

Mikko Virtanen

# Autotune-moottorinohjauksen asennus ja käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

10.4.2016

Tekijä Otsikko	Mikko Virtanen Autotune-moottorinohjauksen asennus ja käyttöönotto
Sivumäärä Aika	30 sivua + 1 liite 10.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja	Insinööri Lauri Eho
<p>Insinööriyössä asennettiin ja säädettiin uusi moottorinohjain Subaru Impreza -henkilöautoon. Tavoitteena oli saada moottorinohjaus asennettua sekä säädettyä sopivaksi moottorille. Työ tehtiin, jotta auton moottoriin saatiin parempi säädettävyys ja etanolinkäyttömahdollisuus.</p> <p>Autosta poistettiin vanha alkuperäinen moottorinohjain. Uutena moottorinohjaimena käytettiin Megasquirt-pohjaista Autotune-moottorinohjainta. Siihen asennettiin sopivia lisätoimintoja, kuten pakokaasun lämpötilamittaus ja sähköinen ahtopaineen ohjaus. Moottorinohjaimelle asennettiin autoon myös pieni tietokone ja kosketusnäyttö lisämittaristoksi.</p> <p>Säätöohjelmana käytettiin TunerStudio-ohjelmaa. Säättäminen tehtiin aluksi normaalissa ajossa ja viimeisteltiin tehodynamometrissä.</p> <p>Auto muutettiin toimimaan bensiinin lisäksi etanolilla. Tätä varten autoon asennettiin etanolipitoisuusanturi, joka kertoo etanolin määrän polttoaineessa. Samalla polttoainelinjat muutettiin etanolin kestäväksi.</p> <p>Testaus- ja säätövaiheessa havaittiin sähköisiä ja mekaanisia vikoja. Viat saatiin paikallistettua huolellisella tutkimisella. Vikojen korjaamisen jälkeen auto saatiin toimivaksi ja säädettyä. Moottorinohjaimen vaihto uuteen täytti ne tavoitteet, joita vaihdolla pyrittiin saavuttamaan.</p>	
Avainsanat	Moottorinohjaus, moottorin säätö, Megasquirt

Author Title	Mikko Virtanen Installation and Adjustment of the Autotune Motor Control Unit
Number of Pages Date	30 pages + 1 appendix 10 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor	Lauri Eho, Lecturer (B.Eng.)
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to install and adjust a new motor control unit to Subaru Impreza passenger car. The aim was obtain improved adjustability and analyze the possibility of ethanol use.</p> <p>Firstly, the original motor control unit was removed from the car. Megasquirt-based Autotune motor control unit was used as a new motor control unit. In addition, suitable additional functions, such as exhaust gas temperature measurements and an electronic boost pressure control were installed. A small computer and a touch screen were installed in the car to be used as additional gauges.</p> <p>TunerStudio control software was used to tune the engine. The adjustments were started during normal driving and fine-tuned using a power dynamometer.</p> <p>The car was converted to use ethanol fuel in addition to gasoline. To achieve this, a concentration sensor was installed. The concentration sensor indicates the amount of ethanol in the fuel. Also the fuel lines were converted ethanol resistant.</p> <p>Finally, electrical and mechanical defects were observed in the testing and adjustment phases. The faults were localized by careful examination. After the elimination of faults the car was functional and tuned. The new motor control unit provided better adjustability and ethanol use. Also the overall engine behavior was modified smoother and predictable.</p>	
Keywords	Engine management system, Engine adjustment, Megasquirt

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Autotune-moottorinohjain	2
2.1	Autotune- ja Megasquirt-ohjaimet	2
2.2	Moottorinohjaimen kytkentä	4
2.3	Tyhjäkäynnin säätöventtiili	5
2.4	CAN-väyläsovitin	5
3	Anturit	7
3.1	Asentoanturit	7
3.2	Lämpöanturit	9
3.3	Paineanturit	10
3.4	Nakutusanturi	10
3.5	Lambda-anturi	11
3.6	Etanolipitoisuusanturi	12
3.7	EGT-anturit	13
3.8	Nopeusanturi	14
4	Lisätoiminnot	15
4.1	Välijäähdyttimen vesijäähdytys	15
4.2	Ahtopaineen ohjaus	15
4.3	Anturitiedot erilliselle näytölle	16
4.4	RaspberryPin sammutusautomaatiikka	18
5	Säätäminen	20
5.1	Moottorinohjaimen asetukset	21
5.2	Esisäädöt	21
5.2.1	Käynnistysrikastukset	22
5.2.2	Kiihdytysrikastus	23
5.3	Etanolikäyttö	24
5.4	Varsinainen säätö	25
5.4.1	Ensimmäinen kerta tehodynamometrissä	25
5.4.2	Toinen kerta tehodynamometrissä	26

6	Yhteenveto	29
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Lohkokaavio	

## Lyhenteet

MAT	Manifold Air Temperature
MAP	Manifold air pressure
AD	Analog to Digital
AFR	Air Fuel Ratio
EGT	Exhaust Gas Temperature
GPIO	General Purpose I/O
I/O	Input Output
CAN	Controller Area Network
ECU	Electronic Control Unit
NTC	Negative Temperature Coefficient
PWM	Pulse Width Modulation

## 1 Johdanto

Moottorinohjain on elektroninen laite, joka pitää huolta moottorin toiminnasta. Se on yksi nykymoottorin tärkeimmistä osista, sillä se ohjaa moottorin kaikkia sähköisiä osia ja on välttämätön moottorin tarkan toiminnan aikaansaamiseksi.

Tämän työn aiheena on Autotune-moottorinohjaimen asennus ja käyttöönotto Subaru Impreza -henkilöautoon. Kyseinen auto on varustettu 2 litran vastaisku- eli Boxer-moottorilla ja pakokaasuahtimella. Työn tavoitteena on asentaa autoon moottorin muutoksia tukeva moottorinohjaus, jota on mahdollista tarvittaessa jälkikäteen säätää eri muutoksille sopivaksi. Tässä työssä ei käsitellä anturien toimintaperiaatteita.

Työssä asennetaan ja ohjelmoidaan lisäosia moottorinohjaimeen. Lisäosien tarkoituksena on helpottaa säätämistä, antaa tietoa moottorin toiminnasta sekä parantaa moottorin toimintaa. Autoon tehdään myös etanolin käyttömahdollisuus. Itse moottorinohjain on käyttövalmiiksi koottu ja ohjelmoitu. Työssä keskitytään myös havaittujen ongelmien korjaamiseen.

## 2 Autotune-moottorinohjain

Moottorinohjain on piirilevy, johon on ohjelmoitu tiedot moottorin toimintaa varten. Sen tarkoitus on hoitaa kaikki moottorin toiminnot ajallaan. Uudemmissa ohjaimissa voidaan laskenta- ja kytkemistehtäviä jakaa CAN-väylän avulla eri osiin. Moottorinohjaimet ovat yleensä koteloitu alumiiniseen koteloon jäähdytyksen takia.

Alkuperäisen moottorinohjaimen vaihdon tarpeeseen voi vaikuttaa moni asia. Vanhemmissa ohjaimissa uudelleenohjelmointi on vaikeaa ja osassa mahdotonta. Toisaalta uusissa ohjaimissa tehdään ulkopuolinen ohjelmointi eli niin sanottu lastutus pyritään estämään. Osan ohjaimista pystyy ohjelmoimaan suoraan OBD-portin kautta oikealla ohjelmalla ja osaan joutuu vaihtamaan piirilevylle osia. Jälkiasenteista moottorinohjainta pääsee muokkaamaan rajattomasti, mutta tämä voi usein tehdä vain virallisessa säätöpaikassa.

Työn kohteena olevaan Subaruun on vaihdettu Japanista tuotu moottori ja sen ohjain. Suomessa myytävä bensiini on oktaaniluvultaan pienempää kuin Japanissa myytävä, joten moottorinohjain kuuluisi säätää matalampi oktaaniselle bensiinille sopivaksi nakuksen välttämiseksi. Kyseisessä moottorissa oli vanhemman mallin mukainen moottorinohjaus, johon olisi pitänyt lisätä pieni piirilevy ohjaimen sisälle uudelleen ohjelmointia varten. Samalla olisi pitänyt ostaa jokin moottorinsäätöohjelma. Tästä syystä haluttiin moottorinohjain vaihtaa uudempaan, jossa ohjelmointi voidaan suorittaa yhden johdon kautta.

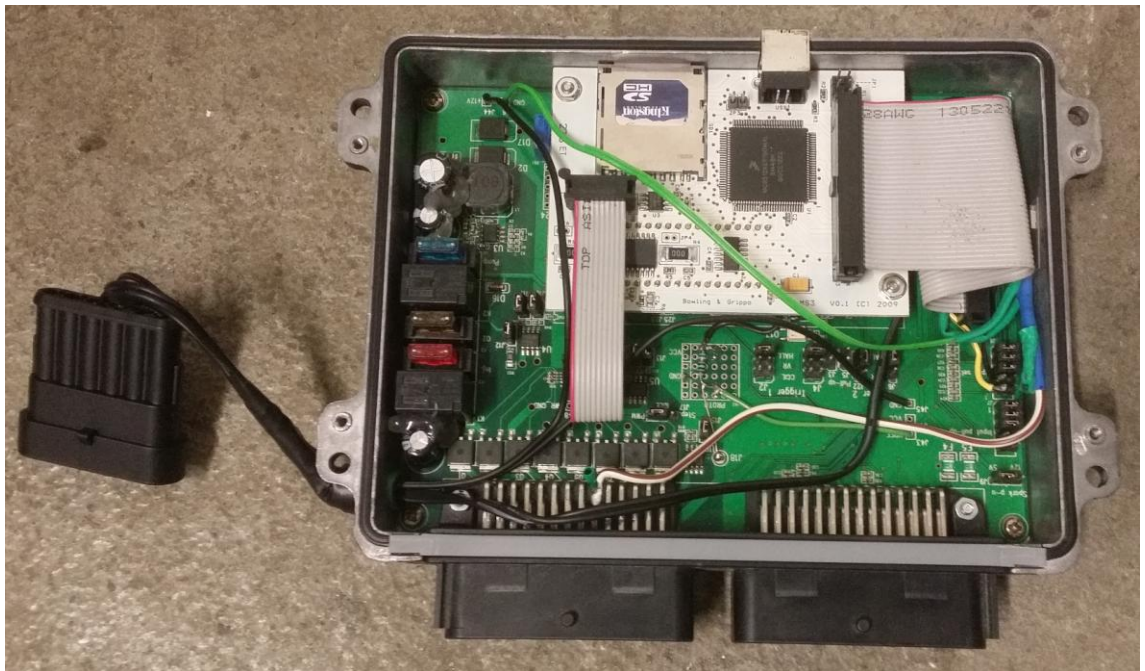
### 2.1 Autotune- ja Megasquirt-ohjaimet

Megasquirt on Bruce Bowlingin ja Al Grippon suunnittelema sytytyksenohjainkortti ottomoottorille. Ensimmäinen malli julkaistiin vuonna 2001, ja myöhemmin sytytyksen ohjain kehittyi moottorinohjaimeksi, joka pystyy ohjaamaan myös polttoainesuuttimia. Megasquirt 3 -mallissa on 16-bittinen prosessori 50 MHz:n kellotaajuudella, joka ohjaa kaikkia toimintoja. 3-malli on mallisarjan monipuolisin ja siinä on mahdollisuus 8-sylinterisen moottorin sytytyksen ja polttoaineruiskutuksen ohjaamiseen.



