

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikka

Elektroniikkatuotanto

2015

Aku Mäntynen

# JÄLKIASENNETTAVAN MOOTTORINOHJAUKSEN ASENNUS JA SÄÄTÖ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikka | Elektroniikkatuotanto

Opinnäytetyön valmistumisajankohta: 2015 | Sivumäärä 43

Ohjaaja: Yngvar Wikström

Aku Mäntynen

## JÄLKIASENNETTAVAN MOOTTORINOHJAUKSEN ASENNUS JA SÄÄTÖ

Tässä työssä asennettiin, säädettiin ja testattiin tee-se-itse-tyyppinen, avoimeen lähdekoodiin perustuva MegaSquirt moottorinohjausyksikkö. Asennuksen lähtökohtana oli virittää ja modernisoida iäkäs bensiinikäyttöinen polttomoottori sekä sytytyksen ohjauksen että polttoaineensyötön osalta.

Suunnittelun lähtökohtana oli kasvattaa moottorin käyttövarmuutta, pienentää polttoaineen kulutusta sekä kasvattaa moottorista saatavaa tehoa turboahtimella. Näiden lisäksi avainasemassa oli käyttäjän mahdollisuus säätää itse oma moottorinsa sekä mahdollisuus kerätä tietoa laajasti moottorin toiminnasta.

Työ toteutettiin tekemällä työn edellyttämät muutokset ohjainyksikön piirilevyille sekä tekemällä tarvittavat rakenteelliset muutokset kohdemoottoriin. Työssä tutustutaan myös toteutuksessa käytettyihin sensoreihin sekä niiden vaatimiin asennuksiin.

Moottorin käyntiin saamisen ja säätötyön jälkeen moottorinohjaus toimii luotettavasti jokapäiväisessä käytössä. Polttoaineen kulutus on vähentynyt tuntuvasti, sekä luotettavuus, että moottorista saatava tehoreservi ovat kasvaneet merkittävästi. Moottorin ohjauksa on mahdollisuus säätää reaaliajassa. Lisäksi tiedonkeruu moottorin käyttäytymisestä on mahdollista.

ASIASANAT:

MegaSquirt, moottorinohjaus, viritys, hukkakipinä, TunerStudio

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Electronics production

Completion year of the thesis: 2015 | Total number of pages 43

Instructor: Yngvar Wikström

Aku Mäntynen

## RETROFITTED ENGINE CONTROL UNIT INSTALLATION AND ADJUSTMENT

The aim of this Bachelor's was to install, adjust and test a do it yourself -style, open source based MegaSquirt named engine control unit. The main idea was to tune and modernize an old petrol engine with both fuel and ignition control.

The baseline of this design was to add dependability, decrease fuel consumption, and add engine power and torque with a turbocharger. Key position was user's ability to tune own engine and take data log.

The work was carried out by making the necessary changes on the circuit board of the control unit, by making the necessary structural changes to the engine and exploring the sensors and installations required by the implementation.

After the engine is running and tuned properly, it works reliable in everyday use. Fuel consumption has decreased and reliability and output power have improved significantly. It is possible to adjust engine control unit in real time, and data logging is possible.

### KEYWORDS:

MegaSquirt, electronic fuel injection, tuning, wasted spark, TunerStudio

# SISÄLTÖ

<b>SISÄLTÖ</b>	<b>IV</b>
<b>SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO</b>	<b>VI</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 OTTOMOOTTORIN PERUSTEORIAA</b>	<b>2</b>
2.1 Nelitahtimoottori	2
2.2 Sytytysjärjestelmä	2
2.3 Seossuhde	4
<b>3 MEGASQUIRT-MOOTTORINOHJAUS</b>	<b>5</b>
3.1 MegaSquirtin historia	6
3.2 MegaSquirt -piirikortit	7
<b>4 ANTURIT</b>	<b>9</b>
4.1 Pakokaasun happianturi	9
4.1.1 Kapeakaistainen lambda	9
4.1.2 Laajakaistainen lambda	10
4.2 Lämpötila-anturit	11
4.2.1 Moottorin lämpötila-anturi (CLT)	11
4.2.2 Imuilman lämpötila-anturi (IAT)	12
4.3 MAP-anturi	12
4.4 Kaasuläpän asentoanturi (TPS)	13
4.5 Kierroslukuanturit	13
4.5.1 Hall-anturi	14
4.1.2 VR-anturi	15
<b>5 POLTTOAINEEN SYÖTTÖ</b>	<b>16</b>
5.1 Polttoainejärjestelmä	16
5.2 Polttoaineen paineensäädin	17
5.3 Suuttimet	17
5.4 Suuttimien mitoitus	18

<b>6 SYTYTYYS</b>	<b>20</b>
6.1 Hukkakipinä	20
6.2 Sytytyksen ohjauksen vaatimat muutokset	21
6.3 Hall-anturin vaatimat muutokset	22
<b>7 JÄRJESTELMÄN KOKOAMINEN</b>	<b>24</b>
7.1 Johdotus	25
7.2 Kierroslukumittari	25
<b>8 SÄÄTÖ</b>	<b>26</b>
8.1 Perustiedot	27
8.2 Kampiakselin asentotunnistimen asetukset	29
8.3 Moottorin käynnistäminen	30
8.4 Polttoainetaulukko	31
8.5 Sytytystaulukko	32
8.6 Kiihdytysrikastus	33
<b>9 HÄIRIÖIDEN AIHEUTTAJIEN ETSINTÄ</b>	<b>34</b>
<b>10 TOTEUTUS JA TULOKSET</b>	<b>36</b>
<b>11 POHDINTA</b>	<b>40</b>
<b>12 YHTEENVETO</b>	<b>41</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>42</b>

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

<i>AFR</i>	Air FuelRatio, ilma/polttoaine-suhde
<i>BSFC</i>	Brake Specific Fuel Consumption, polttoaineen kulutusarvo
<i>CLT</i>	Coolant Temperature Sensor, jäähdytysnesteen lämpötila-anturi
<i>DB37</i>	37-pinninen sarjaporttiliitin
<i>EFI</i>	Electronic Fuel Injection, elektroninen polttoaineen suihkutus
<i>E85</i>	Bensiini, joka sisältää etanolia 85 %
<i>E10</i>	Bensiini, joka sisältää etanolia 10 %
<i>E5</i>	Bensiini, joka sisältää etanolia 5 %
<i>ECU</i>	Engine Control Unit, moottorinhallintayksikkö
<i>IAT</i>	Intake Air Temperature Sensor, imuilman lämpötila-anturi
<i>MAP</i>	Manifold Absolute Pressure sensor, imusarjan ilmanpaineanturi
<i>MS</i>	MegaSquirt
<i>NTC</i>	Negative Temperature Coefficient, anturi jonka resistanssi laskee lämpötilan kohotessa
<i>PCB</i>	Printed Circuit Board, piirilevy
<i>RPM</i>	Rounds Per Minute, kierroksia minuutissa
<i>Rs232</i>	9-pinninen sarjaporttiliitin
<i>TPS</i>	Throttle Position Sensor, kaasuläpän asentoanturi

# 1 JOHDANTO

Tämän päivän moottorinohjaukset ovat pitkälle kehittyneitä järjestelmiä, joiden toimintaan ei käyttäjä pääse osallistumaan. Itse asennettavat, ohjelmoitavat moottorinohjausyksiköt onkin pääasiassa suunnattu tahoille, jotka haluavat itse päästä vaikuttamaan moottorin toimintaan. Säädetävät moottorinohjausjärjestelmät ovat yleistyneet harrastajien ja modernisoijien keskuudessa, sillä ne tarjoavat laajan ja nykyaikaisen tavan ohjata moottorin käyttäytymistä. Tarkalla säätämällä pystytään vaikuttamaan moottorin antamaan tehoon sekä taloudellisuuteen ja luotettavuuteen. Säädetävää moottorinohjausta käytettäessä voi käyttäjä myös itse määritellä haluamansa asetukset haluamalleen polttoainelaadulle, mikä mahdollistaa myös etanolin käytön lähes kaikissa bensiinimoottoreissa. [1]

Tässä opinnäytetyössä toteutetaan säädetävän moottorinohjauksen asennus bensiinikäyttöiseen ottomoottoriin. Työn tavoitteena oli muuntaa vanhan auton polttoaineen syöttöjärjestelmä mekaanisesta kaasuttimesta elektronisesti ohjatuksi sekä samalla modernisoida sytytys vaihtamalla vanha kärjellinen sytytysjärjestelmä nykyaikaiseen ja tehokkaaseen hukkakipinäjärjestelmään.

Työhön valikoitui MegaSquirt nimellä tunnettu, useiden autoharrastajien suosima, tietokoneella säädetävä moottorinohjausjärjestelmä sen avoimen lähdekoodin ja edullisen hintansa vuoksi. MegaSquirtilla pystytään ohjaamaan suoraan polttoaineen annostelua sekä pienillä piirilevyn tehtävillä muutoksilla saadaan käyttöön myös monia lisäominaisuuksia, kuten mahdollisuus sytytyksen ohjaukseen.

Seinäjoen ammattikorkeakoulussa on tehty ainakin yksi MegaSquirtin asennukseen ja säätöön liittyvä opinnäytetyö (Kitinmäki 2010). Opinnäytetyössä keskityttiin enemmän moottorin rakenteellisiin muutoksiin, ohjausyksikön kokoamiseen sekä konekieliseen ohjelmointiin. Työssä käytettiin myös vanhempaa, MegaTune nimistä säätöohjelmaa.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään laajemmin laitteiston toiminnan ymmärtämiseen, asennukseen sekä mahdollisiin ongelmakohtiin ja niiden havaitsemiseen. Työssä käsitellään valmiiksi kasatun ja testatun piirilevyn käyttöönotto johdotuksineen sekä tarvittavat sensorit ja TunerStudio säätöohjelman perusasetukset. Tavoitteena on luoda kokonaisuus, jonka avulla moottori- ja sähkötekniikan perustiedot ja taidot omaava henkilö pystyy toteuttamaan tarvittavat muutokset nelitahtiseen ottomoottoriin.

## 2 OTTOMOOTTORIN PERUSTEORIAA

Ottomoottori termillä tarkoitetaan kaksi- tai nelitahtista polttomoottoria, jossa polttoaineseos muodostetaan sylinterin ulkopuolella olevassa kaasuttimessa ja sytytetään sähköisellä kipinällä. Ottomoottorissa polttoaine sekoitetaan imettävään ilmaan joko kaasuttimessa tai imukanavassa. Polttoaineen saannista huolehtii kaasutin tai polttoaineen suihkutusjärjestelmä joita on olemassa sekä mekaanisia että sähköisiä. [2]

90-luvulle tultaessa isommissa nelitahtimoottoreissa kaasuttimen oli jo syrjäyttänyt elektronisesti ohjattu polttoaineen suihkutus. Suurimpana syynä tähän muutokseen olivat tiukkenevat päästömääräykset. Elektronisesti ohjatulla polttoaineen suihkutuksella saadaan säädettyä ilma-bensiiniseossuhde huomattavasti tarkemmin kuin kaasuttimella, mikä samalla mahdollistaa pienemmän kulutuksen ja pienemmät päästöt. [2]

### 2.1 Nelitahtimoottori

Nelitahtimoottori on bensiinillä kulkevissa nykyautoissa käytettävä moottorityyppi. Nelitahtimoottori termi itsessään jo kertoo moottorin toiminnan muodostuvan neljästä eri vaiheesta, jotka toistuvat jatkuvasti moottorin käydessä. Ensimmäinen vaihe on imutahhti, jossa alaspäin liikkuva mäntä imee polttoaineseoksen sylinteriin imuventtiilin kautta. Toisessa vaiheessa kiertokangen pyörimisen myötä imuventtiili sulkeutuu, jolloin puristustahdissa mäntä liikkuu ylöspäin puristaen polttoaineseoksen määrättyyn paineeseen. Männen ollessa yläasennossa seos sytytetään kipinällä, joka aikaansaa räjähdysten, jonka voimasta mäntä työntyy alaspäin. Tätä kolmatta vaihetta kutsutaan työtahdiksi, koska kaikki kiertokangen kohdistuva liike-energia luodaan tässä vaiheessa. Neljäs ja viimeinen vaihe on poistotahti, jossa mäntä ylöspäin työntyessään työntää palokaasut ulos pakoventtiilin kautta. [3]

### 2.2 Sytytysjärjestelmä

Sytytysjärjestelmä on peruseriaanteeltaan yksinkertainen, sillä sen tarkoituksena on sytyttää polttoaineseos toivotulla ajanhetkellä. Sytytysjärjestelmän on kyettävä johtamaan oikeassa sytytysjärjestyksessä vuorollaan kullekin sytytystulpalle hyvin suuri jännite, jolla aikaansaadaan riittävän voimakkaan kipinän hyppääminen sytytystulpan elektrodista runkoon. Jännite tulpassa voi kohota jopa 40 000 V:iin, jolla aikaansaa-



daan tehokas kipinä sylintereissä kokoon puristetun polttoaineseoksen sytyttämiseksi. [3]

Sytytysjärjestelmän toiminnan haasteet aiheuttavat tarpeen hyvin tarkalle sytytysketken ajoitukselle sekä sytytyskipinän riittävälle teholle ja kestoajalle moottorin koko käyntinopeus- ja kuormitusalueella. Tehoton sytytysjärjestelmä ei välttämättä saa aikaan tarpeeksi suurta läpilyöntijännitettä seoksen paksuuden tai paineen vuoksi, jolloin esiintyy sytytyksen pätkimistä tietyillä kierroslukualueilla. Sytytysjärjestelmän riittävällä teholla ja tarkkuudella on ratkaiseva merkitys moottorin tehokkuuteen sekä polttoainetalouteen. Modernit sytytysjärjestelmät vastaavat kuitenkin pitkälti tarpeita ja ovatkin lähes poikkeuksetta elektronisesti ohjattuja. [3]

Jotta haluttuihin tavoitteisiin päästäisiin, tulisi polttoaineen ja ilman seos sytyttää aina sellaisella hetkellä, jolloin palavan seoksen paine on suurimmillaan heti männän ohitettua yläkuolokohtansa. Käytännössä moottorin käyntinopeudet, seossuhteet sekä kuormitusasteet vaihtelevat laajoissa rajoissa, joten myös sytytysketkeä on säädettävä olosuhteisiin sopiviksi. Esimerkiksi joutokäynnillä tarvittava sytytysennakko voi olla moottorista riippuen mitä tahansa 5–18 astetta ennen yläkuolokohtaa. Korkealla käyntinopeudella ja reilulla kaasuläpän avautumalla voidaan hyvinkin tarvita 25–40 asteen sytytysennakkoa. Kaikki luvut ja suositukset ovat kuitenkin palotilojen ja rakenteiden eroavaisuuksien vuoksi moottori- ja polttoainekohtaisia, jolloin sytytysennakoiden lähtökohdista kannattaa käyttää valmistajan suosituksia. [3]

Turboahdetussa moottorissa sytytysennakkoa pienennetään ahtopaineen noustessa yleensä n. 2 astetta / 10 kPa, mutta sytytysennakon säätö alle 100 kPa:n alueella ei eroa vapaasti hengittävistä moottorista. Voidaan yleistää, että vapaasti hengittävän moottorin käyntinopeuden kasvaessa sytytysketkeä aikaistetaan. Käyntinopeuden kasvaessa myös männännopeus suurenee. Polttoaineseos palaa samalla nopeudella käyntinopeudesta riippumatta, jonka vuoksi seos pitää sytyttää sitä aikaisemmin, mitä suuremmalla nopeudella kampiakseli pyörii, jotta huippupaine esiintyisi edelleen oikeassa kohdassa heti yläkuolokohdan jälkeen. Käytännössä kuitenkin hyvin moni eri asia vaikuttaa kulloiseenkin sytytysajankohdan tarpeisiin, eikä niitä tässä työssä käsitellä. [3]

