



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kimmo Veikko Johannes Kivioja

MEGASQUIRT
MOOTTORINOHJAUKSEN RAKENNUS
JA ASENNUS

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikka ja Liikenne
2012

Tietotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Kimmo Kivioja
Opinnäytetyön nimi	Megasquirt-moottorinohjauksen rakennus ja asennus
Vuosi	2012
Kieli	suomi
Sivumäärä	39
Ohjaaja	Esko Nykänen

Työssä on tarkoitus perehtyä Megasquirt-rakennussarjan toimintaan, asennukseen ja säätöön sekä ongelmiin joita ilmenee asennettaessa se autoon.

Asennusvaiheessa tullaan perehtymään, mitä vaatimuksia jälkiasennus elektroniikan laittaminen autoon vaatii ja mitä ongelmia voi tulla vastaan ja miten niitä voidaan ehkäistä.

Järjestelmän säätöön paneudutaan lopussa ja mahdollisiin vikoihin joita ilmenee, kun ohjausjärjestelmä otetaan käyttöön. Käyttöönotto ei ole yhtä helppoa ja yksinkertaista, kuin oli alunperin ajateltu. Vikojen selvittäminen vaatii kärsivällisyyttä ja asiantuntemusta.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Tietotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Kimmo Kivioja
Title	Assembly and Installation of Megasquirt Engine Management System
Year	2012
Language	Finnish
Pages	39
Name of Supervisor	Esko Nykänen

In this study we are going to look deeper into how Megasquirt engine management works, with installation, tuning and problems that may occur when put into a car.

The installation phase will comprise the demands needed to install the system to a car and what problems may occur during the installation process and how to prevent them.

The last phase will be about tuning, adjusting and errors that may occur when the system is taken to use. Taking the system to use is not as easy as was thought in the beginning. Fault finding requires patience and expertise.

Keywords Megasquirt, Fuel system

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

<u>1</u>	<u>JOHDANTO.....</u>	<u>5</u>
<u>2</u>	<u>YLEISTÄ POLTTOAINEJÄRJESTELMISTÄ.....</u>	<u>6</u>
<u>3</u>	<u>MEGASQUIRT.....</u>	<u>9</u>
<u>4</u>	<u>MOOTTORI.....</u>	<u>10</u>
<u>5</u>	<u>ANTURIT JA POLTTOAINEEN SYÖTTÖ.....</u>	<u>13</u>
	<u>5.1 Kaasuläpän asentoanturi.....</u>	<u>14</u>
	<u>5.2 Imuilman lämpötila-anturi.....</u>	<u>15</u>
	<u>5.3 Moottorin lämpötila-anturi.....</u>	<u>16</u>
	<u>5.4 Kiertokulma-anturi.....</u>	<u>17</u>
	<u>5.5 Tyhjäkäyntisolenoidei.....</u>	<u>17</u>
	<u>5.6 Pakokaasun happianturi.....</u>	<u>18</u>
	<u>5.7 Imusarjan paineanturi.....</u>	<u>19</u>
	<u>5.8 Polttoaineen syöttö.....</u>	<u>20</u>
<u>6</u>	<u>RAKENNUSSARJA.....</u>	<u>21</u>
	<u>6.1 Kokoaminen.....</u>	<u>22</u>
	<u>6.2 Testaaminen.....</u>	<u>25</u>
<u>7</u>	<u>JÄRJESTELMÄN ASENNUS.....</u>	<u>27</u>
<u>8</u>	<u>JÄRJESTELMÄN SÄÄTÖ.....</u>	<u>29</u>
	<u>8.1 Perusasetukset.....</u>	<u>29</u>
	<u>8.2 EDIS-asetukset.....</u>	<u>32</u>
	<u>8.3 Polttoainekartta.....</u>	<u>35</u>
	<u>8.4 Sytytysennakkokartta.....</u>	<u>36</u>
<u>9</u>	<u>KÄYNNISTYS JA VIANETSINTÄ.....</u>	<u>37</u>
<u>10</u>	<u>PÄÄTELMÄ.....</u>	<u>38</u>
	<u>LÄHTEET.....</u>	<u>39</u>

