per minuutti moottorin pyörimisnopeuksilla, joten mitattavan alueen alarajaksi määriteltiin 1000 kierrosta per minuutti. Mittapisteiden tiheydeksi valittiin 250 kierrosta per minuutti ja kuormituksen arvoissa viiden prosentin kuormitusmuutos. Tällöin mittapisteitä kertyy 399 kappaletta.

Valitun kierrosnopeuden ja kuormituksen saavuttaminen vaatii jokaisen mittapisteen kohdalla noin 20 sekuntia aikaa. Tämän jälkeen moottorin käynnin tulee antaa tasaantua vähintään 10 sekunnin ajan, jotta mittaustulos on riittävän luotettava. Käynnin vakiintumisen suhteen tulee kuitenkin mitatessa tehdä aika ajoin tarkastuksia sen suhteen muuttuuko moottorin toiminta vielä senkin jälkeen, ja mikäli muuttuu niin moottorin käynnin täytyy antaa tasaantua vieläkin pidempään. Kaikkien 399 mittapisteen mittaamiseen kuluu siis aikaa periaatteessa noin 200 minuuttia eli hiukan alle kolme ja puoli tuntia. Käytännössä moottorin on kuitenkin annettava välillä jäähtyä, mikä pidentää koko alueen mittaamisen kestoa jonkin verran. Ajotilapiirroksessa mittapisteiden määrä interpoloidaan laskemalla kaikkien mittapisteiden väleihin neljä arvoa lisää, jolloin laskennan lopputuloksen tarkkuus paranee (taulukko 2). Lisäksi interpoloidut luvut voidaan tarvittaessa tarkastaa pistokokeiden avulla ja mikäli heittoja näyttää olevan liikaa, voidaan mittapisteiden määrää lisätä.

Taulukko 2. Esimerkki interpoloidusta mittausdatasta; mitatut arvot kuvaavat polttoaineen kulu-
tusta mg/min.

Interpoloitu data	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
1000	340	340	340	340	340	340
1050	340	340	340	340	340	340
1100	340	340	340	340	340	340
1150	340	340	340	340	340	340
1200	340	340	340	340	340	340
1250	340	340	340	340	340	340
1300	340	340	340	340	340	340
1350	340	340	340	340	340	340
1400	340	340	340	340	340	340
1450	340	340	340	340	340	340
1500	340	340	340	340	340	340

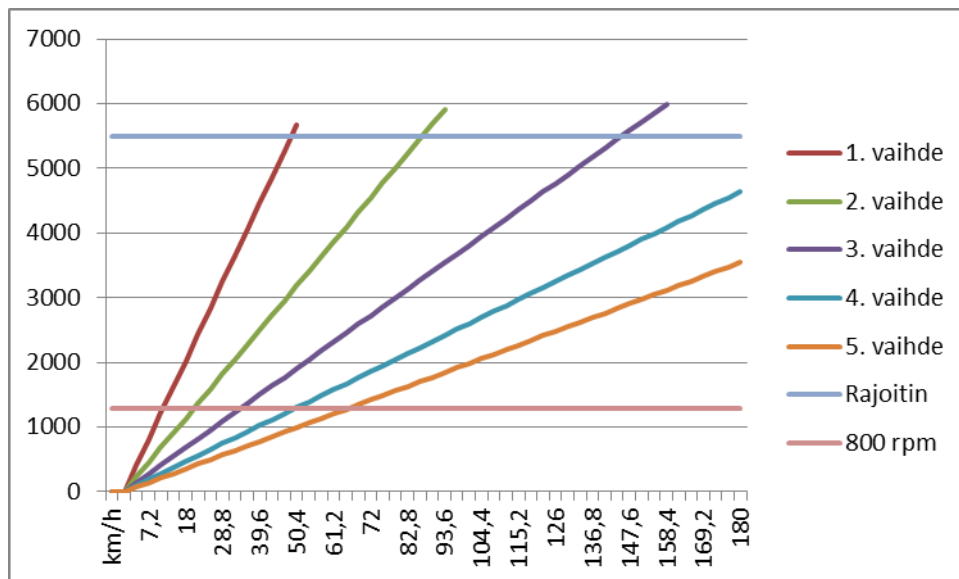
Itse kulutusarvon mittaus tapahtuu PLU-kulutusmittarilla. Kulutusmittari itsessään koostuu sähkömoottorin pyörittämistä rattaista joiden läpi polttoaine virtaa. Rattaiden pyörimisnopeutta säädetään vertailemalla paine-eroa ennen ja jälkeen rattaiden, jolloin mittalaite ei aiheuta polttoaineen virtaukseen juuri ollenkaan paineen tai virtausnopeuden häviöitä. (Kuva 3.)



Kuva 3. PLU kulutusmittarin toimintaperiaate (7).

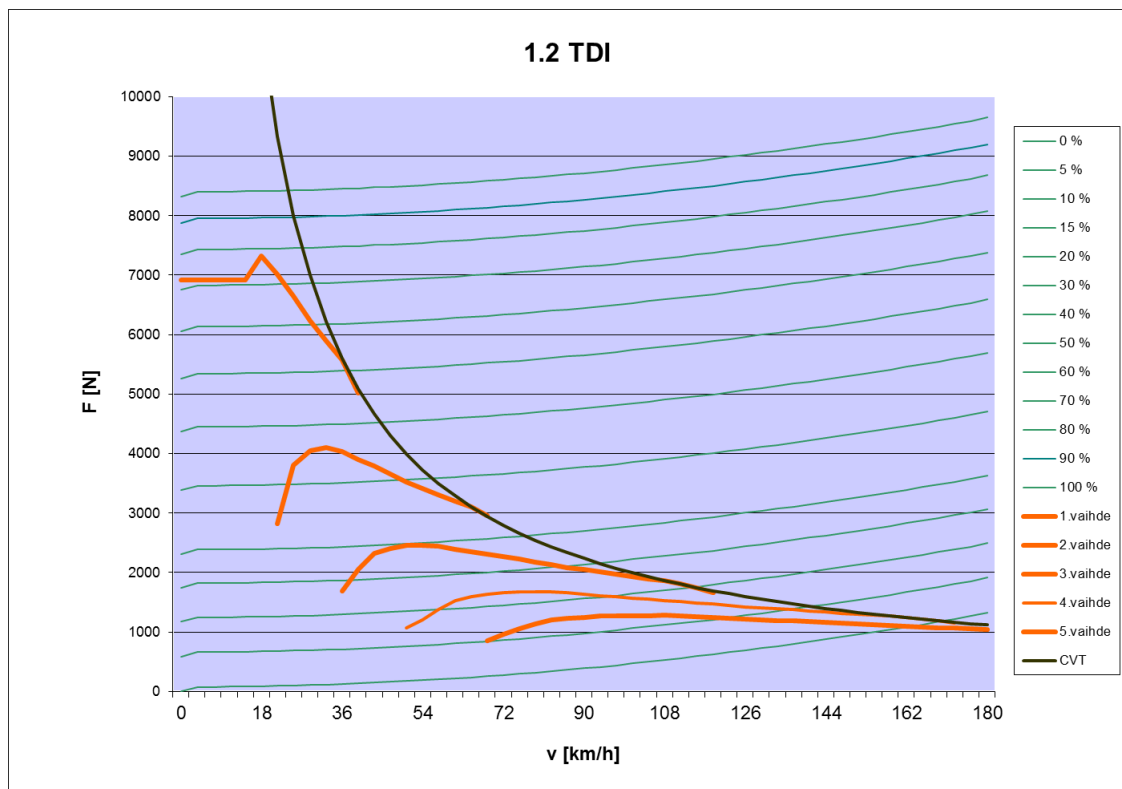
2.4.2 Ajotilapiirros

Ajotilapiirros tehtiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla, sillä sen käyttö oli entuudestaan hyvin hallussa. Ajotilapiirroksessa pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeä, jotta tulevat käyttäjät ymmärtäisivät sen toiminnan sekä osaisivat tarvittaessa tehdä muutoksia mihin tahansa laskennan eri vaiheeseen. Selkeyden vuoksi laskennan eri vaiheet sijoitettiin omille välilehdilleen, ja laskenta etenee loogisesti vasemmalta oikealle sivujen mukana. Ajotilapiirroksen ensimmäisellä sivulla syötetään piirroksen lähtöarvot, joita ovat sellaiset auton perusominaisuudet, jotka vaikuttavat ajotilapiirroksen tuloksiin. Tällaisiksi lasketaan esimerkiksi paino, renkaiden koko, vaihdevälitykset ja ilmanvastuskerroin. Seuraavalle välilehdelle laitetaan moottorin tehomittauksen tulokset, jotka saadaan tehonmittauslaitteistosta suoraan taulukkolaskentaan sopivassa muodossa. Koska tehonmittausdataa on usein monta sataa riviä, ei sitä haluttu ensimmäiselle sivulle sekoittamaan sen selkeää yleisilmettä. Kolmannelle sivulle lasketaan kahdella ensimmäisellä sivulla annettuja arvoja käyttäen kaikkien vaihteiden ajonopeudet moottorin eri kierrosluvuilla. Taulukko myös maalaa automaattisesti vihreäksi sen nopeusalueen, jolla kyseistä vaihdetta voidaan käyttää moottorin kierrosnopeusrajoitimen ja 1000 kierroksen alarajan puitteissa. Taulukon viereen piirretään sen lukemista helpottava kuvaaja kaikista mahdollisista ajonopeuksista kaikilla vaihteilla (Kuva 4).



Kuva 4. Ajoneuvon ajonopeudet eri kierrosluvuilla ja eri vaihteilla.

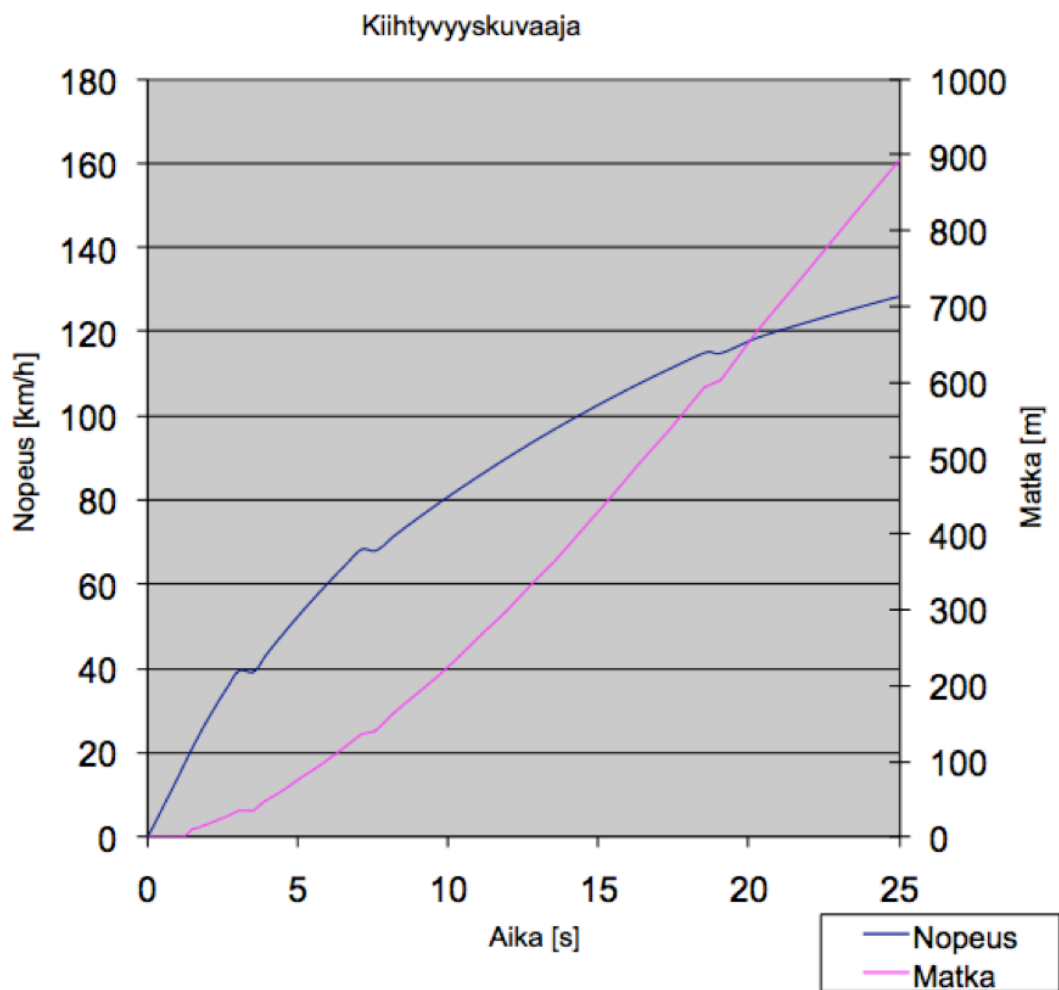
Neljännellä välilehdellä siirrytään laskennassa taas seuraavaan vaiheeseen, jossa lasketaan kutakin vaihdetta käyttäen suurin saavutettavissa oleva moottorin vääntömomentti kullakin pyörimisnopeudella. Tässäkin vaiheessa huomioon otetaan ensimmäisellä välilehdellä annetut moottorin kierrosnopeuden raja-arvot eikä näiden arvojen ulkopuolisia ajonopeuksia lasketa ollenkaan. Tämän jälkeen lasketaan voimansiirron välityssuhteista riippuva käyttövoima eli se, kuinka suuri vääntömomentti käytännössä on tien välitettävissä newtonmetreinä. Seuraavilla kolmella välilehdellä lasketaan ajoneuvon ajovastukset, ensimmäiseksi ilman- ja nousuvastukset ja seuraavana renkaiden vierinvastus. Lopuksi kaikki ajovastukset summataan yhteen kolmannella välilehdellä ja piirretään kuvaaja, jossa näkyvät sekä kokonaisvastukset eri mäennousuilla, että eri vaihteilla käytettävissä oleva suurin mahdollinen käyttövoima (Kuva 5).



Kuva 5. Ajotilapiirros, jossa näkyvät demonstraatioajoneuvon ennakoidut ajovastukset eri mäennousuilla sekä käyttövoima eri vaihteilla.

Kuvaajasta on erittäin helppoa nähdä esimerkiksi, kuinka jyrkkää ylämäkeä auto jaksaa nousta, sekä auton huippunopeus. Kun tiedetään ajovastukset ja käytettävissä oleva käyttövoima, voidaan niiden perusteella laskea auton maksimikihtyvyydet eri vaihteilla kaikissa niillä käytettävissä olevissa eri nopeuksissa. Demonstraatioajoneuvoon tulee

manuaalivaihteisto, joten vaihteen vaihtotapahtumien aikana käyttövoiman tiehen välittymisen katkeaminen tulee ottaa huomioon laskettaessa yhteen varsinaista maksimikiihdytyskuvaajaa (Kuva 6). Muilta osin taulukkolaskenta kykenee ottamaan huomioon varsiin suuria muutoksia ajoneuvon lähtöarvoihin, mutta vaihtotapahtumien sijoittamista ei kyetty taulukkolaskennan teknisistä rajoitteista johtuen automatisoimaan. Ajotilapiirroksen käyttäjän tuleekin itse sijoittaa vaihtotapahtumat optimaaliseen kohtaan.



Kuva 6. Ennuste demonstraatioajoneuvon kiihtyvyysskuvaajasta.

Toiseksi viimeisellä välilehdellä syötetään simpukkakuvaajan toimintapisteiden mittaus-tulokset taulukkoon. Taulukko interpoloi tulokset automaattisesti alla olevaan suurem-paan taulukkoon. Viimeisellä välilehdellä valitun ajosyklin ajonopeudet syklin eri vai-heissa syötetään sekunnin välein taulukkoon, minkä jälkeen taulukko laskee vaaditut kiihtyvyydet. Lopuksi taulukkoon haetaan kaikilla vaihteilla ajonopeudesta ja vaaditun

kiihtyvyyden aiheuttamasta moottorin kuormitustasosta riippuva moottorin kulutustieto. Tässäkin kohtaa huomioon otetaan kierrosnopeuden raja-arvot sekä se, riittääkö vaihteella tarjolla oleva suurin mahdollinen käyttövoima kiihdyttämään autoa ajosyklin vaatimalla tavalla. Lopuksi ajosyklin jokaisen sekunnin ajalle valitaan käytettävissä olevista vaihteista se, jolla kulutus on pienin ja lasketaan tämän perusteella ajoneuvon kulutus koko syklin ajalta. Mikäli halutaan tarkkailla esimerkiksi NEDC-ajosyklin kohdalla ainoastaan ensimmäistä 780 sekuntia, joka on syklin kaupunkikulutuksen ilmoittama vaihe, voidaan se laskea helposti lainaamalla koko syklin aikaisen kulutuksen laskevaa kaavaa ja muokkaamalla sitä ottamaan huomioon ainoastaan halutun vaiheen. Monistamalla syklin aikaisen kulutuksen laskennan välilehti, voidaan tarvittaessa kulutuksen muutokset laskea yhtäaikaisesti useammalle ajosyksille.

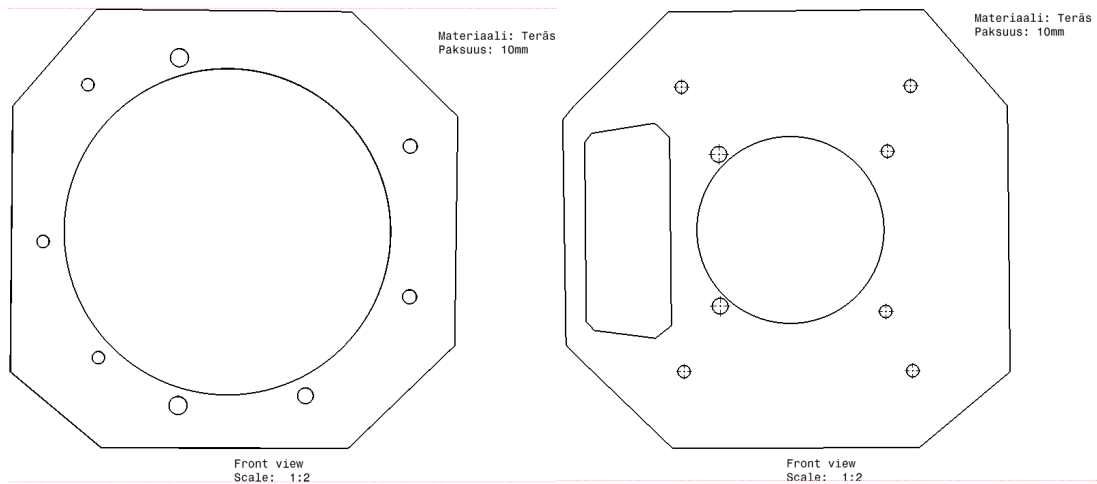
3 Moottorin testipenkin valmistus

3.1 Moottorin asennus SuperFlow-moottoridynamometriin

Moottori kiinnitettiin moottoridynamometriin tukevasti, jotta moottorilla voidaan tehdä pitkiäkin testirupeamia. Toisaalta moottori oli voitava tarvittaessa myös irroittaa dynamometristä nopeasti, sillä moottoridynamometriä käytetään muihinkin mittauksiin.

3.1.1 Moottorin kiinnittäminen dynamometrin runkoon

Moottori täytyi kiinnittää tukevasti sekä dynamometrin runkoon että vesijarruun, jonka oli asemoiduttava niin, ettei se kosketa runkoon moottorin liikkuessa kiinnikkeiden varassa. Kiinnityslaippojen suunnittelua varten mitattiin ensimmäiseksi 3D-mittavarrella kiinnityspulttien, ohjureiden ja akseleiden sijainnit sekä SuperFlow'sta että dieselmoottorista. Mittojen perusteella suunniteltiin kiinnityslaipat (Kuva 7), jotka teetettiin Kervan Teräsmiehet Oy:ssä laserleikkurilla 10 mm:n teräksestä.