## 2.3 Seossuhde

Moottorista saatava teho on käytännössä palavasta polttoaineesta talteen otettua energiaa. Bensiinin täydelliseen palamiseen tarvitaan stokiometrinen seos. Se on tavallisella bensiinillä n. 14,7:1, eli ilman suhde polttoaineeseen on 14.7 -kertainen. Tämä on ideaalinen bensiinin ja ilman seossuhde palamisreaktion kannalta. Paras teho saavutetaan kuormitusilanteessa kuitenkin usein vapaasti hengittävässä moottoreissa hieman rikkaalla AFR (Air Fuel Ratio) arvolla n. 14 ja ahdetuissa n.12.5. Polttoainetalouden kannalta kuormittamattomassa tilanteessa, kuten matka-ajossa, pyritään kuitenkin laihentamaan seosta yli arvon 14,7. [4]

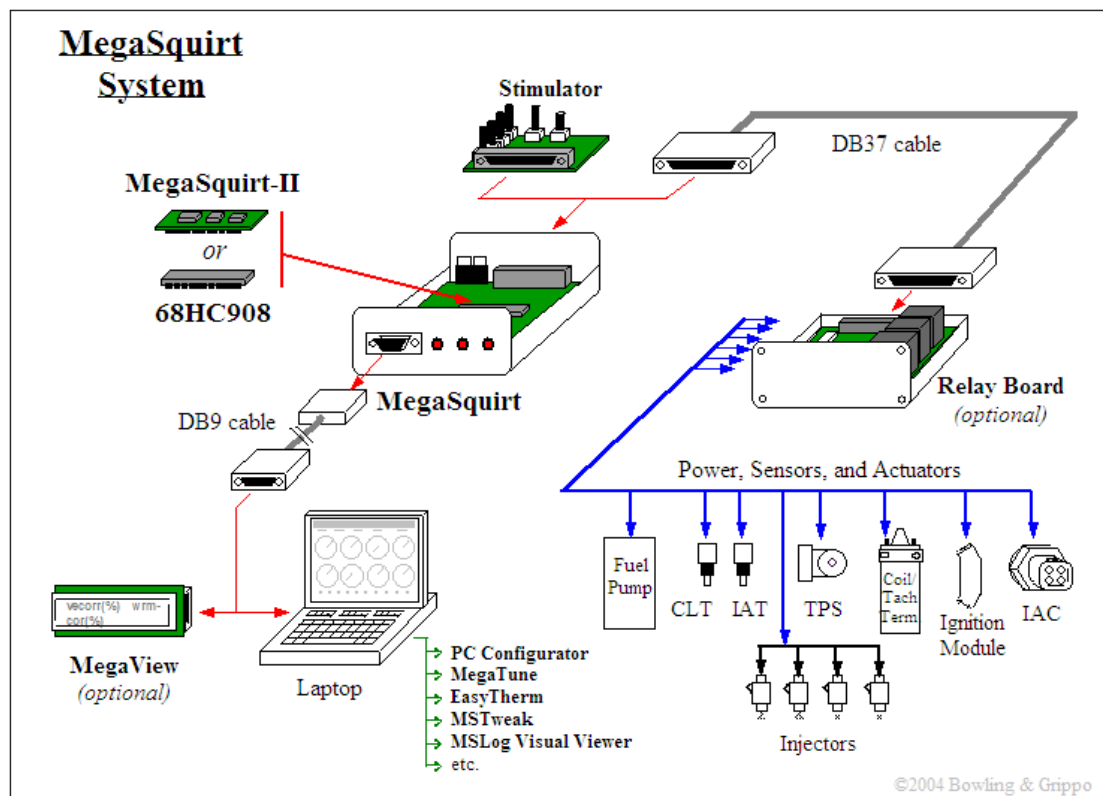
Eri polttoaineille on omat tyypilliset stokiometriset seossuhteensa. Normaaleilla, etanolia pienen määrän sisältävien E5 ja E10 bensiinien suhde on n.14,7:1, mutta esimerkiksi 85 % etanolia sisältävän E85 polttoaineen stokiometrinen seos pitäisi olla noin 9,8:1.

### 3 MEGASQUIRT-MOOTTORINOHJAUS

MegaSquirt on flash-pohjaiseen mikrokontrolleriin perustuva moottorinohjainyksikkö, jonka perusideana on, että loppukäyttäjä kokoaa, asentaa ja säätää järjestelmän itse.

MegaSquirtin etuna moneen muuhun moottorinohjausjärjestelmään voidaan pitää sen prosessorin suurta kellotaajuutta sekä suoraan konekielellä kirjoitettua sisäistä ohjelmaa. Suoraan konekielellä kirjoitettu ohjelma mahdollistaa mikrokontrollerin kyvyn laskea reaaliajassa polttoaineen määrän jopa 16000 RPM (Rounds Per Minute) kiertäville moottoreille. MegaSquirtia saa ostettua rakennussarjan lisäksi vaihtoehtoisesti valmiiksi koottuna ja testattuna. [5]

Konsepti on yksinkertainen. Käyttäjä muodostaa tarvitsemansa järjestelmäkokonaisuuden (kuva 3.1) ja virittää parametrit kohdilleen. Säätoparametrien ohjelmointi onnistuu tietokoneen avulla TunerStudio ohjelman kautta joko virrat kytkettyinä tai moottorin käydessä.



Kuva 3.1 MegaSquirt -kokonaisuus [6]

Asennuskohteesta riippuen asentaja saattaa tarvita muutakin kuin pelkän ohjausyksikön ja johtosarjan. Useimmiten MegaSquirtin asennuskohde on henkilöauto, vaikka yksikön voikin periaatteessa asentaa melkein mihin tahansa polttomoottorin omaavaan laitteeseen. Auton iästä ja polttoainejärjestelmästä riippuen autossa voi olla jo valmiina tarvittavat anturit, polttoainesuuttimet sekä suuri määrä valmiita johdotuksia. Vanhempiin autoihin tarvittavat osat pitää kuitenkin jälkiasentaa. Toisaalta valmiit johdotukset voivat olla haastavia ja aikaa vieviä, sillä johtoniput ovat usein tiukkaan pakattuja ja johdot huonosti merkittyjä. Usein järjestelmään kannattaa tehdä kokonaan uusi johtosarja riippumatta siitä, voiko vanhaa johtosarjaa käyttää apuna tai ei. Näin tekijä saa varmuuden johtojen asennuksista ja liitäntöjen kunnosta.

### 3.1 MegaSquirtin historia

MegaSquirtin edeltäjä oli nimeltään EFI332 -projekti, joka kahden ihmisen työpanoksella saattoi markkinoille 200 kappaleen erän valmiita EFI332 -yksiköitä vuonna 2000. Suunnittelijat Bruce Bowling ja AlGippo päättivät yksinkertaistaa laitteen suunnittelua ja käytettävyyttä, jonka tulisi soveltua ohjaamaan polttoainesuuttimia laitteessa kuin laitteessa. Konsepti muuttui vuonna 2001 MegaSquirt nimen myötä kaikille avoimeksi. Tämä tarkoitti sitä, että kaikki laitteeseen liittyvä aina piirilevyn suunnittelusta ohjelmistoon saakka olisi avoimesti saatavilla. Myös mikrokontrollerin konekielinen ohjelma on vapaasti räätälöitävissä omaan käyttöön sopivammaksi. [5]

MegaSquirt prosessoreja on julkaistu yhteensä kolme. Prosessorien tekniset ominaisuudet ja eroavaisuudet on esitetty taulukossa 3.1. Käyttäjän kannalta suurin ero prosessoreiden välillä on mahdollisuus entistä tarkempaan sytytyksen ja polttoaineen säätämiseen. MegaSquirt 1 mahdollistaa 8 x 8 matriisit, MS 2 puolestaan 12 x 12 matriisit ja MS 3 kykenee jopa 16 x 16 matriiseihin. Ohjelmistokehitystä jatketaan edelleen myös ensimmäisen prosessorimallin kohdalla. Mikrokontrollereiden koodeista julkaistaan välillä päivityksiä, jotka korjaavat löytyneitä virheitä ja/tai lisäävät uusia toimintoja. Kaikki MegaSquirtin mallit tarjoavat enemmän säätömahdollisuuksia ja toimintoja, mitä suurin osa käyttäjäkunnasta edes tarvitsee. Tässä työssä käsitellään MegaSquirt 1 -prosessoria v2.2 piirilevyllä. [6]

	MegaSquirt	MegaSquirt II	MicroSquirt	MicroSquirt module	Megasquirt III <sup>[2]</sup>
<b>Released</b>	2001	2005	2007	2009	2010
<b>Processor</b>	8-Bit MC68HC908	16-bit MC9S12C64	16-bit MC9S12C64	16-bit MC9S12C64	16-bit MC9S12XEP100
<b>Speed</b>	8 MHz	24 MHz	24 MHz	24 MHz	50 MHz (+100 MHz XGATE)
<b>Flash</b>	32 kB	128 kB	128 kB	128 kB	1024 kB + 32kB data flash
<b>User RAM</b>	512 B	4 kB	4 kB	4 kB	64 kB
<b>Features</b>	Depends on firmware, Inexpensive	More precise fuel control, Ignition Control, CAN Bus, GPIO, Inexpensive, User Spare Output Ports, Automatic Mixture Control, Flex fuel (E85) abilities	Same Features as MS-II, plus Small Size, Sealed case, Dual Ignition/Injection Channels, Assembled	Single card complete MS2 based ECU designed to be used as the basis of an ECU of the user's creation. Includes firmware license.	Extension of MS2, V8 sequential fuel and spark, many more i/os. Wide range of OEM crank/cam wheels supported. Many racing features built in. Onboard USB-serial, SD card datalogging. See the detailed cross reference.

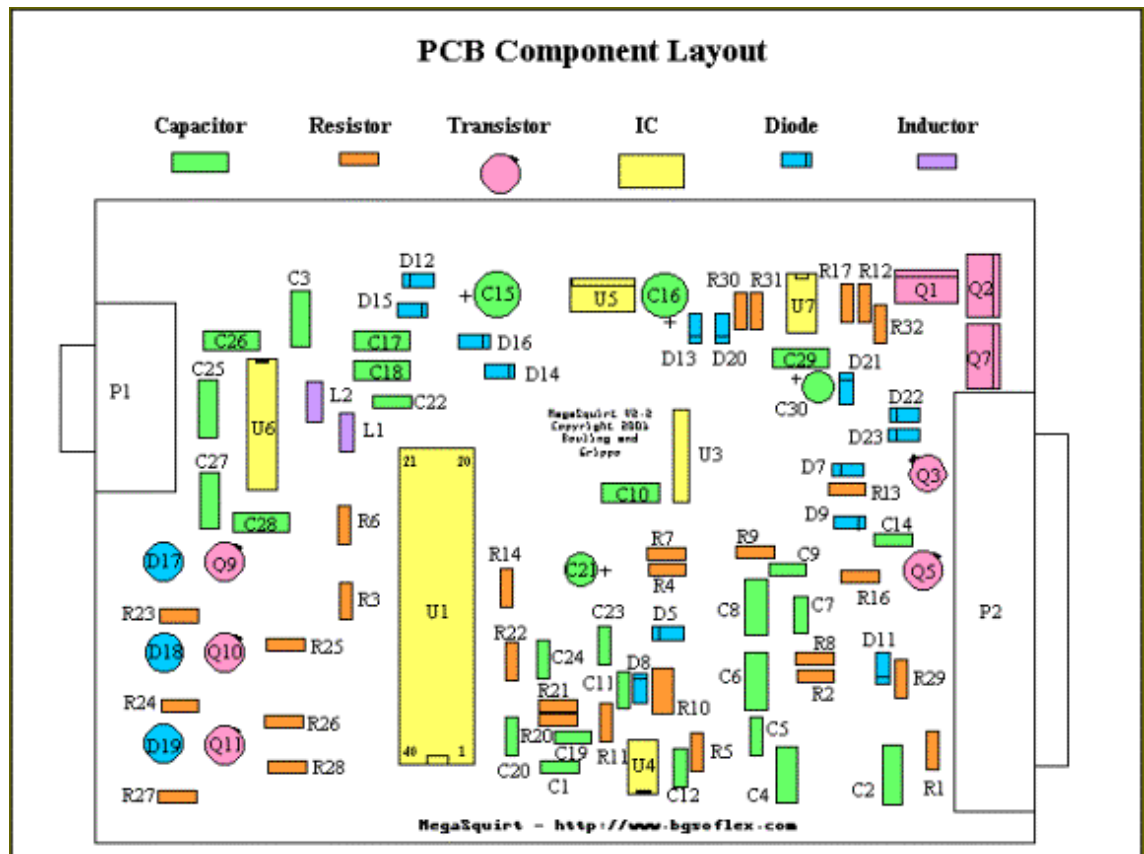
**Taulukko 3.1** MegaSquirt prosessorit [6]

### 3.2 MegaSquirt -piirikortit

MegaSquirt piirilevyjä on saatavilla kolmea erilaista, jotka ovat fyysiseltä kooltaan yhtenevät n. 10cm X 15cm. PCB levyt ovat komponenteiltaan ja ulkonäöltään kuitenkin eriävät. Ensimmäinen piirilevy (kuva 3.2) oli mallimerkinnältään v2.2 ja se oli ainoa levy vuoteen 2005 asti jolloin julkaistiin v3 levy. V3 -levy tarjosi lisäominaisuuksia v2.2 levyyn nähden, kuten "proto" -alueen, joka on varattu lisäominaisuuksien kytkennöille. Vuonna 2010 MS3 prosessorin ilmestyessä julkaistiin v3.57 -levy, joka mahdollisti uusimman prosessorin laajempien ominaisuuksien hyödyntämisen ja samalla piirilevyyn taas lisättiin toimintoja. [6]

Vanhemmat levyversiot (v2.2 ja v3) ovat läpiladottuja, mutta v3.57 -levy on poikkeavasti toteutettu SMD komponenteilla. Kaikki prosessorit sopivat kaikkiin piirilevyihin, mutta MS3 prosessoria ei suositella käytettäväksi v2.2 levyn kanssa, koska v2.2 on prosessorin teknologiaan nähden jo vanhanaikainen. [6]

Jokaiseen piirilevyversioon on saatavilla oma kokoamisohjeensa, jossa jokaisen komponentin paikka on merkitty ja komponentit numeroitu (kuva 3.2). Tämä helpottaa hannonneen osan vaihtoa, sekä muutostöiden tekemistä. Kaikkien levyversioiden kesken numerointi on samankaltainen. Komponentin kohdalla oleva kirjain kertoo komponentin tyyppin ja luku sijainnin.



**Kuva 3.2** V2.2 -levyn osasijoittelukuva [5]

Jokaisessa piirilevyssä keskeisimmät liittynät ovat samat ja ne sijaitsevat vastapuolilla toisiaan. Moottorinohjaustekniikkaan kiinni tulevan johtosarjan liitin on 37 -pinninen sarjaporttiliitin DB37. MegaSquirtiin otetaan tietokoneella yhteys rs232 sarjaportin kautta. Rs232 -porttia käytettäessä on syytä huomioida, etteivät kaikki usb-rs232-muuntimet suostu toimimaan MegaSquirtin yhteyskaapelina tai toimivat huonosti epävakaaasta maatasosta johtuen.