1 JOHDANTO

Nykyaikaisissa polttomoottoreilla varustetuissa autoissa on kaikissa elektroniisesti toimivat ruiskutusjärjestelmät, jopa dieselmoottorit pitävät nykyään sisällä runsaasti moottorin elintärkeitä toimintoja ohjaavaa elektroniikkaa. Halu suojella ympäristöä ja vähentää polttoaineen kulutusta ajoi isot autotehtaat kehittämään nopeasti sähköisiä ohjausjärjestelmiä parantaakseen autojen toimintaa, vähentämään kulutusta ja päästöjä. 90-luvun alussa lähes kaikissa autoissa olikin kaasuttimien sijaan jonkinlainen ruiskutusjärjestelmä, kun 80-luvun alussa suurimassa osassa oli vielä alkeellinen kaasutin. Nopea kehitys on tuottanut markkinoille useita kaupallisia moottorinohjausjärjestelmiä, mutta myös lähes yhtä hyviä rakennussarjoja, kuten Megasquirt ja Vems.

2 YLEISTÄ POLTTOAINEJÄRJESTELMISTÄ

Polttomoottorit tuottavat liikkeen palamisreaktiosta. Polttoaineena käytetään yleisesti bensiiniä ja dieselöljyä, mutta myös muita vaihtoehtoja on olemassa kuten nestekaasu, vety, biokaasu, puukaasu tai maakaasu.

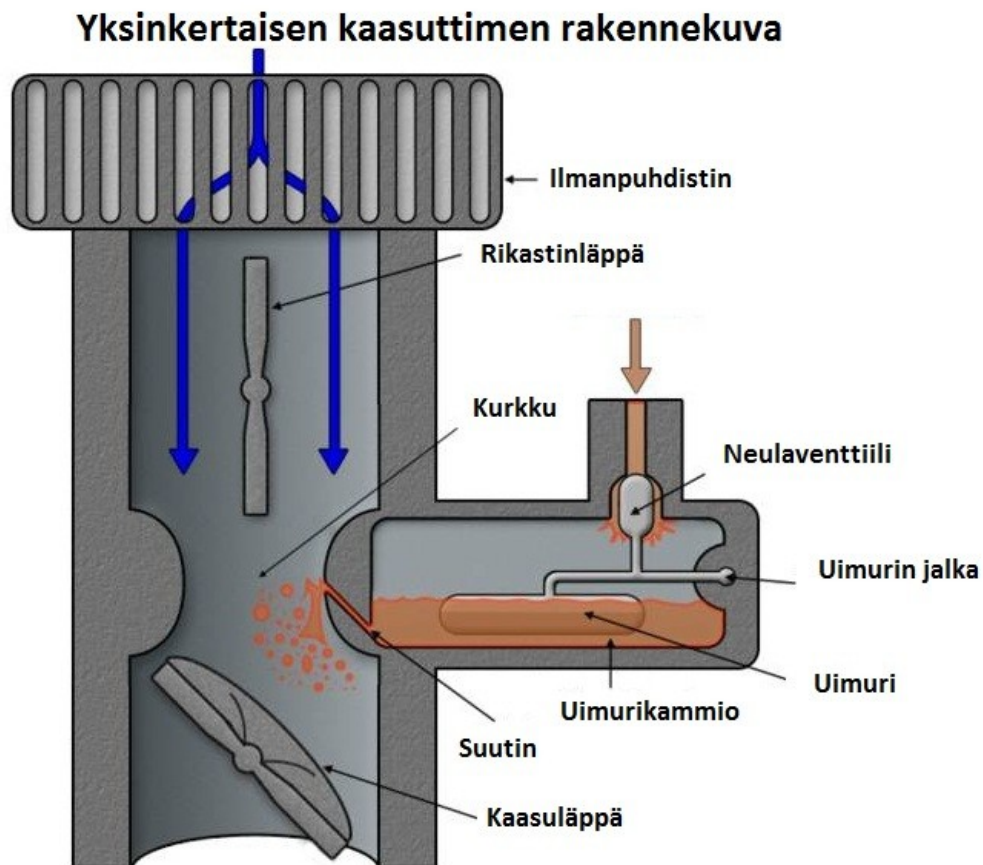
Polttomoottorit tarvitsevat toimiakseen oikean määrän polttoainetta ja ilmaa. Tätä säätelee, joko vanhemmista autoista tuttu kaasutin tai sitten uudemmissa autoissa elektroninen ruiskutusjärjestelmä.