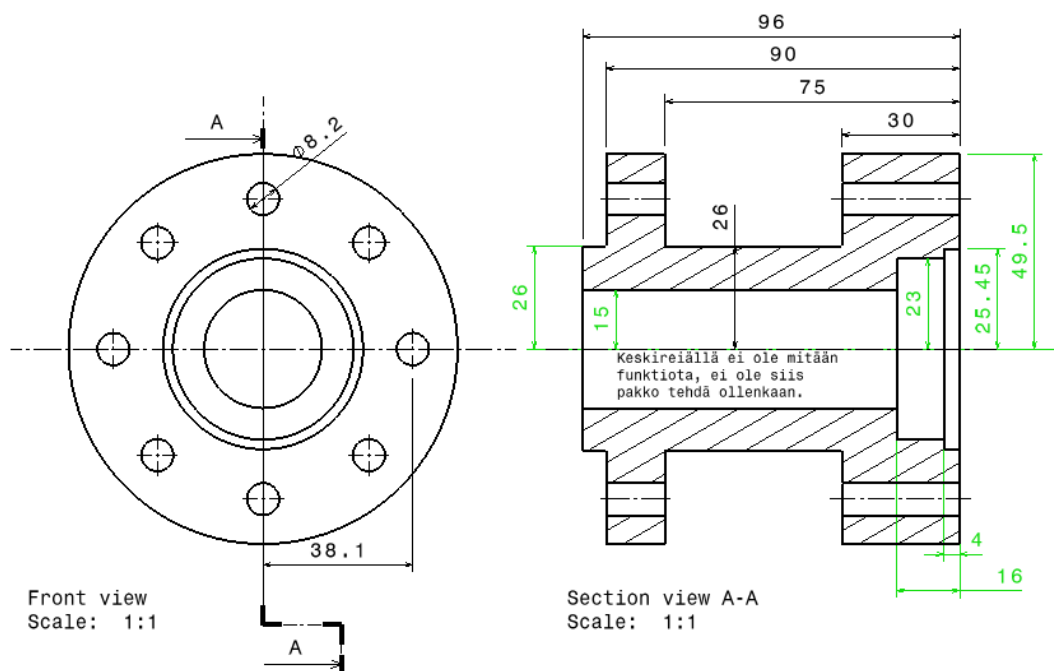
Kuva 7. Moottorin kiinnityslaippa vasemmalla ja dynamometrin oikealla.

Moottorin teräslaippaan hitsattiin kiinnikkeet molemmiin puoliin moottorin tukemiseksi runkoa vasten, ja neliskanttisten putkien päihin tuli kummallekin puolelle kaksi kumityynyä, jotka sallivat moottorille pientä liikettä ja vaimentavat värinöitä. Teräslaippaan tukivarsia hitsatessa varret hitsattiin aluksi kiinni ainoastaan pienillä pistehitseillä, minkä jälkeen koko kappaletta lämmitettiin uunissa 300° c:ssa puolen tunnin ajan. Tämän jälkeen hitsattiin lopulliset saumat ja jäähdytettiin kappale hiljalleen normaaliin huoneenlämpötilaan. Näin välttyttiin laipan vetäytymiseltä kieroksi ja varmistettiin se, että hitsausseama kestää siihen kohdistuvat rasitukset.

Moottorin tukirakenteisiin ei kohdistu koko moottorin vääntömomenttia, vaan ainoastaan moottorin liikkuvien osien aiheuttama hitausmomentti. Moottorin tuottama varsinainen vääntömomentti kulkee dynamometrin liitäntäakselia pitkin vesijarruun, joka taas vääntää saman suuruisella vastamomentilla moottorilohkoa vasten, vesijarrussa vääntömomentti muuttuu nesteen kinemaattiseksi energiaksi ja lämmöksi. Moottorin pyörivien osien hitausmomentti kohdistuu enimmäkseen moottorilaippaan asennettuihin tynnyihin, joten moottorin toisessa päässä kiinnitykseen riitti ainoastaan alkuperäinen moottorin kannatintynny jota ei ole suunniteltu pyörivän voiman vaimentamiseen. Kumpaankin päähän tehtiin dynamometrin telineen rungon päälle poikkipalkit jotka kiinnitetään runkoon pulteilla ja keskittyvät sivusuunnassa rungon päälle tulevalle sopivalla U-profiililla. Moottorin jakopään puoleinen kumityyny sijaitsi autossa pitkittäisaisan päällä, joten poikkipalkin päälle oli hitsattava pystypalkki, jonka päälle leikattiin käsikäyttöisellä plasmaleikkurilla laippa ja porattiin reiät kiinnityspulteja varten.

3.1.2 Moottoridynamometrin ja dieselmoottorin akseleiden liitos

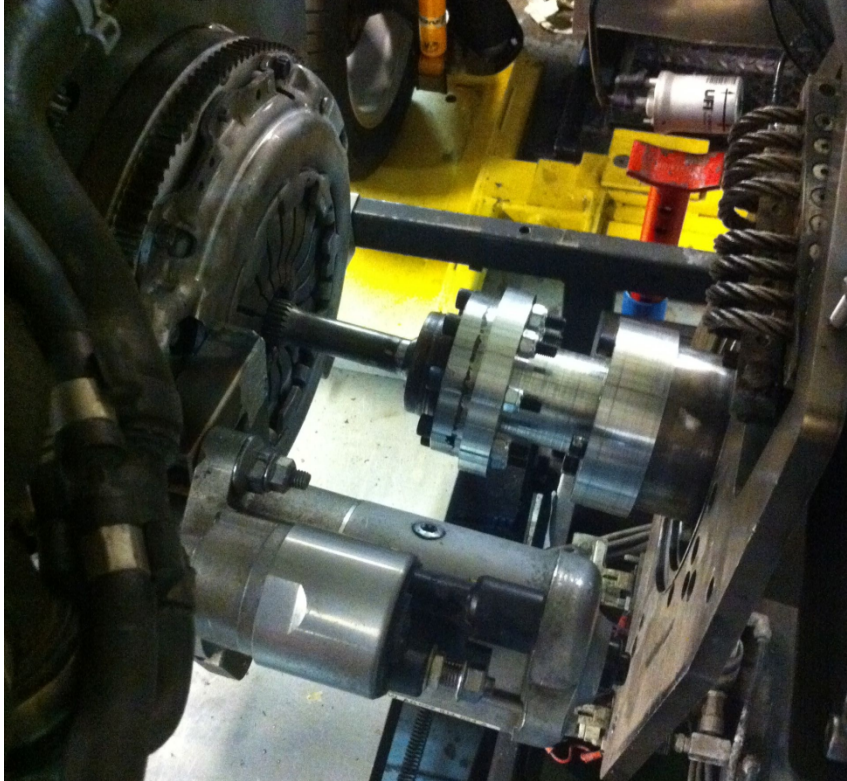
SuperFlow-moottoridynamometrin ja dieselmoottorin väliseen voimansiirtoon käytettiin dynamometriin jo valmiiksi tehtyä akselia sekä siihen sopivaa kytkinlevyä. Kytkinlevy asennettiin alkuperäiseen asetelmaan ja keskitettiin sopivan kokoisella kartiomaisella holkilla keskelle kampiakselia. Volkswagenin 1,2-litrainen TDI-moottori on kolmisylinterinen, jolloin sylinteriryhmä on poikkeuksellisen lyhyt. Tästä syystä käynnistinmoottori on asennettu vaihteiston viereen jossa sille on ollut tarvittava tila. Koska käytetty SF-901-moottoridynamometri on pelkästään jarruttamiseen kykenevä malli, tarvittiin alkuperäisen käynnistinmoottorin mahdollistamaan moottorin käynnistyksen dynamometrisä. Käynnistinmoottorille rakennettiin erillinen tukijalka, jonka avulla se pysyy sopivalla etäisyydellä vauhtipyörän hammaskehältä ja on irrotettavissa, jotta moottorin saa tarvittaessa myös irti dynamometrissä särkemättä käynnistinmoottorin jalkaa. Käynnistinmoottori lisäsi moottorin pituutta kohti vesijarrua niin paljon, että jarruun tulevan kytkinakselin alle oli tehtävä 100 mm paksu holkki, jonka avulla jarru saatiin asennettua riittävän kauas moottorista käynnistinmoottorin tilantarpeen kannalta (Kuva 8).



Kuva 8. Kytkinakselin laipan mittapiirros.

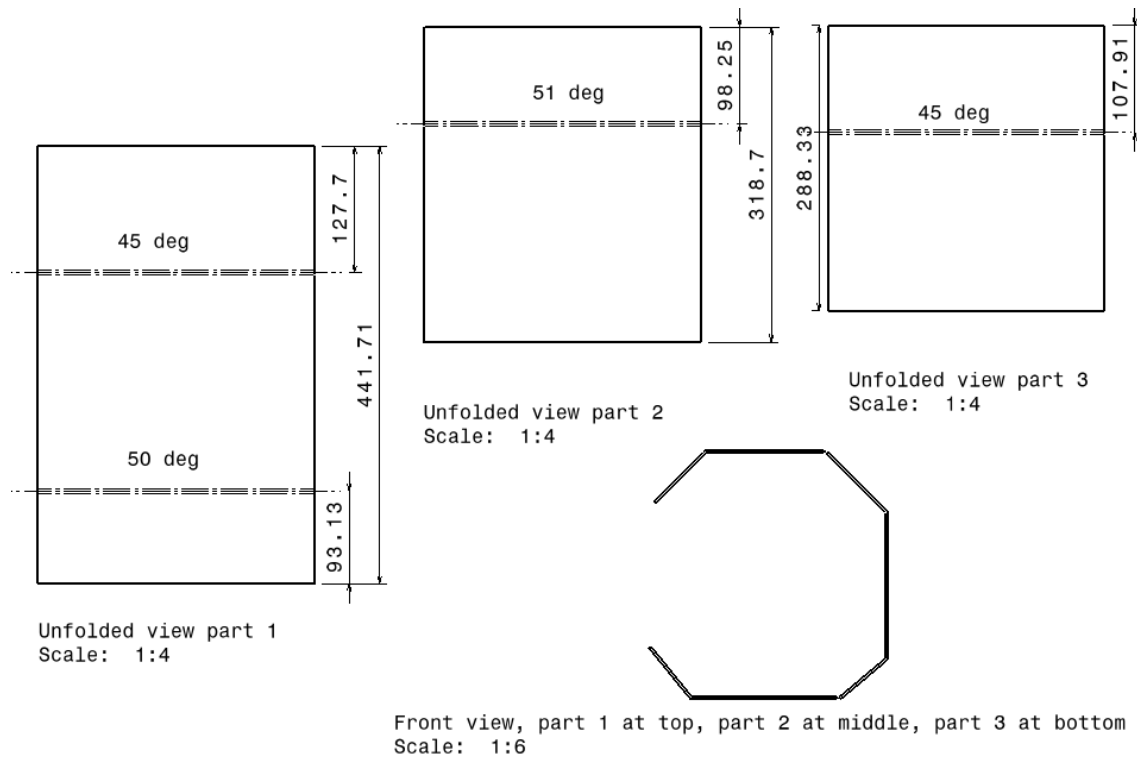
Laipan mitoituksessa otettiin huomioon, että moottoridynamometriin valmiina olleen kytkinakselin keskireikä oli 1,1 mm liian suuri, jolloin akseli ei keskittynyt keskiön avul-

la ollenkaan. Laippaan tehtiinkin kytkinakselille dynamometrin alkuperäistä 50,9 mm:n keskiötä 1,1 mm suurempi, 52 mm suuri keskiö, jolloin vanha akseli keskittyy dynamometriin täydellisesti (Kuva 9).



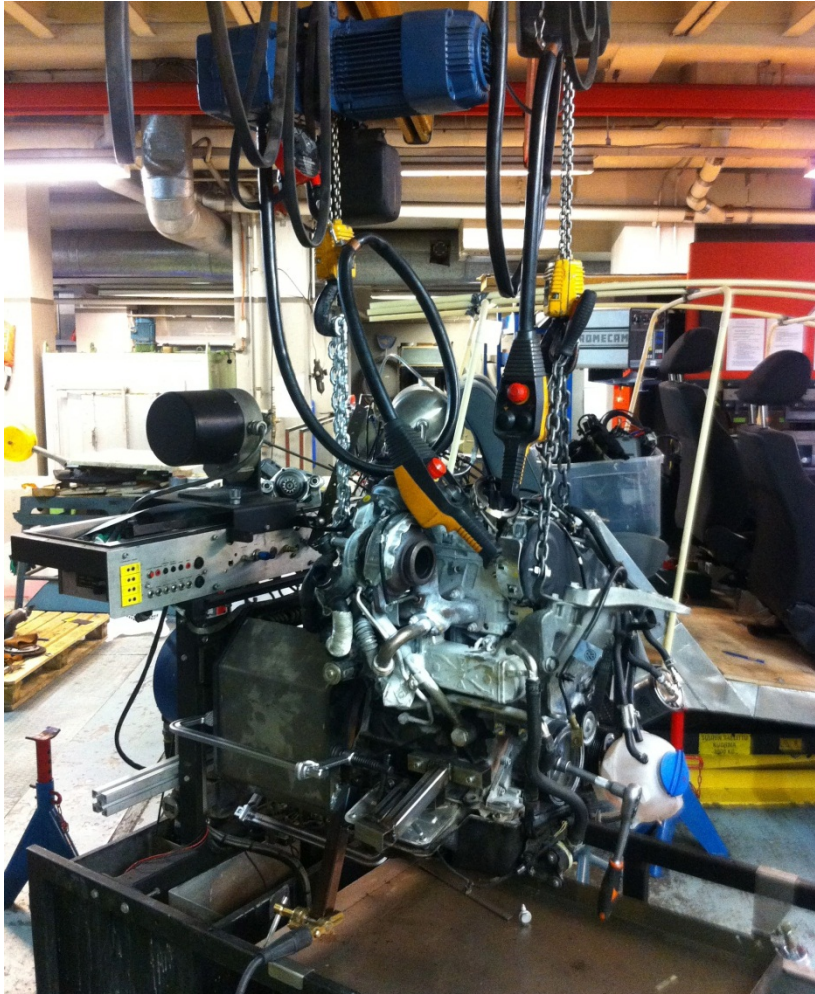
Kuva 9. Kytkinakselin alle tehty alumiininen holkki ja käynnistinmoottorille tehty teline.

Moottorin ja vesijarrun laippojen väliin leikattiin levyt neljä millimetriä paksusta raudasta ja taivutettiin niihin sopivan kulmat (Kuva 10). Kun väliin asennettavat levyt on taivutettu tiettyyn kulmaan, asettuvat laipat varmemmin kohtisuoraan toisiansa vasten. Mikäli levyt olisivat suoria, voitaisiin ne helposti asentaa hiukan vinoon jolloin vesijarrun ja moottorin laipat eivät olisi tarkalleen kohtisuorassa toisiinsa nähden.



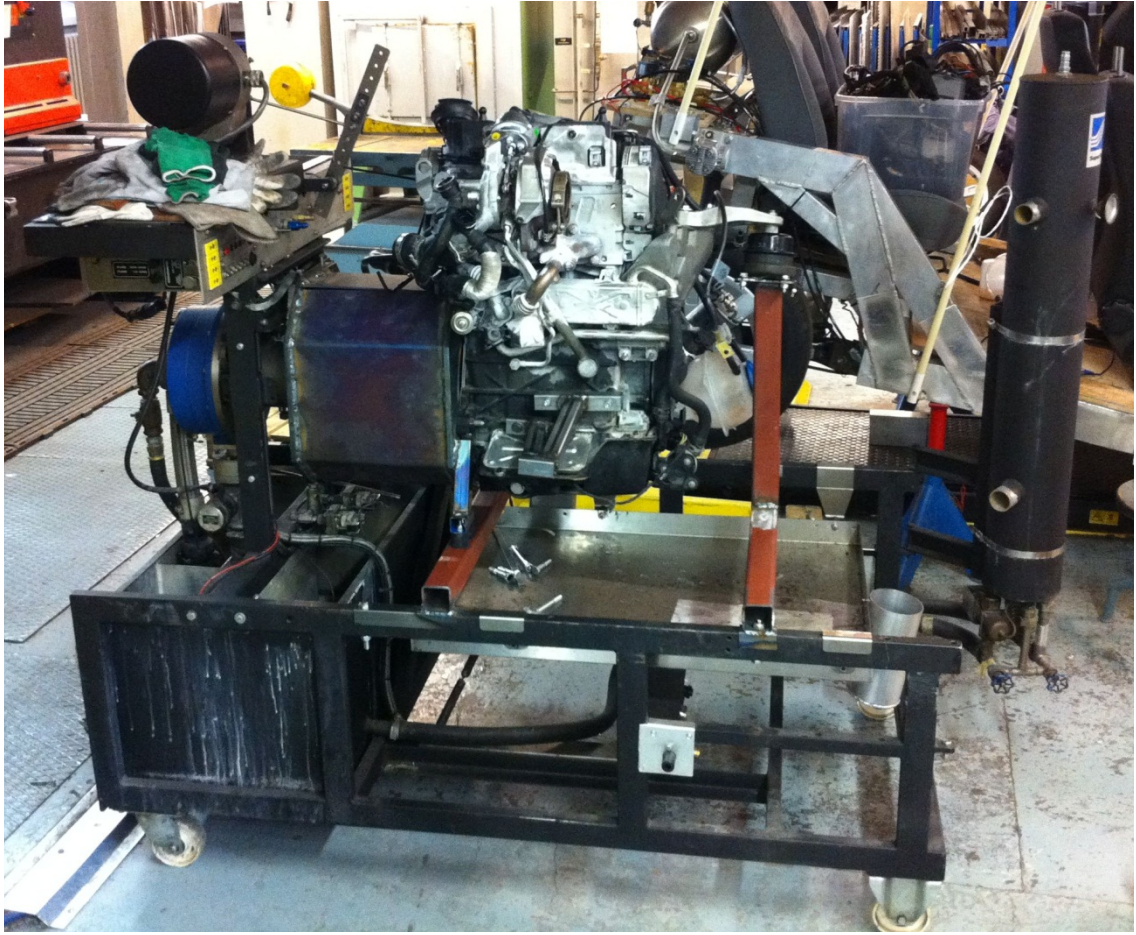
Kuva 10. Vesijarrun ja moottorin väliin asennettävien laippojen mittapiirros.

Moottori nostettiin paikalleen vesijarrun eteen ja asemoitiin oikeaan asentoon tasapainottamalla moottori kahden ketjutaljan avulla kolmen eri pisteen välillä. Väliin asennettavat laipat asennettiin paikalleen ja kiristettiin puristimilla kolmesta kohdasta koh-tisuoruuden varmistamiseksi (Kuva 11).



Kuva 11. Moottori tasapainotettuna oikeaan asentoon ja laipat puristettuna kiinni puristimilla, valmiina hitsausta varten.

Tässäkin tapauksessa hitsaus suoritettiin aluksi lyhyinä pisteinä eri puolille laippoja vedon minimoimiseksi. Kun pisteitä oli riittävästi joka puolella, hitsattiin yhtenäinen sauma pisteiden välille, tässäkin vaiheessa pyrittiin kuitenkin estämään kappaleen lämpenemistä liian kuumaksi hitsaamalla vain lyhyehköjä saumoja kerrallaan eri puolilta laippoja. Kiinnikkeiden valmistamisen jälkeen moottori asennettiin dynamometrin runkoon (Kuva 12).