## 4 ANTURIT

Moottorin ohjausyksikkö tarvitsee kattavasti tietoa moottorin toiminnasta. Erilaiset anturit moottorin eri osissa keräävät tarvittavia tietoja muun muassa palotapahtumasta, moottorin lämpötilasta, imusarjassa vallitsevasta ilmanpaineesta jne. Ohjausyksikkö säätelee moottorin toimintaa muuttuneiden parametrien mukaan. Useimmat anturit antavat halutun tiedon vastusarvonsa mukaan, mutta poikkeuksena on pakokaasun happianturi, joka lähettää tiedon voltteina. Moottorinohjauksen kannalta merkittävimmät anturit käydään läpi seuraavissa luvuissa.

### 4.1 Pakokaasun happianturi

Pakokaasun happianturi on tärkein ja ainoa anturi, joka tarkkailee polttoaineen seossuhdetta pakokaasun happipitoisuuden kautta. Pakokaasun happipitoisuuden tunnistinta kutsutaan lambda-anturiksi. Lambda tutkii pakokaasussa olevan jäännöshapen määrää ja antaa siitä laskemalla tietoa polttoaineen seossuhteesta. Lambda-arvolla 1 seos on stokiometrinen, eli optimaalinen palamisen kannalta. [7]

Anturi on valmistettu platinametallilla päällystetystä zirkoniumoksidista ja vaatii tehokkaasti toimiakseen noin 300 °C lämpötilan. Anturi pyritään sijoittamaan pakoputken alkupäähän nopeamman lämpenemisen vuoksi. Osa antureista sisältää lämmitysvastuksen, jonka avulla haluttu toimintalämpötila saavutetaan nopeammin moottorin ollessa vielä kylmä. Antureita on olemassa kahdenlaisia, kapeakaistainen ja laajakaistainen. Antureiden johdotus on riippuvainen anturin tyypistä ja valmistajasta, eikä yksiselitteistä ohjetta ole. [7]

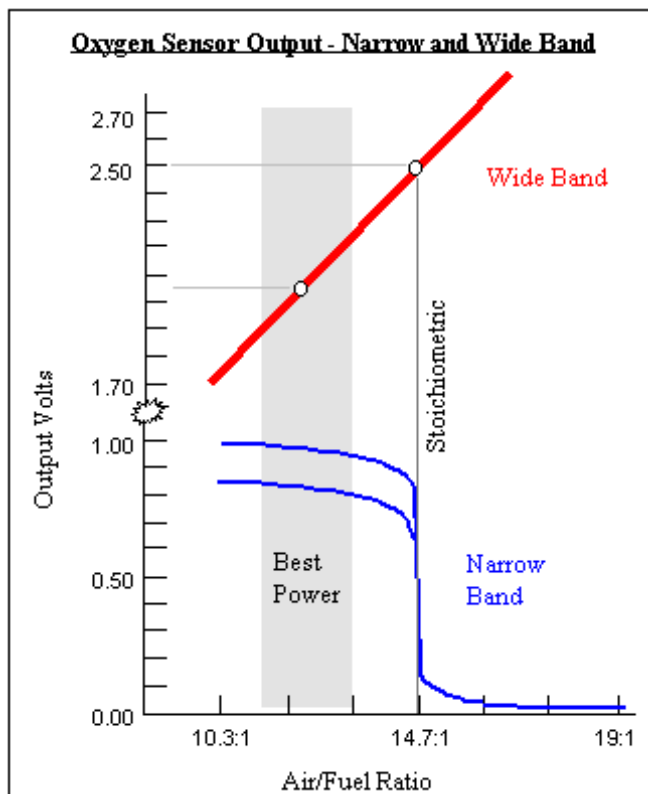
#### 4.1.1 Kapeakaistainen lambda

Kapeakaistaisen lambdan mittausalue on nimensä mukaisesti erittäin kapea (kuva 4.1). AFR ollessa 14,7:1 antaa anturi ulos n. 0,4–0,5 V. Seoksen rikastuksessa jännite kasvaa korkeintaan 1 volttiin. Kaikkien muiden kuin stokiometrisen seostiedon päättely voi perustua pelkkään arvailuun, sillä saatuun arvoon voi vaikuttaa moni asia kuten muun muassa lambdan lämpötila.

Kapeakaistaisen lambda kärjen ja runko-osan välille syntyy jännite-ero, kun pakokaasussa on runsaasti happea. Tällöin palamisseos on laiha ja se sisältää enemmän ilmaa mitä teoreettisesti tarvittaisiin. Liian rikkaan seoksen seurauksena pakokaasuun ei palamisreaktion jälkeen jää juuri lainkaan happea, jolloin jännite-ero häviää. Jännite-eron mukaan lambda antaa ulos 0–1 V. MegaSquirt osaa lukea suoraan kapeakaistalta tulevaa signaalia A/D-muuntimensa ansiosta. [7] [8]

#### 4.1.2 Laajakaistainen lambda

Laajakaistainen lambda kykenee antamaan kapeakaistaa laajemmin tiedon pakokaasun koostumuksesta. Laajakaistainen anturi tarvitsee oman kontrollerin, joka ohjaa anturia ja antaa tiedot MegaSquirtille jännitevälillä 0–5 V. Kalibroitu laajakaistalambda antaa luotettavaa tietoa koko seosalueelta, yleensä AFR väliltä 10 – 19, ja onkin korvaamaton apu moottorin toimintaa säädettäessä. Laajakaistan avulla ei seossuhdetta tarvitse arvailla, vaan voi luottaa mittarin antamiin arvoihin (kuva 4.1). Hankintahinnaltaan laajakaistalambdat ovat tuntuvasti kalliimpia kapeakaistaisiin verrattuna, mutta ehdoton varuste tarkkaan säätämiseen. [8]



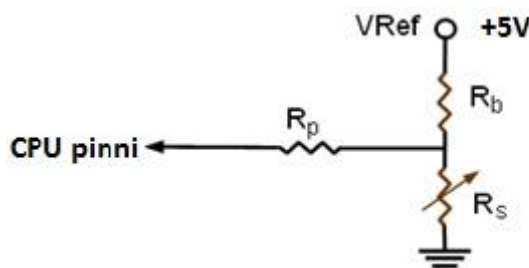
**Kuva 4.1** Lambda -anturien erot [8]



## 4.2 Lämpötila-anturit

Moottorinohjaus tarvitsee erilaisia lämpötilatietoja moottorin tarkempaan säätämiseen. Tällaisia ovat moottorin lämpötila-anturi ja imuilman lämpötila-anturi. Kaikki anturit eivät ole suoraan MS 1:n kanssa yhteensopivia vaihtelevien vastusarvojen vuoksi. Uudemmissa prosessorimalleissa pystyy anturit kalibroimaan suoraan säätöohjelmalla käyttöön sopiviksi.

Tyypillisesti vastukset antureissa ovat NTC-vastuksia, joiden vastuksen vaihteluväli lämpötilasta riippuen on n. 200  $\Omega$ :sta 100 k $\Omega$ :iin. MegaSquirt käyttää NTC -vastusta jännitteenjakajana kytkennässä, jossa  $R_s$  on NTC -vastus ja  $R_b$  on 2.49 k $\Omega$ :n bias vastus (kuva 4.2).  $R_p$  -vastuksen tarkoitus kytkennässä on rajoittaa virtaa prosessorin pinnille. [9]



**Kuva 4.2** NTC vastuksen kytkentäkaavio

### 4.2.1 Moottorin lämpötila-anturi (CLT)

Moottorin lämpötila-anturin tärkein tehtävä on olla indikaattorina kylmäkäynnin rikastamisessa. Anturi antaa moottorinohjaukselle tietoa milloin rikastusta tarvitaan ja koska moottori on saavuttanut halutun käyntilämpötilan. Useimmiten kylmäkäyntirikastus on lineaarinen lämpötilan suhteessa. Anturipohjainen rikastus voi olla käytössä n. 70 °C asti. [9]

Anturin toissijainen käyttö voi olla moottorinohjauksen kautta tuulettimen ohjaaminen. Määritellyn kynnysarvon ylittyessä kytkee moottorinohjaus jäähdyttävän tuulettimen päälle siksi aikaa, kunnes lämpötilat ovat taas tavoitelukemissa.

Moottorin lämpötila-anturi sijoitetaan usein paikkaan, jossa se antaa realistisen kuvan moottorin lämpötilan noususta. Useimmiten sijoituspaikka on kiinni vesikiertossa esi-

merkiksi sylinterinkannessa tai ylävesiletkussa. Anturin ei tarvitse olla nopeasti reagoiva, sillä lämpötilanmuutokset ovat hitaita. Useimmiten käytetäänkin suljettua elementtiä. [10]

#### 4.2.2 Imuilman lämpötila-anturi (IAT)

Imuilman lämpötila-anturi on usein sijoitettu paikkaan, jossa se kykenee mittaamaan moottoriin virtaavan ilman lämpötilaa. Imuilman lämpötila-anturi on moottorin lämpötila-anturia muuten vastaava, mutta sen kotelointi on usein avonainen. Varsinkin ahdetuissa moottoreissa imuilman lämpötilanvaihtelut voivat olla paineenvaihtelun vuoksi nopeita, joten anturin pitää kyetä reagoimaan muutoksiin nopeasti. Moottorinohjaus pyrkii korjaamaan seoskarttoja anturin antaman tiedon mukaan. Sääto tapahtuu erityisesti silloin, kun lämpötilavaihtelut ovat suuria. Säättämällä pyritään ehkäisemään epätoivottua nakutusilmiötä lisäämällä ruiskutettavan polttoaineen määrää. [10]

#### 4.3 MAP-anturi

MAP-anturi (Manifold Absolute Pressure sensor) on ilmanpainetta mittaava sensori, joka mittaa imusarjassa kulloinkin vallitsevaa ali- tai ylipainetta. MAP on moottorinohjauksen perusta kierroslukutiedon lisäksi, sillä MAP aistii moottorin kuormituksen. EFI (Electronic Fuel Injection) käyttää imusarjan ilmanpainetta hyväksi laskiessaan ruiskutettavan polttoaineen määrän. MAP-anturi on MegaSquirtissa sijoitettu piirilevyn välittömään läheisyyteen, jossa se pysyy varminten toimintakuntoisena. [11]

MAP-anturin tarkoitus on reagoida ilmanpaineen muutoksiin. Normaalisti moottorin käydessä tyhjäkäyntiä, muodostuu imusarjaan alipaine joka on luokkaa 60 kPa eli 40 kPa alle ilmakehän paineen. Moottorinohjaus tietää tällöin, ettei kaasua paineta. Kun kaasua painetaan, pyrkii ilmanpaine tasoittumaan vallitsevan ilmanpaineen kanssa ja moottoriin virtaa ilmaa. Mitä lähempänä imusarjan ilmanpaine on lähempänä ilmakehän painetta 100kPa, sitä suuremman kuormituksen alla moottori on. Moottorinohjauksen onkin kyettävä reagoimaan ilmanpaineen muutoksiin lisäämällä polttoainetta ja tämän takia bensinitarvekuvaajat muodostetaan juuri ilmanpaineen ja moottorin kierrosluvun mukaan.

Yleisimmin MegaSquirteissa käytetty sensori on malliltaan MPX4250AP, joka on 250 kPa sensori. Tämä tarkoittaa, että ilmanpaineen lisäksi anturi pystyy käsittelemään painetta 150 kPa yli ilmakehän paineen. Kyseinen anturi riittää pitkälle virityskäyttöön, mutta on olemassa myös 300 kPa:n ja jopa 400 kPa:n antureita, jotka mahdollistavat vielä suurempien ahtopaineiden käytön. [8]

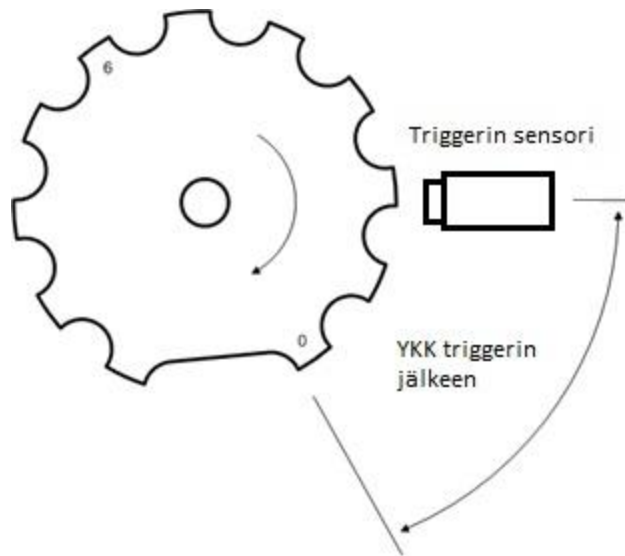
#### **4.4 Kaasuläpän asentoanturi (TPS)**

Kaasuläpän asentoanturi pääasiallinen tehtävä on antaa tietoa ECU:lle kuljettajan liikkeistä. Saatavalla tiedolla voidaan ohjata mm. kiihdytsrikastusta tai polttoaineen vähennystä moottorijarrutuksessa. Kaasuläpän asentotunnistin on yksinkertaisuudessaan pelkkä potentiometri, joka reagoi kaasuläpän muutoksiin vastusarvon muutoksella. [12]

Lineaariset, portaattomasti säätävät potentiometrit saadaan yleensä kalibroituja toimimaan MegaSquirtin kanssa. Kalibrointi tapahtuu yksinkertaisesti valitsemalla Tuner-Studio ohjelman avulla arvot kaasuläpän ääriasennoista potentiometri kytkettynä.

#### **4.5 Kierroslukuanturit**

Moottorinohjaukselle välttämätön tieto on moottorin kierroslukutieto, jotta polttoaineen suihkutusta pystytään jaksottamaan sytytyskipinän kanssa oikein. Kierroslukutieto on mahdollista ottaa jakajasytytyksellä olevissa moottoreissa sytytyspuolan miinusnavalta. Työssä keskitytään myös sytytyksen ohjaukseen MegaSquirtin kautta, joten kierroslukutieto tulee saada muuta kautta. Paljon käytetty keino on ottaa moottorin pyörimistieto kampiakselin päästä erillisellä tahdistuspyörällä ja tätä lukevalla anturilla (kuva 4.3). Vaihtoehtoina on Hall -tyypin anturi tai induktiivinen VR -anturi varustettuna muunninpiirillä. Antureiden asennustapa suhteessa tahdistuspyörään on samanlainen.



**Kuva 4.3** 12–1 tahdistuspyörä

Anturit tarvitsevat kierrosluvun luetaan puuttuvahampaisen, rautaisen hammasrat-taan. Yleisimmin käytetään 12–1, 36–1 ja 60–2 pyöriä. Ensimmäinen luku tarkoittaa hampaiden määrää ilman puuttuvaa hammasta ja toinen luku kertoo puuttuvien ham-paiden määrän. ECU tietää puuttuvan hampaan perusteella koska kampiakseli on pyö-rinyt yhden täyden kierroksen. [13]

Käytettävän anturin erottelukyky määrittelee käytettävän tahdistuspyörän fyysiset omi-naisuudet, kuten hampaiden etäisyyden toisistaan sekä niiden paksuuden. Myös antu-rin asennusetäisyys tahdistuspyörään nähden on usein anturin datalehdessä lukeva tieto, jota on syytä noudattaa tarkimman lopputuloksen saamiseksi.