Ensimmäisissä autoissa polttomoottorin toimintaa sääтели hyvin alkeellinen, mutta halpavalmisteinen kaasutin. Kaasuttimet olivat hyvin yleisiä vielä 80-luvun autoissa, mutta markkinoilla oli silti useita malleja, joissa oli jonkun asteinen mekaaninen tai elektroninen ruiskutusjärjestelmä. Kaasuttimen toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Uimurikammiossa uimuri kelluu polttoaineessa ja uimurin noustessa liian ylös, neulaventtiili sulkee polttoaineen sisääntulon. Kaasupoljin ohjaa kaasuttimen kaasuläppää, mikä taas vaikuttaa kaasuttimen läpi kulkevan ilman määrään. Ilman virratessa läpi kaasuttimesta aiheuttaa se alipaineen, joka imee mukanaan polttoainetta pääsuuttimen tai tyhjäkäyntisuuttimen läpi riippuen kaasunasennosta.

Kaasuttimen suosio vielä 80-luvun lopulle selittyy sen yksinkertaisella rakenteella ja halvoilla valmistuskustannuksilla. Kaasutin oli helppo huoltaa eivätkä osat maksaneet juuri mitään verrattuna nykyaikaisiin ruiskutusjärjestelmiin ja mikä parasta, auton omistaja kykeni pienellä osaamisella tekemään huollon itse. Kaasuttimia löytyy useita eri tyyppisiä läppämallisia, jotka jakautuvat 1 tai 2-kurkkuisiin kaasuttimiin ja luistimalliset, jotka olivat yleensä 1-kurkkuisia. Luistityyppisessä kaasuttimessa oli läpän sijaan luisti, joka mukaili imukurkkua jolloin virtaus pitäisi teoriassa olla parempi, mutta käytännössä luisti aiheutti liikaa ongelmia ja ne eivät olleet kovin yleisiä ainakaan autoissa. Läppämalliset kaasuttimet ovat yleisimpiä, joissa kaasupolkimella ohjattiin kaasuttimessa sijaitsevaa läppää tai läppiä. Tämän tyyppinen kaasutin ei ollut kovinkaan herkästi altis vioille ja suurimmassa osassa autoista oli juuri tällainen kaasutin.

Kaasuttimetkaan ei kuitenkaan olleet 80-luvulla täysin ilman sähköä. Paremmissa malleissa löytyi imusarjan lämmitys, sähköinen kylmäkäynnistyspiiri ja sähköinen tyhjäkäyntipiiri. Kaasuttimen yksinkertainen rakenne näkyy kuvasta 1, jossa on läppämallinen 1-kurkkuinen kaasutin.