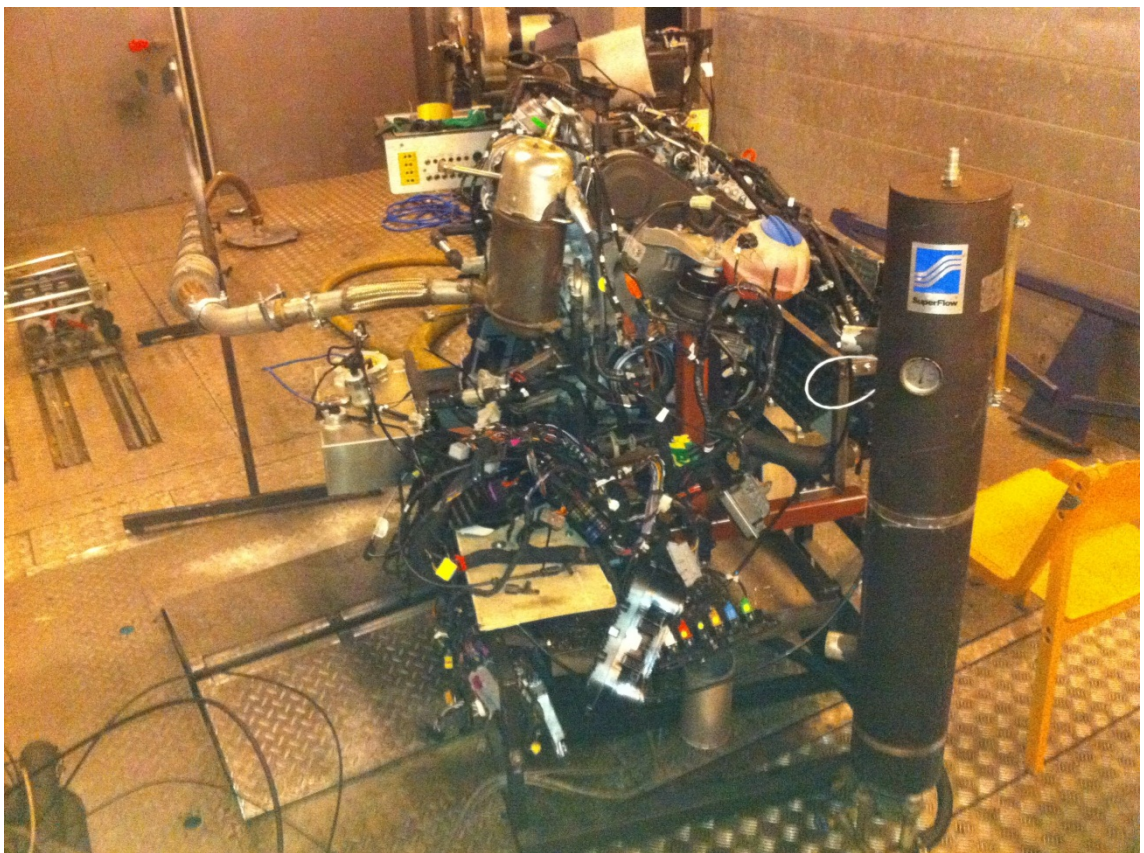
Kuva 12. Rungon ja vesijarrun valmiit kiinnikkeet.

3.1.3 Oheislaitteet ja kiinnitys laboratorioon

Normaalisti moottoridynamometrin oma jäähdytyskierto liitetään moottorin jäähdytyskiertoon, mutta valittu moottori on suunniteltu punaiselle jäähdytysnesteelle, kun dynamometri taas käyttää vihreää jäähdytysnestettä. Volkswagenin käyttämä punainen/pinkki G12-jäähdytinneste on suunniteltu erityisesti alumiinisia osia käyttäviin moottoreihin. Toisin kuin vihreät jäähdytinnesteet, siihen ei ole lisätty lainkaan nitriittejä, fosfooreja tai silikoneja sisältäviä lisäaineita, minkä vuoksi se ei syövytä alumiiniosia. Vihreän jäähdytinnesteen lisääminen G12-jäähdytinnesteelle suunniteltuun moottoriin saattaa aiheuttaa alumiinisten osien nopea syöymistä, ja lisäksi jäähdytinnesteet saattavat sakkautua, mikäli seossuhteet ovat väärät.

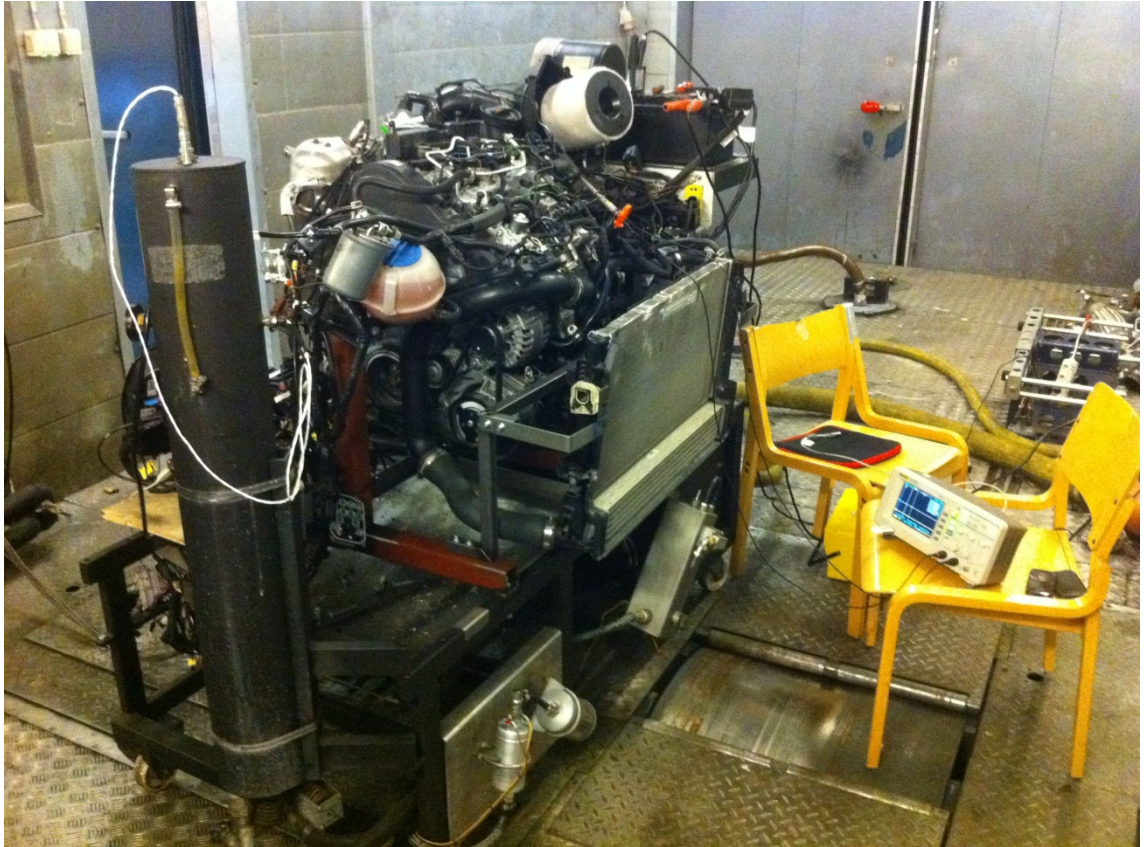
Moottorin jäähdyttämiseen käytettiin siten alkuperäistä jäähdytintä, jolle tehtiin telin sen normaalille paikalle moottorin etupuolelle, jotta voitiin käyttää alkuperäisiä jäähdy-

tysneste- ja ahtopaineletkuja. Dynamometrissä kaasua käytetään ohjauspaneelissa sijaitsevasta nupista, joka käyttää dynamometrissä sijaitsevaa moottoria, joka taas on tarkoitus kiinnittää kaasuvaijeriin. Kyseisessä moottorissa kaasuläppä on sähköinen, joten kaasuvipu kiinnitettiin kaasupolkimeen. Vivun liike mitoitettiin niin, että sekä vipua ajava moottori että kaasupoljin ovat sekä ylä- että ala-asennoissaan yhtä aikaa. Kaasupolkimen asennuksen vaadittavaan tukevuuteen saatiin jonkin verran helpotusta poistamalla polkimesta palautusjousi, jolla ei dynamometrikäytössä ollut tarvetta. Pakokaasut ohjattiin laboratoriokäyttöön tarkoitetun vaimenninputken avulla pakokaasuimuriin (Kuva 13).



Kuva 13. Moottori kiinnitettynä dynamometriin, vasemmalla pakoputki ja polttoainesäiliö.

Polttoainetankiksi valmistettiin pieni säiliö alumiinista, johon asennettiin alkuperäinen polttoainepumppu. Laboratoriossa dynamometriin täytyy liittää jäähdytysnesteen tulo- ja paluuletkut, muutamia pistokkeita sekä pakoputki lattiassa sijaitsevaan imuriin (Kuva 14).

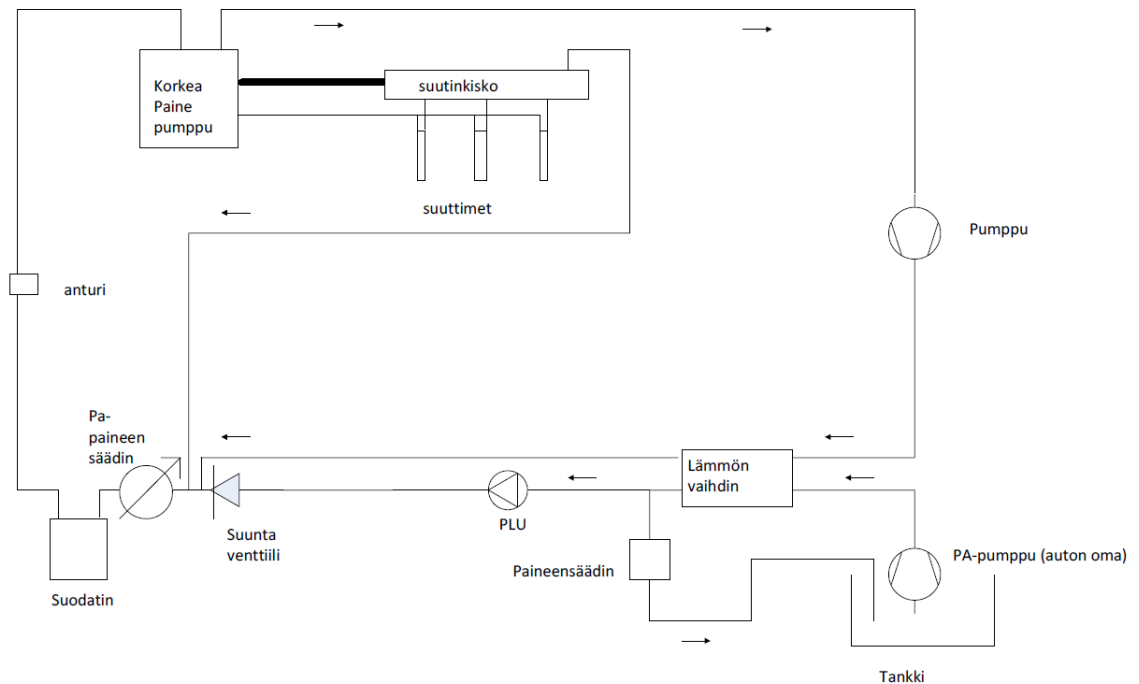


Kuva 14. Moottori liitettynä kylmälaboratorioon.

3.1.4 Polttoainejärjestelmän muutokset

Alkuperäiseen polttoainejärjestelmään tehtiin hiukan muutoksia polttoaineenkulutusmittarin asentamiseksi (Kuva 15). Polttoaineen paluukierron vaikutukset täytyi eliminoida, mutta koska suuttimien paluukiertoon täytyi saada pieni alipaine, ei pelkkä letkujen tukkiminen olisi riittänyt. Polttoaineen paluujärjestelmään asennettiin ylimääräinen polttoainepumppu, joka palauttaa suuttimien paluukierrosta korkeapainepumpun venturisuuttimen jälkeen normaalisti tankille virtaavan polttoaineen takaisin polttoaineen tuloputkeen. Koska tuloputken paine voisi tällöin kasvaa niin suureksi, että tuloputken virtaus kääntyisi väärään suuntaan, asennettiin tuloputken paluuvirtauksen estävä takaiskuventtiili. Polttoainejärjestelmässä kiertää siis sama polttoaine, joka on jo kerran käynyt suuttimissa uudelleen, pienen kierron jälkeen takaisin korkeapainepumpulle. Polttoaineen lämpötila lähtisi nopeasti nousemaan, joten kiertoon asennettiin lämmönvaihdin joka siirtää lämpöä alkuperäiseen painetta säätävään paluukiertoon. Tällöin moottorille asti kulkeutunutta polttoainetta ei siis virtaa ollenkaan takaisin polttoaine-

tankkiin, polttoaineen kulutusmittari voitiin asentaa niin, että se mittaa varsinaiseen moottorilla olevaan polttoaineenkiertoon tulevaa uutta polttoainetta.



Kuva 15. Polttoaineen mittauskierto

4 Moottorinohjausjärjestelmä

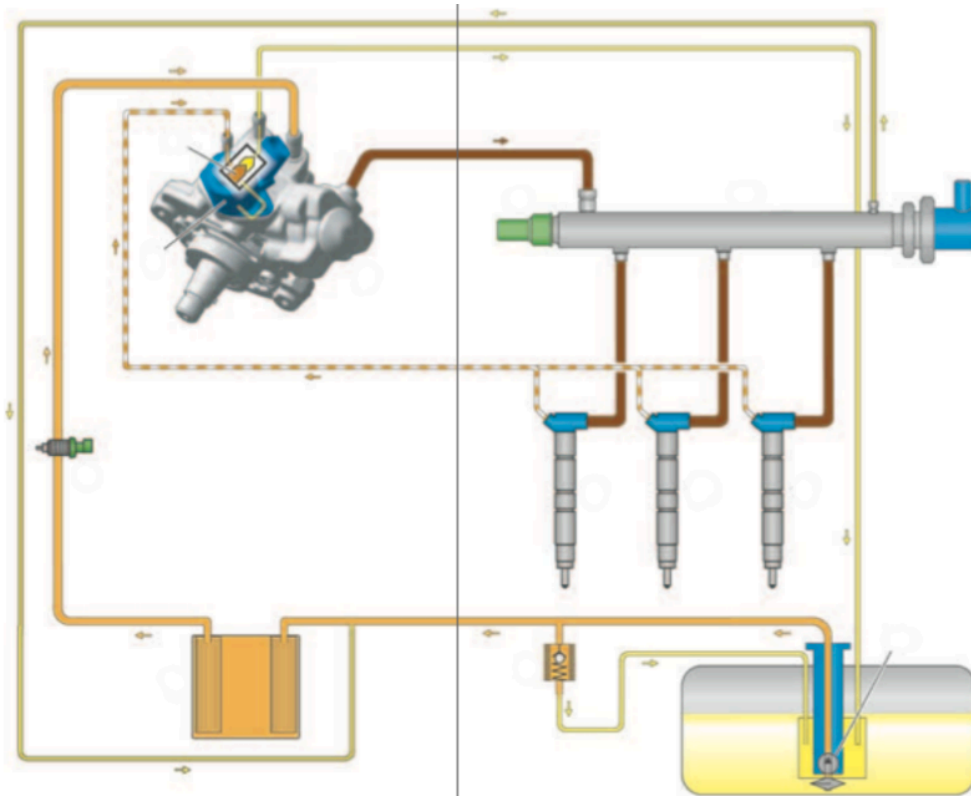
Koska tutkittava dieselpolttoaine poikkeaa ominaisuuksiltaan EN 590-standardin mukaisesta polttoaineesta, tulee moottorinohjausta pystyä säätämään polttoaineelle sopivammaksi. Alkuperäisen järjestelmän säätämisestä ei olisi saavutettu riittäviä säätömahdollisuuksia, joten moottoriin asennettiin kokonaan uusi ohjausjärjestelmä. Vaihtoehtoja ohjausjärjestelmiksi oli kolme: Nira i7rs, BodyLogic Diesel ECU System sekä bensiinimoottorin ohjausjärjestelmä Adaptronic 1280s, jonka voi erillisellä suuttimien apuohjainlaitteella asentaa myös dieselmoottoriin. Näistä vaihtoehtoista päädyttiin Nira i7rs:ään sen asennuksen helppouden vuoksi. Lisäksi Nira on ruotsalainen yritys, jolloin mahdollisten vaikeuksien ratkaisemiseksi valmistaja lupasi tarvittaessa lähettää oman insinöörinsä avustamaan ohjainlaitteen asennuksessa tai säädössä.

4.1 Dieselmoottorin ohjaus teoriassa

Dieselmoottorin ohjaus poikkeaa bensiinimoottorista olennaisesti polttoaineen sytytystavaltaan. Kun bensiinimoottorissa polttoaineen ja ilman seos sytytetään ulkoisella kipinällä, tapahtuu syttyminen dieselmoottorissa paineenvaikutuksesta ilman ulkoista syttymisen lähdeä. Tässä opinnäytetyössä perehdytään Volkswagenin 1.2-litraisen dieselmoottorin moottorinohjausjärjestelmän teoriaan.

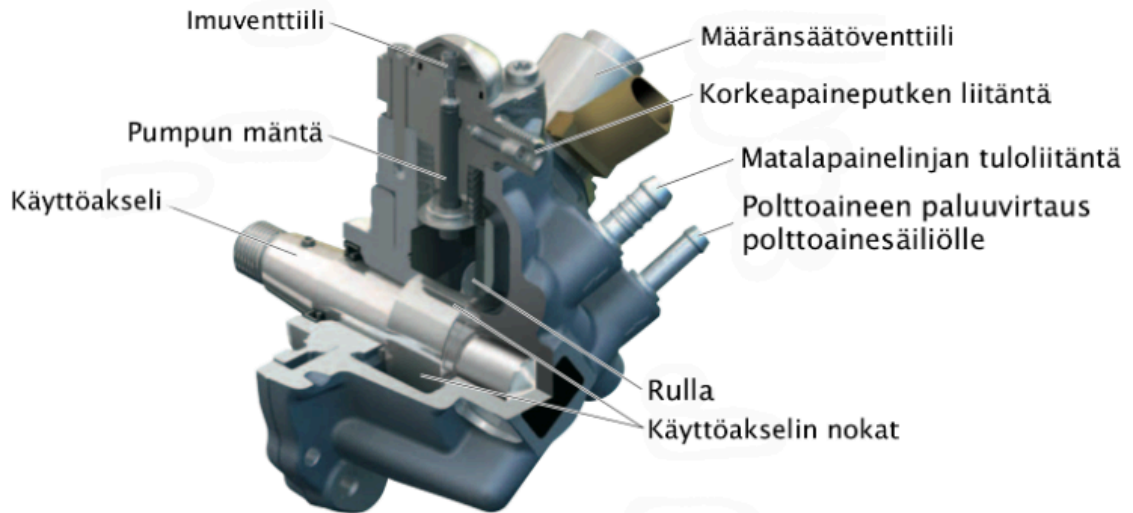
4.1.1 Polttoainejärjestelmä

Alkuperäinen polttoainejärjestelmä koostui matala-, korkeapaine- ja paluukierroista. Matalapainejärjestelmään paine tehdään polttoainetankissa sijaitsevassa sähköisessä polttoainepumpussa. Pumpun tehtävänä on toimittaa riittävä määrä polttoainetta moottorin yhteydessä sijaitsevalle korkeapainepumpulle. Koska polttoaineen korkeapainekiskossa sijaitsevalla korkeapainekiskon paineensäätöventtiilillä korkeapainejärjestelmässä olevaa polttoainetta lasketaan matalapainelinjaan, täytyy matalapainelinjan painetta säädellä erillisellä paluukierrolla. Paluukierto on toteutettu polttoainetankin yhteydessä ja se koostuu paineensäätöventtiilistä, joka aukeaa yli kolmen bar:n paineen vaikutuksesta johtaen osan polttoaineesta takaisin polttoainetankkiin, kunnes matalapainelinjan paine on laskenut normaaliksi. (Kuva 16.)



Kuva 16. Alkuperäinen polttoaineenkiertojärjestelmä.

Korkeapainelinjaan paine nostetaan jakopäänhihnalla mekaanisesti pyörivän yksimäntäpumpun avulla 1800 bar:n paineeseen. Korkeapainepumpussa on määräsäätöventtiili, jolla säädetään korkeapainelinjaan virtaavan polttoaineen määrää sekä venturisuutin. Korkeapainelinjaan virtaavan polttoaineen ohivirtauksen avulla tehdään suuttimien paluulinjaan venturisuuttimella alipaine. Korkeapainepumpulta polttoaine virtaa korkeapainekiskoon, jolla polttoaine jaetaan suihkutussuuttimille. Korkeapainekiskon toisessa päässä on paineentunnistin ja toisessa päässä paineensäätöventtiili, jolla kiskon painetta säädetään. (Kuva 17.)