Ohjaimet on rakennettu yleismalliseksi, joita voidaan muokata halutulla tavalla eri kohteisiin sopivaksi. Lisäosia eli ”modeja” on saatavilla paljon erilaisia ja elektroniikkaa harrastavat voivat tehdä itse omanlaisiaan lisäosia. Lisäosilla voidaan toteuttaa esimerkiksi luistonesto, lisätä sisään- ja ulostulokanavia ja kerätä tietoja moottorinohjaimen.

Autotune-moottorinohjain perustuu Megasquirt 3 -prosessorimoduuliin ja erilliseen liitäntälevyyn. Liitäntälevy on Autotunen suunnittelema ja toteuttama. Prosessorimoduulissa sijaitsee kaikki tietokoneella ohjelmitava tieto, tiedon prosessointi ja siirto sekä USB-liitäntä ja SD-muistikorttipaikka. USB-liitäntää käytetään ohjelmointiin ja SD-muistikorttia käytetään tiedonkeruun tallennuspaikkana. Kuvassa 1 on Autotune-moottorinohjain kotelossaan ilman kotelon kantta.



Kuva 1. Autotune-moottorinohjain. Yksittäiset johdot kotelon sisällä ja 6-nastainen liitin johtojen päässä ovat kyseistä autoa varten tehtyjä muutoksia.

Autotune-moottorinohjaimen päädyttiin halvemman hankintahinnan ja kompaktimman koon puolesta verrattuna normaaliin Megasquirt 3 -moottorinohjaimen. Autotune-moottorinohjain on tehty pintaliitoskomponenteilla toisin kuin alkuperäinen Megasquirt. Autotune-moottorinohjaus on myös halvempi kuin useimmat jälkiasenteiset moottorinohjaimet. Autotune-moottorinohjaimen tarvitsema tietokoneohjelma on ilmainen ja helposti asennettavissa usealle eri käyttöliittymäpohjille toisin kuin muilla moottorinohjainvalmistajilla.

Megasquirt-prosessoria pystyy säätämään tietokoneella kahdella eri ohjelmalla, TunerStudiolla tai MegaTunella. Tässä työssä käytettiin TunerStudiota, joka on uudempi säätöohjelma. MegaLogViewer-ohjelmaa käytettiin SD-muistikortille tallennettujen datalog tietojen tarkasteluun. MegaLogViewer ja TunerStudio ovat ilmaisia ohjelmia, jotka voi ladata suoraan internetistä. Näihin ohjelmiin on myös saatavilla erillinen maksullinen päivitys, joilla saadaan lisää ominaisuuksia käyttöön.

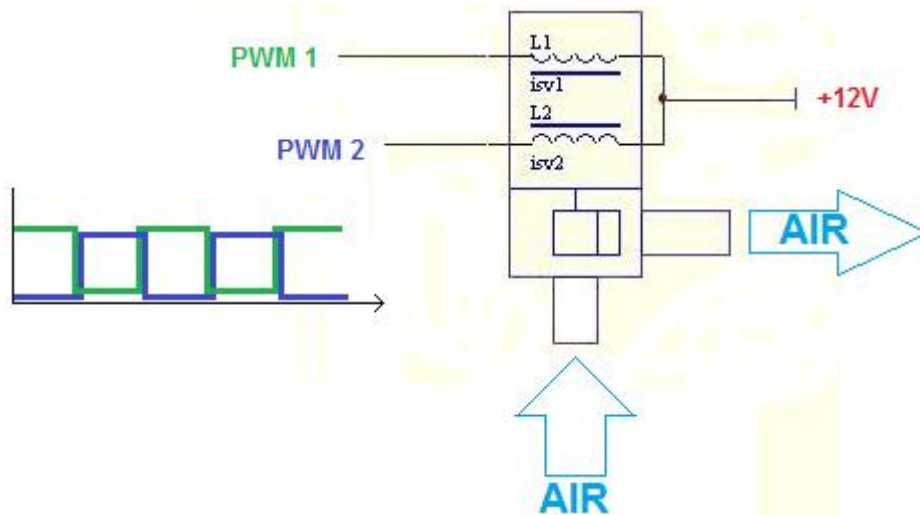
## 2.2 Moottorinohjaimen kytkentä

Auton alkuperäisestä johtosarjasta pyrittiin käyttämään hyväksi mahdollisimman paljon. Samoin alkuperäisiä liittimiä pyrittiin käyttämään jäljelle jääneiden alkuperäisosien kanssa. Johtosarjan ja moottorinohjaimen väliin asennettiin moottorinohjaimen mukana tullut 56-napainen liitin. Tämän lisäksi koteloon tehtiin 6-napainen liitin etanoliyanturin jännitettä, maatasoa ja signaalia varten. Loput kolme napaa jätettiin varalle tulevaisuutta varten. Alkuperäisen johtosarjan johdot käytiin yksitellen läpi, sillä Japanin mallin johtosarja ei vastannut kokonaan eurooppalaisen mallin kytkentäkaaviota. Moottorinohjain on koteloitu alumiiniseen roiskevesitiiviiseen koteloon. Liitteessä 1 on esitetty moottorinohjaimen liitetyt osat lohkokaaaviona.

Autotune-moottorinohjaimessa on sytytyslähdöissä vain loogiset lähdöt, joten puolan ohjaukseen tarvittiin erillinen vahvistin. Loogisissa lähdöissä on 5 voltin jännite, ja se pitää vahvistaa 12 volttiin transistorien avulla. Moottorinohjaimessa on kolme maatasojohtoa, jotka kytkettiin eripuolille moottorin lohkoa. Eri pisteisiin asennetuilla maatasoilla varmistetaan hyvä kontakti moottoriin, vaikka yksi maapiste hapettuisikin.

### 2.3 Tyhjäkäynnin säätöventtiili

Kyseisessä autossa on kaksipuolinen tyhjäkäynninsäätöventtiili, ja sitä pitää ohjata kahdella PWM-signaalilla. Venttiilissä on kaksi käämiä, joista toinen avaa ja toinen sulkee venttiiliä. Autotune-moottorinohjaimessa on valmiina vain yksi lähtö tyhjäkäyntiventtiilille. Moottorinohjaimen sisälle asennettiin Darlington-transistori, joka on kytketty maatasoon ja liittimessä olevan vapaan navan väliin. Transistoriksi valittiin Darlington-transistori, koska siinä on suuri vahvistuskerroin, jolloin ohjaavaa piiriä kuormitetaan mahdollisimman vähän. Transistoria ohjataan vapaalla kanavalla suoraan prosessorikortista. Kuvassa 2 esitetään tyhjäkäyntiventtiilin toimintaa.



Kuva 2. Tyhjäkäyntiventtiilin toiminta. Venttiiliä ohjataan kahdella PWM-signaalilla vuorotellen. Pulssien suhde toisiinsa määrää ilman määrän.

### 2.4 CAN-väyläsovitin

Autotune-moottorinohjaimen rinnalle asennettiin Jbperf TinyOx v1.0 -CAN-väyläadapteri. Sillä saatiin lisättyä sisääntulon AD-muuntimia lisäanturien liittämiseksi moottorinohjainjärjestelmään. Lisäantureilla haluttiin lisätä informaatiota moottorin toiminnasta ja parantaa moottorin toimintaa. Väyläadapteri yhdistettiin moottorinohjaimen kierrekaapelilla, jossa on ohut metallivaippa päällä. Metallivaipan tarkoitus on parantaa häiriönsietoa CAN-väylässä. Samalla adapterilla saatiin myös lisättyä ulostuloja, kaksi PWM-ulostuloa ja kaksi digitaalista I/O-liitäntää.

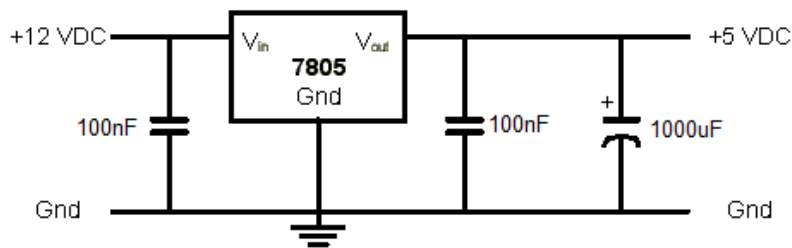
Ulostuloista on vain yksi käytössä, ja se ohjaa mittaristossa ahtopainevaloa. Ahtopainevalo ilmaisee kumpi ahtopainekartta on käytössä. CAN-väyläadapteri koostuu prosessorista, AD-muuntimista ja prototyyppi alueesta. Prototyypialueella on vapaita paikkoja komponenteille, joihin voi tehdä yksilöityjä kytkentöjä.