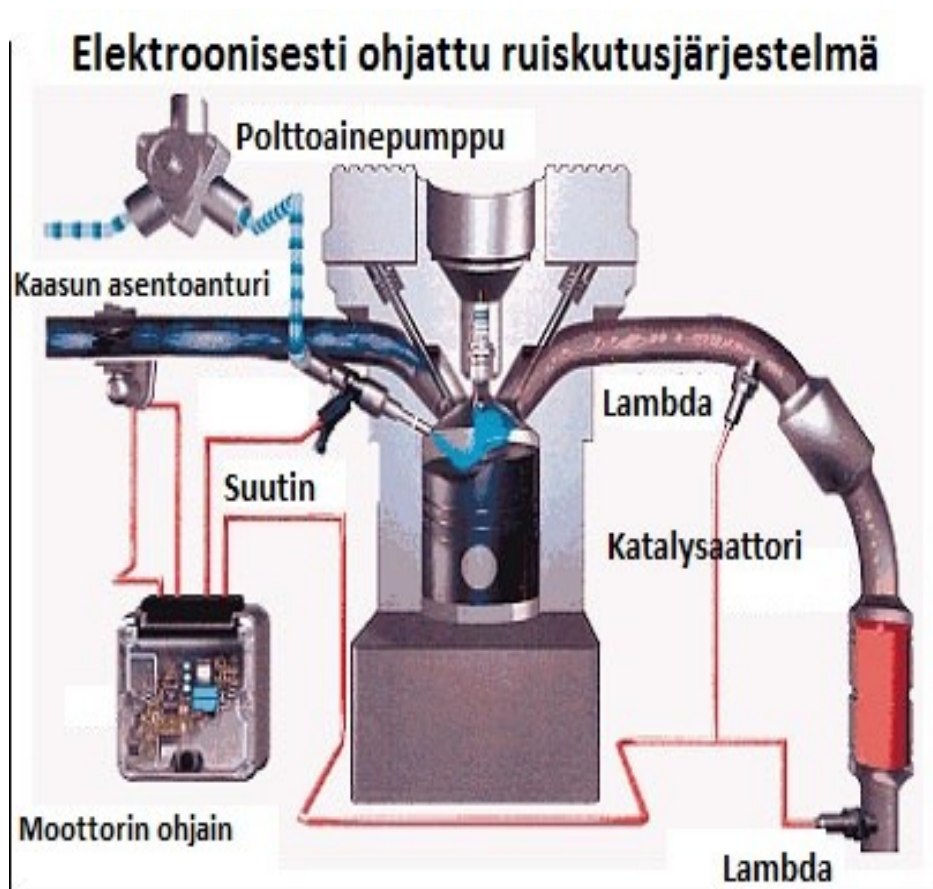
Kuva 1. Kaasuttimen poikkileikkaus



Ensimmäiset ruiskutusjärjestelmät olivat mekaanisia ja alkeellisia toiminnaltaan eivätkä juurikaan parempia kuin kaasuttimet, joten niiden suosio ei kasvanut koskaan suureksi. Mekaanisessa ruiskussa polttoaine syötetään määräjakajan kautta suuttimille. Tyypillisesti sähköä tarvitaan minimaalisesti, ensimmäisissä mekaanisissa ruiskuissa sähköä tarvittiin vain polttoainepumppuun, mutta myöhemmissä malleissa löytyi esimerkiksi imusarjan lämmitys, kylmäkäynnistys suutin. Vasta myöhemmin, kun elektronisesti ohjatut serkut kehitettiin, ruiskutusjärjestelmät alkoivat yleistyä ja korvata kaasuttimet kokonaan.

Elektronisesti ohjatussa ruiskutusjärjestelmässä on tyypillisesti 1 suutin sylinteriä kohden ja useita eri antureita mittaamassa moottorin toimintaa ja koko pakettia