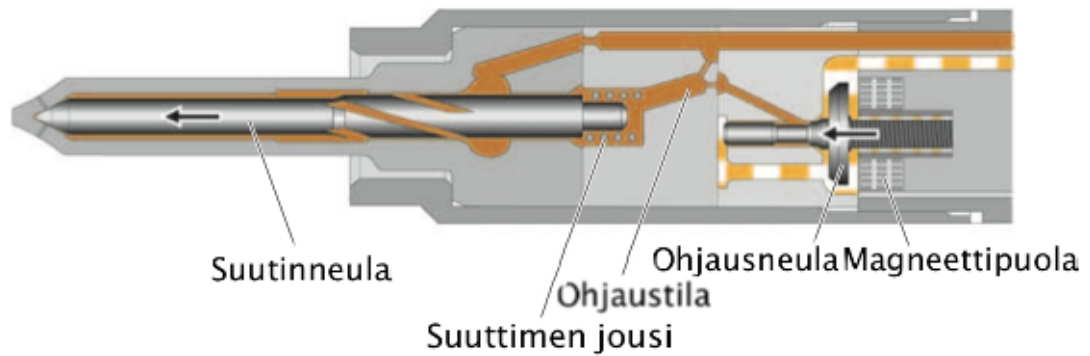
Kuva 17. Korkeapainepumppu.

4.1.2 Magneettiventtiiliohjatut suuttimet

Dieselmoottorin suihkutussuuttimissa on sisällä joko magneettiventtiiliohjattu neula tai piezoelementti, joka ohjaa suuttimen varsinaisen suutinneulan toimintaa. Kun suutin on suljettuna, vaikuttaa sekä suuttimen ylä- että alapuolelle sama polttoaineen paine, mutta suutinneulan yläpuolella neulaan vaikuttavan paineen pinta-ala on suurempi kuin alapuolella, jolloin neula painuu tiukasti kiinni. Kun neula halutaan avata, päästetään neulan yläpuoleisesta painepiiristä polttoainetta suuttimen paluukiertoon, jolloin neulan yläpuolelle vaikuttava paine laskee ja suutin avautuu. Ohjauspiirin paluupuolella pitää vallita alipaine, jotta polttoaine virtaa pois suutinneulan yläpuolelta riittävän nopeasti ohjausneulan auettua. Tästäkin huolimatta suuttimen avautumisessa on kuitenkin aina pieni viive.

Suutinneulan yläpuolelle johtava piiri on mitoitettu neulan alapuolelle johtavaa piiriä pienemmäksi ja tulokanava kohdistettu kohtisuoraan neulan alapuolelle johtavaan kanavaan nähden, jolloin suuttimen ollessa auki valtaosa polttoaineesta virtaa suoraan ulos auki olevasta suuttimen kärjestä. Kun suuttimen toimintaa ohjaava magneettiventtiili suljetaan, kasvaa suutinneulan yläpuolelle vaikuttava paine ja painaa neulan palautusjousen avustuksella suutinneulan kiinni kärkeen. Myös suuttimen sulkemisessa on aina jonkin verran viivettä, jonka moottorin ohjainlaite joutuu ottamaan huomioon laskeessaan haluttua suuttimen aukioloaikaa. Nykyaikainen moottorinohjausjärjestelmä

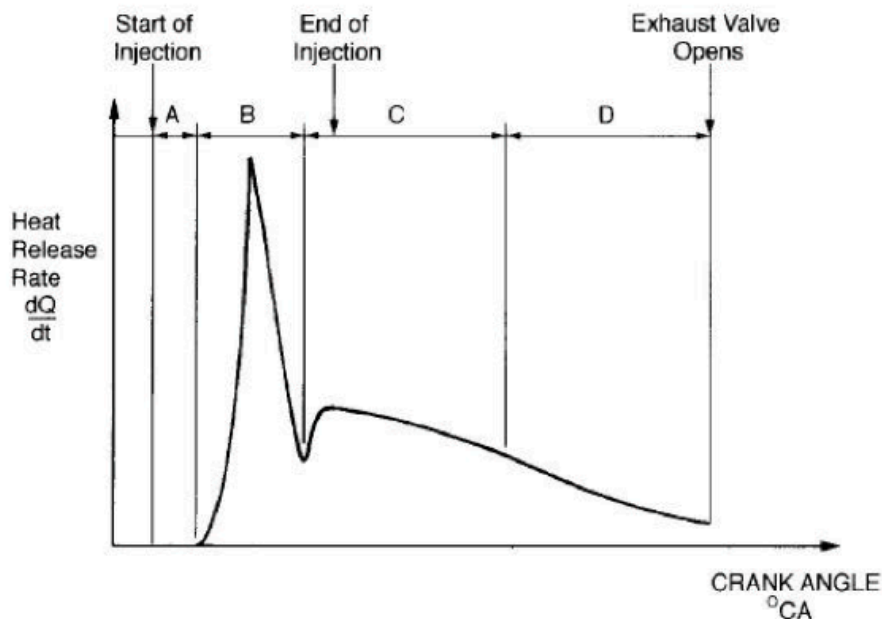
pystyy tarkkailemaan palamistapahtumaa muun muassa lambda- ja nakutustunnistimien avulla niin tarkasti, että suuttimen sulkeutumisen ja avautumisviiveiden muutoksia voidaan laskea ja sen perusteella arvioida suuttimien kuntoa. (Kuva 18.)



Kuva 18. Suihkutussuutin sulkeutuneena.

4.1.3 Palamistapahtuma ja siihen vaikuttaminen

Dieselmoottorin palamistapahtuma saa alkunsa paineen noustessa niin suureksi, että polttoaineen ja ilman seos syttyy paineen vaikutuksesta. Syttymisen ajoitus riippuu polttoaineen ruiskutuksen ajoituksesta ja paineen noususta. Kylmällä moottorilla palotilan lämpötilaa nostetaan hehkutulpalla, sillä paine ei nousisi muuten riittävän suureksi jotta polttoaine syttyisi. Koska typenoksidit muodostivat korkeassa lämpötilassa imuilman typen yhdistyessä hapen kanssa, on palamisen syttymisajankohdalla olennainen vaikutus syntyviin päästöihin, sillä se vaikuttaa suoraan palamislämpötilaan. Typenoksidien muodostumisen mekanismi voidaan havaita selvästi palamistapahtuman lämpökuvajasta (Kuva 19).



Kuva 19. Vanhanaikaisen dieselmoottorin palamistapahtuman lämpökuvaaja.

Kuvaajasta nähdään selkeästi palamistapahtuman vaiheet:

- A = syttymisjättämä
- B = esisekoittumispalaminen
- C = diffuusiopalaminen
- D = jälkipalaminen

Syttymisjättämä johtuu siitä, että polttoaineen ruiskuttamisen alkaessa palotilan paine ei vielä riitä sytyttämään polttoainetta vaan polttoaine syttyy vasta jonkin aikaa ruiskutuksen aloituksen jälkeen. Koska syttymishetkellä palotilaan on jo ehtinyt suuri määrä polttoainetta, syttyessään kerralla suuri määrä polttoainetta nostaa paineen sylinterissä erittäin nopeasti jolloin lämpötilakin kasvaa huomattavasti. Jos taas polttoaineen ruiskutusta myöhäistetään niin, että palotilan paine on riittävän suuri sytyttääkseen polttoaineen heti ruiskutuksen alettua, mutta tällöin palamisen loppuvaiheille ei riitä happea, jolloin taas muodostuu enemmän nokihiukkasia ja hiilivetyä. Ruiskutuksen ajoitus on siis aina tietynlainen kompromissi kahden epätoivotun lopputuloksen välillä; ajoituksesta käytetäänkin usein nimitystä "NOx trade-off".

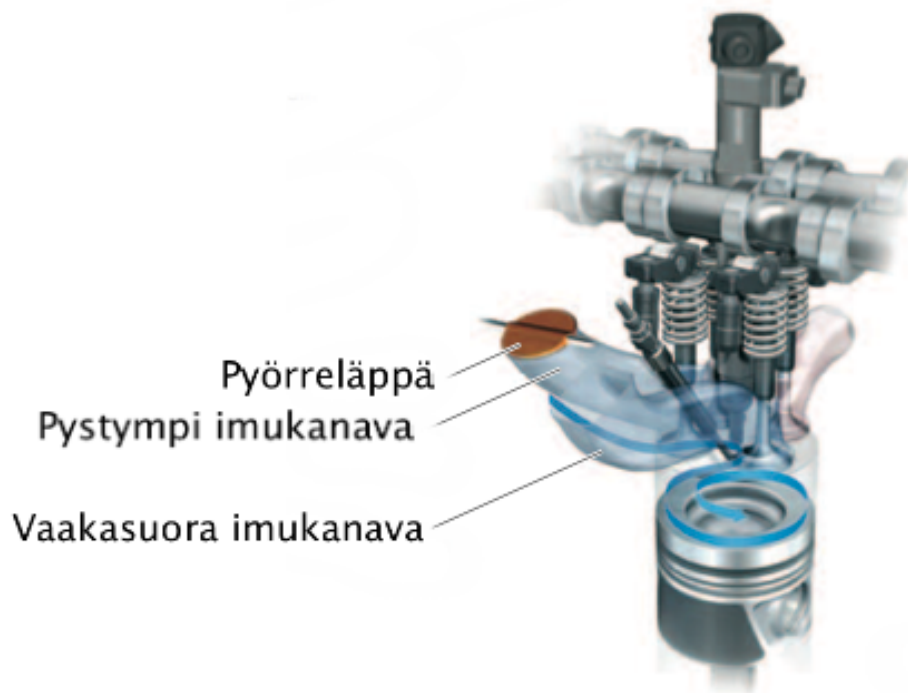
Nykyaikainen tekniikka on tuonut tähän useita helpotuksia. Dieselmoottoreissa alettiin nostaa ruiskutuspainetta, jolloin vaadittu polttoainemäärä kyettiin ruiskuttamaan sylinteriin, vaikka ruiskutuksen aloitusta myöhäistettiin. Hyvin pian sen jälkeen keksittiin

esiruisutus, eli sylinteriin ruiskutetaan aluksi pieni määrä polttoainetta, jonka syttymisen jälkeen aletaan vasta ruiskuttaa varsinaista työtä tekevää polttoainemäärää, kun valtaosa polttoaineesta syttyy välittömästi sylinteriin päästyään, kasvaa paine huomattavasti loivemmin. Yksinomaan painegradientin loiventamisella ei kuitenkaan päästä nykyisiin päästövaatimuksiin, joten toisena, paljon tehokkaampana, keinona käytetään pakokaasujen takaisinkierätystä. Pakokaasujen takaisinkierätys eli EGR vähentää NOx-päästöjä kahdesta syystä. Ensinnäkin se toimii palotilassa inerttinä kaasuna, joka ei vaikuta palamiseen mutta jonka lämpötilan nostaminen vaatii energiaa, joka kulkeutuu kaasun mukana pois palotilasta. Toisekseen se vie palotilasta tilaa puhtaalta imuilmalta, jolloin palotilassa on vähemmän happea joka voisi hapettaa tyypeä muodostaen typenoksideja. Pakokaasujen takaisinkierätyksen heikkona puolena on se, että se laskee palamistapahtuman laatua, joten liiallisesti käytettynä se aiheuttaa savutusta ja CO-, HC-päästöjen sekä kulutuksen nousua. EGR-järjestelmän säätötekniikat ovatkin tätä nykyä yksi autovalmistajien eniten tutkimista alueista moottoritekniikan saralla. Toisen sukupolven biodieselin reagointi EGR:n säätöihin onkin tulevan polttoainetutkimuksen yksi mielenkiintoisimpia kohtia.

Koemoottoriksi valitussa moottorissa on niin sanottu kuuma EGR-järjestelmä, jossa pakokaasut kuitenkin jäähdytetään ennen niiden johtamista imuilman sekaan. Tällöin siis kierätettävä pakokaasu otetaan suoraan pakosarjasta sen ollessa erittäin kuumaa ja jäähdytetään se nestekiertoisen lämmönvaihtimen avulla. Mitä vähemmän pakokaasun mukana viedään palotilaan lämpöä, sitä enemmän se kykenee sitä palamisen aikana itseensä sitomaan. Ongelmaksi tällaisessa järjestelmässä usein muodostuu se, että imusarjassa vallitseva ahtopaine on suurempi kuin pakoputken vastapaine, jolloin pakokaasu ei virtaa korkeampipaineiseen imusarjaan. Tällöin pitää joko suurentaa pakoputken vastapainetta tai pienentää imusarjan painetta ainakin EGR:n tuloputken suulla. Koemoottorissa alkuperäisessä ohjausjärjestelmässä tähän käytetään kaasuläppää, jota sopivasti sulkemalla saadaan imusarjan painetta pienennettyä. Muuten tarpeettoman kaasuläpän käyttö tuo kuitenkin dieselmoottoriin mukanaan pumppaushäviöt, jotka luonnollisesti heikentävät moottorin kokonaishyötysuhdetta.

Toinen yleinen tapa vaikuttaa dieselmoottorin palamistapahtumaan on imuilman virtauksien säätö. Projektissa käytetyssä moottorissa on kaksi eri imukanavaa, jotka yhdistyvät vasta juuri ennen imuventtiiliä. Toinen kanavista on enemmän vaakasuorassa

kohti sylinteriä, toinen taas on enemmän pystysuunnassa ja sen virtauksia säädellään erillisillä imusarjaläpillä. Pienellä kuormituksella pystyempien kanavien läpät ovat joko kokonaan tai osittain kiinni, jolloin vaakasuoraan tuleva imuilma aiheuttaa yhdessä palotilan ja männänpään muotoilulla sylinteriin pyörteen, jonka avulla saavutetaan tasanempi seoksenmuodostus. Suurella kuormalla molemmat kanavat ovat kokonaan auki, jotta saadaan hyvä täyttö palotilaan. (Kuva 20.)



Kuva 20. Imusarjaläppien piirros, läppä kiinni asennossa.

4.2 Tunnistimien ja apuohjainlaitteiden mittaaminen

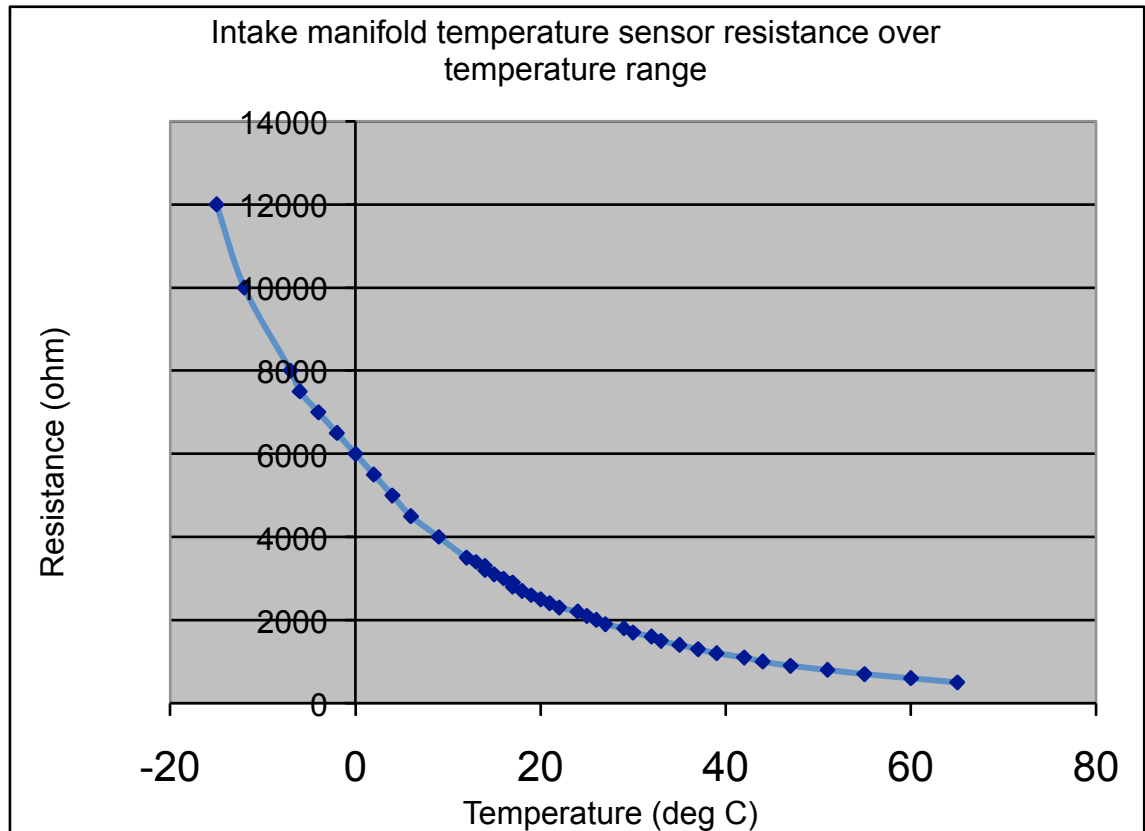
Uuden ohjainlaitteen kanssa haluttiin käyttää mahdollisimman paljon alkuperäisiä tunnistimia ja apuohjainlaitteita, sillä näiden uudelleen suunnitteluun ja asennukseen kuuluu huomattava määrä aikaa. Alkuperäisten tunnistimien ja ohjainlaitteiden toimintaperiaatteet täytyi selvittää, ja siihen käytettiin useita eri keinoja komponentista riippuen. Seuraavassa käsitellään kaikki käytetyt mittausten menetelmät, mutta ei kaikkia tunnistimia erikseen.

4.2.1 Alkuperäisen moottorinohjausjärjestelmän asennus laboratorioon

Moottorin sähkölaitteiden toimintaa tutkittiin moottoridynamometrissä alkuperäisen ohjainlaitteen ohjatesa moottorin toimintaa. Alkuperäinen ohjainlaite vaati toimiakseen runsaasti muitakin sähkölaitteita, joilta ohjainlaite vaati tiettyjä tietoja ennen kuin suistui käynnistämään moottorin. Ennen moottorin purkamista luovuttaja-autosta, ohjelmoitiin mahdollisimman monia ohjainlaitteita pois auton järjestelmästä. Pois otettiin muun muassa ABS, ilmastointi, cd/radio ja airbag-ohjainlaitteet. Tällöin näitä ohjainlaitteita ei tarvinnut asentaa dynamometriin kiinni moottorin käyntiin saamiseksi.