#### 4.5.1 Hall-anturi

Hall-anturi on elektroninen anturi, joka koostuu Hall -elementistä ja tarvittavista oheis-komponenteista. Hallin tuottama kanttiaalto muodostetaan anturiin sisään tulevalla jän-nitteellä. Hall-anturi sisältää kolme napaa, joista yksi on maa, yksi sisään tuleva jännite ja yksi lähtevä jännite. Anturilla mitataan magneettikentän suuruutta. Toimiakseen yh-teen elektroniikan kanssa, täytyy anturin itse luoda magneettivuo ja sen avulla tunnis-taa magnetoituva kappale. Hall-anturin on syytä olla kytkintyyppinen, joka tuottaa suo-raan MegaSquirtin tulkitsemaa kanttiaaltoa, jonka vuoksi anturi voidaan ottaa käyttöön

hyvin pienillä muutoksilla v2.2 piirilevyllä. V2.2 levyä uudemmat levytyypit osaavat tulkitta anturitietoa ilman muutoksia. Hall on suosituin jälkiasennusanturi sen helpon kytketävyyden takia. [14]

#### **4.5.2 VR-anturi**

VR-anturi on induktiivinen, passiivinen sauvamagneetti, jonka ympärillä on kela. Kela on tasaisessa magneettikentässä kun mitään liikehdintää ei tapahdu. Magnetoituvan hammasrattaan pyöriessä anturin edessä sen kenttä vaihtelee, jolloin kelaan indusoituva jännite mitataan ja muutetaan pulsseiksi. VR-anturin tunnistaa helposti kaksinapaisesta liittimestään. VR:n käyttö vaatii hieman enemmän työtä, sillä MegaSquirt ei pysty suoraan tulkitsemaan anturin signaalia. Väliin tarvitaan VR-muunnin, joka muuntaa signaalin MegaSquirtin tulkitsemaan muotoon. Anturityyppi on yleisesti käytetty vanhemmissa autoissa ja käyttöön ottamista voi puoltaa anturin valmis asennus. [13]

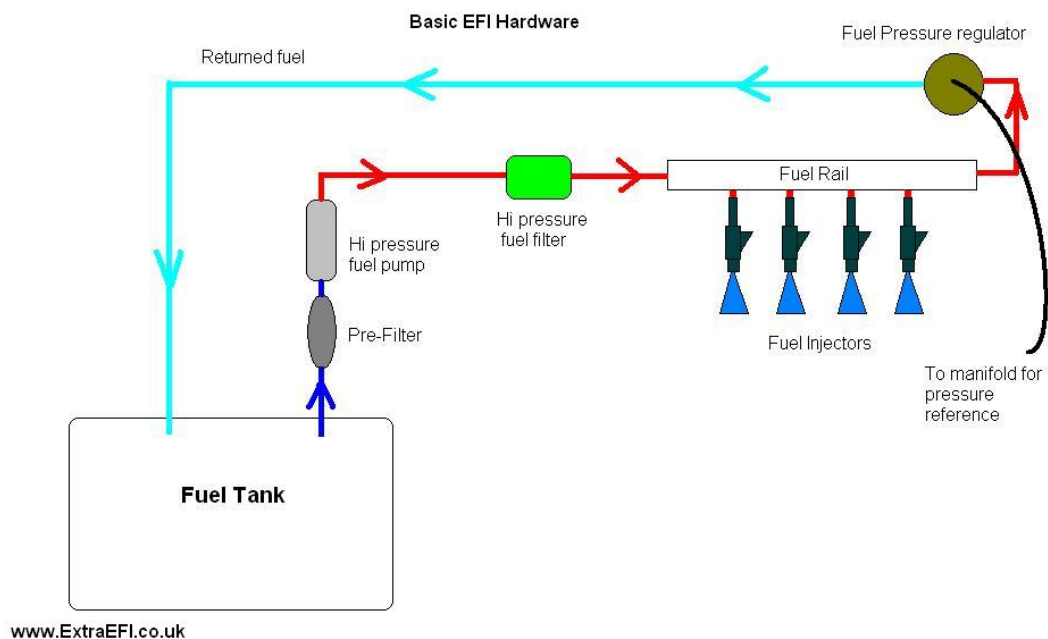
## 5 POLTTOAINEEN SYÖTTÖ

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi käytännön vaatimuksia polttoaineen syötön osalta. Luvussa käsitellään polttoaineen syötössä tarvittavat komponentit sekä suuttimien mitoitus.

### 5.1 Polttoainejärjestelmä

Polttoaine kulkee tankista painepumpun työntämänä siirtolinjaa pitkin imusarjan päällä sijaitsevalle polttoainekiskolle, jossa suuttimet sijaitsevat. Suuttimille tulevan polttoaineen painetta on pystyttävä kontrolloimaan ja siksi paluulinjaan on syytä asentaa polttoaineen paineensäädin.

Vanhemmissa autoissa harvemmin on ruiskukäyttöön sopivaa polttoainejärjestelmää, jolloin sellainen on rakennettava. Yleensä polttoainelinjojen muunto ruiskujärjestelmään sopivaksi vaatii korkeapaineisen polttoainepumpun, jonka tuotto täydellä kuormalla riittää vielä 3 bar:iin. Lisäksi tarvitaan paineen kestävät linjat konetilaan ja konetilasta takaisin tankkiin. Kuva 5.1 havainnollistaa polttoaineen toivotunlaisen kulun mahdollistavat tekijät.



**Kuva 5.1** Polttoainejärjestelmän havainnekuva [15]

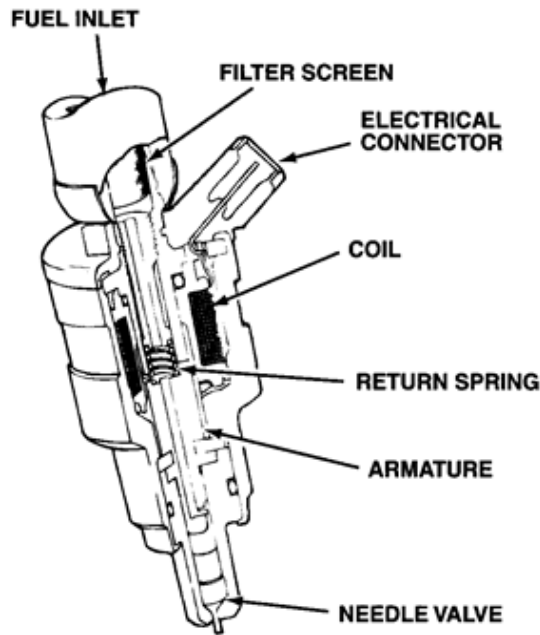
## 5.2 Polttoaineen paineensäädin

Paineensäätö on täysin mekaaninen ja toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Säätimen läpi virtaavan polttoaineen painetta rajoitetaan neulaventtiilillä, jonka liikettä kontrolloi jousikuorma. Jousen jännitystä ohjaa kalvo, joka reagoi imusarjan paineeseen. Alipaineen kasvaessa linjapaine vähenee jousen jännityksen kasvaessa. Polttoaineen paineensäätimiä on saatavana myös säädettäviä malleja, joissa käyttäjä pystyy itse määrittelemään halutun peruspaineen. Polttoaineen käyttöpaine yleisesti oletuksena on 3Bar.

## 5.3 Suuttimet

Polttoainesuutin on solenoidiventtiili, joka avautuessaan päästää polttoainetta lävitseen. ECU kontrolloi suuttimen aukioloaikaa suuttimen kelaa maadoittamalla ja tällöin suutin päästää polttoainetta imusarjaan määritellyn ajanhetken. Lepotilassa neulaventtiili pysyy kiinni jousivoimalla (kuva 5.1). Suuttimien tuotto ilmoitetaan yleensä läpivirtaavan polttoaineen määränä kuutiosentteinä minuutissa 3 barin linjapaineella.

Suuttimet voidaan jakaa kahteen kategoriaan, matala- ja korkeaohmisiin. Korkeaimpedanssiset suuttimet, joiden vastusarvo on noin 10–16  $\Omega$ , eivät vaadi virran rajoitusta. Matalaimpedanssisten suuttimien käyttö, joiden impedanssi on normaalisti välillä 1–5  $\Omega$ , vaatii sarjaan kytketyt vastukset virrankulun rajoittamiseksi. Suuttimien virran tulisi jäädä alle 2 A:n. Virrankulutuksen pystyy helposti laskemaan Ohmin lain kaavalla  $\text{virta} = \text{latausjännite} / \text{resistanssi}$ . Saatua tulos kertoo, tarvitseeko kytkentä etuvastuksia. [15]



**Kuva 5.1** Polttoainesuuttimen rakenne [16]

Polttoaine pyritään sekoittamaan ilmaan mahdollisimman hienojakoisella sumulla. Polttoainesumu muodostuu polttoaineen linjapaineen ja suuttimen neulaventtiilin edessä olevien reikien ansiosta. Suuttimien kohdistuksella imusarjaan saavutetaan tarkempi suihkutetus ja niinpä suuttimet usein asennetaan mahdollisimman lähelle sylinterinkantaa. Asennuskulma tulisi olla mahdollisimman kohtisuorassa imuventtiiliä kohden. [16]

#### 5.4 Suuttimien mitoitus

Suuttimien koko tulee valita pääasiassa suuttimien määrän ja halutun tehotavoitteen mukaan. Liian suuret suuttimet voivat vaikeuttaa säätämistä tyhjäkäynti- ja keskialueella. Pienten suuttimien kohdalla suuttimien tuotto puolestaan saattaa loppua ja tällöin suuttimet eivät kykene syöttämään täydellä kuormituksella vaadittava määrää polttoainetta. Yleensä suuttimet kannattaa kuitenkin mitoittaa hieman yläkanttiin, sillä säätäminen muodostuu ongelmaksi vasta huomattavasti ylisuurien suuttimien kanssa. [5]

Suuttimien tuoton voi karkeasti mitoittaa seuraavalla kaavalla:

$$\text{Suuttimien koko} \frac{\text{cc}}{\text{min}} = \frac{\text{Tehotavoite} * \text{BSFC}}{\text{Suuttimien lukumäärä} * \text{DutyCycle}} * 10,5$$

BSFC (Brake Specific Fuel Consumption) on polttoaineen kulutusarvo, jonka moottori kuluttaa yhden hevosvoiman teholla tunnissa. Täyskaasulla arvo on yleensä välillä



0,42–0,58. Vapaasti hengittävien moottoreiden kanssa käytetään kerrointa noin 0,45 ja ahdetuissa noin 0,55.

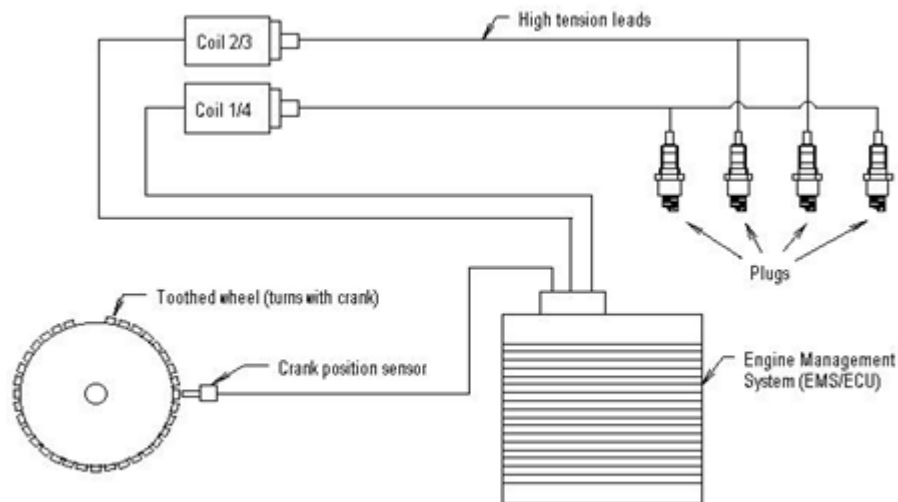
DutyCycle on suuttimen aukioloaika, joka vastaa käyttöastetta, jonka tulisi laskea korkeintaan 90 %:n mukaan. Kerroin 10,5 on muunninkerroin, jolla lb/hr saadaan kätevästi suoraan cc/min. [17] [5]

## 6 SYTYTYS

Sytytysjärjestelmän ohjaamiseen MegaSquirtilla on useita vaihtoehtoja, kuten alkupe-  
räisen puolan ohjaus, erillispuolien ohjaaminen sekä hukkakipinäpuola. ECU -  
pohjaisen sytytyksen ohjauksen etuna on, että sytytysennakkoa saadaan muutettua  
täysin vapaasti eri kierroslukualueilla, joka mahdollistaa runsaat säätömahdollisuudet.  
MegaSquirt ei kuitenkaan pysty ohjaamaan sytytystä ilman piirilevylle tehtäviä muutok-  
sia. Tässä kappaleessa käsitellään vaadittavat muutokset v2.2 piirilevylle hukkaki-  
pinäpuolan ohjausta ja Hall-anturia varten. [18]

### 6.1 Hukkakipinä

Työhön valikoitui ns. Wasted spark eli hukkakipinäjärjestelmä, sillä se ei tarvitse erillis-  
tä virranjakajaa ja on halvempi ja yksinkertaisempi toteuttaa kuin erillispuolat.



**Wasted spark, hukkakipinä**

**Kuva 6.1** Hukkakipinäpuolan toimintaperiaate

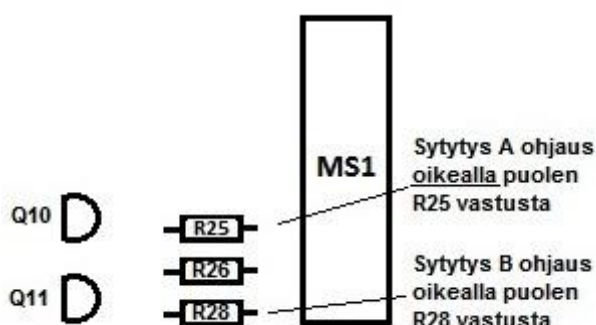
Hukkakipinäjärjestelmässä (kuva 6.1) puola muodostaa kipinän pareittain, joista toinen  
kipinä muodostetaan puristustahdin aikana ja toinen poistotahdin aikana. Poistotahdin  
aikana muodostettu kipinä menee hukkaan ja tämän vuoksi sytytyspuola on nimetty  
hukkakipinäpuolaksi. Käytännössä 4 -lähtöinen hukkakipinäpuola sisältää 2 erillistä  
puolaa joita ohjataan erikseen (kuva 6.1). Esimerkiksi nelisynterisessä autossa puola  
1 ohjaa sylintereiden 1 ja 4 sytytystulppia ja puola 2 sylintereiden 2 ja 3 sytytystulppia.

Puola saa sytytyskomennon moottorinohjausyksiköltä, joka laskee oikean sytytyshetken kampiakselin asentotunnistimen tiedon avulla. [18]

## 6.2 Sytytyksenohjauksen vaatimat muutokset

Sytytyspuolia löytyy sekä sisäänrakennetuilla että ulkoisilla pääteasteilla varustettuna. Työssä käsitellään sytytyspääteasteet itsessään sisältävää puolaa. Sytytyspääteasteet itsessään sisältävä puolaa käytettäessä ei MegaSquirtille tarvitse asentaa erikseen tehotransistoreita tai vastaavia, jotka muutoin vaadittaisiin. Käyttöön suoraan sopivia puolia ovat esimerkiksi Volkswagenin ruiskumoottoreissa käytetyt ECU:lla ohjatut puolat. Puolan liitin on usein 4-pinninen, joista yksi pinni on maa, yksi +12 V käyttöjännite, sekä molemmille pääteasteille A ja B omat ohjauspinninsä. Ensiarvoisen tärkeää on muistaa TunerStudion asetuksista kohta ”spark output inverted: No”, sillä invertoitu lähtö kuumentaisi ja lopulta polttaisi puolan pääteasteet todennäköisesti jo ennen moottorin käynnistymistä.