Kyseinen CAN-väyläadapteri oli valmiiksi koottu ilman ohjelmointia. Ohjelmointi tapahtui liittämällä adapteri moottorinohjaimen CAN-väylän kautta ja moottorinohjain USB-johdolla tietokoneeseen. Tietokoneella käytettiin Windowsin Command windowta, jolla ajettiin Jbperfin valmistama asennusohjelma sekä parametritiedosto. Parametritiedosto kertoo CAN-väyläadapterille kuinka jokaista liitintä käsitellään. Esimerkiksi määritellään osa mikropiirin nastoista ulostuloiksi ja osa nastoista sisääntuloiksi. Samalla mikropiirille kerrotaan CAN-väylän protokolla. Kuvassa 3 on CAN-väyläadapteri ja sen virtalähde koteloituna kytkentärasiaan.



Kuva 3. CAN-väyläadapteri koteloituna kytkentärasiaan sekä johdot ja liittimet, jotka kytketään moottorinohjaimen ja antureihin.

CAN-väyläadapterille tehtiin oma virtalähde varmistamaan, ettei moottorinohjaimelta oteta liikaa virtaa, joka voisi johtaa toimintahäiriöihin. Virtalähde on tehty 5 voltin regulaattorilla ja kolmella kondensaattorilla. Kondensaattoreilla tehdään jännitteen suodatus, jolla pidetään jännite tasaisena laitteelle. Samalta virtalähteeltä otetaan myös antureiden jännitejaon tarvitsema virta. Adapteri ja regulaattori koteloitiin jakorasiaan. Kuvassa 4 on CAN-väyläadapterin virtalähteen kytkentäkaavio.



Kuva 4. Adapterin virtalähde. Regulaattori alentaa jännitteen ja kondensaattorit poistavat häiriöt sekä tasaavat jännitettä.

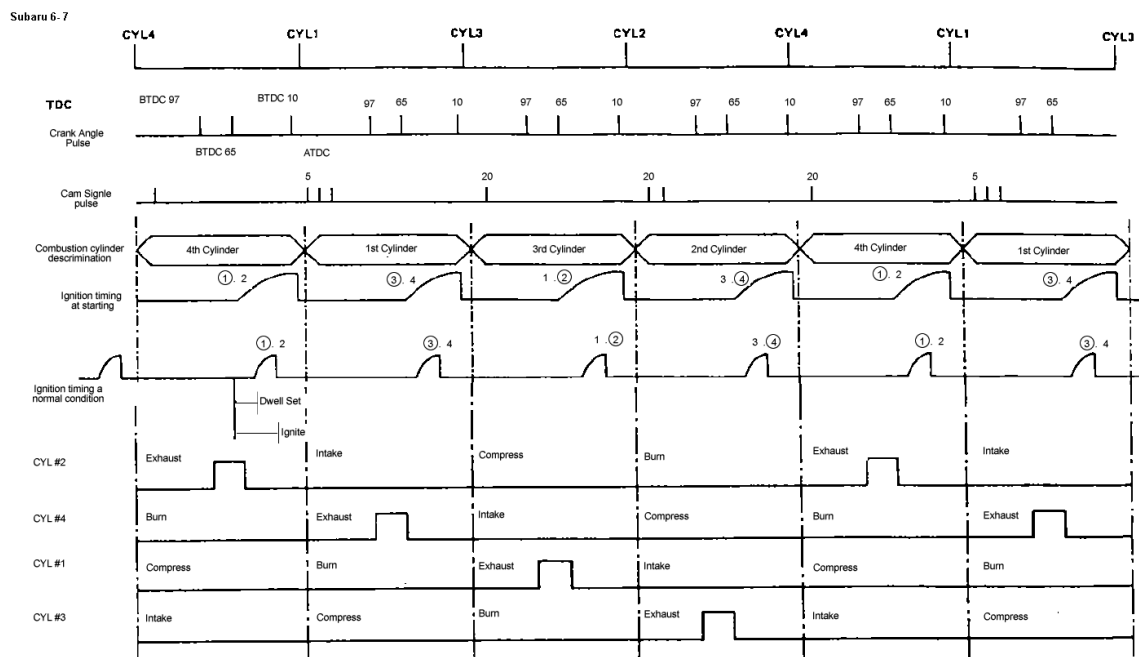
### 3 Anturit

#### 3.1 Asentoanturit

Kaasuläpän asentoanturina käytettiin Subarun omaa asentoanturia. Tämä saatiin kalibroituja TunerStudio-ohjelman kautta ottamalla jännite kaasuläpän ollessa täysin auki ja täysin kiinni. Asentoanturi vastaa toiminnaltaan analogista potentiometriä.

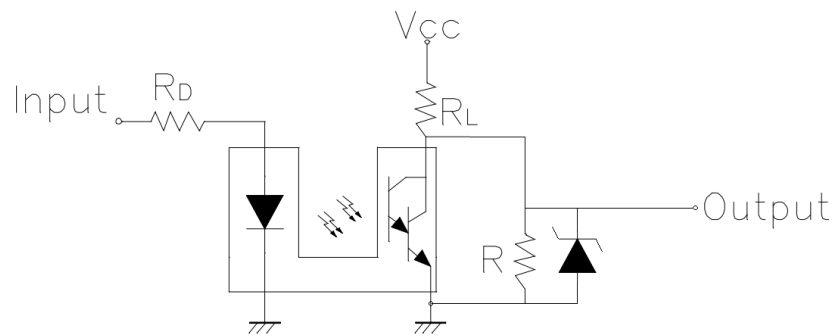
Kampiakselin ja nokka-akselin asentoanturit olivat VR-antureita. Käynnistysmoottorin pienen pyörintänopeuden takia VR-antureista ei saatu kunnollista signaalia aikaiseksi, koska VR-anturi tuottaa jännitettä nopeuden mukaan. Haastetta lisäsi myös se, että moottorin vakio kierrostenrajoitin oli 8000 kierroksessa, jolloin VR-anturi voi tuottaa liian suuren jännitteen. Tämä ratkaistiin vaihtamalla nokka-akselin anturi Hall-tyyppiseen anturiin ja kampiakselin anturi optiseen haarukkamalliseen anturiin.

Nokka-akselin anturiksi valittiin Hall-tyyppinen anturi, koska nokan hihnapyörässä oli valmiit magneetit. Valmiit magneetit helpottivat asennusta, koska hihnapyörään ei tarvinnut tehdä erillistä anturikehää. Samalla voitiin käyttää Subarun omaa tahdistimen luentatapaa, joka löytyi valmiina Megasquirtin ohjelmistosta. Kyseisessä luenta tavassa on nokka-akselilla 7 signaalia ja kampiakselilla 6 signaalia ja siksi siitä käytetään nimitystä Subaru 6/7. Kampiakselilla ei ollut magneetteja vaan pelkkä kuusihampainen levy. Alkuperäisen anturin tilalle tehtiin optinen haarukka, joka muuttaa pulssia aina kun levyn hammas tulee optohaarukan valonlähteen ja vastaanottimen väliin. Analogisten anturien vaihto digitaalisiin lisää myös laitteiston häiriönsietoa. Kuvassa 5 on esitetty Subaru 6/7:n triggeröintipulssit moottorin pyörintään nähden.

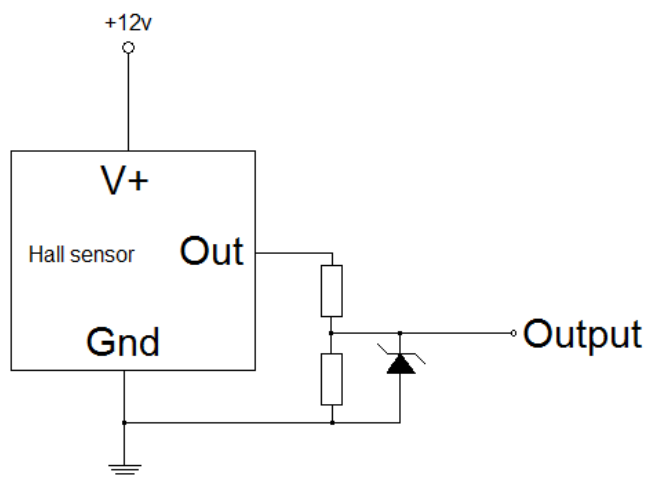


Kuva 5. Subaru 6/7:n trikkeröinti (2). Toiseksi ja kolmanneksi korkeimmat viivat kertovat kampi- ja nokka-akselien trikkeröinnin suhteessa toisiinsa.

Hall-anturi ja optinen haarukka-anturi valmistettiin itse tehdastekeista Hall-tunnistinta ja optohaarukkaa käyttäen. Näille osille tehtiin pienet piirilevyt, joihin asetettiin vastukset jännitteen jakoa varten sekä zener-diodi suojaamaan moottorinohjainta ylijännitteeltä. Piirilevyt osineen koteloitiin metalliputkiin, joihin oli hitsattu kiinnitysleikat. Anturit tehtiin sopivaksi alkuperäisten VR-anturien paikalle. Molemmat anturit toimivat 12 voltilla ja niiden ulostulot on rajoitettu 5 volttiin. Kuvissa 6 ja 7 on asentoanturien kytkentäkaavat.



Kuva 6. Kamptaxelin anturin kytkentäkaava. Vastuksilla toteutetaan virran rajoitus sekä jännitteen alentaminen lähdössä. Zener-diodi on suojaamassa moottorinohjausta yli jännitteeltä.



Kuva 7. Nokka-axelin anturin kytkentäkaava. Vastuksilla toteutetaan jännitteen alentaminen lähdössä. Zener-diodi on suojaamassa moottorinohjausta yli jännitteeltä.

### 3.2 Lämpöanturit

Jäähdytysveden lämpöanturina käytettiin Subarun omaa lämpöanturia, josta mitattiin resistanssi kahdella eri lämpötilalla. Näistä pisteistä saatiin laskettua lineaarinen jänniteulostulo jännitteen jakoa käyttämällä.

Autoon asennettiin myös moottoriöljyn, vaihteistoöljyn ja peräöljyn lämpötila-anturit. Anturit ovat Auto gaugen valmistamia NTC-tyypin lämpöantureita. Moottoriöljyn lämpötila viedään suoraan moottorinohjaimelle, kun taas vähemmän tärkeät peräöljyn ja vaihteistoöljyn lämpötilat viedään CAN-väyläadapterille.