4.2.2 Lämpötilatunnistimet

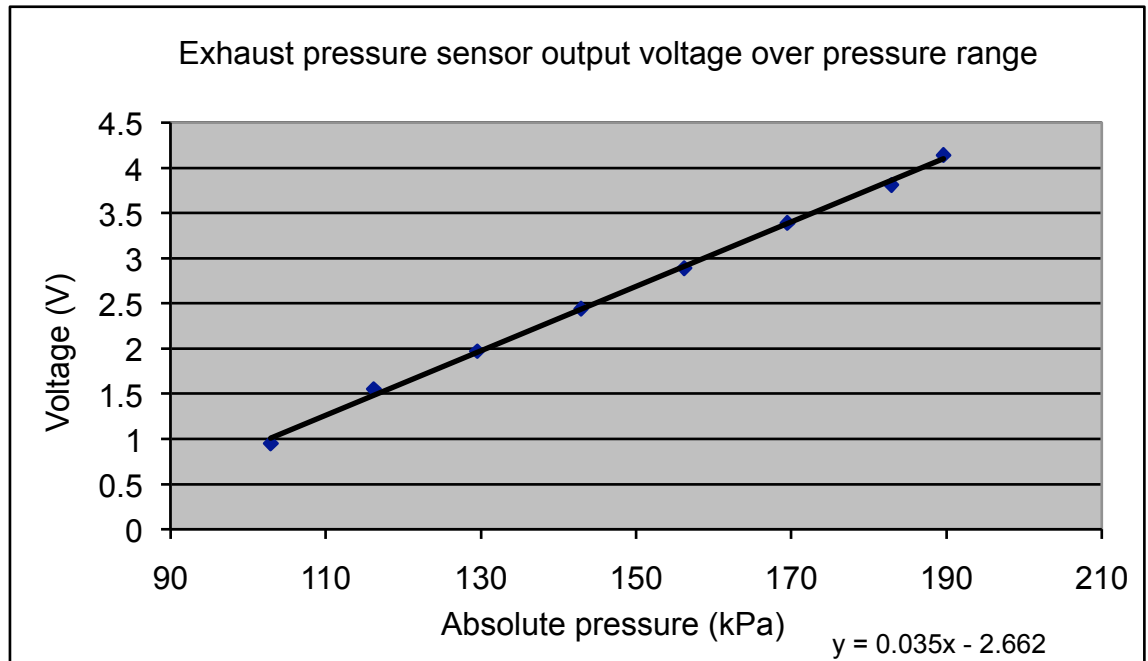
Lämpötilatunnistimet toimivat useimmiten niin, että niiden lämpötilan mukaan muuttuvaa resistanssia mitataan ja saadaan siten tunnistimen havainnoima lämpötila selville. Jotta tietäisimme, minkälaista lämpötilaa esimerkiksi 80 ohmin resistanssi tarkoittaa, täytyy tietää, mikä lämpötila vastaa mitäkin resistanssia kyseisessä tunnistimessa. Resisttiivisten lämpötilatunnistimien mittaaminen suoritettiin niin, että tunnistimien tilalle asennettiin tarkoitukseen tehty vastuspiirilevy, jossa johtavat vastukset voitiin valita kytkimien avulla. Erilaisia vastuksia piirilevyssä oli kymmenen ja niitä yhdistelemällä saatiin muodostettua 100 erilaista resistanssia. Mikäli olisi käytetty säätövastusta, olisi vastuksen arvoa voitu säätää portaattomasti, mutta tällöin vastuksen resistanssi olisi pitänyt mitata aina etukäteen ja lisäksi vastusarvoissa ei olisi päästy helpommin ilmais-taviin tasalukuihin kovinkaan helposti. Tunnistimen tilalle laitetusta vastuspiirilevystä kytkettiin aina tietty resistanssi ja luettiin OBD-testilaitteella, minkä suuruiseksi ohjain-laite kyseisen resistanssin tulkitsee. Tällä tavoin mitattiin kaikki sellaiset lämpötilatun-nistimet, joiden tieto saatiin OBD-testilaitteella luettua; tällainen oli esimerkiksi imusar-jan lämpötilatunnistin (Kuva 21).



Kuva 21. Imusarjan lämpötilatunnistimen resistanssi ja ohjainlaitteen ilmoittama imuilman lämpötila.

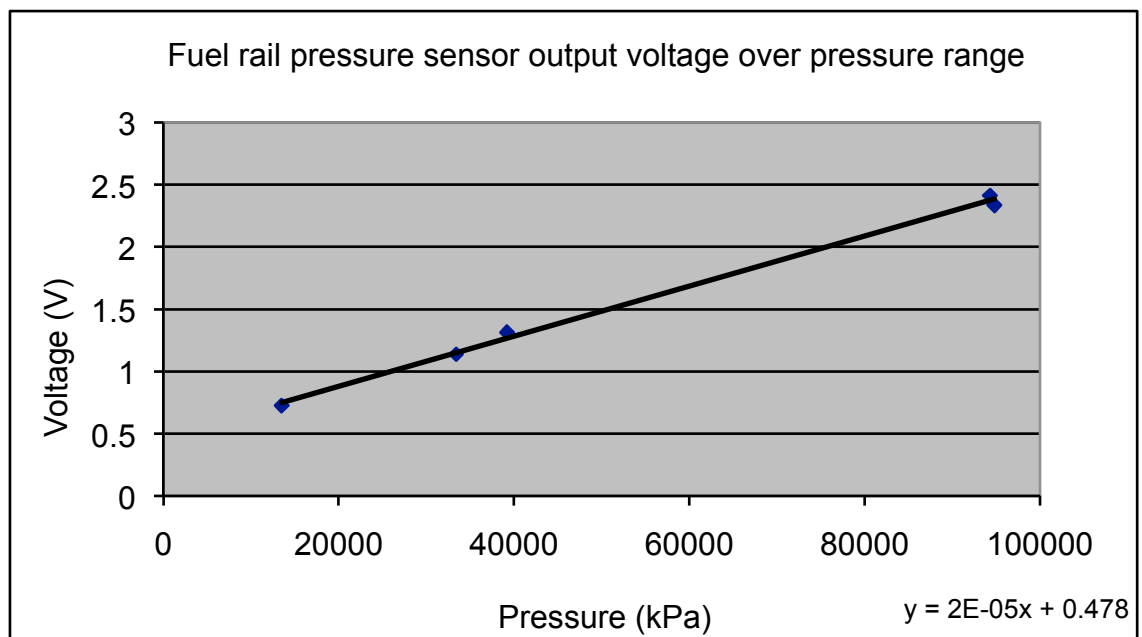
4.2.3 Painetunnistimet

Moottorissa oli useita erilaisia painetunnistimia. Esimerkiksi pakoputken vastapainetta mitattiin yksinkertaisella kalvolla, jonka toisella puolella oli ulkoilman paine ja toisella puolella pakoputken paine. Kalvon liikettä paine-eron vaikutuksesta mitattiin lineaarisella potentiometrillä. Kyseinen tunnistin mitattiin moottori sammuksissa, jolloin pakoputken puolella oli ulkoilman paine. Toiselle puolelle kalvoa tehtiin alipainetta käsipumpulla, jolloin kalvo liikkui vastaavalla tavalla kuin se liikkuisi silloin, kun alipainetta vastaava ylipaine vallitsisi pakoputkessa. Tunnistimeen tehtiin useita eri alipaineita ja mitattiin potentiometrin läpi tuleva jännite (Kuva 22).



Kuva 22. Mitatun painetunnistimen lineaarinen jännitteenmuutos suhteessa pakoputken paineeseen.

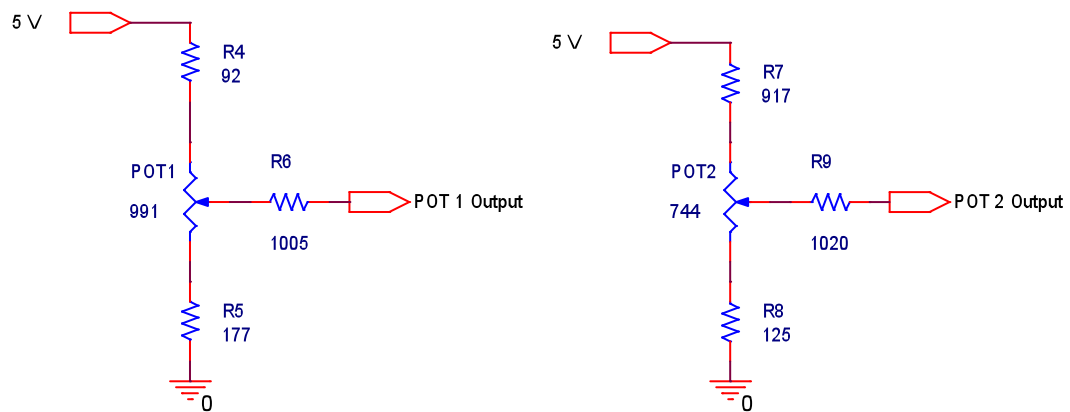
Polttoaineen jakokiskossa vallitsee parhaillaan yli 1800 bar:n paine, jolloin paineen tunnistamiseen ei voida käyttää kalvoa. Tällöin painetta tunnistetaan piezoelementillä, johon paine vaikuttaa suoraan. Polttoaineen korkeapainetunnistimesta mitattiin ulostuleva jännite useassa eri paineessa ja jakokiskon paine luettiin OBD-testilaitteella (Kuva 23).



Kuva 23. Jakokiskon paine ja tunnistimen antama jännite.

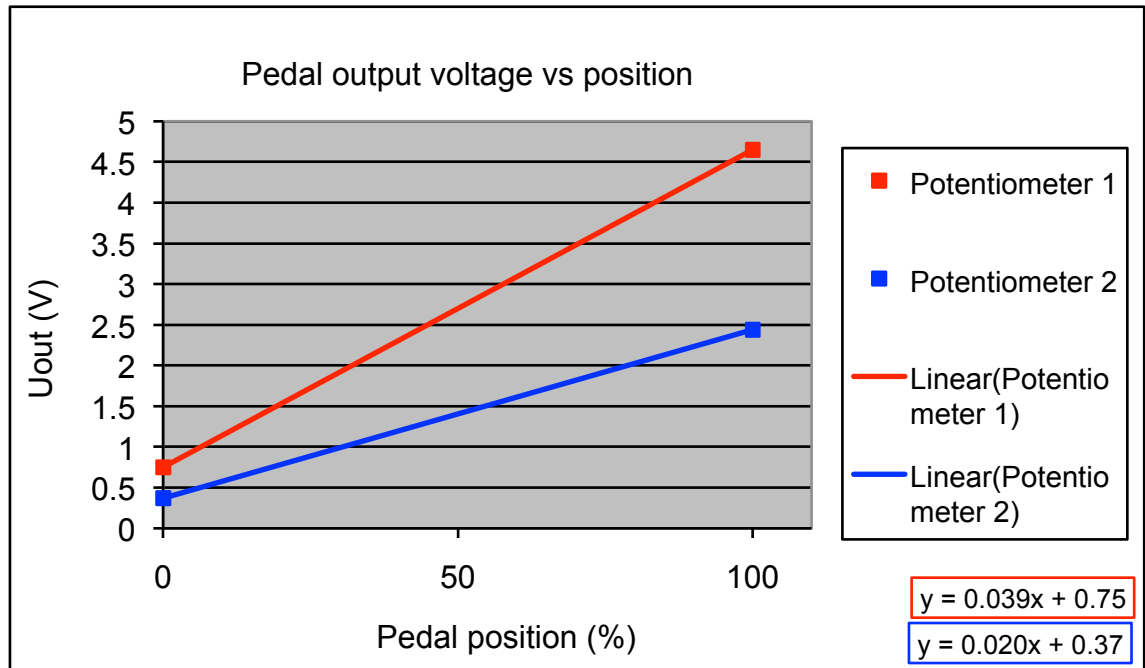
4.2.4 Kaasupolkimen asentotunnistin

Kaasupolkimen asentoa tarkkailevassa laitteessa on kaksi erillistä asentotunnistinta. Tämä varmistaa auton toiminnan, mikäli toinen tunnistimista vioittuisi. Lisäksi ohjainlaite kykenee ottamaan huomioon esimerkiksi korroosion aiheuttaman resistanssin kasvun johtimissa. Mittaamalla todettiin aluksi resistanssien muuttuvan lineaarisesti koko liikealueella. Polkimen sisällä olevat kytkennät selvitettiin ja mitattiin vastuksien resistanssi, jolloin voitiin laskea potentiometriin syötettävä virta (Kuva 24).



Kuva 24. Kuvassa molempien potentiometriä kytkennät.

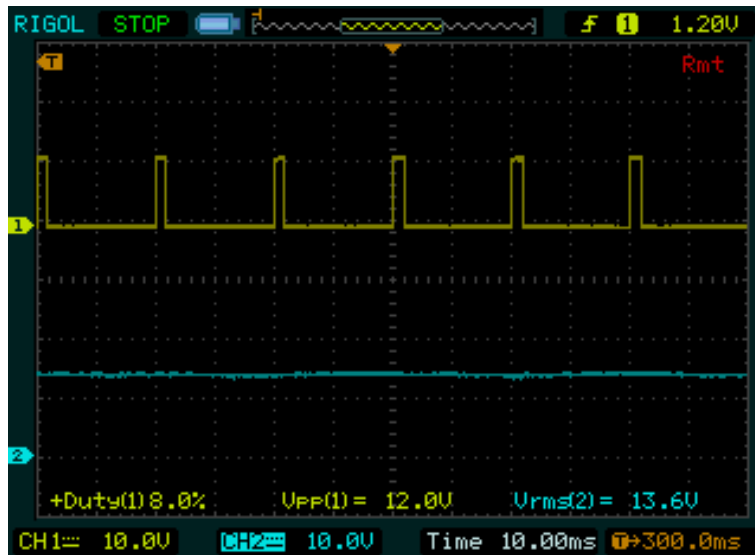
Tämän jälkeen tarvitsi mitata tarkalleen ainoastaan kummankin ääriasennon resistanssi, minkä jälkeen pystyttiin laskemaan jännitteenmuutos, kun syötettävä jännite on viisi volttia (Kuva 25).



Kuva 25. Ulostulevan jännitteen muutos suhteessa polkimen liikkeeseen.

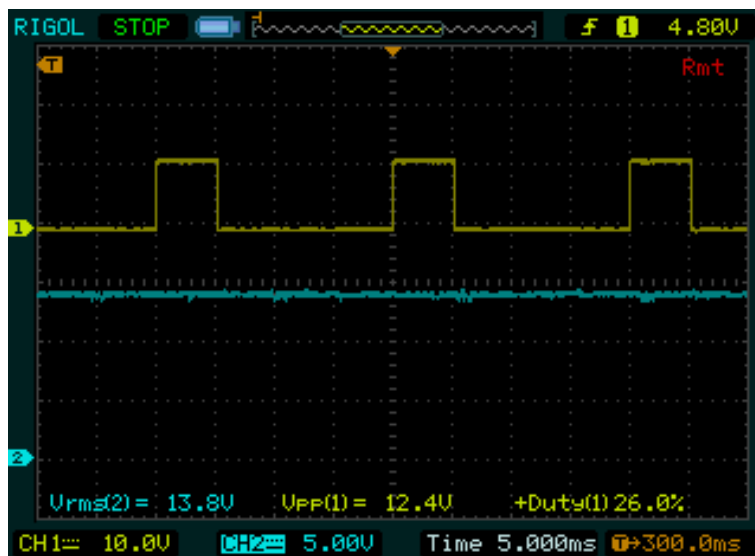
4.2.5 Apuohjainlaitteiden ohjauksen selvittäminen

Moottorissa on useita apuohjainlaitteita, joille moottorin ohjainlaite lähettää käskyjä PWM-signaaleilla eli kanttiaaltoisena signaalina, jonka pulssileveys määrittää apuohjainlaitteelta vaaditun toiminnan. Tällaisia ohjainlaitteita käyttämässämme moottorissa ovat esimerkiksi hehkujen ohjainlaite, jäähdyttimen tuuletin (Kuva 26) ja kaasuläpän ohjausyksikkö. Näitä signaaleita mitattiin oskilloskoopilla, jolla tarkkailtiin, millaisella pulssisuhteella ohjainlaite toteuttaa tietynlaista toimintoa. Esimerkiksi jäähdyttimen tuulettimelle moottorin ohjainlaite syötti jatkuvasti 8–9 prosentin pulssisuhteella PWM-signaalia, ilman että tuuletin pyöri ollenkaan.



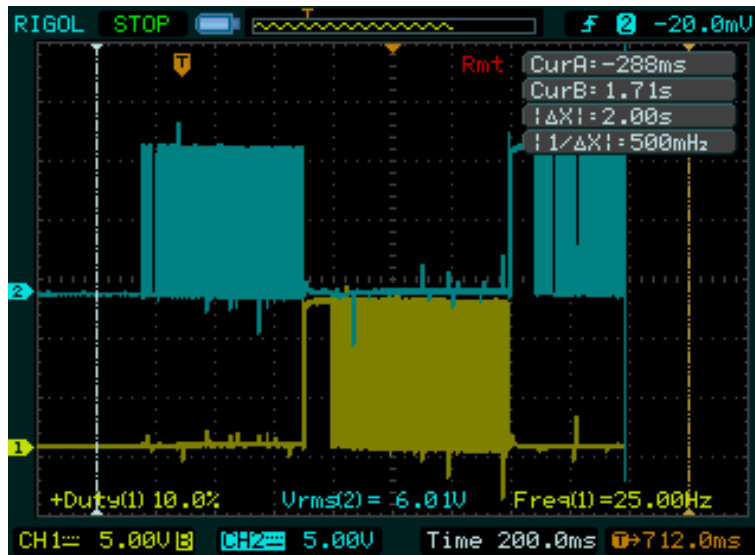
Kuva 26. Jäähdyttimen tuulettimen signaali, kun tuuletin ei pyöri.

Kun tuulettimen haluttiin pyörivän, moottorin ohjainlaite muutti pulssisuhdetta 20–50 prosentin välillä riippuen halutusta pyörimisnopeudesta (Kuva 27).



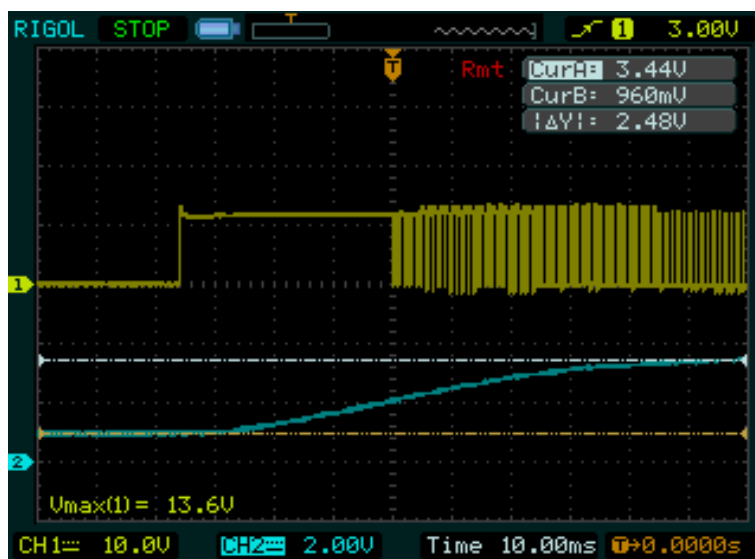
Kuva 27. Jäähdyttimen tuulettimen signaali tuulettimen pyöriessä.

Imusarjan pyörreläppien ohjaus toimi PWM-signaaliilla, jonka napaisuudella säädeltiin kumpaan suuntaan läppiä ajetaan. Läppien asentoa ohjainlaite tarkkaili potentiometrin avulla. Virtojen kytkennän yhteydessä ohjainlaite ajoi imusarjaläpät aluksi kerran kumpaankin reunaan toiminnan varmistamiseksi sekä tarkastaakseen potentiometrin signaalin paikkaansapitävyyden ääriasetnoissa. (Kuva 28.)



Kuva 28. Imusarjaläppien ohjaussignaalit virtojen kytkennän jälkeisen koesyklin aikana.

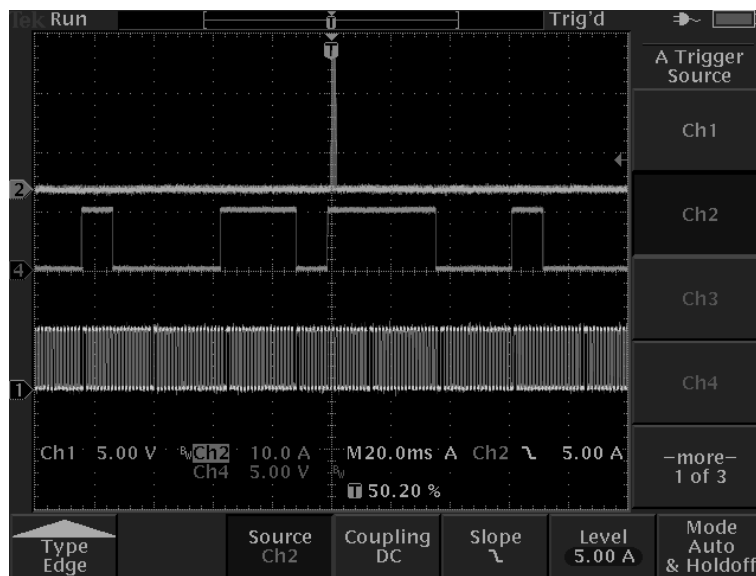
Myös EGR-venttiilin toimintaa ohjattiin PWM-signaalilla ja asentoa tarkkailtiin potentiometrin avulla. EGR-venttiili teki virrat kytkettäessä useamman liikkeen ääriasentoihinsa. (Kuva 29.)