ohjaa ECU eli elektroninen ohjainyksikkö, joka toimii järjestelmän aivoina. Tällaisessa järjestelmässä polttoaine ruiskutetaan suuttimien kautta korkealla paineella imusarjaan tai imukanavaan, josta se sitten päätyy imukanavaan. Kuvassa 2 näkyy elektronisen ruiskutusjärjestelmän toiminta periaate. Järjestelmän etuina ovat alentunut polttoaineen kulutus, suurempi teho ja vääntö elektroniikan tarkkuuden takia, sekä parempi kylmäkäynnistyvyys. Negatiivisina puolina mainittakoon kalliit osat, vaikea huoltaa monimutkaisuuden takia ja vikaherkkyys huonoissa olosuhteissa, sekä viat joita iän mukana tulee. Monissa yli 10 vuotta vanhemmissa autoissa onkin paljon sähkövikoja, jotka vaativat ammattilaista ja kalliita varaosia. Yleisimpiä vikoja ovat moottorin johtosarjan rappeutuminen, kosteuden pääsy liittimiin ja kondensaattorien hajoaminen ohjainyksiköissä. (About Carburetors 1999, Mechanical Fuel Injection 2010, How Fuel Injection System Works 2012)



Kuva 2. Elektroninen ruiskutusjärjestelmä

3 MEGASQUIRT

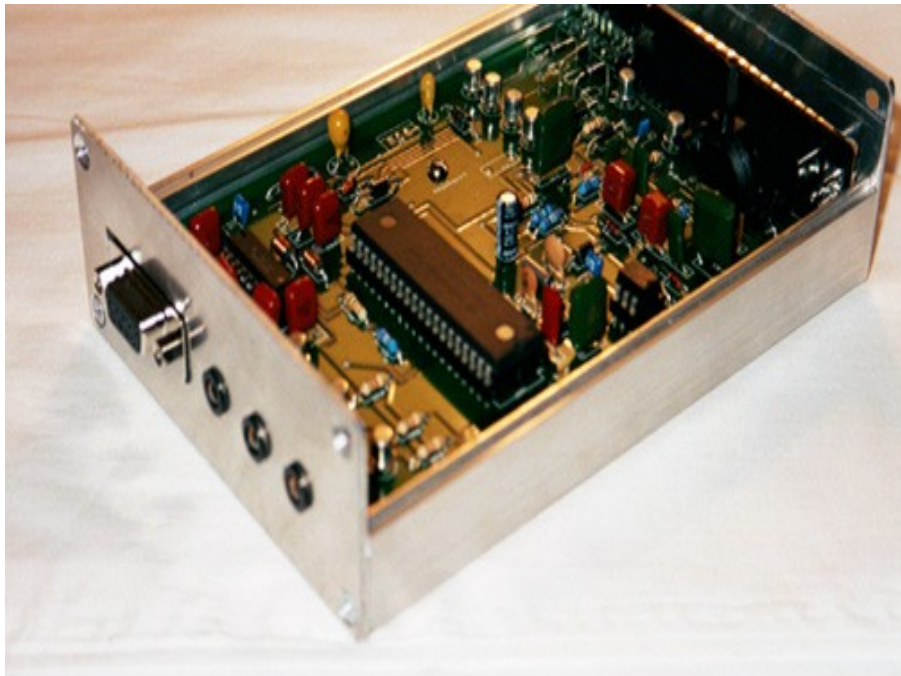
Megasquirt on Bruce Bowlingin ja Al Grippon suunnittelema jälkiasennusmoottorinohjainyksikkö. Projekti käynnistyi 2000-luvun alussa ja lopulta kehittyi Megasquirt-I, joka käyttää 8 Megahertsin prosessoria. Megasquirt-I oli lähes tulkoon kaikki ominaisuudet, kuin kaupallisissa kalliissa moottorihjaimissa, mutta hinta alhaisempi. Monet alkuperäiset ruiskutusjärjestelmät ja kaupalliset ruiskut käyttävät 1 tai 2 Megahertsin väylätaajudella toimivia prosessoria. Suuremman kellotaajuuden ja konekielellä kirjoitetun sisäisen ohjelman takia Megasquirt on parempi kuin kilpailijansa. Ohjain kykenee laskemaan reaaliajassa polttoaineen annostelun, jopa moottoreille jotka kiertävät 16000 kierrosta minuutissa. Mikrokontrolleriin on integroitu flash-muisti, jonka takia moottorin sytytys- ja polttoainekarttoja ja muita parametrejä voidaan säätää, vaikka auton käynnissä ollessa. Valmistaja lupaa flash-muistille 10000 ohjelmointikertaa ja tiedon pitäisi säilyä jopa 20 vuotta muistilla.