Sytytyspuolan tarvitsemat 5 V:n ohjaussignaalit voidaan ottaa piirilevyltä vastuksien R25 ja R28 oikeita puolilta (kuva 6.2) 1 kΩ:n ylösvetovastuksilla. Tällöin TunerStudion säätövalikosta täytyy valita käytettäväksi LED D17:n ohjausta (R25 vastuksen jalka) A puolen pääteasteelle ja LED D19:n ohjausta (R28 vastuksen jalka) B puolen pääteasteelle. Näin sytytysohjaus hoidetaan ledien lähdöillä ja ledit palavat auton käydessä. Teoriassa ledit vilkkuvat piirilevyllä moottorin sytytystahdin mukaan vuorotellen, josta on hyötyä tarkistettaessa kytkennän toimivuutta esimerkiksi moottoria käsin pyöritettäessä.



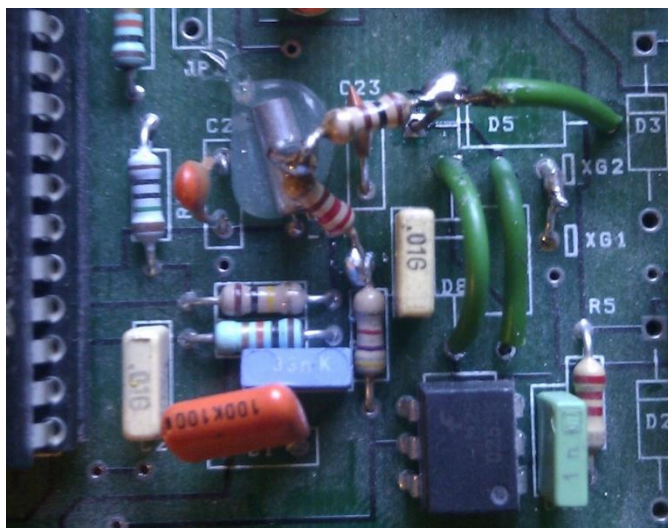
**Kuva 6.2** Sytytyspääteasteiden ylösvedot

Erillisiä liittimiä ei sytytyksen ohjaukseen tarvita, sillä ohjaukseen tarvittavat kaksi varapinniä voidaan hyppylangoilla valjastaa käyttöön MegaSquirtin DB37 -liittimestä. Piirile-

vyyllä on valmiiksi huomioitu kyseinen tarve, joten R25 ylösveto voidaan kytkeä kohtaan X11, joka on suorassa yhteydessä DB37 liittimen pinniin numero 25. Puolestaan R28 ylösveto vedetään piirilevylle kohtaan X12, joka on suoraan yhteydessä pinniin numero 27.

### 6.3 Hall-anturin vaatimat muutokset

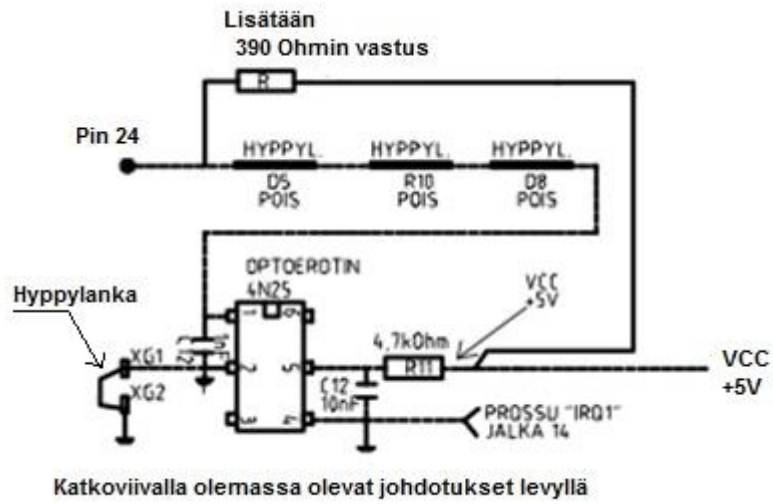
Ilman piirilevylle tehtäviä muutoksia pystyy v2.2 piirilevy tulkitsemaan kierroslukutiedon jakajallisen sytytyspuolan miinusnavalta moottorin käydessä. Virranjakajan poistuessa käytöstä, vaatii Hall-anturin käyttöönotto hieman muutoksia piirilevyn kytkentään, jotta saatua kanttiaaltoa pystytään hyödyntämään. Käsiteltävien komponenttien sijainnit pystyy selvittämään kohdassa 3.2 esitetystä piirikaaviosta. [18]



**Kuva 6.3** Hall-anturin vaatimat komponenttimuutokset piirilevylle

Levyltä poistetaan D5, D8 ja R10, niiden tilalle juotetaan hyppylangat (kuva 6.3). Hyppylanka juotetaan myös XG1 ja XG2 välille. Näiden muutoksien lisäksi lisätään 390  $\Omega$  vastus +5 V:n ja pinni nro 24 väliin kuvan 6.4 mukaisesti. Jännitteen saa otettua esimerkiksi R11 vastuksen jalasta.

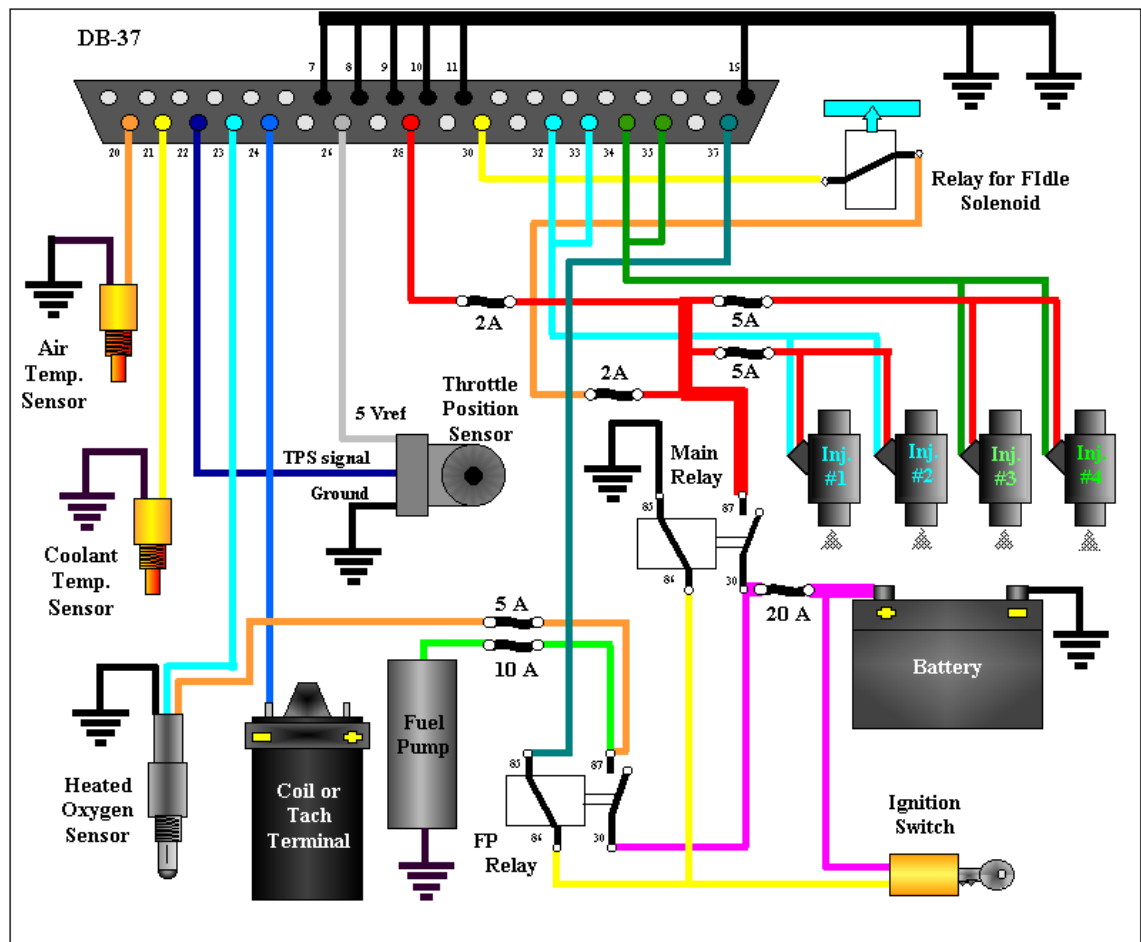
DB37 liittimen pinniä numero 24 käytettiin alkuperäisessä kytkennässä aistimaan kierroslukutieto puolan miinusnavalta, mutta käsiteltyjen muutosten jälkeen sama pinni on kykenevä lukemaan Hall-anturin tuottamaa kanttiaaltoa. [19]



**Kuva 6.4** Hall-anturin vaatimat piirimuutokset

## 7 JÄRJESTELMÄN KOKOAMINEN

Ennen asennuksen aloitusta on asentajan syytä perehtyä hyvin kytkentäkaavioon (kuva 7.1). Kaaviossa on nähtävillä kaikkien tarvittavien komponenttien kytkennät sekä MegaSquirttiin että käyttösähköön ja sulakkeisiin. Johtojen vedon yhteydessä kannattaa miettiä yhtenäistä paikkaa sulakerasialle, johon on koottu kaikki moottorinohjaukseen liittyvät sulakkeet ja releet. Useimmissa ratkaisuissa on yksinkertaisinta rakentaa oma sulakerasia jälkiasennetuille järjestelmille. Kaaviosta voi ottaa mallia myös releiden asennukseen ja suositeltavien sulakkeiden kokoon eri yksiköiden välillä. Releiden asennus on suositeltavaa, sillä niiden avulla on helppo ohjata mm. bensiinipumpun tai muiden lisälaitteiden käyntiä, joita ei tarvita moottorin ollessa sammutettuna.



Kuva 7.1 MegaSquirtin johdotusten kytkentäkaavio [8]

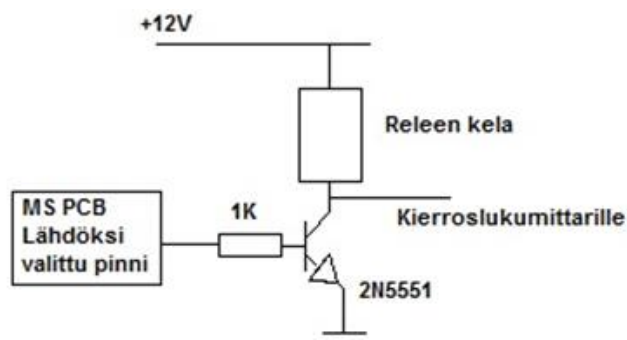
## 7.1 Johdotus

Johdotus on tehty helpoksi käyttämällä valmiiksi värikoodattuna johtosarjaa DB37-liittimellä. Värikoodatussa johtosarjassa käytetään johdoissa samoja värejä, joita käytetään myös asennuskaavioissa (kuva 7.1). Johtosarjan voi valmistaa itse tai ostaa valmiina. Värikoodausta on syytä noudattaa, sillä asennus sekä vianetsintä ovat huomattavasti helpompia suorittaa ongelmatilanteissa johdotuksien ollessa asennettuna.

Johdotuksia tehtäessä on syytä kiinnittää erityistä huomiota auton akun, MegaSquirtin ja antureiden maadoituksiin. MegaSquirt tulisi maadoittaa mahdollisimman lähelle akun runkoa. Sensoreissa suositellaan häiriöiden minimoimiseksi maadoitusta suoraan MegaSquirtin DB37-liittimessä varattuihin pinneihin. DB37:n pinnit 1–19 ovat kaikki maadoitettavia. Suoraan MegaSquirtin laiteliittimeen maadoittamalla ei järjestelmän maahan pääse syntymään potentiaalieroja ja häiriöiden mahdollisuus pienenee.

## 7.2 Kierroslukumittari

Mootoreiden kierroslukutieto luetaan auton omalle mittarille yleisemmin sytytyspuolan miinusnavalta tai alkuperäisen moottorinohjauksen kautta. MegaSquirtin käyttöönoton jälkeen kumpikaan edellä mainituista vaihtoehdoista ei ole enää mahdollinen, jolloin kierroslukutieto täytyy saada otettua ulos MegaSquirtin piirilevyiltä. Yksinkertainen tapa tähän on valita vapaa prosessorin jalka ja asettaa se TunerStudiolla antamaan kierroslukutietoa ulkoiselle kytkennälle. Kuvan 7.2 kytkentä sopii kierroslukumittarille, joka on suunniteltu lukemaan tieto puolalta. ECU:n kautta kierroslukutiedon saanut mittari tarvitsee kelan tilalle noin 10k $\Omega$ :n vastuksen.



**Kuva 7.2** Kierroslukumittarin asennus

## 8 SÄÄTÖ

Kun moottorinohjaus on saatu asennettua, tarvitsee moottori saada käyntiin ja parametrit säätöihin. Säätö on MegaSquirtin käyttöönotossa usein työläin vaihe, ja se vie oman aikansa. MegaSquirtin uusimman säätöohjelman nimi on TunerStudio. TunerStudio on ilmainen säätöohjelma, joka soveltuu MegaSquirtin säätämiseen ja tiedonkeruuseen myöhempää tarkastelua varten. Ohjelma on Java-pohjainen ja saatavilla Windows-, Mac- ja Linux-ympäristöihin. Tässä luvussa käsitellään perusasetuksien asettaminen moottorin käyntiin saamiseksi. [20]

Moottorinohjauksen säätämisen työjärjestys on lyhyesti seuraava:

1. Opetellaan säätöohjelman käyttö.
2. Luodaan ohjelmaan uusi projekti ja syötä perustiedot.
3. Yritetään saada moottori käyntiin ja säädä tyhjäkäynti.
4. Asetetaan sytytysennakko koko alueelle kiinteäksi ja tarkistetaan ennakko ajoituslampulla.
5. Säädetään polttoainekarttaa moottorin lämmitessä lambda avulla, kunnes käyntilämpöinen.
6. Säädetään polttoainetaulukko ja sytytystaulukko kohdilleen.
7. Säädetään kylmäkäyntirikastukset.
8. Säädetään kiihdytysrikastukset.

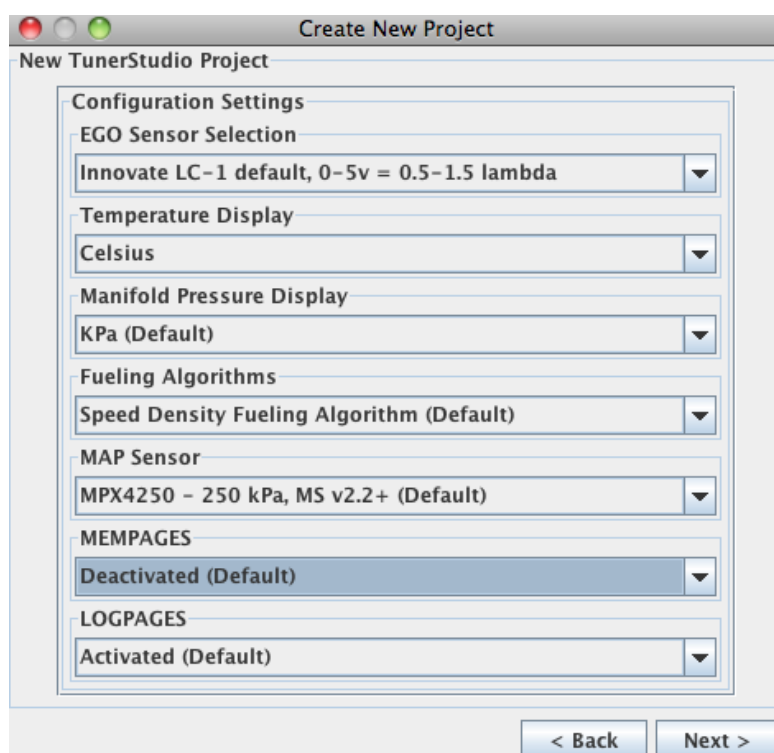
Oikeaa säätöä haettaessa ei pidä muuttaa montaa asiaa samanaikaisesti, jotta lähtötilanteeseen on helpompi palata. Pienilläkin muutoksilla voi olla suuri merkitys moottorin käyntiin.