Kuva 29. CH1 on venttiiliä ohjaava PWM signaali ja CH2 potentiometrin jännite.

4.2.6 Asentotunnistimet

Moottori tarkkailee nokka-akselin ja kampiakselin asentoa määrittääkseen yläkuolokohdan ja nelitahtimoottorin tahtivaiheen. Käyttämässämme moottorissa olevat asento-tunnistimet ovat Hall-tunnistimia, jotka tunnistavat akseleiden mukana pyörivien hammasrattaiden liikettä. Hampaat on suunniteltu niin, että kierroksen vaiheen voi päätellä esimerkiksi puuttuvan hampaan kohdasta tai nokka-akselin tapauksessa hampaiden pituudesta.



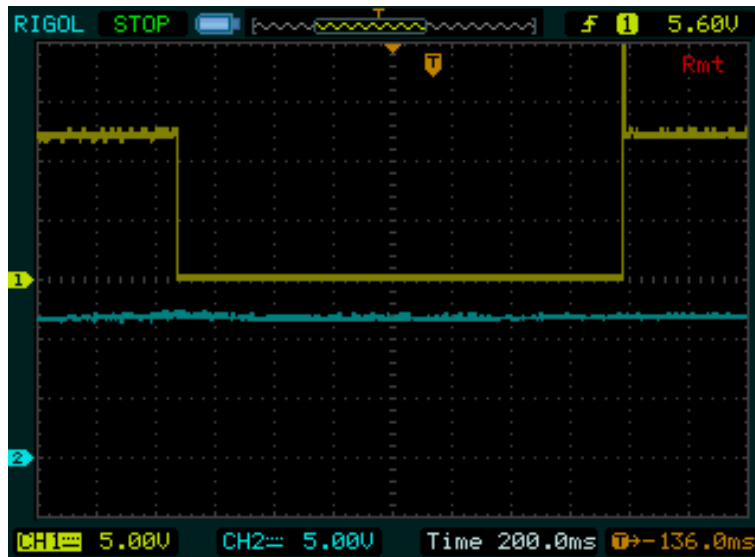
Kuva 30. Ch1 kampiakselin asentotunnistimen jännite, Ch2 suuttimen ohjausvirta, Ch4 nokka-akselin asentotunnistimen jännite.

Kun mitattiin yhtä aikaa kummankin asentotunnistimen signaalit sekä suuttimen virtakuvaajan (Kuva 30), jolloin yläkuolokohdan päättely kuvaajasta oli helppoa. Kuvaajasta pystyttiin myös esimerkiksi laskemaan, että kampiakselilla on yhteensä 115 hammasta, kuusi hammasta puuttuu, aina puuttuvan hampaan jälkeen on yksi pidempi hammas, ja kierroksen aikana hampaista muodostuu kuusi identtistä sykliä.

4.2.7 Toimilaitteiden ohjaus.

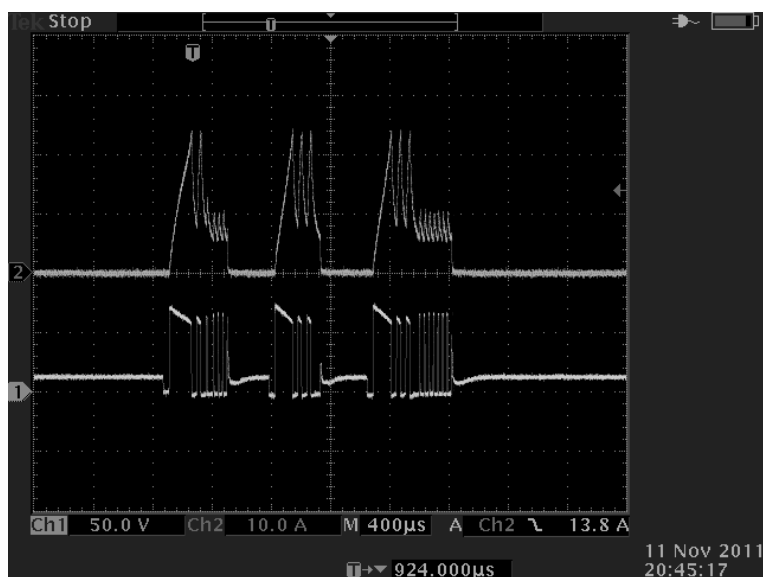
Dieselmoottorissa on useita toimilaitteita, joita moottorin ohjainlaite käyttää suoraan, ilman apuohjainlaitetta. Käyttämässämme moottorissa sellaisia ovat muun muassa suuttimet, korkeapainepumpun määräsäätöventtiili, polttoaineen korkeapainekiskon paineensäätöventtiili ja erilaiset alipainehjatut toimilaitteet. Moottorin pakokaasuahhti-

men ohjaussiipien asentoa ja pakokaasun takaisinkierätyksen jäähdytyskierron toimintaa ohjataan alipaineen avulla. Järjestelmässä on magneettiventtiilit, joilla alipainetta ohjataan joko menemään alipainekelloon tai tyhjentymään (Kuva 31).



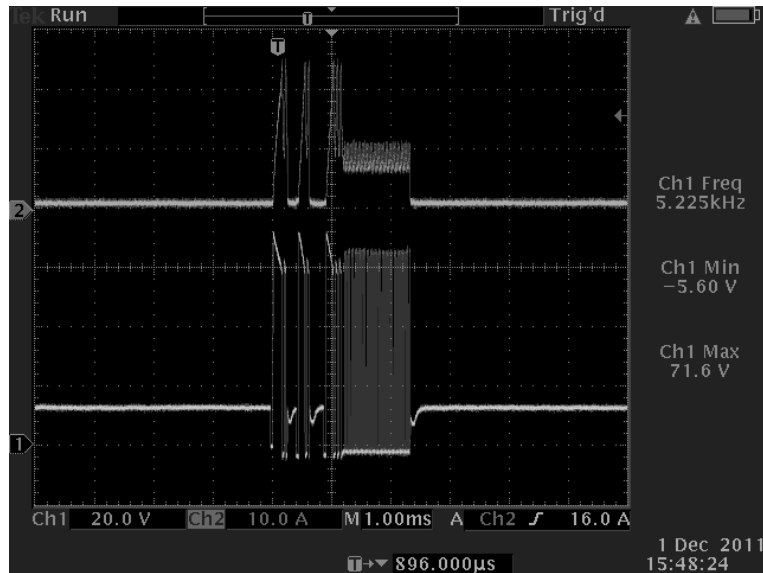
Kuva 31. EGR:n jäähdytyskierron ohjausventtiilin signaali kun ohjaussiipi käytetään alhaalla virtojen kytkennän jälkeen.

Suuttimia ohjattiin hakkuroimalla suuttimen maadoitusta maata vasten, jolloin suuttimen ohjauspiirin jännite nousi parhaillaan noin 70 volttiin ja virta 25 ampeeriin (Kuva 32).



Kuva 32. Ch1 on suuttimen jännite ja Ch2 suuttimen virta.

Suuttimista täytyi tämän lisäksi selvittää vielä pisin mahdollinen aukioloaika, jotta uuden ohjainlaitteen valmistaja varmistui siitä, että sen ohjainlaite kykenee ohjaamaan kyseisiä suuttimia (Kuva 33).



Kuva 33. Ch1 on suuttimen jännite ja Ch2 suuttimen virta.

Kuva 33:n kuvaaja on mitattu kierrosluvulla 2200 rpm ja moottoria on kuormitettu luovuttamaan 190 Nm vääntöhuippunsa, ja suuttimen kolmen syklin aukioloaika on yhteensä noin kaksi millisekuntia. Huomattavaa on, että suuttimen jännite laskee suuttimen sulkeutuessa jopa alle nollan voltin. Tämä johtuu siitä, että magneettiventtiilillä ohjatun suuttimen magneettiventtiili luo pienen jännitteen painuessaan kiinni ja tämän jännitteen napaisuus on käänteinen ohjausjännitteen napaisuuden kanssa.

4.2.1 Kampiakselin asentotunnistin

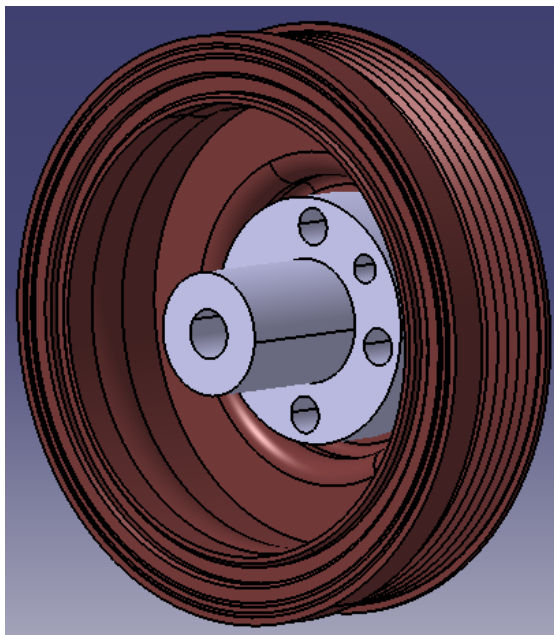
Mittauksien jälkeen kävi ilmi että moottorissa oleva kampiakselin tunnistinkehä sisältää 115 hammasta, mutta Nira i7rs ei kuitenkaan osannut tulkita kyseisen kaltaista hammasjakoa. Hammasjaon olisi saanut toimimaan ohjelmoimalla ohjainlaitteeseen tuki kyseiselle hammasjaolle, mutta se todettiin liian kalliiksi ja aikaa vieväksi prosessiksi, joten päädyimme asentamaan moottoriin erillisen tunnistinkehän kampiakselin hihnapyörän eteen. Alkuperäinen tunnistinkehä on moottorin vauhtipyörän päässä, ja sen muuttaminen olisi vaatinut moottorin purkamista sekä hankalaa ja tarkkaa työstöä uuden pyörän valmistuksessa. Lisäksi pyörä olisi pitänyt vaihtaa taas alkuperäiseen, mikäli

myöhemmin tarvitaan vielä alkuperäisen ohjausjärjestelmän käyttöä johonkin testivaiheeseen. Moottoriin tilattiin valmis hammaspyörä, jossa on Niran tukema 36-1-hammasjako, joka tarkoittaa sitä, että pyörässä on 36 hammasta ja yksi tyhjä hampaan paikka (Kuva 34).



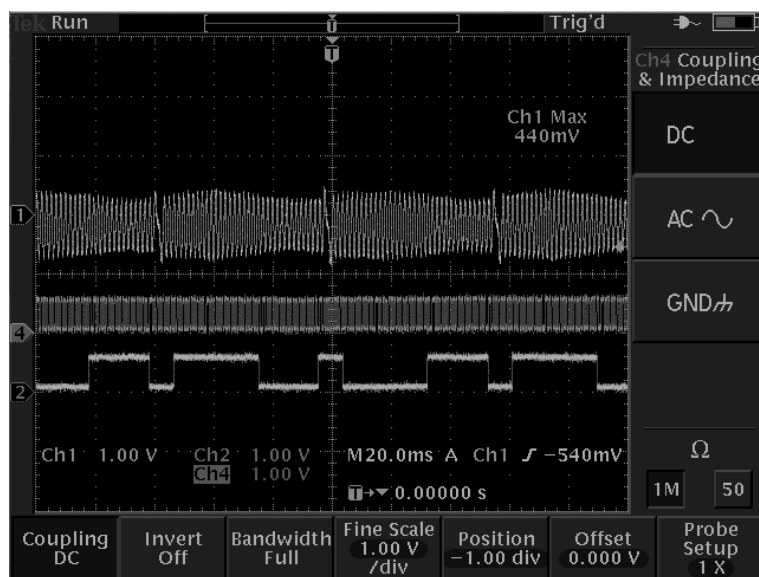
Kuva 34. Moottoriin tilattu 36-1 jaollinen hammaspyörä.

Jotta kyseinen pyörä saadaan kiinnitettyä moottoriin, täytyi sille suunnitella jalka, joka toisi hammaspyörän hihnapyörän ulkopuolelle riittävän kauas, jotta hihnapyörä ei häiritse tunnistimen toimintaa (Kuva 35).



Kuva 35. Catialla mallinnettu kampiakselin hihnapyörä sekä sen päälle suunniteltu hammaspyörän jalka.

Lopullisessa versiossa hammaspyörä tulee noin 10 mm:n päähän hihnapyörän reunasta, eikä sillä etäisyydellä havaittu hihnapyörästä johtuvaa häiriötä. Hammaspyörän liikettä tunnistamaan tilattiin induktiivinen asentotunnistin. Etukäteen tiedettiin, että hammaspyörässä saisi olla jonkin verran heittoa keskityksessä, ilman että se vaikuttaisi tunnistimen toimintaan olennaisesti, joten pelkän keskelle asennettavan pultin todettiin keskittävän hammaspyörä riittävän tarkasti (Kuva 36).



Kuva 36. Uuden kampiakselin tunnistinpyörän signaalin kuvaaja.

Hammaspyörän on oltava rautaa, jotta induktiivinen tunnistin toimisi, ja hammaspyörän painonsäästön takia siihen on leikattu valmiiksi koloja, jotka keventävät hammaspyörää.

4.3 Moottorin johtosarja

Moottorin johtosarjan suunnittelussa tuli ottaa huomioon moottorin molemmat käyttötarkoitukset. Aluksi moottori olisi kiinni dynamometrissä, joten johtosarjan tulisi olla suhteellisen kompakti, kun taas lopullinen sijoitus demonstraatioajoneuvoon määritteli johtosarjan pituuksia eri suuntiin.

4.3.1 KytKentäkaavio

Ensimmäiseksi suunniteltiin moottorin johtosarjan kytkentäkaavion niin sanottu raakaversio josta ilmeni, mitä tunnistimia, releitä ja muita toimilaitteita ohjainlaitteeseen tulisi liittää. Kaaviosta ilmenee selkeästi tarpeelliset hankinnat, joita johtosarjan valmistukseen tarvittiin. KytKentäkaaviota täydennettiin, sitä mukaa kun kytkentöjä saatiin selville työn edetessä, sillä joitakin kytkentöjä oli helpompi suunnitella johtimia kiinnittäessä jolloin pystyi näkemään, kuinka johtimet olisi viisainta käytännössä kytkeä johtimien sekaantumisen välttämiseksi. Esimerkiksi sulakkeiden ja releiden välisien johtimien kytkeminen tehtiin ensiksi käytännössä ja vasta sen jälkeen täydennettiin kytkentäkaavioon kuinka releet ja sulakkeet on kytketty. KytKentäkaavion suunnitteluun käytettiin ExpressSCH-nimistä ohjelmaa, jota päädyttiin käyttämään sen hankinnan ja käytön helppouden takia. ExpressSCH on periaatteessa tavallinen piirto-ohjelma, jossa vain on valmiita komponenttien kuvia, joita voi suoraan lisätä kaavioon, minkä lisäksi johtimia kuvaavia viivoja on helppo piirtää komponenttien lähtöihin merkittyjen pisteiden väliin. Moottorin johtosarjan kytkentäkaavio löytyy opinnäytetyön liitteestä 1.

4.3.2 Moottorin johtosarjan kytkentä

Johtosarjan kytkentä aloitettiin hankkimalla kaksi 37-napaista kytkentärasiaa ja riittävästi sopivia liittimiä. Jotta liittimiä ei kytkettäisi vahingossa väärin päin, poistettiin liittimistä ohjureita ja täytettiin vastakappaleista ohjureiden kanavia niin, ettei liittimiä enää pysty kytkemään väärin. Lopullisessa käytössään demonstraatioajoneuvossa moottorinohjainlaite asennettaisiin auton sisäpuolelle kojelaudan alle auton oikealle puolelle, joten johtosarja mitoitettiin niin, että liittimet kytkettäisiin auton tulipeltiin ja ne toimisivat samalla johtosarjan läpivientinä moottoritilan ja matkustamon välillä. Ensimmäiseksi alkuperäisestä johtosarjasta eroteltiin kaikki ylimääräiset johtimet, kuten ABS-ohjainlaitteen ja ohjaustehostimen johtimet, niin että johtosarjaan jäi ainoastaan moottorin tunnistimien ja toimilaitteiden johtimet.

Kaikkiin tarpeellisiin johtimiin vaihdettiin alkuperäisen ohjainlaitteen liittimien tilalle hankittuihin 37-napaisiin pistokkeisiin sopivat liittimet ja merkittiin johtimien alkuperäiset kiinnityspinnit, värit ja uuden pistokkeen kiinnityspinnit taulukkoon. Johtimien liittämisen jälkeen tutkittiin alkuperäisistä kytkentäkaavioista johtimien tarkoitukset ja

liitettiin tulipeltiin tulevien pistokkeiden ja uuden ohjainlaitteen väliset johtimet oikeisiin napoihin. Todettiin, että olisi huomattavasti helpompaa liittää alkuperäisen johtosarjan johtimet yksinkertaisesti järjestyksessä uusiin liittimiin ja tehdä tarkempi selvitys johtimien vastaavuuksista vasta demonstraatioajoneuvon sisäpuolelle tulevaan osioon. Tämä johtui enimmäkseen siitä, että alkuperäisen johtosarjan johtimien kytkentöjen selvitys oli työlästä, kun taas uuden ohjainlaitteen johtimien kytkentä oli helppo todeta, kun johtimilla oli mitta vain noin 30 senttimetriä.

Osa tunnistimien johtimista ei kulkenut varsinaisessa moottorin johtosarjassa, vaan esimerkiksi ilmamassamittarin johtimet kulkevat vaihteiston johtosarjassa ja pakokaasun lämpötilatunnistimien johtimet ABS-ohjainlaitteen johtosarjassa. Tällaisten johtimien ympäriltä purettiin kaikki ylimääräiset johtimet pois, jäljelle jääneet tarpeelliset johtimet vedettiin mahdollisimman paljon yhtenevästi muun moottorin johtosarja yhteyteen ja kaikki johtimet suojattiin hankautumia vastaan spiraalimuoveilla ja kosteutta eristävällä teipillä.

Suuria virtoja välittävien johtimien kytkennässä hyödynnettiin alkuperäistä akkukengän yhteyteen asennettavaa sulakerasiaa, jossa oli valmiiksi 175:n, 110:n, kaksi 50:n ja kaksi 40:n ampeerin liitäntää sekä pieni sulakerasia, jossa oli kuusi paikkaa normaalkokoisille lattasulakkeille ja mahdollisuus kytkeä niistä lähtemään halutun kokoiset johtimet. Sulakkeista käyttöön otettiin 175 ampeerin sulake, joka kytkettiin latausvirta-generaattorin ja akun väliin, toinen 50 ampeerin sulake, joka johtaa kaikkiin moottorinohjauksen laitteisiin ja toinen 40 ampeerin sulake, joka asennettiin käynnistimen herätejohtimen väliin. Lopuille sulakkeille löytyy käyttöä demonstraatioajoneuvon muiden sähkölaitteiden kanssa. Lisäksi 50 ampeerin sulakkeen jälkeen toimilaitteiden oikosulkutilanteita varten kaikkien toimilaitteiden virtajohtimissa on pienemmät sulakkeet, joista tärkeimpiä varten hankittiin erityinen sulakerasia, jossa varoitusvalot kertovat suoraan sulakkeiden kunnon. Varoitusvalot ovat tarpeellisia, sillä moottorin ohjainlaite ei tue ajonestoa esimerkiksi siinä tilanteessa, että vikaantunut esisiirtopumppu ei toimittaisikaan polttoainetta korkeapainepumpulle, jonka voitelu perustuu polttoaineen saantiin. Kun pumpun sulakkeen toiminnan voi tarkastaa helposti ennen käynnistystä, voidaan mahdollisesta esisiirtopumpun hajoamisesta johtuvaa korkeapainepumpun hajoamista ennaltaehkäistä.