Megasquirt-rakennusarjojen hinnat ovat 100-200 e välillä, kun taas valmiita kittejä sai 300-600 e hintaan riippuen minkä mallin haluaa. Nykyään ohjainyksikköjä on tarjolla Megasquirt-I v.2.2 ja v.3.0 Megasquirt-II v.2.2 ja v.3.0 sekä Megasquirt-III v.3.0, joka on tämän hetken huippumalli. Perusideana on, että kokoat, asennat ja säädät laitteen itse. Megasquirtia käytetään hyvinkin laajasti vanhoissa autoissa, mutta myös uudemmissa, sekä moottoripyörissä, moottorikelkoissa ja lähes missä tahansa laitteessa, jossa on polttomoottori. Rakennussarja tuli hyvin suosituksi helppona ja halpana rakennussarjana sillä kaupalliset järjestelmät maksavat 1000 e alkaen eikä siihen hintaan vielä välttämättä edes saa kaikkea mitä haluaa. Yleisin käyttötarkoitus on modernisoida vanhaa autoa vaihtamalla ruisku vanhan epäluotettavan ja polttoainetta hukkaavan kaasuttimen tilalle. Megasquirtia voi säätää tavallisella tietokoneella eikä se tarvitse mitään erikoislaitteistoa tai osaamista. Parametrien muuttaminen onnistuu vaikka käynnissä ja ajossa kannettavan tietokoneen avustuksella.

Työssä käytetään Megasquirt-1 v.2.2 rakennussarjaa sen edullisen hinnan takia ja

tämä malli on vielä kohtuullisen yksinkertainen rakentaa ja säätää. Kuvassa 3 näkyy alkuperäinen Bowling & Grippo Megasquirt-I. Uudemmat mallit alkua pykälittäin hankaloitua ja viimeisimmässä III-mallissa käytetään pintaliitoskomponentteja, joten tämän kokoaminen voisi olla mahdotonta tai hyvin hankalaa. Yksi syy miksi valittiin kyseinen malli on se, että suurin osa foorumeilla käyttää tätä samaa mallia ja on todennut sen hyväksi perusratkaisuksi auton modernisoituihin oli sielä sitten ruisku tai kaasutin alunperin.

Megamanuaalissa suositellaan käytettäväksi GM-antureita ja järjestelmä on asetettu oletuksena näille antureille. Järjestelmä on kuitenkin mahdollista konfiguroida käyttämään mitä tahansa antureita. Projektissa käytetään Fordin alkuperäisiä antureita, koska ne ovat toimivia ja projektissa kuluisi turhaan aikaa ja rahaa, jos lähtee muuttamaan ja sovittamaan muun valmistajan antureita. Fordin anturit saa toimimaan ohjaimen kanssa, joko ohjelmistoa tai piirilevyä muuttamalla ja valitsin piirilevymodifikaation helpompana vaihtoehtona. (Megamanual 2004)