Imusarjan lämpöanturiksi laitettiin GM:n valmistama ilmanlämpöanturi. Se asennettiin kaasuläpän alapuolelle keskelle imusarjan plenumia. Keskelle plenumia oli asennettu öljynhuohotuksen venttiili, joka siirrettiin muualle paremman huohotuksen aikaansaamiseksi. Lämpöanturi asennettiin kyseiselle paikalle, jossa se mittaa suoraan kaasuläpältä tulevaa ilmanlämpöä. Anturille tehtiin kokonaan uusi johto moottorinohjaimelle.

### 3.3 Paineanturit

Imusarjan paineanturina käytettiin GM:n valmistaman 3 baarin anturin tarvikemallia. Sen saatavuus on hyvä, sillä anturia käytetään monessa eri automallissa. Kyseiseen anturiin saa valmiit kalibrointitiedot internetistä.

Öljynpaine- ja polttoaineenpaineanturina käytettiin MKS-10-1-8-C-anturia. Se on 10 baariin absoluuttista painetta mittaava, öljyä ja polttoainetta kestävä paineanturi. Öljynpaine mitataan öljynsuodatin jalasta suoraan moottorinohjaimelle. Mittaristossa olevaa öljynpainevaloa ohjataan alkuperäisellä painekeytkimellä, joka on moottorin lohossa. Polttoaineenpaine mitataan painelinjan päässä olevasta painesäätimestä.

### 3.4 Nakutusanturi

Nakutuksella tarkoitetaan polttoaineen ja ilman seoksen syttymistä ilman kipinää. Seos syttyy monessa eri kohdassa palotilaa ja siksi paloaika sylinterissä pienenee. Kun palorintamat osuvat toisiinsa, muodostuu suuri painepiikki, joka kuormittaa suuresti mäntää ja kiertokankea. Nakutus tapahtuu männän ollessa puristusvaiheessa, mikä vielä lisää painepiikkiä. Yleensä mäntä tai kiertokanki on heikoin osa, ja ne voivat rikkoutua suuressa nakutuksessa. Pahimmillaan koko moottori voi rikkoutua nakutuksen seurauksena. Tästä syystä moottorin nakutusta anturoidaan. Jos nakutusta havaitaan, pyritään sytytysennakkoa alentamaan. Kuvassa 8 on nakutuksen vaurioittama mäntä.





Kuva 8. Nakutuksesta vaurioitunut mäntä (6). Suuret painepiikit vaurioittavat mäntää, irroittaen pahimmillaan paloja männästä. irtonaisten palojen osuminen mäntään, venttiileihin tai sylinterin seiniin aiheuttaa lisää vaurioita ja tekee moottorista käyttökelvottoman.

Nakutusanturina käytettiin alkuperäistä anturia. Kyseinen anturi on asennettu moottorin lohkon päälle imusarjan alle. Autotune-moottorinohjaimessa on nakutusanturin signaalilin käsittelyyn tarvittava piiri sisäisenä. Siinä on kaistanpäästösuodin ja herkkyys säätö potentiometrillä. Suodatin päästää läpi 5–9 khz:n taajuudet.

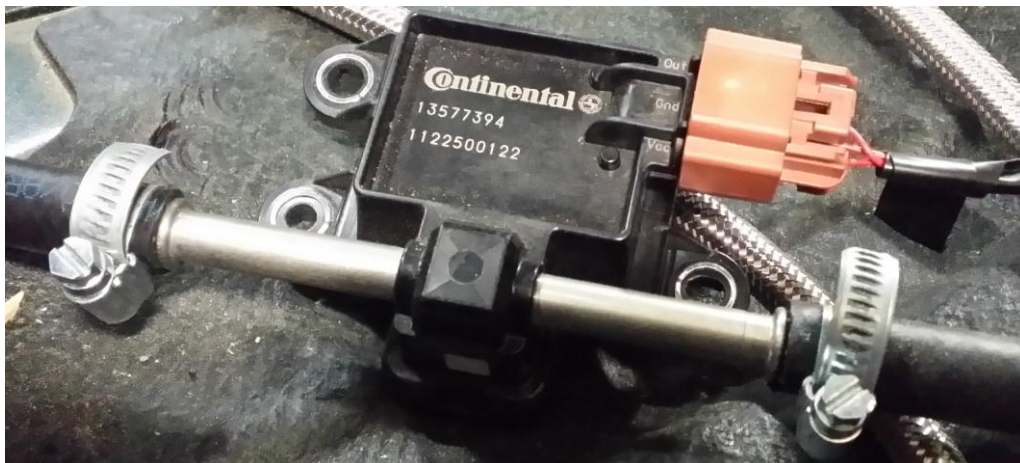
### 3.5 Lambda-anturi

Lambda-anturina käytetään Bosch-laajakaista-anturia, joka tarvitsee erillisen ohjaimen toimiakseen. Laajakaistalambdaan päädyttiin paremman mittaustarkkuuden takia verrattuna kapeakaistalambdaan. Ohjaimena käytetään Innovate LC-2, joka jakoi signaalin moottorinohjaimen ja erilliseen AFR-näyttöön.

Erillinen AFR-näyttö on myös Innovaten valmistama. Lambda-ohjain hoitaa tarvittavan esilämmityksen automaattisesti. Lambda-anturi tarvitsee korkean lämpötilan toimiakseen kunnolla ja käynnistyksen jälkeen kylmässä pakoputkessa se joudutaan esilämmittämään. Lambda-anturi asennettiin pakokaasuauhtimen jälkeiseen pakoputkeen alkuperäisen lambda-anturin tilalle.

### 3.6 Etanolipitoisuusanturi

Kyseiseen autoon muutettiin polttoainelinjasto etanolin kestäväksi, jotta autoa voidaan käyttää E85-polttoaineella. Koska E85 tarvitsee erilaiset polttoaineensyöttöasetukset, asennettiin autoon myös etanolipitoisuusanturi. Etanolipitoisuutta mittaa Continentalin valmistama anturi, joka on yleisessä käytössä GM- ja Volkswagen Group -autovalmistajilla. Kyseinen anturi asennettiin polttoaineen paluuletkuun tankin viereen. Samalla anturilla mitataan myös polttoaineen lämpötilaa. Kuvassa 9 on Continentalin etanolipitoisuusanturi.

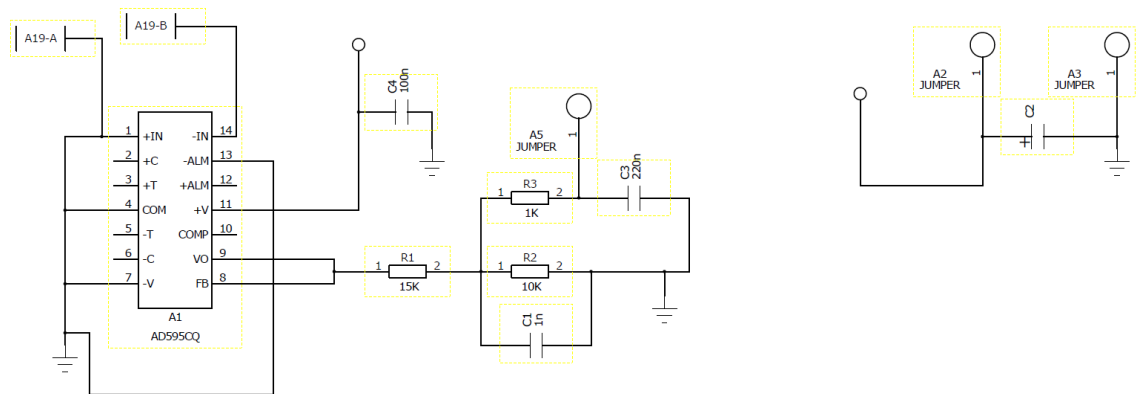


Kuva 9. Continentalin etanolipitoisuusanturi. Etanolianturi on asennettu polttoaineen paluulinjaan polttoainetankin läheisyyteen. Samalla anturilla mitataan myös polttoaineen lämpötila.

### 3.7 EGT-anturit

EGT- eli pakokaasun lämpöantureita käytetään sylinterikohtaisten palamistapahtumien tarkasteluun. Erisuuruiset lämpötilat kertovat erilaisista palamisista sylintereissä. Tarkan toiminnan aikaansaamiseksi ne pitäisi asentaa mahdollisimman lähelle pakoventtiiliä.

EGT-antureina käytettiin neljää kappaletta nopeita K-tyyppin termoparianturia, joiden mitta-alue on -100–1250 astetta Celsiusta. Kyseiset anturit eivät toimi sellaisenaan, vaan tarvitsevat oman vahvistuksen. Vahvistimena käytettiin AD595CQ-termoparivahvistinta. Termoparianturit asennettiin parin senttimetrin päähän pakosarjan kiinnityslaipoista, mahdollisimman lähelle pakoventtiiliä. Kuvassa 10 on esitetty yhden EGT-vahvistimen kytkentäkaava.



Kuva 10. yhden EGT:n vahvistimen kytkentä ja jännitteen tasauskondensaattori.

AD595CQ on Analog Devicesin valmistama mikropiiri. Se toimii laajalla jännitealueella ja soveltuu K-tyyppin antureiden vahvistimeksi. Sillä on myös laaja lämpötilan mittausalue. Vahvistinta tarvitaan koska K-tyyppin anturin metallipari muodostaa pienen jännitteen, joka pitää vahvistaa moottorinohjaimen jännitetasoihin sopivaksi. Vahvistin tarvitsee muutaman vastuksen ja kondensaattorin toimiakseen. Kuvassa 11 on EGT-vahvistinpiirilevy koteloituna kytkentärasiaan.



Kuva 11. EGT-vahvistimet lisäosana. Piirilevy on koteloitu kytkentärasiaan. Laite kytketään CAN-väyläadapteriin.