4.3.3 Releiden kytkentä

Joitakin moottorin toimilaitteita ei pystytty ohjaamaan suoraan moottorin ohjainlaitteella vaan niiden ohjaukseen käytettiin joko suoraan päävirtakatkaisijasta kytkeytyviä tai moottorin ohjainlaitteen kytkemiä releitä, lisäksi myös itse moottorin ohjainlaitteen virrat kytkeytyvät releiden kautta. Kytkennöissä käytettiin kahta erilaista relettä, normaaleja kytkentäreleitä pienentämään virtakatkaisijan ja moottorinohjainlaitteen virtakuormia, sekä IPCU-releitä. IPCU-releillä pystytään ohjaamaan PWM-signaalilla toimivia toimilaitteita, kuten hehkujen ohjainlaitetta. Alkuperäisessä moottorin ohjauksessa esimerkiksi hehkujen ohjainlaitetta ohjataan PWM-signaalilla, koska tällöin hehkujen toimintaa voidaan säätää muuttamalla signaalin pulssisuhdetta ja täten eri hehkutustoimintojen ohjaukseen riittää yksi ainoa johdin. Alkuperäisessä järjestelmässä hehkujen ohjainlaitetta ohjattiin suoraan moottorinohjainlaitteen lähettämällä PWM-signaalilla, mutta koska Nira i7rs ei tue tällaista toimintaa, ohjataan hehkujen ohjainlaitetta IPCU-releillä.

4.4 Käyntikuntoon saattaminen

Moottorin käyntikuntoon saattamiseksi täytyi kaikki mitatut arvot syöttää uuteen ohjainlaitteeseen sekä säätää moottoriin joitakin perussäätöjä, joilla moottori saa käynnistymiseen vaaditun polttoainemäärän ja voidaan varmistua ohjausjärjestelmän toiminnasta.

4.4.1 Kampiakselin ja nokka-akselin asentotunnistimien konfigurointi

Kun kaikki johtimet oli kytketty, voitiin aloittaa ohjainlaitteen konfigurointi kyseille moottorille sopivaksi. Ensimmäiseksi moottorinohjainlaitteen täytyi tietää, missä asennossa moottori on, eli kampiakselin asentotunnistimen signaalin vastaavuus moottorin todelliseen asentoon tuli selvittää. Moottoriin jälkiasennetun kampiakselin asentotunnistimen kehän todellisen asennon selvittämisessä käytettiin hyväksi alkuperäisen ohjausjärjestelmän oskilloskooppikuvaajaa, jossa näkyy nokka-akselin asentotunnistimen signaalin lisäksi myös 1-sylinterin suuttimen virtakuvaaja sekä alkuperäisen kampiakselin asentotunnistimen signaali (Kuva 30). Kuvaajasta voitiin lukea 1-sylinterin yläkuolokohdan sijainti suhteessa nokka-akselin asentotunnistimen signaaliin, jolloin uuden tunnis-

timen asento voitiin päätellä mittaamalla vastaava kuvaaja uudella kampiakselin asentotunnistimen kehällä. Kuvaajasta laskettiin tunnistinkehän puuttuvan hampaan sijainti suhteessa 1-sylinterin yläkuolokohtaan ja arvo syötettiin moottorinohjainlaitteeseen kampiakselin asentokulmana (**Error! Reference source not found.**), kulman laskeminen kuvaajasta on helppoa, kun oivaltaa että 36-1 hampaisen tunnistinkehän yksi hammas on 10 astetta kampiakselin kulmana.

Lopullinen tarkempi sijainti kannattaa kuitenkin määritellä laskemalla oskilloskoopin kuvaajasta measure -toiminnon avulla ensin koko kampiakselin kierroksen aika tietystä kohtaa signaalin kuvaajaa, esimerkiksi signaalin korkeimmasta huipusta ennen puuttuvaa hammasta seuraavan puuttuvan hampaan vastaavaan kohtaan. Kun kokonaisen kampiakselin kierroksen kesto (KKK) on mitattu, täytyy vielä vastaavan hampaan kohdan ja moottorin yläkuolokohdan etäisyys (YKKE) toisistaan mitata tarkasti. Tämän jälkeen yläkuolokohdan etäisyys kampiakselin asentotunnistimen signaalin puuttuvasta hampaasta kampiakselin asentokulmana ($YKKE_{csd}$) voidaan laskea kaavalla

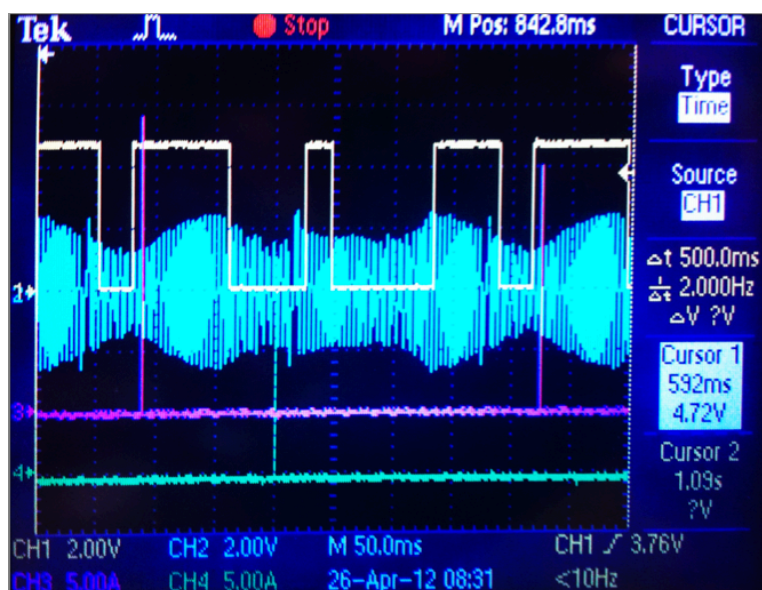
$$\frac{YKKE}{KKK} * 360csd = YKKE_{csd}$$

Yläkuolokohdan sijainti kampiakselin kierroksella kannattaa määritellä mahdollisimman tarkasti, sillä mikäli kampiakselin asentotunnistimen hammaspyörä joudutaan irrottamaan esimerkiksi huoltotöiden yhteydessä, tulee asentoon helposti useamman aseennheitto. Hammaspyörän asento voidaan kuitenkin mitata uudelleen vastaavalla tavalla kuin aiemminkin, jolloin ruiskutusennakon säädöt eivät mene pieleen huoltotoimenpiteen takia.

Tässä vaiheessa moottori siis tietää 1-sylinterin yläkuolokohdan sijainnin suhteessa kampiakselin asentotunnistimen signaalin, mutta koska kyseessä on nelitahtimoottori, pyörii kampiakseli kaksi kokonaista kierrosta yhden nokka-akselin pyörähdysten aikana. Toisin sanoen ohjainlaite ei vielä tiedä, milloin 1-sylinterissä on työtahti ja koska sinne tulisi ruiskuttaa polttoainetta. Tätä varten ohjainlaite tarvitsee myös nokka-akselin asentotunnistimen tiedon suhteessa kampiakselin asentotunnistimen tietoon. Moottorinohjainlaite tarvitsee toimiakseen nokka-akselin asentotunnistimelta ainoastaan yhden signaalin alasliipaisun, joka ilmenee sellaisenaan vain yhden kerran yhden nokka-akselin kierroksen aikana. Alkuperäisessä nokka-akselin tunnistinkehässä on

useita liipaisuja, jotka kuitenkin ovat keskenään epäsymmetrisiä. Tällöin alkuperäinen moottorinohjausjärjestelmä on pystynyt tunnistamaan nokka-akselin asennon nopeammin, sillä mikäli nokka-akselilla on vain yksi alasliipaisu, täytyy pahimmassa tapauksessa nokka-akselin pyörähtää lähestulkoon kokonainen kierros, ennen kuin ohjainlaite tunnistaa moottorin tahtivaiheen. Jos moottorinohjausjärjestelmä tunnistaa moottorin tahtivaiheen nopeammin, voi moottori myös käynnistyä nopeammin. Nira i7rs ei kuitenkaan tukenut useamman alasliipaisun tunnistusta, mutta tämä katsottiin moottorin käyttö huomioon ottaen muutenkin tarpeettomaksi.

Niran tapauksessa moottorinohjainlaitteelle täytyi antaa tietty "asento-ikkuna", jonka aikana ohjainlaitteen tulisi odottaa nokka-akselin asentotunnistimen alasliipaisua merkiksi 1-sylinterin yläkuolokohdan lähestymisestä, tällöin tunnistinkehällä olevat ylimääräiset alasliipaisut eivät aiheuta väärää tahtisuuden tunnistusta. Asento-ikkunalla tarkoitetaan sitä, kuinka paljon kampiakselin asentotunnistimen puuttuvan hampaan jälkeen liipaisu tapahtuu. Tieto annettiin kampiakselin asentokulmina ja se määriteltiin aloituskulman sekä ikkunan pituuden avulla. Asento-ikkunan säädön ajaksi kytkettiin oskilloskoopin kaikkiin neljään kanavaan mittapää. Kuvassa 37 onkin oskilloskooppiin kytketty kanavaan yksi nokka-akselin asentotunnistin, kanavaan kaksi kampiakselin asentotunnistin, kanavaan kolme 1-sylinterin suuttimen virta ja kanavaan neljä 2-sylinterin suuttimen virta. Näiden mittausten aikana ohjainlaitteen polttoaineen korkeapainetunnistimen signaalin vastaavuuksia säädettiin niin, että ohjainlaite luuli polttoaineen paineen olevan riittävä polttoaineen syöttämiseksi, vaikka polttoaineen siirtopumpun toiminta olikin estetty poistamalla sulake. Tällöin suuttimien ensimmäinen aktivointi voitiin tehdä turvallisesti varmistuen siitä, että ohjainlaite ei syötä polttoainetta täysin väärään aikaan aiheuttaen pahimmillaan moottorin rikkoontumisen.



Kuva 37. Asentotunnistimien lopullinen asento, sekä kahden suuttimen virta.

4.4.2 Muiden tunnistimien konfigurointi

Kaikkien moottorinohjainlaitteelle kytkettyjen tunnistimien arvot täytyi syöttää ohjainlaitteelle, jotta ohjainlaite osaa muuttaa ne säätöjen laskennassa tarvittavaan muotoon. Tunnistimien säätöarvojen syöttö tapahtui jokaiselle tunnistimelle erikseen varatun taulukon avulla. Taulukkoon määriteltiin tunnistimen tiettyä esimerkiksi resistanssiarvoa vastaava mitattava määre, kuten lämpötila. Arvoja syötetään riittävä määrä ottaen huomioon, että arvojen välimaastossa olevan vastaavuudet ohjainlaite interpoloi automaattisesti. Arvojen tiheyden pystyy päättelemään visuaalisesti ohjainlaitteen piirtämän kuvaajan muodosta riittävällä tarkkuudella (Kuva 38).



Kuva 38. Ohjainlaitteen piirtämä kuvaaja ulkolämpötilatunnistimen arvojen vastaavuudesta ulkoilman lämpötilaan.

Ohjainlaite piirtää myös syötettyjen arvojen perusteella tunnistimen sen hetkisen tilan reaaliajassa, kuvan oton hetkellä ulkoilman lämpötilaksi tunnistettiin 21,4° c ja se esitetään kuvaajassa mustalla ympyrällä ja pisteellä. Potentiometrien tapauksessa kuvaaja oletettiin aina lineaariseksi ja niistä pyydettiin ainoastaan jännitearvot molemmissa ääriarvoissa.

4.4.3 Polttoaineen paineen säätö

Polttoaineen korkeapainejärjestelmän paineensäätö havaittiin yllättävän monimutkaiseksi toteuttaa, sillä valitussa moottorissa oli jakokiskossa olevan paineensäätimen lisäksi myös korkeapainepumpussa toinen säädin, joka säätää korkeapainepumpun tuottaman paineen määrää. Jotta painetta voidaan säätää tarkasti, täytyy pumpun tuottaa aina hiukan enemmän painetta kuin on tarpeen, jotta paine voidaan säätää tarkasti jakokiskossa olevalla paineensäätimellä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä että korkeapainepumpussa olevaa säädintä säädetään open-loop-tilassa ja jakokiskossa olevaan säädintä closed-loop-tilassa. Alussa ilmenneiden paineensäätöongelmien vuoksi säädössä turvauduttiin Niran edustajan avustukseen ja ohjainlaitteen i3d-säätötiedosto lähetettiin säädettäväksi ja sen mukana lokitiedosto josta ongelma ilme-

ni. Ongelmana vaikutti olevan se, että korkeapainepumppu säätö paineen niin suureksi, että jakokiskon paineensäädin ei kyennyt sitä korjaamaan haluttuun arvoon, vaikka tunnistinta ohjattiin 100 prosentin työsuhteella. Lopulta ongelmaksi kuitenkin paljastui, että korkeapainepumpun paineensäädin toimi käänteisesti kuin mitä oletettiin, eli kun yritettiin säätää pumpun paineensäätimellä painetta pienemmäksi, todellisuudessa se kasvoi ja pahensi tilannetta entisestään. Niran edustajan tekemien säätötoimenpiteiden jälkeen paineensäätö toimi normaalisti ja haluttua ruiskutuspainetta voitiin säätää ruiskutettavan polttoaineen määrän ja moottorin pyörimisnopeuden huomioon ottavalla taulukolla. Polttoaineen paineensäädössä tulee ottaa huomioon, että varsinkin pääruiskutuksen kestolla on suuri vaikutus palamisen tehokkuuteen ja ruiskutusaikaan vaikuttaa tietysti ruiskutusmäärän lisäksi myös ruiskutusaine.

4.4.4 Moottorin käynnistäminen

Tunnistimien säädön jälkeen voitiin moottoria yrittää käynnistää. Käynnistäminen uudella ohjainlaitteella ei koskaan ole helppoa, koska säätöjen hakeminen käyntiin lähtöä varten on tehtävä varoen. Moottori voi helposti vaurioitua, mikäli sylintereihin ruiskutetaan esimerkiksi aivan liian suuri määrä polttoainetta, jolloin pahimmassa tapauksessa sylinteri tulvii. Jos sylinteri tulvii täyteen mitä tahansa nestettä, pysähtyy mäntä erittäin nopeasti ennen yläkuoloa, jolloin kampiakseli ja kiertokanget voivat vaurioitua. Toinen mahdollisuus on, että moottorissa oleva erittäin suuri polttoainemäärä syttyy kerrallaan aiheuttaen vastaavanlaisen kovan iskun kampikoneistoon kuin sylinterin tulviminenkin. Vaurioiden estämiseksi tulee syötettävän polttoaineen määrää lisätä vähitellen ja yrittää käynnistää moottori jokaisen säädön jälkeen.

Käytännössä ruiskutettavan polttoaineen määrä määritellään Nira i7rs -ohjainlaitteessa niin, että annetaan tietty polttoainemassa maksimiarvo, nimeltään BV Fuel Mass Cycle Max, ja erilaisilla säätötaulukkoilla määritellään, kuinka suuri osa tuosta ilmoitetusta arvosta polttoainetta todellisuudessa syötetään. Koska säädössä käytetään polttoaineen massaa, tulee ohjainlaitteelle antaa tiedot siitä, kuinka paljon monen mikrosekunnin ajan suutinta on pidettävä auki, jotta tietyllä polttoaineen paineella saadaan ruiskutettua tietty määrä polttoainetta. Tämä säätötaulukko löytyy ohjainlaitteesta nimellä Injector Conv ja sen todellisia säätöarvoja ei tämän opinnäytetyön puitteissa ehditty tutkimaan, sillä käytettävänä ei ollut kyseisten suuttimien mittaukseen soveltuvaa laitteis-

toa. Esi- ja jälkiruiskutusten aikana ruiskutettavan polttoaineen massa lasketaan prosentuaalisena suhteena koko kierron aikana ruiskutettavaan massaan.

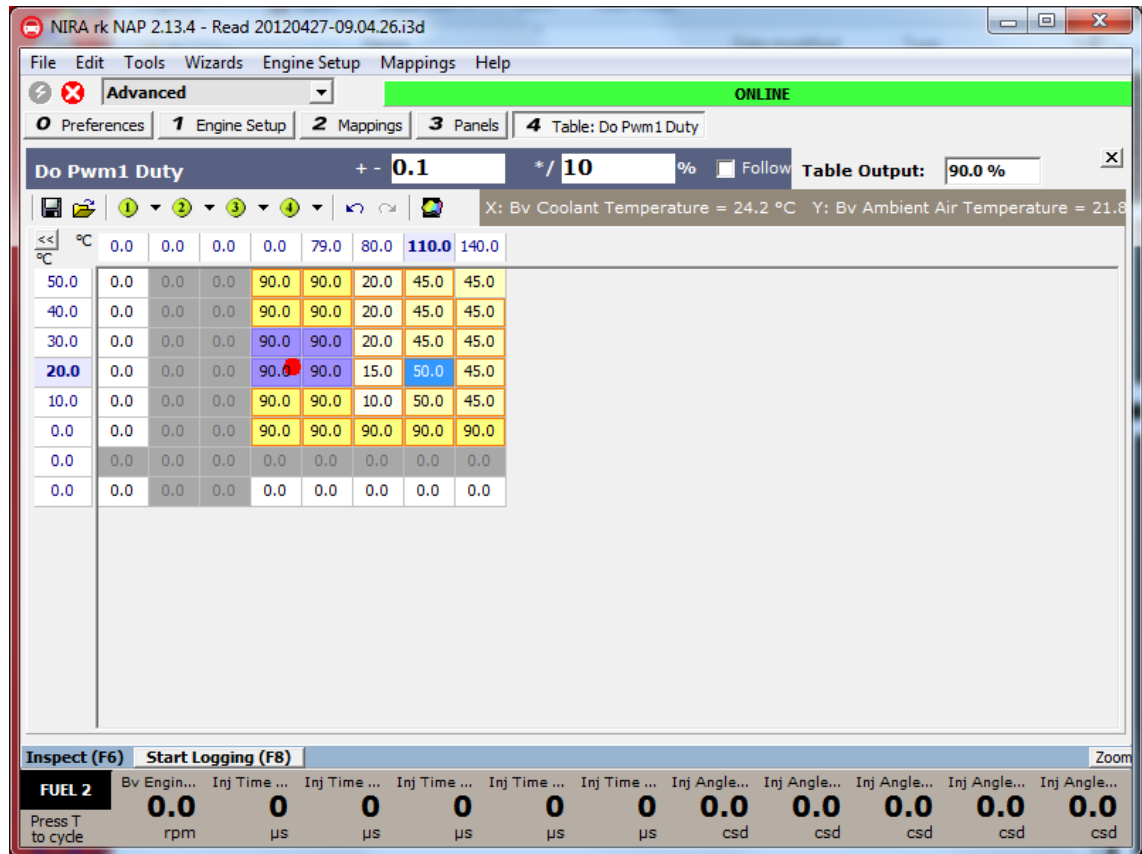
Ruiskutuksen toinen tärkeä tekijä eli ajoitus säädettiin likimain kohdalleen vertaamalla alkuperäisen ohjainlaitteen tyhjäkäynnillä käyttämää ennakkoa. Tähän arvoon säädön jälkeen myös ennakkoa lisättiin vähitelleen ja tarkkailtiin, missä vaiheessa ennakko riittää, jotta käynnistinmoottorin pyörimisnopeudella syntyy riittävä paine polttoaineen syttymiseksi. Lopullinen ennakko, jolla moottori lähti ensimmäisen kerran käyntiin, oli noin 12 astetta pääruiskutuksen ja 23 astetta esiruiskutuksen osalta. Käyntiäänestä havaittiin, että esiruiskutuksen loiventaessa paineen nousua sylinterissä, voitiin sen ennakkoa suurentaa vielä tästäkin noin 27 asteeseen käyntiäänän pehmentyessä selkeästi.