Polttoaine- ja sytytystaulukoita tehtäessä voidaan apuna käyttää muiden tekemiä taulukoita. Muiden tekemiä karttoja katsottaessa ainakin saa käsityksen siitä, millaisia arvoja mihinkin matriisiin lokeroon kuuluisi tulla. Koska moottorit ovat aina yksilöitä, tulee muissa moottoreissa käytettyjen arvojen toimia ensisijaisesti lähtökohtana ja mallina. [21]



## 8.1 Perustiedot

Ensimmäistä kertaa MegaSquirttia yhdistettäessä Tunerstudioon tulee luoda uusi projekti, jota ohjelma myös automaattisesti ehdottaa oletuksena. Ensimmäiseksi määritellään prosessorin tyyppi ja valitaan sen sisällä oleva ohjelmakoodi. Seuraavassa vaiheessa (kuva 8.1) valitaan käytetty lambda-anturi sekä varmistetaan, että oletustiedot vastaavat oman levyn tietoja sekä haluttua näkymää mm. lämpötilojen suhteen. [21]



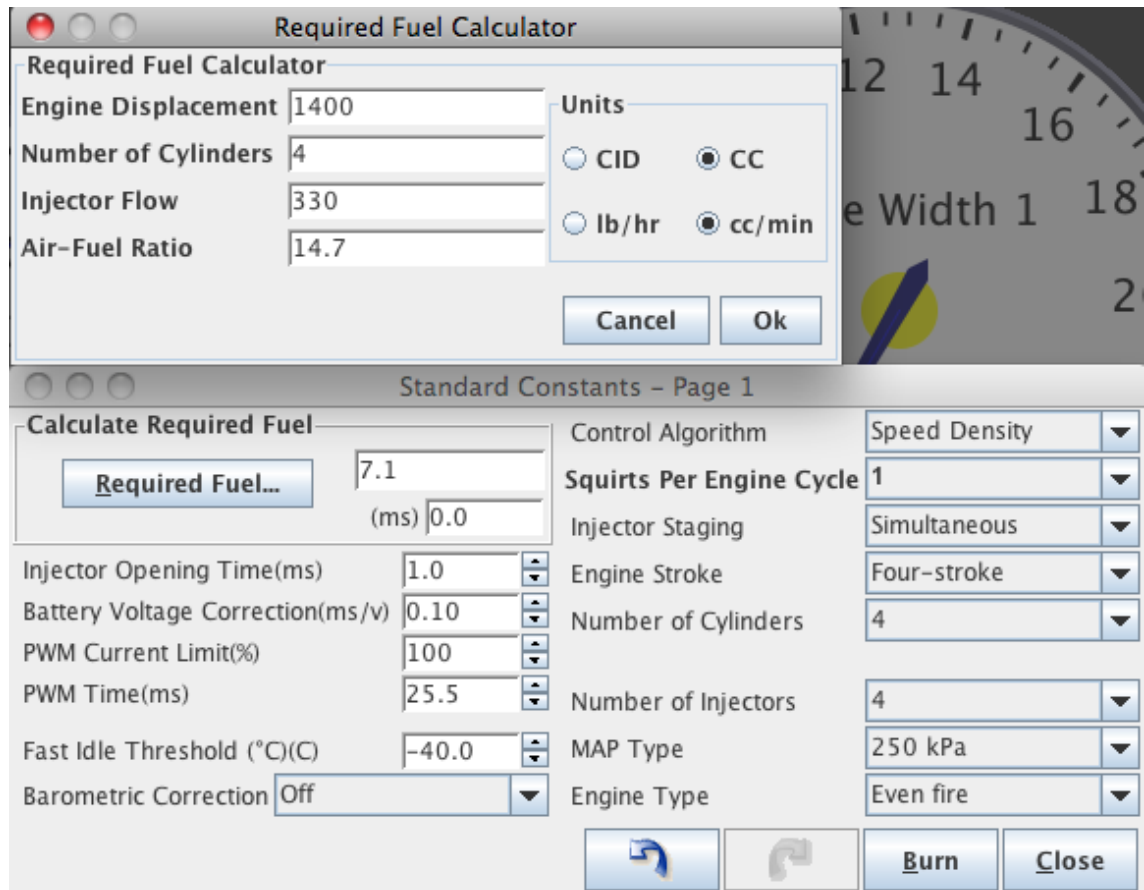
**Kuva 8.1** Uuden projektin luominen

Aloituksen jälkeen aukeaa ohjelman päänäkymä (kuva 8.2). Näkymä kertoo mittareiden kautta kaiken moottorin toiminnasta silloisella ajanhetkellä. Ylhäällä on palkki, josta aukeaa säätövalikot kunkin aihealueen kohdalta. Kaikkia ominaisuuksia ei ole mahdollista päästä käyttämään pelkällä ilmaisversiolla, mutta moottorin perusasetukset pystytään sillä hyvin säätämään. Ainoa suurempi puute ilmaisversiossa on automaattinen ajonaikainen säätö, eli kaikki muutokset joudutaan taulukkoihin tekemään manuaalisesti.



**Kuva 8.2** TunerStudion perusnäky

Ennen käynnistystä täytyy MegaSquirille antaa moottorin tiedot, joiden perusteella mikrokontrolleri ohjaa suuttimia. Tietojen perusteella mikrokontrolleri laskee suihkutettavan polttoaineen määrän oikein moottorin ominaisuuksiin nähden. Tiedot asetetaan “Basic settings”-valikon alta “Standard Constans”-kohdassa (kuva 8.3). Moottorin fyysiset ominaisuudet syötetään puolestaan polttoainelaskuriin. Asetukset kannattaa heti alussa asettaa oikein, sillä kaikki tiedot vaikuttavat suoraan polttoainekartassa käytäviin arvoihin.

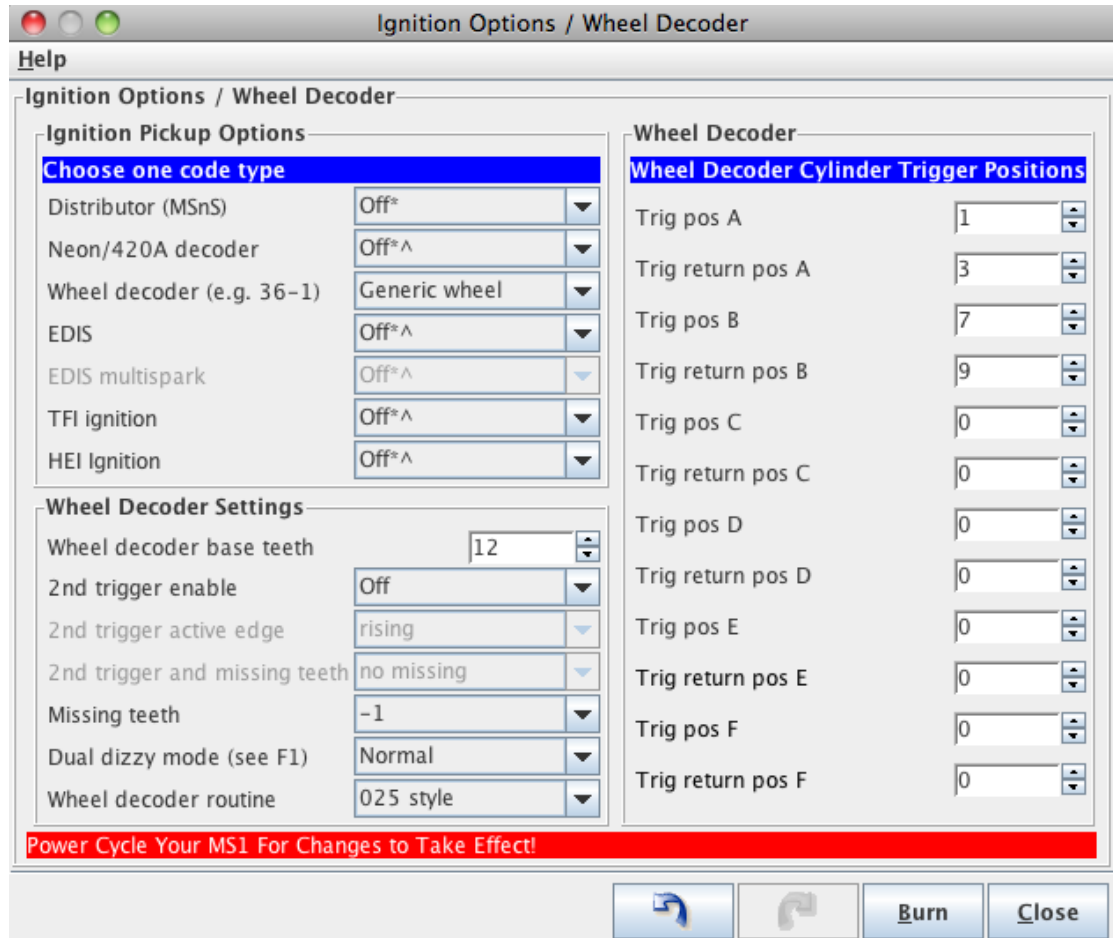


Kuva 8.3 Moottorin perustiedot

## 8.2 Kampiakselin asentotunnistimen asetukset

Jotta sytytysennakko kyettäisiin ajoittamaan oikein, on moottorinohjaukselle määriteltävä kierrosnopeustiedon tulkinnessa käytettävä järjestelmä. Tässä tapauksessa kampiakselin asennosta kertova 12–1 tahdistuspyörä. Kuvassa 8.4 on nähtävillä käytetyn hammastuksen vaatimat asetukset. Hall-anturia käytettäessä moottorinohjaus tietää myös moottorin asennon puuttuvan hampaan mukaan, jolloin kipinä pystytään antamaan juuri oikealla ajanhetkellä.

”Trigpos A” on hammaspyörän hammas, jonka mukaan liipaistaan A-puolen kanavaa sytytyspuolalta eli sylintereitä 1 ja 4. ”Trigpos B” käytetään puolestaan sylintereiden 2 ja 3 liipaisuun. ”Trigreturn position”-hammastukset liipaistaan moottoria käynnistettäessä, mutta ne eivät osallistu moottorin käynnistyksen jälkeen toimintaan. Hammastuksen ollessa väärä tai kampiakselin ollessa väärässä asennossa tahdistuspyörään nähden on moottoria mahdotonta saada käymään oikein. [22]



**Kuva 8.4** Kampiakselin asentotunnistimen määrittäminen

### 8.3 Moottorin käynnistäminen

Kun perustiedot ohjelmalle on annettu ja tiedot on tallennettu MegaSquirtin mikrokontrolleriin, käynnistetään moottori. Yleisiä ongelmia voivat olla esim. puutteelliset arvot, väärät polttoainekartat sekä irtonaiset liittimet. Myös tukkeutunut suutin tai rikkonainen bensanpainesäädin voivat ilmentyä ensikäynnistyksen yhteydessä. Tärkeintä on kuitenkin saada moottori ensin käyntiin, jonka jälkeen aletaan säätöjä hakea kohdalleen.

Ohjelmalla tehdyt muutokset on syytä tallentaa "burn"-nappia painamalla aina ennen moottorin ja MegaSquirtin sammuttamista, sillä muutoin muutokset eivät tallennu mikrokontrolleriin.

## 8.4 Polttoainetaulukko

Polttoainetaulukkoa (kuva 8.5) tehtäessä on hyvä miettiä alueita, jossa moottori tulee käymään missään olosuhteissa ja kuormitusilanteissa. Esimerkiksi kaasuläpän ollessa täysin auki, on ilmanpaine vapaasti hengittävänmoottorin imusarjassa 100kPa. Ilmanpaine ei kasva tätä suuremmaksi missään olosuhteessa vapaasti hengittävässä moottorissa, jolloin polttoainetta ei tarvitse asettaa korkeammille paineille. Tavalliset moottorit harvemmin myöskään kiertävät yli 7 000 RPM, jolloin tarpeettomat kierroslukualueet voi myös suoraan rajata pois, ellei moottoria ole tarkoitus kierrättää pidemmälle. Turhat solut minimoimalla saadaan bensansyöttö tarkimmaksi mahdolliseksi. [23]

	600	1000	1500	2000	2400	2800	3200	3800	4400	4800	5400	6000
180	24	46	46	42	55	60	63	64	66	67	67	69
170	24	40	44	48	55	58	62	63	64	65	66	67
160	24	36	39	45	50	55	57	59	61	62	61	61
140	24	36	39	44	49	52	55	56	56	57	57	57
130	24	30	39	44	48	51	52	54	55	56	54	54
120	24	30	39	43	47	48	49	51	53	53	52	52
110	24	30	39	43	44	46	46	48	49	50	50	50
100	32	33	37	38	39	39	40	41	41	42	43	45
80	30	33	34	35	35	36	37	37	36	35	35	35
60	26	26	31	31	31	32	32	32	32	32	32	32
40	26	26	29	29	29	29	30	30	30	30	30	29
30	26	26	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26

**Kuva 8.5** Polttoainetaulukko pienelle turbomoottorille

Matriisin laatikoita kutsutaan soluiksi. Polttoainedataa syötetään matriisiin (kuva 8.6) sivuilla näkyvien kierroslukutietojen, sekä ilmanpaineiden mukaan. Esimerkiksi tyhjäkäynnillä ilmapaine kohdemoottorissa on välillä 40–60 kPa sekä kierrokset 600–1 000 RPM. Tällöin polttoainekartan luku on 26, jolla AFR -arvo on noin 15. Kohdeauton moottoriin on asennettu turboahdin, jonka johdosta polttoainekartta on tehty 180 kPa

asti. Kyseisen auton turbo ei missään olosuhteissa kehitä painetta alle 1 500 kierroksen, joten yli 100 kPa alueen voi jättää näillä kierroksilla käytännössä huomioimatta.

Polttoainematriisin arvot lasketaan Required Fuelin tietojen mukaan, joten eriävät moottorin tiedot antavat luonnollisesti karttaan erilaiset arvot. Ilmanpaineen tai kierrosluvun määrittäessä säädetyn alueen ulkopuolelle käytetään viimeistä käytettyä arvoa. Tämän takia kartan viimeisten arvojen kannattaa olla hieman ylimitoitettuja, ellei moottorin käyttäytymisestä ei ole luotettavaa tietoa.

## 8.5 Sytytystaulukko

Sytytystaulukon (kuva 8.6) säätö tapahtuu vastaavalla tavalla polttoainetaulukon kanssa ja taulukon toimintaperiaate on myös täysin polttoainetaulukkoa vastaava. Karttaan syötettävät arvot ovat sytytysennakon asteita ennen yläkuoloa.