Kuva 3. Alkuperäinen Bowling & Grippo Megasquirt-I

4 MOOTTORI

Ohjainyksikkö asennettiin Ford Scorpio vuosimallia 1990, jossa alunperin oli 2-litrainen 8 venttiilinen kahdella nokka-akselilla varustettu polttomoottori. Moottori vaihdettiin autoon uudemmasta Scorpio Cosworth 2.9-litraisesta 24-venttiilisestä mallista, jossa on vakiona 210 hevosvoimaa ja 285 newtonmetriä vääntöä. Kuvassa 4 moottori asennettuna autoon. Alunperin moottoria ohjaa Ford EEC-V järjestelmä, joka on hyvä ja tarkka ohjainjärjestelmä. Kyseisen järjestelmän karsiminen ja toimimaan saaminen ilman sisäänrakennettua varkausuojaa ja muita turhia ominaisuuksia on työlästä ja moottorin virityksen kannalta tällaisellä järjestelmällä ei tee mitään. Ainoa vaihtoehto oli hankkia joku jälkiasennusohjainyksikkö ja ensimmäisenä, helpoimpana ja ennen kaikkea halvimpana ratkaisuna vastaan tuli Megasquirt-I.



Kuva 4. Moottori

Kyseinen moottori ruiskutusjärjestelmä käyttää Ford EDIS-sytytysjärjestelmää. EDIS-järjestelmä pitää sisällään, kampiakselin asentotunnistimen (Variable Reluctance sensor), hukkakipinäpuolan ja sytytysohjainyksikön. Megasquirt-I on onnistuneesti käytetty Fordin EDIS-sytytysjärjestelmien kanssa. Megasquirt-I on kuitenkin huonot mahdollisuudet suorasytytyksen ohjausta varten, mutta koska Fordin EDIS-järjestelmä on omatoiminen sytytysjärjestelmä, pienillä muutoksilla piirilevyyn ja lataamalla uuden ohjelman prosessoriin onnistuu suorasytytyksen käyttö. Kuten kuvasta 5 näkee, EDIS-järjestelmä ei vaadi montaa komponenttiä toimiakseen. (Ford Scorpio 2001)



Kuva 5. Ford EDIS6-järjestelmä

5 ANTURIT JA POLTTOAINEEN SYÖTTÖ

Megasquirt tarvitsee toimiakseen joukon antureita eri puolille moottoria toimiakseen kunnolla. Näitä antureita käytetään sitten säätämään polttoaine- ja sytytyskarttoja automattisesti. Kuten tehdasvalmisteisetkin ohjainyksiköt, Megasquirt tarvitsee kierroslukutiedon, imuilman lämpötilan, jäähdytysnesteen lämpötilan, kaasun asennon, tyhjäkäyntisolenoidin ja imusarjan alipainetiedon toimiakseen kunnolla. Olemassa on myös ohjelmistoja, joilla saa Megasquirtin toimimaan melko hyvin ilman suurta osaa antureita, mutta sitä ei kuitenkaan suositella. Tällaiset minimaalisilla antureilla toimivat vaihtoehdot ovat tarkoitettu lähinnä kilpa-autoihin, joissa ajo-ominaisuudet ja polttoaineen kulutus eivät ole ratkaisevia tekijöitä. Käyttöalueet kilpamoottoreissa ovat hyvin rajalliset ja niitä käytetään lähes koko ajan täydellä kaasulla, joten tarkat säädöt tyhjäkäynnillä ja osakaasulla eivät ole oleellisia.

Anturien antamat tiedot perustuvat jännitemuutokseen vastuksen muuttuessa. Megasquirtin levyllä A/D muunnin muuntaa sitten tämän jännitteen digitaalseksi, jotta prosessori ymmärtää tiedon ja osaa käyttää sitä moottorin ohjaamiseen oikealla hetkellä ja tavalla ilman, että ympäristö vaikuttaa toimintaan.

Polttoaineen syöttö tapahtuu tankista sähköisen polttoainepumpun välityksellä suutinkiskolle. Ruiskutussuuttimien painetta ja takaisinpäästöä ohjaa alipainetoiminen painesäädin. Ruiskutusjärjestelmä ohjaa elektronisia suuttimia, joiden kautta polttoaine päätyy imusarjaan hienojakoisena sumuna.