### 3.8 Nopeusanturi

Autossa olevaan näyttöön haluttiin saada polttoaineen kulutustiedot näkyville. Kyseiseen toimintoon tarvitaan nopeustieto moottorinohjaimelle, jotta kulutusta voidaan laskea. Nopeusanturi kytkettiin CAN-väyläadapterin taajuuden tunnistavaan sisääntuloon ja sen virransyöttö otetaan CAN-väyläadapterin regulaattorilta. Anturina käytettiin Teratripin valmistamaa nopeusvaijerin väliin asennettavaa mallia. Anturi on Hall-tyyppinen ja ulostulosignaali on 0–5 voltin kanttiaalto.

## 4 Lisätoiminnot

### 4.1 Välijäähdyttimen vesijäähdytys

Turboahdimilla varustetuissa Subaruissa on ahtoilmajäähdytin yleensä asennettu moottorin päälle imusarjan taakse ja siihen syötetään jäähdytysilmaa konepeltiin asennetun ilmanottoaukon kautta. Tällöin auton paikallaan ollessa ilmavirtaus ei riitä tuomaan kylmää ilmaa ahtoilmajäähdyttäjään ja moottorista nouseva lämpö alkaa kerääntyä ahtoilmajäähdyttäjään ja lämmittää näin imusarjaan menevää ilmaa. Ahtoilmaa voidaan jäähdyttää ruiskuttamalla pieniä määriä vettä ahtoilmajäähdyttäjän päälle. Veden höyrystyessä se sitoo itseensä lämpöenergiaa ja saa ahtoilmajäähdyttäjän viilenemään. Joissain STI-varustelumallisissa Subaruissa on tällainen tekniikka vakiona.

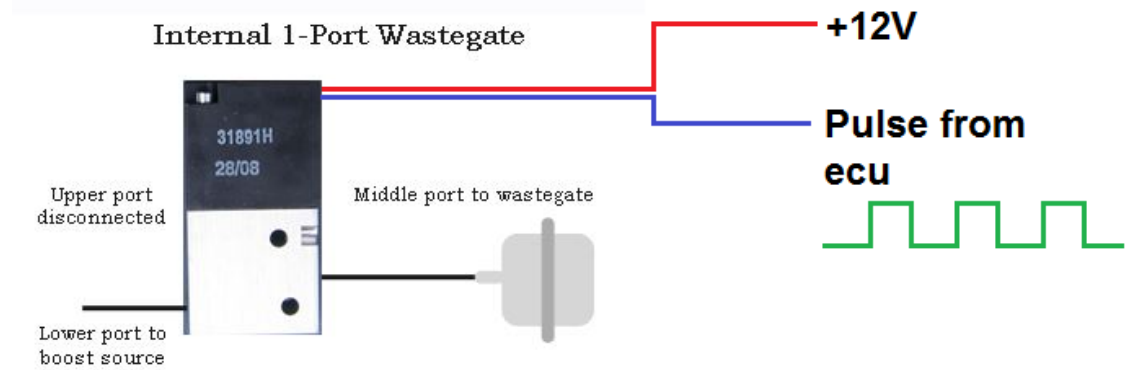
Kyseinen auto haluttiin varustaa välijäähdyttimen vesijäähdytyksellä. Auton tavarasäiliöön tehtiin alumiinista vesisäiliö, johon asennettiin vedentasoanturi ja pieni vesipumppu. Vesipumppu pumppaa vettä letkuun, jolla se siirretään moottoritilaan ja siellä välijäähdyttäjän päällä olevaan suutinputkeen. Suutinputki on pieni alumiininen putki, johon on tehty 9 kappaletta 1 mm:n reikiä.

Vesipumpun ohjaus on otettu moottorinohjaimen vapaasta sytytyslähdestä. Pumpun ja moottorinohjaimen väliin asennettiin Darlington-transistori vahvistimeksi. Vedentasoanturi kytkettiin CAN-väyläadapterin vapaaseen AD-sisääntuloon.

### 4.2 Ahtopaineen ohjaus

Hukkaportin säätökello on säädetty niin, että ahtopaine rajoittuu 0,7 bar:n ylipaineen kohdalle. Kun imusarjan ja säätökellon letkun väliin asentaa paineensäätösolenoidin, voidaan säätökellon liikkumista sekä ahtopainetta muuttaa halutulla tavalla.

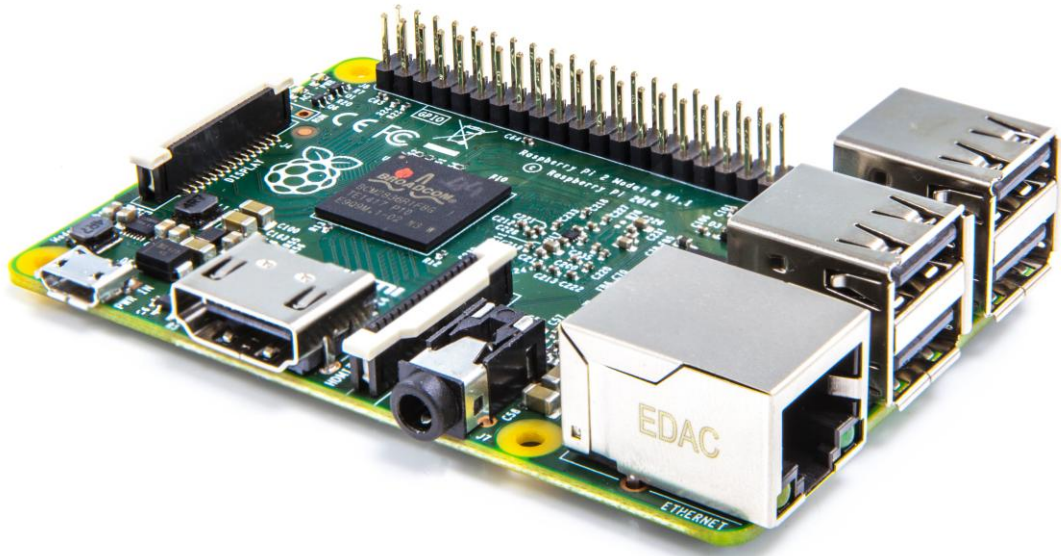
Kojelautaan tehtiin keinukatkaisin, jolla voidaan vaihtaa haluttua ahtopainekarttaa. Ensimmäisen ahtopainekartan tavoite arvo on 0,7 bar:n ylipaine imusarjassa kaasuläpän ollessa täysin auki. Toisen ahtopainekartan tavoite on 1,4 baarin ylipaine, joka on kyseisen pakokaasuahdimen suurin suositeltu paine. Kuvassa 12 on esitetty ahtopaineen säätöventtiilin toimintaperiaate.



Kuva 12. Ahtopaineen säätöventtiilin toiminta. Säätöventtiiliä ohjataan PWM-signaaliilla. Pulssin leveyden kasvaessa venttiili päästää ilmaa enemmän ulos ja pienempi paine vaikuttaa hukka-porttiin. Tällöin ahtopaine kasvaa.

#### 4.3 Anturitiedot erilliselle näytölle

RaspberryPi on Raspberry Pi Foundationin kehittämä yhden piirikortin tietokone. Se on varustettu GPIO-liitännällä, joka on 40-nastainen vapaasti ohjelmoitava liitäntä. Kyseinen tietokone pohjautuu ARM-piiriin, joka sisältää grafiikkapiirin, muistin ja suorittimen. Kuvassa 13 on RaspberryPi model B -tietokone.



Kuva 13. Raspberry Pi 2 model B -piiri (8), tietokone, joka hoitaa lisämittariston toiminnan. Raspberry Pi on kooltaan noin kämmenen kokoinen.

Autoon haluttiin ajonaikaisia tietoja näkyville pieneen tilaan kojelaudalle. Tämä päätettiin toteuttaa RaspberryPi-tietokoneella ja 7 tuuman kosketusnäytöllä. Käyttöjärjestelmänä RaspberryPissä käytetään Raspbian-ohjelmaa, joka on RaspberryPitä varten tehty kevennetty käyttöliittymä.

Tietokoneeseen asennettiin TunerStudio-säätöohjelma, jota voidaan käyttää myös mittaristona. TunerStudiassa tehtiin halutunlainen mittaristo, joka avautuu jokaisessa tietokoneen käynnistyksessä. Tietokoneeseen asennettiin myös WLAN-USB-tikku ja langaton näppäimistö. Kuvassa 14 on lisämittaristona toimiva kosketusnäyttö, joka on asennettu autoon.

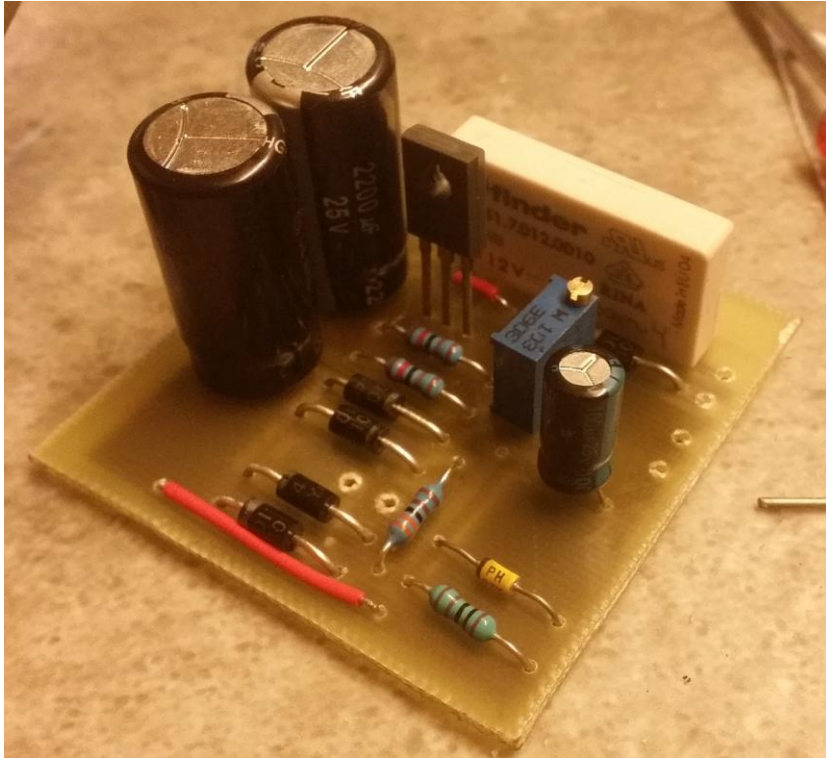


Kuva 14. Näyttö ja lisämittaristo. TunerStudiossa luotu mittaristopohja kosketusnäytössä. Ilmoitus "Not Connected" kertoo moottorinohjaimen olevan pois päältä.