	600	1000	1500	2000	2400	2800	3200	3800	4400	4800	5400	6000
170	6	6	6	6	6	12	13	14	15	15	15	11
150	12	12	12	12	12	14	17	19	20	20	20	15
140	12	12	11	12	16	16	19	21	22	22	22	17
130	12	12	11	16	18	18	21	23	24	24	24	20
120	15	15	14	16	19	20	23	25	26	26	26	23
110	17	17	16	17	19	21	25	27	28	28	28	25
100	13	13	16	17	19	21	25	27	28	29	29	28
90	12	12	15	17	19	21	25	27	29	30	29	28
80	12	12	15	17	19	21	25	27	29	30	29	28
60	12	12	15	18	21	22	26	28	30	31	30	30
40	12	12	17	20	22	24	28	30	32	32	32	30
20	12	12	17	20	22	24	28	30	32	32	32	30

**Kuva 8.6** Sytytyskartta pienelle turbomoottorille

Ensimmäisen kerran hukkakipinällä käynnistettäessä on syytä muistaa asettaa joutokäyntialue kokonaisuudessaan esimerkiksi kiinteään 10 asteeseen tai muuhun vastaavaan lukuun, joka on helppo tarkistaa tarkoitukseen suunnitellulla ajoituslampulla kampiakselin päästä. Sytytyskarttaa ei ole syytä lähteä säätämään, eikä autolla ajamaan, ennen kuin kartan arvo vastaa todellista arvoa.

Ääriarvot kannattaa asettaa niin sanotuin turvarajoin, joiden ylitse mentäessä ei vahinkoa pääse syntymään. Tämä koskee erityisesti turboahtimella varustettuja autoja. Esimerkiksi ahtimen hukkaportin letkun irtoaminen aiheuttaa hallitsemattoman ahtopaineen nousun, joka aiheuttaa nopeasti moottorivaurion seossuhteen joutuessa laihalle. Vahinkoa ei välttämättä niin nopeasti synny jos sytytystaulukon viimeinen arvo on tarpeeksi alhainen. Turvaraja kannattaa ottaa huomioon kaikkien kierroslukujen alueella, jossa ahtopaineiden nousu yli toivotun on mahdollista.

## 8.6 Kiihdytysrikastus

MegaSquirtin voi ohjelmoida käyttämään joko MAP- tai TPS-pohjaista kiihdytysrikastusta ja käyttäjä voi itse määritellä kumpaa hän haluaa käyttää. Valinta tehdään ”Acceleration Wizard”-kohdassa. Useimmissa tapauksissa TPS-pohjainen ratkaisu on todettu paremmaksi. Kummassakin rikastusvaihtoehdossa voi käyttäjä ohjelmallisesti määritellä joko paineen tai vastusarvon muutosnopeuden ja määrän mukaisen rikastuksen ja rikastuksen keston. Kun kaasua painetaan, on nopea reagointi muutokseen ainut haluttu vaihtoehto ja siihen on hyvä pyrkiä. [24]

Joissain tilanteissa moottorin parempi toiminta edellyttää kuitenkin TPS-anturin käyttöä ja useimmissa ohjeissa suositellaankin anturia käyttämään jos sellainen kaasuläpystä löytyy tai on siihen mahdollista järkevällä työmäärällä yhdistää. Esimerkiksi kylmällä moottorilla ei MAP-pohjainen rikastus välttämättä toimi yhtä luotettavasti ja nopeasti kuin TPS-pohjainen rikastus. Moottorinohjaus saadaan lisäämään polttoainetta kaasuläpän muutoksen mukaan ohjelmassa määritellyn ajanhetken verran riippumatta muista parametreista. [24]

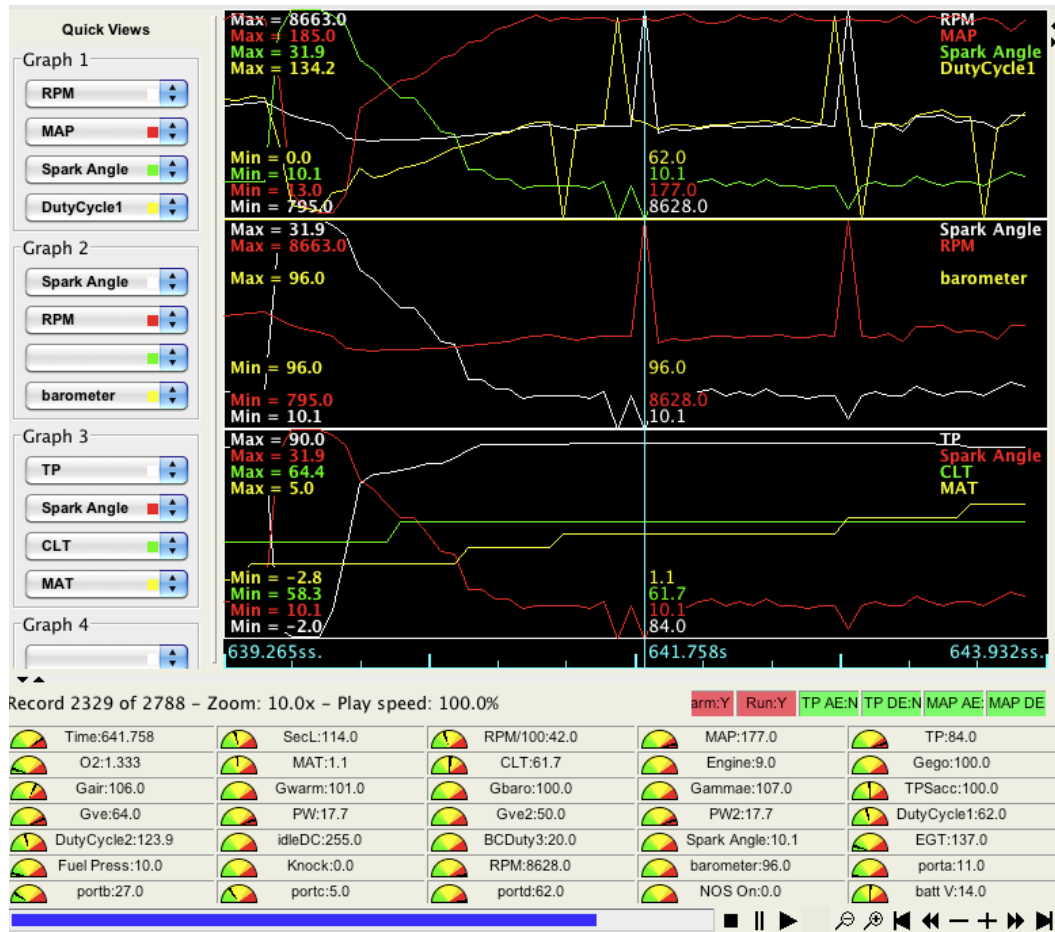
## 9 HÄIRIÖIDEN AIHEUTTAJIEN ETSINTÄ

Toiminnassa saattaa ilmentyä häiriöitä ja häiriöpiikkejä, jotka saattavat johtua monista asioista, kuten esimerkiksi huonoista maadoituksista tai Hall-anturin väärästä etäisyydestä tahdistuspyörään nähden. Häiriöt ilmenevät usein nykimisenä, AFR arvon heitteilyinä tai muutoin ei toivottujen ominaisuuksien muodossa. Myös suuttimien tuoton riittämättömyys voi aiheuttaa häiriöitä, mutta aiheuttajan paikallistaminen voi olla hankalaa. Helpoin tapa lähteä paikallistamaan vikaa on tallentaa lokitiedot moottorin toiminnasta ja tarkastella näitä jälkikäteen

TunerStudiolla on mahdollista tallentaa lokia moottorin käyntitapahtumasta. Lokiin tallentuu kaikki antureiden ja sensoreiden kulloisetkin arvot ja niiden muutokset tietyllä ajanhetkellä. Lokia ei pysty kuitenkaan avaamaan TunerStudiolla, vaan tähän tarvitaan myös ilmaisjakeluna saatavaa MegaLogViewer-nimistä ohjelmaa. Ohjelma avaa lokin tiedot helposti tarkasteltaviksi graafisiksi käyriksi, joita tarkastelemalla pystyy rajaamaan mahdollisten häiriöiden aiheuttajien syitä. [25]

MegaLogViewer ohjelma on selkeä ja yksinkertainen (kuva 8.7). Kaikki moottorista saatavilla oleva tieto on nähtävissä kulloisellakin ajanhetkellä tarkasti ja graafia on mahdollista pysäyttää tai kelata vapaasti. Tallennetun lokin aukaisun jälkeen valitaan haluttujen parametrien näkyminen graafissa. Tarkastelu on usein selkeintä aloittaa kierroslukutiedosta sekä lisätä graafiin kierroslukutietoon kytkeytyviä toimintoja, kuten sytytysennakko, ilmanpaine sekä kaasuläpän asentotunnistin. [25]





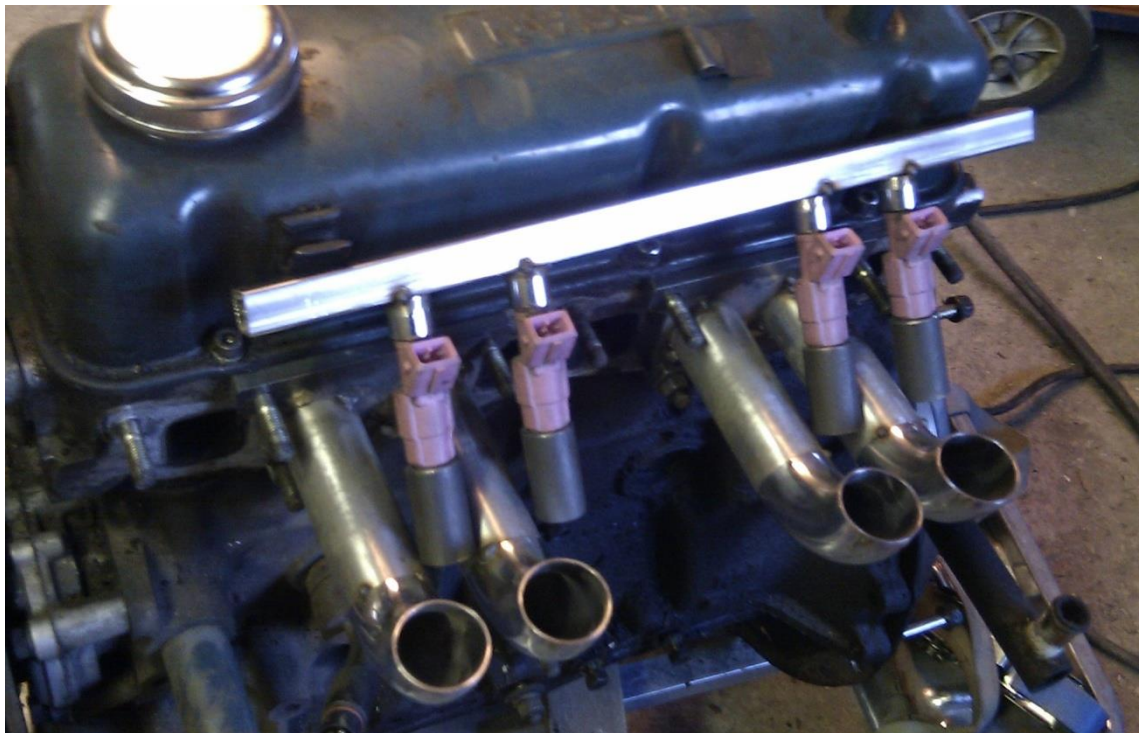
**Kuva 9.1** MegaLogViewer-ohjelman näkymä ja häiriöpiikki

Virheen etsinnän esimerkkinä voidaan pitää kohdemoottorin omituista pätkimistä, nykimistä ja paukahtelua tietyllä kierroslukualueella moottorin parhaalla tehoalueella 4 400 RPM. Moottorin kierroslukurajoitin on asetettu TunerStudiolla 6 200 kierrokseen minuutissa, jolloin bensansyöttö katkaistaan ja sytytysennakko myöhäistetään kymmenen asteeseen, kunnes kierrokset ovat taas alle rajan. Häiriötilanteesta tallennettu loki (kuva 8.7) kertoo esiintyneen häiriöpiikkejä kierroslukutiedossa jopa yli 8 600 RPM arvoilla sekunnin kymmenyksien ajan. Moottorin omituinen käytös voidaan yhdistää siis kierroslukuhäiriöön, joka saa moottorinohjauksen luulemaan kierroksien olevan rajoitimen yläpuolella ja bensansyöttö katkaistaan hetkellisesti. Virheen paikallistettua on helppo tarkistaa sytytykseen ja kierroslukutietoon liittyvät johdotukset, maadoitukset ja signaalijohtojen riittävä etäisyys tulpanjohdoista. Tässä tapauksessa syyksi paljastui Hall -anturin johdon kulkeminen tulpanjohtojen välittömässä läheisyydessä.

## 10 TOTEUTUS JA TULOKSET

Asennuksen kohdemoottorina toimi 1980 vuoden Datsun 140Y 1,4-litraisella A14 bensiinimoottorilla varustettuna. Tekniikan kohdalla päätettiin karsia rankalla kädellä pois kaikki ylimääräinen ja elektronisen moottorinohjauksen kanssa yhteen sopimaton. Poistoon meneviä kohteita olivat muun muassa vanha kaasutin, imusarja, sytytysjärjestelmä virranjakajineen ja tulpanjohtoineen sekä polttoaineen syöttöpumppu.

Autossa oli alkujaan kaasutinta varten oma polttoaineen siirtopumppu lohkon kyljessä, joten moottoritilaan tuli tankilta vain yksi bensalinja. Vanha siirtolinja korvattiin paksummalla kupariputkella, jonka viereen laitettiin myös toinen, 8mm ulkohalkaisijalla oleva putki polttoaineen paluuputkeksi. Käyttämällä vanhaa tankkia hyväksi vaadittiin erillinen polttoaineen nostopumppu pienellä välisäiliöllä, sillä polttoaineen painepumput eivät pysty imemään polttoainetta ylös tankista.

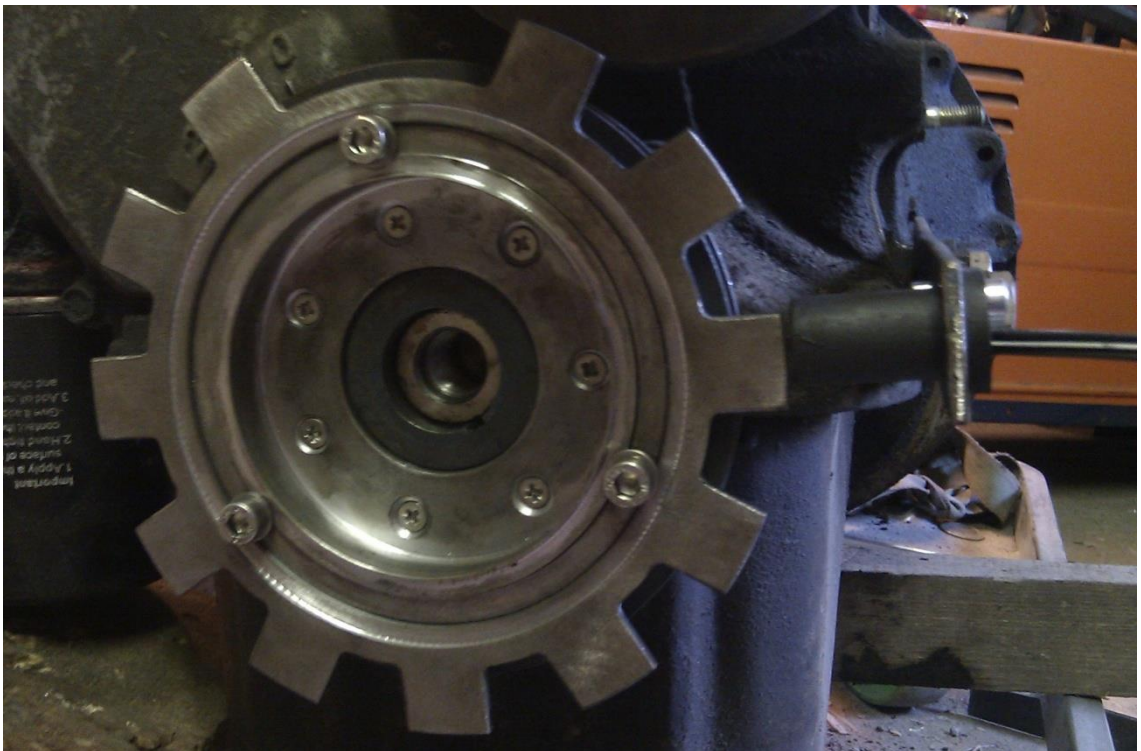


**Kuva 10.1** Imusarjan suunnittelua

Moottori tarvitsi uuden imusarjan (kuva 10.1), sillä vanhan muokkaaminen olisi ollut liian haastavaa, eikä vastaavaa hyötyä ollut saavutettavissa uuteen imusarjaan nähden. Työ aloitettiin piirtämällä CADilla uudet imusarjan laipat, jotka laserleikattiin 8mm vahvuisesta teräksestä. Imusarjan mitoitukseen on saatavana erilaisia laskureita ja

kaavioita, joilla pystyy mitoittamaan putkien pituuksia ja painekotelon tilavuutta halutulle vääntöalueelle. Läpivirtaamattoman sylinterinkannen vuoksi päädyttiin pelkästään tekemään sarja, johon suuttimet ja polttoainekisko mahtuvat tarpeeksi hyvin noin 60 asteen kulmaan sylinterinkannen tasoon nähden. Kulma ei ole kovin tarkka, mutta ajatuksena on, että suuttimet suihkuttaisivat polttoainetta suoraan kohti venttiileitä. Näin suihkusta tulee tarkempi.