4.4.5 Apulaitteiden toiminnan testaus

Moottorin apulaitteiden toiminta testattiin, ennen kuin moottoria käytettiin kuumaksi asti, sillä esimerkiksi jäähdyttimen tuulettimen toiminta on erittäin tärkeää varmistaa ennen kuin moottori ehtii ylikuumentua. Jäähdyttimen tuulettimen ohjaus toimi PWM-signaalilla, jonka pulssisuhdetta muuttamalla tuulettimen pyörimisnopeutta säädettiin. Nira i7rs:llä ohjaus toteutettiin PWM-lähdöllä, jonka säätöarvojen lisäksi voitiin myös säätötaulukon akseleiden merkitys määrittää. Koska tuulettimen toiminta haluttiin varmistaa vaarantamatta moottorin ylikuumenemista, asetettiin tuulettimen kierrosnopeuden säätötaulukon akseleiksi väliaikaisesti kaasupolkimen asentotunnistimen signaali. Tällä tavoin päästiin turvallisesti kokeilemaan PWM-signaalin työsuhteen arvojen vaikutus tuulettimen pyörimisnopeuteen.

Ensimmäinen havainto oli, että mikäli tuulettimelle ei syötetä ollenkaan PWM-signaalia, lähtee tuuletin pyörimään täydellä pyörimisnopeudellaan. Havaittiin myös, että alkuperäisellä moottorinohjausjärjestelmällä suurin mitattu 50 prosentin suhde ei suinkaan ollut tuulettimen maksimiarvo, vaan tuulettimen pyöriminen havaittiin normaaliksi vielä 55 prosentin työsuhteellakin. Sen sijaan kun työsuhde ylitti noin 60 prosentin arvon, alkoi pyöriminen vaikuttaa epävakaalta ja tuulettimen epäiltiin rikkoontuvan, mikäli sitä pyöritettäisiin liian nopeasti pitkiä aikoja. Kun työsuhteiden maksimiarvot oli haettu, asetettiin säätötaulukon akseleihin jäähdytysnesteen ja ulkolämpötilan tunnistimet

(Kuva 39). Kun tuulettimen pyörimisnopeuteen vaikuttaa myös ulkolämpötila, voidaan moottorin ylikuumentumista kuumalla kelillä ennaltaehkäistä jäädyttämällä moottoria tehokkaammin jo ennen sen ylikuumentumista.

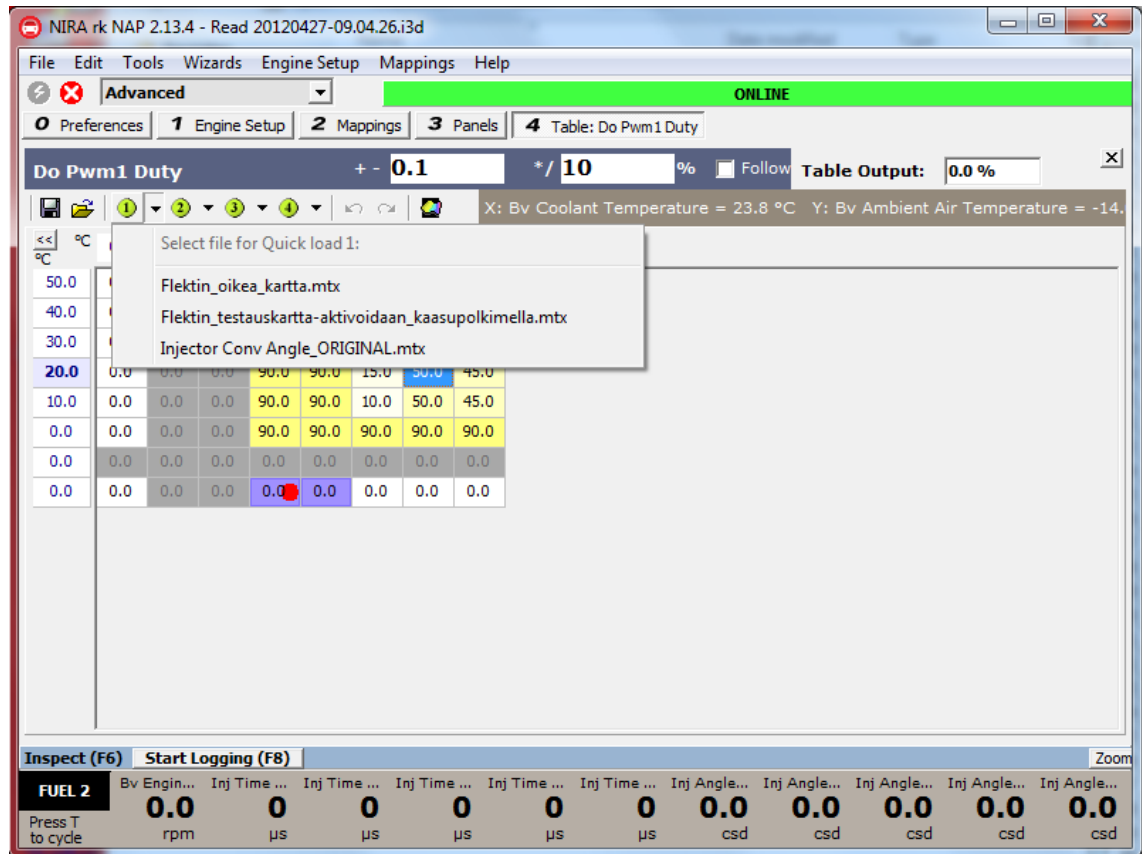


Kuva 39. Jäädyttimen tuulettimen pyörimisnopeuden taulukko.

Kuvassa 39 olevaa taulukko lukiessa kannattaa huomata, että koska Niran PWM-signaalin lähtö on maadoittava, tarkoittaa esimerkiksi 90 prosentin työsuhde tosiasiaassa 10 prosentin työsuhteen PWM-signaalia. Koska ohjainlaite interpoloi syötettyjen arvojen väliset arvot automaattisesti, täytyi taulukkoon asettaa x-akselille moottorin lämpötilojen 0°, 79°, 80°, 110° ja 140° kohdissa halutut työsuhteet. Jos 79 °C:n lämpötilan kohdalle ei olisi määritelty työsuhdetta niin, ettei tuuletin pyöri vielä ollenkaan, olisi se lähtenyt pyörimään jo reilusti ennen 80 °C:n lämpötilaa, kun työsuhde olisi kasvanut tasaisesti välillä 0° - 80°.

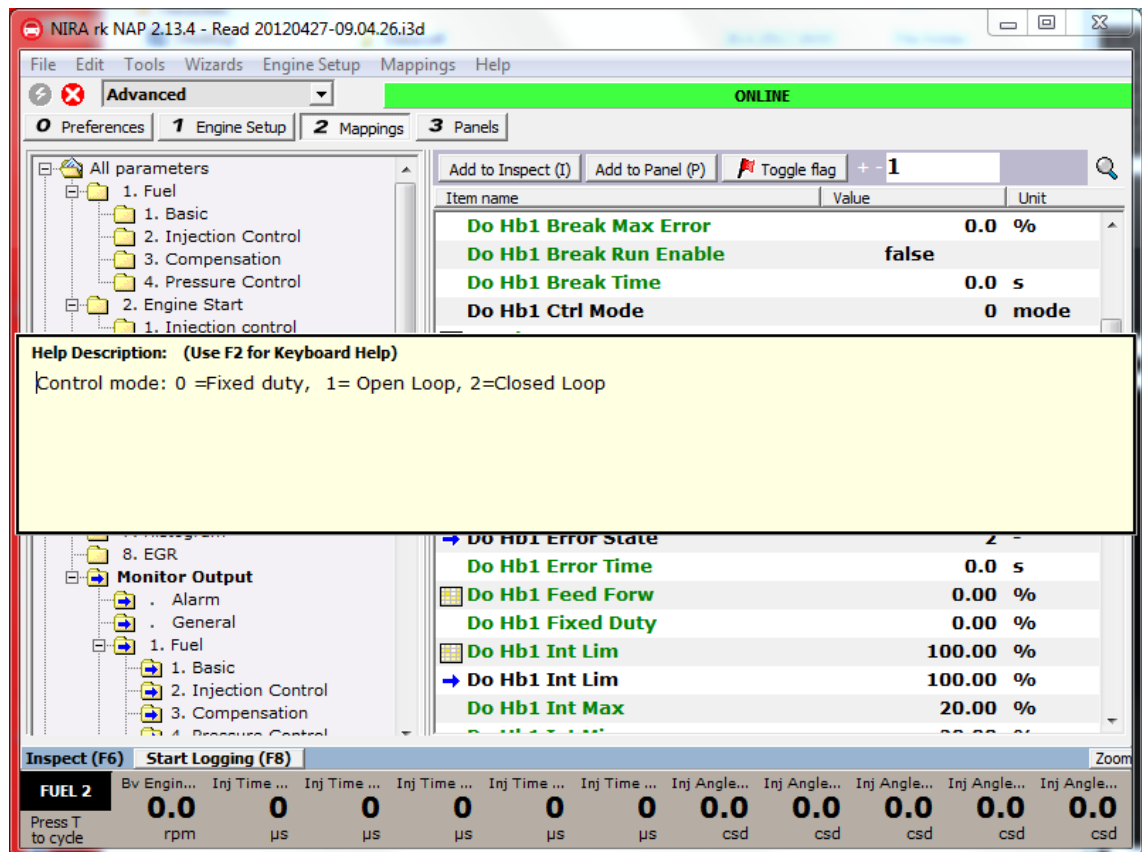
Kaasupolkimen signaalilla tuulettimen ohjaaminen havaittiin hyödylliseksi ominaisuudeksi sekä tuulettimen toiminnan testauksen että moottorin nopean jäädyttämisen kannalta. Koska testimoottorilla voidaan haluta mitata toimintaa myös moottorin olles-

sa kylmä, tallennettiin kaasupolkimella ohjautuvat kartta säätöohjelman muistiin, jolloin sen päälle kytkeminen on helppoa (Kuva 40). Tällöin tulee kuitenkin muistaa, että moottorin on oltava sammutettuna, sillä myös moottorin pyörimisnopeus riippuu kaasupolkimen asennosta.



Kuva 40. Tuulettimen säädön vaihto kaasupolkimella toimivaksi.

Tähän asti muun kaikkien moottorin käyntiin saamisen kannalta tarpeettomine toimilaitteiden liitinpistokkeet oli pidetty irti, jotta ne eivät vaurioituisi ennen kuin niiden toiminta ja oikea kytkentä oli varmistettu. Toiminta voitiin varmistaa moottorin ollessa sammuksissa, sillä toimilaitteita voitiin ajaa eri asentoihin muuttamalla niiden maksimi- ja minimiarvoja niin, että käytännössä ne saattoivat olla vain yhdessä asennossa riippumatta niiden asennon säätöön vaikuttavista parametreista. Tällaisia toimilaitteita olivat imusarjaläppien ja EGR:n toimilaitteet. Lisäksi esimerkiksi turboahtimen ohjauksiin säätimen alipaineohjauksen magneettiventtiili voitiin testauksen ajaksi kytkeä kiinteään PWM-signaalin antavaan toimintoon (Kuva 41).



Kuva 41. Turboahtimen ohjaussiiven toimintatilan määrittäminen.

Kuviosta 40 nähdään myös kiinteän PWM-signaalin työsuhteen määrittävä kenttä nimeltään Do Hb1 Fixed Duty, joka on kuvan ottamishetkellä asetettu arvoon 0 prosentin.

Käynnistämisen helpottamiseksi kytkettiin hehkujen ohjainlaite toimintaan. Nira i7rs:ssä ei kuitenkaan vielä ollut tukea hehkuohjainlaitteen aktivoimiseksi, joten hehkuja ohjataan erillisillä kytkimillä. Painokytkimestä voi aluksi kytkeä pikahehkutoiminnon, kytkettäessä on kuitenkin muistettava että pikahehkutoiminnolla hehkutulpat lämpenevät yli 1000 °c:n lämpötilaan alle kahdessa sekunnissa, joten pikahehkutoimintoa ei tule koskaan käyttää yli kahta sekuntia pidempään. Hehkujen jälkihehkustoiminto kytketään päälle vipukytkimestä ja sitä voidaan pitää päällä kunnes moottorin jäähdytysnesteen lämpötila on noussut 18 °c:een, mutta kuitenkin maksimissaan viiden minuutin ajan. Yleensä moottori käynnistetään kylmälaboratoriossa normaalisti vallitsevasta noin 20 °c:n lämpötilasta jolloin jälkihehkutoimintoa voidaan pitää päällä kuitenkin noin 20 sekunnin ajan moottorin käynnistymisen jälkeen.

5 Yhteenveto ja pohdintaa

Opinnäytetyön alussa asetetut tavoitteet saavutettiin. Uusiutuvan dieselpolttoaineen tutkintaan suunniteltiin menetelmät, joilla saadaan markkinoilla olevien autojen kanssa hyvin vertailtavissa olevia tuloksia. Tutkintaan suunniteltiin ja rakennettiin hyvin tarkoitukseen sopiva laitteisto sekä työkalut tulosten analysointiin, joilla saadaan tuloksia kaikista tavoitteeksi asetetuista muutoksista. Rakennettu tutkimuslaitteisto on erittäin monipuolisesti säädettävissä, ja säätöjen vaikutuksista saadaan välitöntä palautetta. Testauslaitteisto on luovutettu Concept Car -hankkeen käyttöön ja sen avulla aloitettiin uusiutuvan dieselpolttoaineen testaaminen heti tämän opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.

Opinnäytetyön aikana päästiin syventymään autoinsinöörin työtehtäviin erittäin laajalaisesti. Moottorin dynamometriin liittämiseksi tehtiin teknistä suunnittelua ja laitteen valmistusta, ajotilapiirroksen teossa perehdyttiin auton eri ajotilanteiden matemaattiseen simulointiin ja moottorinohjauksjärjestelmän asennuksessa tutkittiin nykyaikaisen dieselmoottorin tekniikkaa perinpohjaisesti.

Teknisen suunnittelun ja valmistuksen osuus oli näistä helpoin, sillä näiltä osa-alueilta oli eniten tietoa saatavilla. Siitäkin huolimatta suunnittelun ja valmistuksen eri vaiheissa päästiin tutustumaan erilaisiin suunnittelu- ja valmistustekniikoihin omakohtaisesti, mikä auttoi ymmärtämään kuinka tärkeää on jo suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon kuinka lopullinen tuote valmistetaan. Suunnittelussa täytyi myös perehtyä tuotteen todellisiin vaatimuksiin tarkkaan, sillä moottoridynamometrin valmistaja ei ollut tehnyt juuri minkäänlaista ohjetta moottorin liittämiseen koska dynamometri oli tarkoitettu ensisijaisesti amerikkalaisten moottorien testaukseen, joihin valmistaja myy valmiita kiinnikkeitä. Valmistuksessa haettiin tarkoituksellisesti tietyissä kohdissa kokemusta erilaisista tekniikoista, kuten plasmaleikkauksesta ja kaarijuotosta.

Ajotilapiirroksen suunnittelussa tutustuttiin auton suorituskyvyn ja kulutuksen kokonaisuuden muodostaviin eri osa-alueisiin. Osa-alueet täytyi aluksi ymmärtää kaikki erikseen ja sen jälkeen suunnitella niiden yhteisvaikutuksen simulointi. Eri osa-alueisiin perehdyttiin eri tavoin, esimerkiksi renkaiden vierinvastukseen perehdyttiin ainoastaan ajodynamiikan kurssimateriaaliin uudelleen tutustumalla, kun taas vaihteenvaihdon merkitystä kulutukseen ja kiihtyvyyteen tutkittiin lukemalla aiheesta useita lehtiartikke-

leita ja tutkimuksia sekä simuloimalla erilaisia vaihtotekniikoita. Myös erilaisten ajosyklien testauksessa huomattiin erittäin nopeasti, kuinka huonosti virallinen NEDC-ajosykli vastaa oikeaa ajotilannetta. Virallisen NEDC-ajosyklin aikana moottorin kuormitus nousee esimerkiksi suunnitellulla demonstraatioajoneuvolla parhaillaan vain noin 30 prosenttiin. Tämän vuoksi onkin moottorinohjauksen ohjelmistolla erittäin helppoa saada auton kulutus pieneksi virallisella ajosyklillä, ilman että mitattu lukema vastaisi millään tavalla todellisessa ajossa ilmenevää kulutusta. Toki tähän mitattuun ja käytännössä ilmenevään kulutuslukeman eroon vaikuttaa runsaasti myös se, että normaali kuljettaja ei osaa käyttää vaihteistoa ja moottorin kierrosalueita optimaalisesti. Harva auton kuljettaja nimittäin esimerkiksi kiihdyttää auton aina täyskaasulla, ja dieselmoottorin tapauksessa suurimmalla mahdollisella vaihteella, haluttuun ajonopeuteen, vaikka tällöin moottori toimii parhaalla mahdollisella hyötysuhteella.

Ennen moottorinohjauksen vaihtoa vanhasta moottorinohjausjärjestelmästä mitattiin likimain kaikki mahdollinen sähköinen toiminta, joka nykyaikaisesta dieselmoottorissa on mitattavissa. Mittausten aikana tulivat tutuiksi erilaisten tunnistimien toimintaperiaatteiden lisäksi myös toimilaitteiden ohjaus, erilaiset ohjauslogiikat ja osittain myös ohjainlaitteelta vaadittava ohjauselektronikka. Oli mielenkiintoista perehtyä esimerkiksi erilaisten toimilaitteiden ohjaamiseen PWM-signaaleilla, projektissa käytetyssä moottorissa niitä käytettiin useiden eri laitteiden ohjaukseen ja myös joidenkin tunnistimien tiedon välittämiseen. Esimerkiksi ilmamassamittari lähettää moottorinohjainlaitteelle tiedon ilmamassan määrästä PWM-signaalina, jonka pulssin työsuhde määrittelee ilmamassan määrä ja pulssin amplitudi ilman lämpötilan. Opinnäytetyön viime metreillä päästiin tutustumaan uuden moottorinohjausjärjestelmän säädön periaatteisiin ja oli hienoa huomata, kuinka teoriassa opiskellut dieselmoottorin erilaisten säätöjen vaikutukset toimivat myös käytännössä. Sylinterin paineen nousun hidastaminen esiruiskutuksen avulla ja suuttimien aukioloaikaa paineensäädöllä pidentämällä, parantui moottorin käynti erittäin selvästi.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatu dieselpottoaineen testaukseen suunniteltu laitteisto on onnistunut kokonaisuus, jonka avulla polttoaineen vaikutusta voidaan tutkia pelkästään moottorin suorituskyvyn ja päästöjen mittaamisen lisäksi myös tutkimalla vaikutuksia polttoaineen kulutukseen. Tämän ominaisuuden uskotaankin tuovan runsaasti lisää mielenkiintoa laitteistolla jatkossa tehtäviin tutkimuksiin.

Lähteet

Parviainen, Heikki. 2011. Moottoritekniikka, järjestelmät –kurssin materiaali, syyskuu 2011, Metropolia AMK.

Bosch Diesel Management 4th edition. 2005. Plochingen: Robert Bosch GmbH.

- 1 Klemola, Kimmo. 2006. Life-cycle energy and carbon dioxide emissions of world cars. Verkkodokumentti.
<http://www3.lut.fi/webhotel/teke/kklemola/kimmo/dontfly/carsof2006.htm>. 14.2.2006. Luettu 15.1.2012.
- 2 Ahonen, Hannu. 2007. Etanolipolttoaine E85: Mitalin toinen puoli. Tekniikan Maa-ilma 4/2007, s. 110–111.
- 3 Biodiesel statement. 2010. Verkkodokumentti. Volkswagen AG.
<http://www.volkswagen.co.uk/assets/common/pdf/general/biodiesel.pdf>. 3.3.2010. Luettu 23.1.2012.
- 4 Engman, Ari. Dieselin biokomponentit. Poltto- ja voiteluaineet –kurssin luento, helmikuu 2011, Metropolia AMK.
- 5 Tilli, Aki. 2010. Korkean setaaniluvun parafiiniset dieselpolttoaineet ja päästöjen oleellinen vähentäminen. Moottoritekniikan seminaari, 18.5.2010.
- 6 Itseopiskeluohjelma 465: 1,2 litran 3-sylinterinen TDI-moottori, jossa common rail -suihkutusjärjestelmä. 2010. Wolfsburg: Volkswagen AG.
- 7 AVL PLU 116H Universal fuel flow meter. 2009. Graz: AVL List GmbH.

Moottorin johtosarjan kytkentäkaavio