#### 4.4 RaspberryPin sammutusautomaatiikka

RaspberryPin sammuttaminen väärin alkaa vähän kerrallaan tuhota muistikorttia sekä sekoittamaan ohjelmia. Tämän takia RaspberryPi:lle piti tehdä virtapiiri, joka sammuttaa tietokoneen oikein ja ylläpitää tietokoneen virtaa hallitun sammutuksen yli. Herätevirta otettiin virtalukolta ACC-johdosta (numero 75). Tällä virralla ladataan kondensaattori ja tarjotaan herätejännite RaspberryPi:lle. Herätejännitteen loppuessa RaspberryPi sammuttaa itsensä ja samalla kondensaattori antaa virtaa transistorille, joka ylläpitää releitä kytkettynä. Rele taas kytkee hakkurin päälle ja pois päältä. Potentiometrillä voidaan säätää kondensaattorin purkautumista ja tätä kautta releen kytkettynä olevaa aikaa. Kuvassa 15 on sammutusautomaatiikan piirilevy.

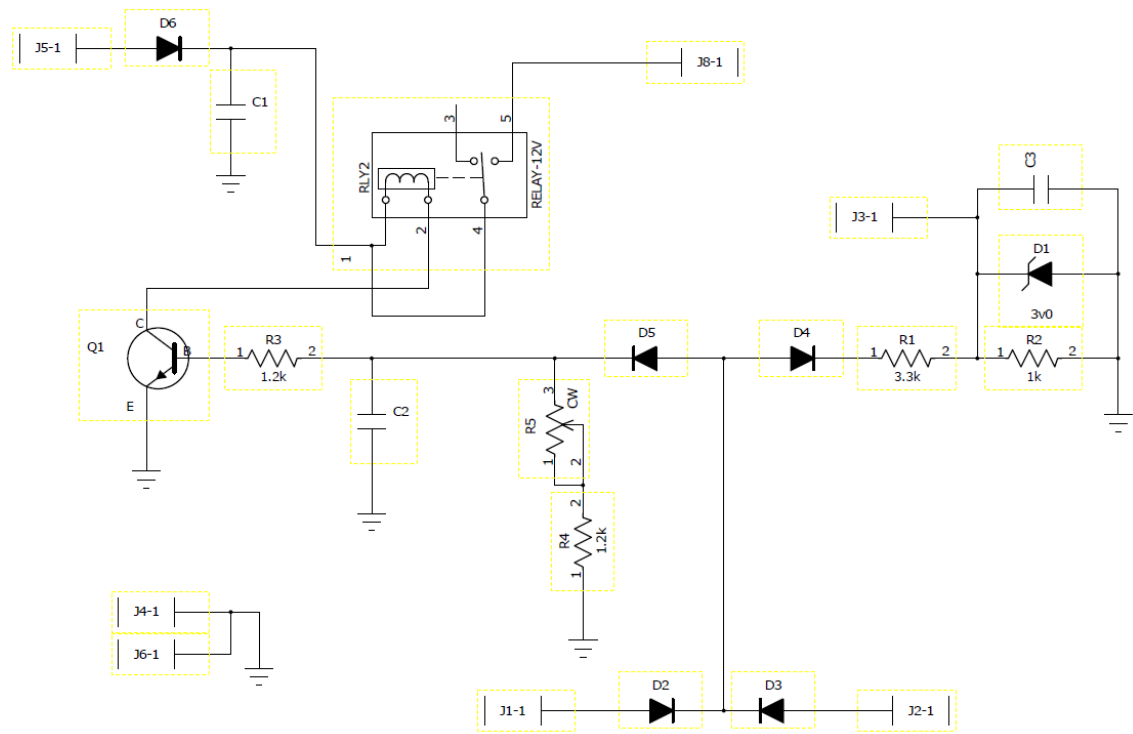




Kuva 15. Rasperryn sammutusautomaatiikka. Valmis piirilevy kalustettuna ilman koteloa.

Virtalukolta tuleva 12 voltin herätejännite muutetaan 3 voltiksi piirilevyllä jännitteenjakoja käyttämällä. 3 voltin herätejännite vietään RaspberryPin GPIO-liitäntään, jolla ohjataan tietokoneen sammuttaminen. Sammutusohjelma tehtiin Python-ohjelmointijärjestelmällä.

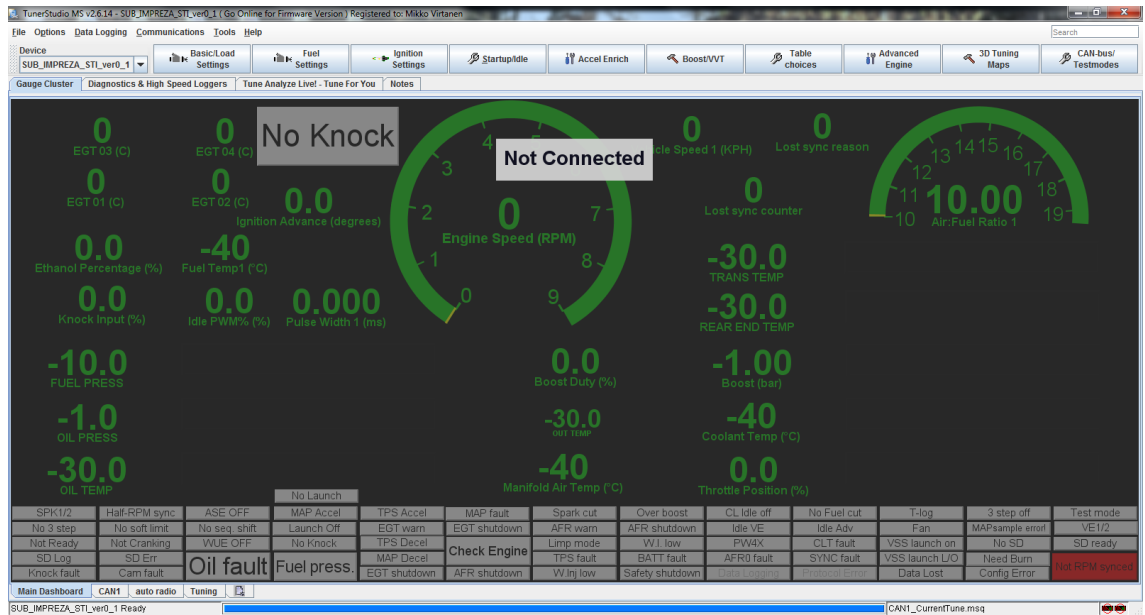
Python on ohjelmointiin tarkoitettu tietokoneohjelma ja ohjelmointikieli, joka on sisäisenä Raspbian-käyttöjärjestelmässä. Se on tulkattava ohjelmointikieli, jota ei tarvitse kääntää ennen ohjelman suorittamista. Pythonista löytyy paljon erilaisia kirjastoja, ja varsinkin avoimen lähdekoodin kirjastoja tehdään koko ajan lisää. Python-kieleen voi sisällyttää C- ja C++-ohjelmointikieltä. Pythonilla luotiin toiminto, joka sammuttaa tietokoneen, jos jännite tippuu nolnaan GPIO-nastassa 4. Kuvassa 16 on esitetty sammutusautomaatiikan kytkentäkaavio.



Kuva 16. Sammutusautomaatiikan kytkentäkaava.

## 5 Säättäminen

Säättötiedosto on tiedosto, joka sisältää kaikki tiedot, joita moottorinohjain käyttää. Säättötiedostoa lähdettiin tekemään tyhjästä projektista eli tyhjästä asetuksista TunerStudiolla. Tämä ei ole suositeltavaa, mutta tässä työssä haluttiin kaikki säädöt käydä itse läpi virheiden välttämiseksi. Tyhjäan projektiin asetettiin projektin nimi, prosessorin malli, CAN-väylän yhteyden salliminen, laajakaista lambdan tiedonkäsittely ja lämpötilan yksikkö, celsiusaste. Kuvassa 17 on TunerStudio-ohjelman pääsivu.



Kuva 17. TunerStudion pääsivu, kustomoitu mittaristo, jossa näkyy oleelliset tiedot säätöä varten. Ylhäällä olevista valikoista löytyy kaikki säädöt ja asetukset.

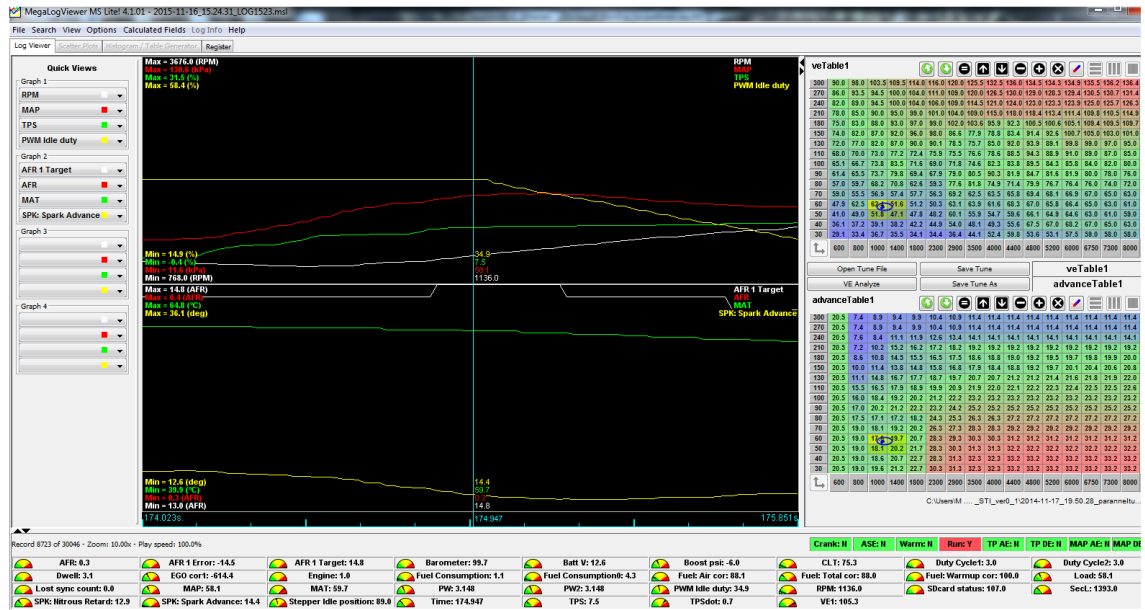
## 5.1 Moottorinohjaimen asetukset

Asetukset tehdään paikallaan, jotta varmistutaan moottorin toimivuudesta liikenteessä. Asetuksissa aloitettiin perusasetuksista, kuten sytytysjärjestyksestä, sylinterimäärästä, suuttimien koosta ja ensisijaisesti käytettävästä parametrasta, joka vaikuttaa säätöihin. Samalla asetettiin polttoaineensyöttö ja sytytyksenajoitus siten, että moottorilla olisi edellytys lähteä käyntiin.