Tahdistuspyörä (kuva 10.2) teetettiin haluttujen ominaisuuksien mukaan koneistamalla ja se kiinnitettiin moottorin alkuperäiseen hihnapyörään. Tahdistuspyörästä tehtiin säädettävä, jonka ansiosta kampiakselin asentotunnistimelle ainoaa sopivaa paikkaa moottorilohkossa voitiin hyödyntää järkevästi. Hall -anturi osoittautui vaativaksi lujuutaisuuden suhteen ja anturin telineestä piti tehdä tukevampi, sekä sorvata lievä epäkeskoisuus pois tahdistuspyörästä. Anturin ja tahdistuspyörän välinen etäisyys pitää pysyä koko kierrokseltaan tietyissä, datalehdessä ilmoitetuissa rajoissa, jottei häiriöitä esiintyisi.



**Kuva 10.2** Valmis 12–1 tahdistuspyörä ja Hall-anturi

Auton omat sähköjätettiin koskemattomiksi. Vain virtalukolta otettiin herätevirta releelle, joka kytkee avainta käännettäessä virrat MegaSquirtille ja muille moottorinohjauksen laitteille.

Kohdeautoon asennettiin muiden muutostöiden yhteydessä turboahdin, jolla pyrittiin maksimoimaan moottorista saatava teho sekä vääntö. Ajansäästön vuoksi käytettiin alkuperäistä pakosarjaa hyväksi. Alkuperäinen pakosarja päättyi moottorin takaosaan, eikä siellä ollut tarpeeksi tilaa jopa yli 1 000 °C lämpenevälle turboahtimelle. Ahdin sijoitettiin moottorin viereen (kuvassa 10.3) parempaan tilaan ja pakosarjalta tuotiin liitäntäputki ahtimelle.



**Kuva 10.3** Turboahtimen sijoitus ja valmis asennus

Ahtimen mitoituksessa oli syytä huomioida moottorista halutut ominaisuudet. Ahtimen mitoitus on aina kompromissi haettaessa heräävyyttä ja huipputehoa. Liian pieni ahdin herää aikaisin ja tuo paljon vääntöä ja tehoa jo alhaisilta kierroksilta, mutta saatava huipputeho rajoittuu ahtimen tuoton loppuessa, sekä suuren vastapaineen muodostuessa pakosarjaan. Liian iso ahdin herää vasta myöhään, mutta yläkierroksilla saatava teho on suuri. Useilla ahdinvalmistajilla, kuten esimerkiksi Garrett, KKK, Holset, löytyy turbokartat eri tuoteperheiden eri malleista, joista näkee ahtimien ilman tuoton sekä tehollisen riittävyden. Usein käytettyä ahdinta etsivä voi yksinkertaisesti etsiä ahtimensa sellaisen auton mukaan, jossa teholumemat ovat lähellä kohdemoottorista tavoiteltavia lukemia.

Moottorin kanssa kokeiltiin aluksi muutamaa erilaista turboahdinta, mutta moottorin käyttäytyminen alkoi miellyttää vasta kolmannella ahtimella. Moottorin teho käytiin mitattamassa Turun ammattikorkeakoulun tehodynamometrissä. 1400-kuutioisesta

moottorista saatiin 160 kPa:n paineella 91.4 kW:n teho (kuva 10.4) ja 203 Nm:n vääntö. Tuloksia voidaan pitää kohtuullisina, sillä alkuperäiselle moottorille valmistaja on ilmoittanut 47 kW ja 115 Nm väännön.



**Kuva 10.4** Saavutettu moottoriteho 160 kPa:n paineella

Matka-ajossa mitattu kulutus on pienentynyt kesimääräisesti litralla / 100km. Syntyneiden kilometrien vähäisyyden perusteella tulos ei ole tarkka, mutta suuntaa antava. Kaiken kaikkiaan virityksen voidaan sanoa onnistuneen, sillä moottorin suorituskykyä saatiin kasvatettua kaikilla mittareilla mitattuna.

## 11 POHDINTA

MegaSquirt tarjoaa kattavat ominaisuudet ja helpon muokattavuuden edulliseen hintaan ja on moottorin toimintaan ja säätämiseen perehdyttävä kokemus. Apua saa helposti aiheeseen liittyvien Internet-sivujen kautta tai muilta käyttäjiltä. Käyttäjän tai asentajan ei välttämättä tarvitse olla elektroniikkainsinööri, sillä laitteiden toiminnan ymmärtäminen ei vaadi kuin ymmärrystä sensoreiden toiminnasta ja niiden kytkemisestä.

Vaikka järjestelmän ajatuksena on olla käyttäjäläheinen, tuo se omat haasteensa. Käyttäjä ei välttämättä ole elektroniikan asiantuntija. Tästä johtuen laitteen rakennuksessa ja sen kytkemisessä saattaa aiheutua virheitä tai puutteita, jotka vaikuttavat välittömästi tai myöhemmin laitteen toimintaan. Tällaisia ovat esimerkiksi kylmäjuotokset, huonot tai puutteelliset maadoitukset sekä häiriönsuojaukset.

Itse koottavan rakennussarjan hinnat alkavat 200 €:sta. Hinta sisältää MS 1 prosessorin, v2.2 piirilevyn, tarvittavat komponentit sekä kotelon. Uudempia levy- ja prosessoriversioita käytettäessä hinnat luonnollisesti ovat korkeampia. Värikoodatun johtosarjan hinta on noin 90 € ilman antureiden liittimiä ja käytettyjen antureiden hinnat ovat tapauskohtaiset. Kaikki tarvittavat anturit liittimiseen maksavat kuitenkin yhteensä alle 100 euroa luotettavuudesta tinkimättä. Tarpeen mukaan hankintalistalle menee myös sytytyspuola, joka hukkakipinä -mallisena maksaa noin 100 €. Myös laajakaistalambda on pakollinen hankinta, ja niiden hinnat alkavat 200 €:sta. [26]

Moottorinohjauksen parametrien tarkka säätö voi olla hankalaa yksin, joten maksullisen TunerStudio hankkiminen saattaa olla kannattavaa, jos haluaa asetukset ja parametrit kohdilleen ilman suurta ajankäyttöä. Ohjelman täysversio on hintava, noin 60 euroa, mutta sen käyttö on tehty helpoksi ja yksinkertaiseksi. Usein säätöjä kuitenkin haetaan moneen otteeseen kohdilleen useissa eri lämpötiloissa, eikä moottorin asetusten säätö rajoitu lähes milloinkaan vain yhteen kertaan. Yleensä ensimmäiset säädöt eivät ole parhaat mahdolliset, joten paremman polttoainetalouden tai suuremman huipputehon hakemisessa vie asetusten hiominen paljon aikaa.

Kohdemoottorin muutokset läpäisivät muutoskatsastuksen, mutta säätötyö jatkuu kaiken aikaa. Seuraavaksi moottorin hengitystä pyritään parantamaan uudella pakosarjalla. Osien vaihdon yhteydessä joutuu jatkossakin tekemään muutoksia polttoaine- ja sytytyskarttaan ominaisuuksien muuttuessa ja mahdollisen hyötysuhteen parantuessa.

## 12 YHTEENVETO

Työssä käsiteltiin säädettävän moottorinohjausyksikön asennus perinteiseen ottomoottoriin. Työssä käydään läpi myös moottorinohjauksen tarvitsemat sensorit, niiden toiminta, tarvittavat kytkennät sekä laitteiston perusasetusten teko TunerStudio -ohjelman avulla.

Työ osoitti säädettävän moottorinohjauksen asennuksen olevan opettava kokonaisuus, joka tutustuttaa käyttäjänsä kohdemoottorin ominaisuuksiin ja toimintaan. Säädettävä moottorinohjaus mahdollisti polttoaineen syötön ja sytytysennakon säätämisen ajon aikana sekä mahdollisuuden tarkkaan tiedonkeruuseen moottorin toiminnasta. Reaaliaikaisen seurattavuuden ja tiedonkeruun avulla pystyttiin parantamaan moottorin suorituskykyä ja taloudellisuutta.

Kaikki työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Kasvanut huipputeho todettiin tehodynamiometrin avulla, ja tarkemman säädettävyyden johdosta polttoaineen kulutus laski jokaisella kierroslukualueella lähtötilanteeseen nähden.

Saadut tulokset osoittavat, että nykymittapuun mukaan vanhojen, epätaloudellisten ja paljon saastuttavien moottoreiden modernisoinnilla voidaan lisätä niiden käyttöikää sekä saada ne vastaamaan tämän päivän vaatimuksia.

## LÄHTEET

- [1] DIYAutotune, "FAQ Engine Management System" [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.diyautotune.com/faq/faq.htm#whatheckms>. (Luettu 1.3.2015)
- [2] Wikipedia, ottomoottori, [www-sivu]. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Ottomoottori>. (luettu 15.10.2014)
- [3] Bell, A. Graham, Uusi Moottoritekniikka. G.T. Foulis & Company, 1997. Sivut 116, 121, 12
- [4] Wikipedia, "Air-fuel ratio", [www-sivu]. Saatavilla: [http://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_fuel\\_ratio](http://en.wikipedia.org/wiki/Air_fuel_ratio) (Luettu 1.3.2015)
- [5] Olli Himanen, 2005, MegaSquirt käyttöohje v.1.0, [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.finsquirt.net/manuaali/MegaSquirt\\_ohje\\_v1.pdf](http://www.finsquirt.net/manuaali/MegaSquirt_ohje_v1.pdf). (Luettu 1.9.2014)
- [6] Bowling, Bruce ja Grippo, Al "What is MegaSquirt", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm> (luettu 1.3.2015)
- [7] Wikipedia, "Oxygen sensor", [www-sivu]. Saatavilla: [http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen_sensor) (luettu 1.3.2015)
- [8] Bowling, Bruce ja Grippo, Al, 2004, 2011, "Wiring and sensors", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.megamanual.com/v22manual/mwire.htm>. (luettu 20.8.2014)
- [9] Wikipedia, "Engine coolant temperature", [www-sivu]. Saatavilla: [http://en.wikipedia.org/wiki/Engine\\_coolant\\_temperature\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Engine_coolant_temperature_sensor) (luettu 2.3.2015)
- [10] AA1Car "Air Temperature Sensors, [www-sivu]. Saatavilla: [http://www.aa1car.com/library/air\\_temp\\_sensors.htm](http://www.aa1car.com/library/air_temp_sensors.htm) (luettu 2.3.2015)
- [11] AA1Car Auto Diagnosis Repair Help, "Manifold Absolute Pressure Sensors", [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.aa1car.com/library/map\\_sensors.htm](http://www.aa1car.com/library/map_sensors.htm). (luettu 20.10.2014)
- [12] Wikipedia, "Throttle position sensor", [www-sivu]. Saatavilla: [http://en.wikipedia.org/wiki/Throttle\\_position\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Throttle_position_sensor) (luettu 2.3.2015)
- [13] Full Function Engineering, 2012, "Hall vs. Variable Reluctance Sensors", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://fullfunctioneng.com/info/Hall%20vs%20VR.pdf>. (luettu 2.1.2015)
- [14] Wikipedia: Hall-anturi. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://kompo2010.wikispaces.com/Hall-anturi>. (luettu 20.10.2014)
- [15] ExtraEFI, "EFI Fuel Basics", [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.extraefi.co.uk/basic\\_efi.htm](http://www.extraefi.co.uk/basic_efi.htm). (Luettu 11.11.2014)
- [16] "Fuel Injection Systems", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.gerrysap.com/efi.html>. (luettu 10.11.2014)
- [17] EngineTuner, "Learn Engine Management Basics", [www-sivu], Saatavilla: <http://www.enginelogics.com/engine-management-basics>. (luettu 20.12.2014)



- [18] Bowling, Bruce ja Grippo, Al, 2004, 2005, "MS1-Extra Ignition Hardware manual", [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.msextra.com/doc/ms1extra/MS\\_Extra\\_Ignition\\_Hardware\\_Manual.htm](http://www.msextra.com/doc/ms1extra/MS_Extra_Ignition_Hardware_Manual.htm). (luettu 22.12.2014)
- [19] VeeWee, "Hall-sytytys MS1", [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.veewee.net/Megasquirt/Piirustukset/HALL\\_SYTYTYS\\_MS1.pdf](http://www.veewee.net/Megasquirt/Piirustukset/HALL_SYTYTYS_MS1.pdf). (luettu 5.11.2014)
- [20] EFI Analytics "TunerStudio", [www-sivu]. Saatavilla: <http://tunerstudio.com/index.php/tuner-studio> (luettu 3.3.2015)
- [21] Bowling, Bruce ja Grippo, Al, 2004, 2005, "MS1-Extra Tuning manual", [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.msextra.com/doc/ms1extra/MS\\_Extra\\_Tuning\\_Manual.htm](http://www.msextra.com/doc/ms1extra/MS_Extra_Tuning_Manual.htm). (luettu 15.10.2014)
- [22] ExtraEFI, "Fitting a Crank Wheel", [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.extraefi.co.uk/wheel\\_fitting.htm](http://www.extraefi.co.uk/wheel_fitting.htm). (luettu 20.1.2015)
- [23] Wikipedia, "Redline", [www-sivu]. Saatavilla: <http://en.wikipedia.org/wiki/Redline> (luettu 3.3.2015)
- [24] DIYAutotune, "Acceleration Enrichment Tuning" [www-sivu]. Saatavilla: [http://www.diyautotune.com/tech\\_articles/megasquirt\\_acceleration\\_enrichment\\_tuning.htm](http://www.diyautotune.com/tech_articles/megasquirt_acceleration_enrichment_tuning.htm) (luettu 3.3.2015)
- [25] EFI Analytics "MegaLogViewer", [www-sivu]. Saatavilla: <https://www.efianalytics.com/MegaLogViewer/> (luettu 3.3.2015)
- [26] Protoparts, tarvikkeiden hinnat, [www-sivu]. Saatavilla: [http://www.protoparts.fi/catalog/index.php?cPath=13\\_18](http://www.protoparts.fi/catalog/index.php?cPath=13_18). (luettu 25.1)