Kun moottori on saatu käyntiin, voidaan arvoja alkaa muuttamaan paremman käynnin aikaansaamiseksi. Samalla pyritään saamaan käynnistystä paremmaksi muuttamalla käynnistys- ja kylmäkäyntirikastuksia.

## 5.2 Esisäädöt

Esisäädöt suoritetaan ennen dynamometrille menoa, jotta siellä ei tulisi yllätyksiä. Esisäätöjä voi tehdä suoraan ajossa TunerStudiolla tai ajon jälkeen MegaLogViewerillä. MegaLogViewerillä hyödynnetään datalogin kautta tallennettuja tietoja, joita voidaan jälkikäteen tarkastella. Kuvassa 18 on datalogiin kerätyt tiedot esillä MegaLogViewerissä.



Kuva 18. MegaLogViewer. Oikealla polttoaine- ja sytytyskartat. Keskellä näkyy halutut käyrät tiedonkeruusta. Alhaalla lukee kyseisen hetken kaikkien kerättyjen tietojen tarkat arvot.

Ensimmäisessä käynnistysyrityksessä havaittiin, että moottorinohjaus ei tunnista kunnon kampa- ja nokka-akselin asentotunnistimien signaalia. Oskilloskoopilla tarkasteltuna signaaleissa ei ollut mitään poikkeamaa, mutta signaalivoimakkuus todettiin riittämättömäksi. Alkuperäiset VR-asentoanturit vaihdettiin itse tehtyihin Hall-tyyppisiin antureihin. Uusilla antureilla moottori saatiin käyntiin, mutta käynti oli heikkoa. Sytytysajoitusta tarkasteltiin ajoituslampulla, joka näytti tyhjäkäynnillä oikeaa arvoa. Korkeammilla kierroksilla ajoitus alkoi kertautua suhteessa kierroksiin ja nousi erittäin suureksi. Syyksi havaittiin puolan latauksen olevan väärässä vaiheessa. Moottorinohjaimen ja puolan välissä oleva vahvistin inverttoi sytytysignaalin ja sen takia ohjauksen vaihe oli väärin päin. Signaali käännettiin ohjelmallisesti oikein päin.

### 5.2.1 Käynnistysrikastukset

Moottorin käynnistykseen vaikuttaa kolme rikastusta. Ne ovat kylmäkäynnistys-, lämmitys- ja käynnistymisen jälkeinen rikastus. Kylmäkäynnistysrikastuksen säätäminen jouduttiin tekemään useiden kokeilujen perusteella.

Yön yli kylmässä seisonutta autoa kokeiltiin käynnistää ja rikastuskäyrää muutettiin rikkaammalle tai laihemmalle sen mukaan, kummalla auto käynnistyi paremmin. Lämmitysrikastusta muokattiin moottorin lämmitessä käynnin tasoittamiseksi. TunerStudiosta löytyy lämmitysrikastuksiin automaattinen säätö, jota tässä työssä ei käytetty.

Lämmitysrikastus pienenee mitä suurempi moottorin lämpötila on ja moottorin ollessa 75 °C:n lämpötilassa lämmitysrikastus on kokonaan pois päältä. Käynnistymisen jälkeinen rikastus auttaa pitämään moottorin käynnissä heti sen käynnistyttyä. Kyseinen rikastus säädetään myös käynnin perusteella. Jos moottori sammuu heti käynnistyttyään, lisätään rikastusta. Jos moottori käy normaalisti hetken ja sammuu sen jälkeen, lisätään rikastuksen päälläoloaika tai lisätään lämmitysrikastusta.

### 5.2.2 Kiihdytysrikastus

Kiihdytysrikastuksia käytetään, kun kaasupoljinta painetaan nopeasti. Niiden säätöperuste on kaasuläpän avautumisnopeus, aukeama prosentteina sekunnissa. Taulukon suurin avautumisnopeus määritellään siten, kuinka nopeasti kaasupolkimen saa pohjaan. Kiihdytysrikastukset säädettiin aluksi auton ollessa paikallaan. Ensin säädettiin pienet ja hitaat kaasuläpän avaukset ja sen jälkeen isommat ja nopeammat vaihtelut. Rikastusta lisätään, jos kaasupoljinta painettaessa polttoaineilma seos pyrkii meneämään laihalle, ja vähennetään, jos seos pyrkii rikkaalle. Kyseisessä autossa päädyttiin käyttämään aika-tyylistä kiihdytysrikastusta.

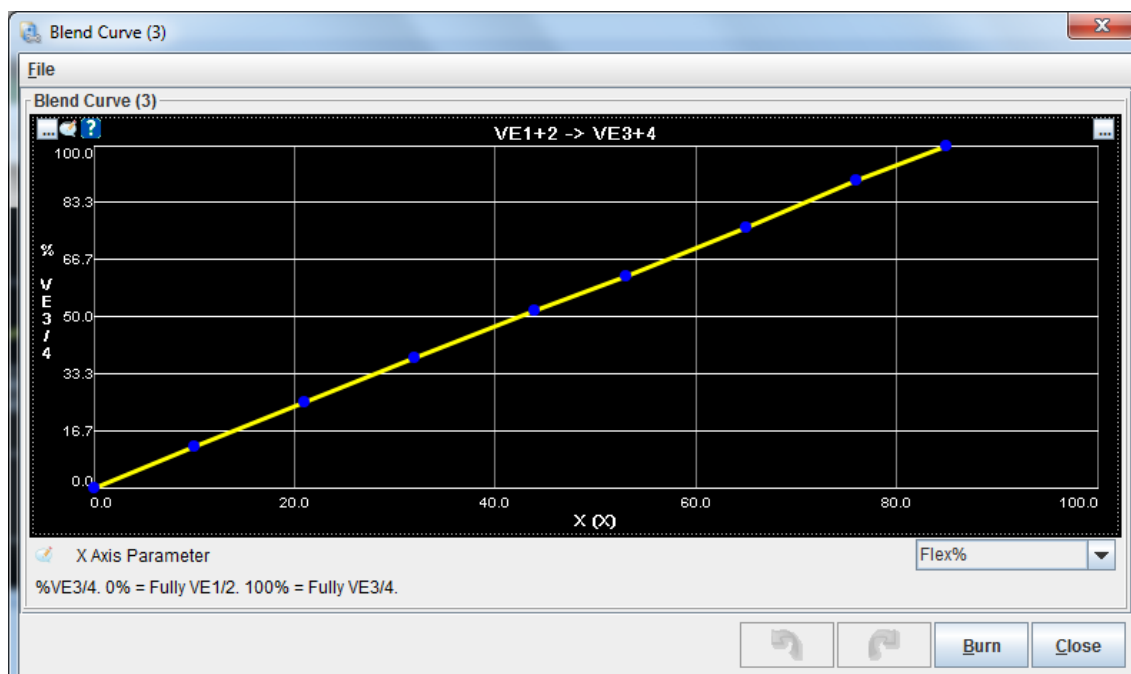
Aika-tyylisessä rikastuksessa imusarjaan ruiskutetaan polttoainetta tietyn ajanjakson ajan, kun taas pumppu-tyylisessä rikastuksessa ruiskutetaan tietty määrä polttoainetta. Pumppu-tyylinen rikastus on yleensä helpompi säätää oikean kokoiseksi. Aika-tyylisellä rikastuksella taas saadaan tehtyä tarkempi rikastus sekä ruiskutuksen lopettaminen moottorijarrutustilanteissa.

### 5.3 Etanolikäyttö

Etanolia käytettäessä moottoriin tarvitaan erilaiset säädöt kuin bensiiniä käytettäessä. Polttoainetta pitää ruiskuttaa noin 15–35 % enemmän, jotta pysytään halutussa lambda arvossa. Se, kuinka paljon etanolia pitää ruiskuttaa enemmän, on aina moottorikohtainen asia. Samalla sytytysennakkoa pyritään hieman nostamaan, jotta saavutetaan hyötyä korkeammasta oktaaniluvusta.

Etanolin käyttömahdollisuuteen päädyttiin suuremman puristuskestävyyden ja pienempien päästöjen takia. Valintaan ei vaikuttanut halvempi ostohinta, koska etanolia kuluu enemmän, jolloin lopullinen hinta on samansuuruinen kuin bensiinillä.

Megasquirt 3 -proessorissa on tuki neljälle sytytys- ja polttoainekartalle, joilla voidaan toteuttaa säätö vaihtelevalle etanolimäärälle polttoaineessa. Kartta 1 on säädetty pelkälle bensiinille (98E5) ja kartta 3 on säädetty etanolille (E85). Etanolianturin antaman tiedon mukaan näitä karttoja sekoitetaan ennalta kerrotun käyrän mukaisesti Blend Curve -toiminnolla. Karttoja 2 ja 4 ei tässä moottorissa ole tarvetta käyttää. Kuvassa 19 on esitetty etanolipitoisuuden vaikutus moottorissa käytettävään karttaan.



Kuva 19. Etanolin vaikutus käytettävään karttaan. TunerStudio Blend table -toiminto, jossa siirrytään kokonaan karttaan 3 kun etanolia on yli 85 % polttoaineesta.

## 5.4 Varsinainen säätö

Varsinainen säätö tapahtuu tehodynamometrissä, jossa autoa ajetaan rullien päällä eri kuormituksilla. Näin voidaan tarkastella ja säätää moottorinohjausta jokaisella kierrosnopeudella ja kuormituksella. Moottoria kuunnellaan kuulokkeilla, joihin on liitetty paineilmaletku. Letkun toinen pää laitetaan moottoriin kiinni ja näin saadaan moottorin sisäiset äänet kuulumaan kuulokkeissa. Kuulokkeilla kuunnellaan mahdollista nakutusta. Kuvassa 20 on moottorin kuunteluun tarkoitetut kuulokkeet.



Kuva 20. Nakutuskuulokkeet. Moottorin sisäisten äänten tarkkailuun tehty työkalu.

### 5.4.1 Ensimmäinen kerta tehodynamometrissä

Ensimmäisellä kerralla tehodynamometrissä huomattiin, että ahtopaine ei nouse halulla tavalla. Syyksi osoittautui pakokaasua vuotava kiinnityslaippa pakosarjassa ja tämä vaihdettiin tiiviimpään V-band-liitokseen. Myös nakutusanturin huomattiin olevan liian herkkä, koska se muutti sytytystä myöhäisemmäksi, vaikka nakutusta ei oikeasti ollut.

Myös imusarjaan menevän ilman lämpötilan huomattiin kasvavan korkeaksi. Tehodynamometrissä ahtoilmajäähdyttäjää ei saanut tarpeeksi ilmavirtaa, jolla se olisi voinut jäähdyttää imusarjan ilmaa. Tämä taas nosti koko moottorin lämpökuormaa. Ahtoilmajäähdyttäjälle päätettiin tehdä väliaikainen tuuletin seuraavaa tehodynamometrikäyntiä varten, jotta lämpötilaa saadaan alennettua mahdollisimman paljon. Tuulettimena käytetään yleismallista 10 tuuman kokoista puhaltavaa tuuletinta. Tuulettimen avulla imulämpötila nousi enintään 62 asteeseen kolmen peräkkäisen täydenkaasun tehotestissä. Kuvassa 21 on sähköinen tuuletin ahtoilmajäähdyttäjän päällä.



Kuva 21. Säädönaikainen tuuletin ahtoilman jäähdyttäjälle. Tuuletin on asennettu alumiini kekkoon, jolla ilmavirta suunnataan koko ahtoilman jäähdyttäjän pinta-alalle.

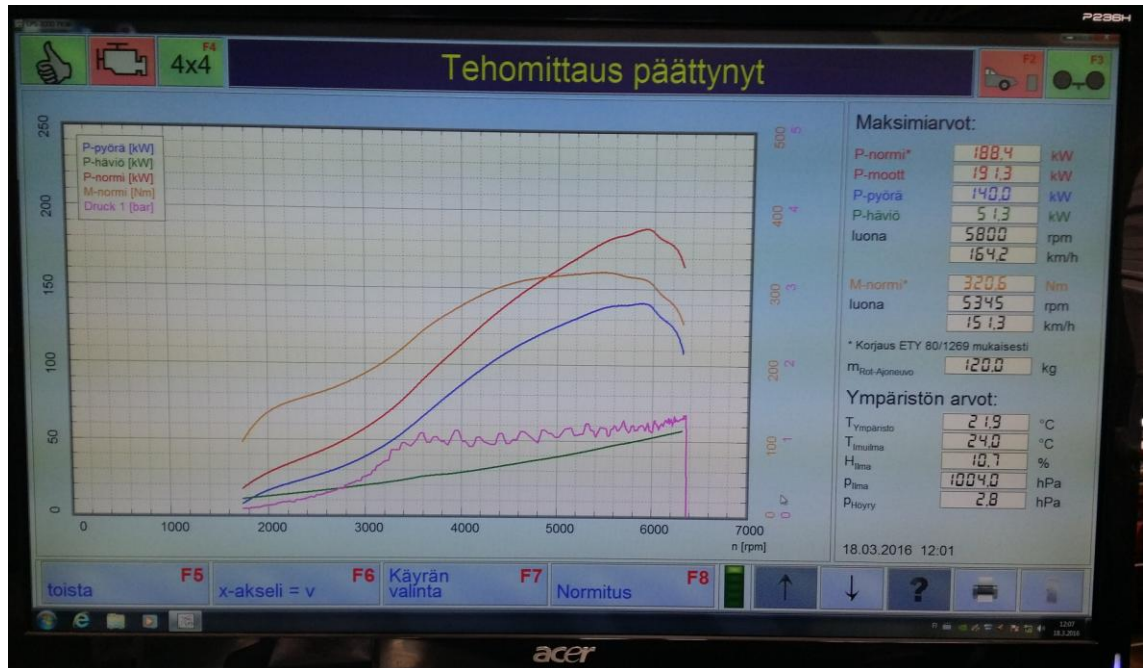
#### 5.4.2 Toinen kerta tehodynamometrissä

Toisella kerralla tehodynamometrissä ahtopaine saatiin nostettua haluttuun 1,4 bar. Pienemmällä paineella (0,7 bar) moottori alkoi taas menettää tehoansa 7000 rpm:n kohdalla. Suuremmalla paineella (1,4 bar) moottori menetti tehonsa kokonaan noin 6300 rpm:n kohdalla. Kyseisen moottorin pyörintänopeuden pitäisi olla maksimissaan 8000 rpm. Sytytysajoituksen muuttaminen ei vaikuttanut mitenkään saatuun tehoon.

Tulosten perusteella moottorissa tapahtuu sytytyskatkoksia suurilla kuormilla ja ahtopaineilla. Sytytystulppien vaihto uusiin ja puolan vaihto toiseen samanlaiseen ei vaikuttanut tuloksiin. Polttoaineilma seos pysyi testissä välillä 11,5–11,0 AFR.



Kyseinen vaihteluväli on normaali täyden kaasun kiihdytyksessä. Sytytyskatkokset pyritään poistamaan vaihtamalla hukkakipinäpuola neljään erilliseen puolaan, jotka tekevät paremman kipinän. Myös sytytystulppien kärkiväli tarkastetaan. Kuvassa 22 on toisen kerran tehotulos, ja kuvassa 23 on Subaru asetettuna tehodynamometriin säätöön.



Kuva 22. Toisen tehodynamometrikerran tehotulos. Punainen viiva on moottorin teho (kW), oranssi on vääntömomentti (Nm), vihreä on voimansiirron vastusvoimat (kW), sininen on pyöriltä saatu teho (kW), ja violetti on ahtopaine (bar).



Kuva 23. Subaru tehodynamometrissä säädettävänä. Edessä oleva tuuletin mukailee "ajoviimaa" ja jäähdyttää moottoria testauksen aikana.

## 6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli asentaa Autotune-moottorinohjaus ja käyttöönottaa se Subaru Impreza -henkilöautoon sopivaksi. Käyttöönotossa tavoitteena oli saada moottori toimimaan luotettavasti. Autoon tehtiin myös etanolin käyttömahdollisuus.

Moottorinohjaimen toimintaa testattiin Metropolia AMK:n autolaboratorion tehodynamiometrissä sekä tieliikenteessä. Testauksen aikana havaittiin erilaisia vikoja. Suurimmat viat olivat nakutustunnistuksen väärä toiminta ja palamiskatkokset korkeilla kierroksilla ja ahtopaineilla. Korkeiden kierrosten säätöä ei pystytty tekemään palamiskatkoksten vuoksi.

Uusi moottorinohjaus tarjosi paremman kaasunvastaavuuden. Moottorista tuli tarkemman oloinen verrattuna alkuperäiseen moottorinohjaimen. Työn alussa asetetut tavoitteet saavutettiin.

Tulevaisuudessa autoon kehitetään PWM-ohjattu polttoainepumpun nopeudensäätö pienentämään virrankulutusta sekä RaspberryPin kosketusnäyttöön himmennystoiminto, joka helpottaa pimeässä ajamista näytön ollessa päällä.

## Lähteet

- 1 Murray, James. 2015. Megasquirt-3 Setting Up. Verkkodokumentti. <[http://www.msextra.com/doc/pdf/Megasquirt3\\_Setting\\_Up-1.3.pdf](http://www.msextra.com/doc/pdf/Megasquirt3_Setting_Up-1.3.pdf)>. Luettu 19.8.2015.
- 2 Trigger. 2010. Verkkodokumentti. Vems wiki. <<http://www.vems.hu/wiki/index.php?page=MembersPage%2FSkassaTriggerSubaru>>. Luettu 30.3.2016
- 3 AD595 datasheet. 1999. Verkkodokumentti. Analog devices. <<https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/AD595.pdf>>. Luettu 5.9.2015
- 4 TLE4906L Hall sesor datasheet. 2003. Verkkodokumentti. Infineon Technologies AG. <<http://www.partco.biz/verkkokauppa/datasheet/tle4906l-inf.pdf>>. Luettu 22.4.2015
- 5 KTIR0121DS datasheet. 2003. Verkkodokumentti. Kingbright. <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/151393/KINGBRIGHT/KTIR0121DS.html>>. Luettu 22.4.2015
- 6 McFarland, Jim. 2012. Enginology - Investigating Detonation And Pre-Ignition. Verkkodokumentti. <<http://www.hotrod.com/how-to/engine/ctrp-1204-enginology-investigating-detonation-pre-ignition/>>. Luettu 30.3.2016
- 7 ATDriveBoard asennusohje. Verkkodokumentti. Autotune. <[http://autotune.fi/data/doc/at/atdriveboard\\_asennusohjeet\\_r7\\_xba4ycr9ed.pdf](http://autotune.fi/data/doc/at/atdriveboard_asennusohjeet_r7_xba4ycr9ed.pdf)>. Luettu 3.3.2015
- 8 RaspberryPi 2 on sale now at \$35. 2015. Verkkodokumentti. Eben Upton. <<https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-2-on-sale/>>. Luettu 30.3.2016

## Lohkokaavio