5.1 Kaasuläpän asentoanturi

Kaasuläpän asentoanturina toimii moottorin alkuperäinen 3-napainen potentiometri-tyyppinen anturi, joka sijaitsee kaasuläpän päässä. Kuvassa 6 näkyy Fordin alkuperäinen kaasuläpän asentoanturi irrallaan. Anturin tehtävänä on välittää ohjainyksikölle tietoa kaasun asennosta. Vertailujännitteenä toimii 5 voltia ja kaasuläpän ollessa auki jännite on korkea ja kaasuläpän ollessa kiinni jännite on matala. Jännitemuutoksen lisäksi ohjainyksikkö mittaa jännitteen muutoksen nopeutta esimerkiksi kiihdytsrikastusta varten.



Kuva 6. Kaasuläpän asentoanturi

5.2 Imuilman lämpötila-anturi

Imuilman lämpötila-anturi sijaitsee imusarjassa ja sen tehtävä on mitata muutoksia moottorin saaman ilman lämpötilassa. Anturi voi olla, joko avoin tai suljettu anturi. Fordin käyttämä alkuperäinen anturi on avoin, joka reagoi lämpötilaeroihin huomattavasti nopeammin. Suljettu malli ei kykene reagoimaan ilman lämpötilamuutoksiin yhtä nopeasti ja tästä voi koitua ongelmia polttoaineen seoksen määrittämisessä. Taulukosta 7 näkee miten vastus- ja jännitearvo muuttuu lämpötilan mukana.

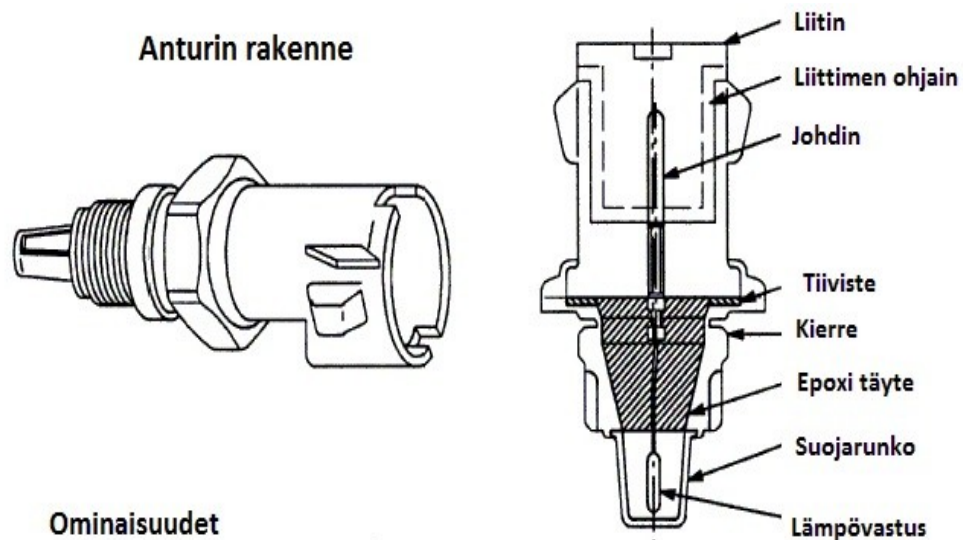
Taulukko 7. Imuilman lämpötila-anturin lämpötila, resistanssi ja jännitetaulukko

Imuilman lämpö Celsiusasteina	Vastus (Kohm)	Jännite (V)
-40	880	4.53
-30	573	4.48
-20	272	4.33
-10	183	4.20
0	95	3.87
10	66	3.55
20	38	3.10
30	27	2.70
40	16	2.10
50	12	1.8
60	7.5	1.3
70	5.6	1.05
80	3.8	0.75
90	3.0	0.60
100	2.2	0.45
110	1.6	0.35
120	1.2	0.25

5.3 Moottorin lämpötila-anturi

Moottorin lämpötila-anturi sijaitsee moottorin etupuolella ja mittaa jäähdytysjärjestelmän nesteen lämpötilaa. Fordin anturin tyyppi on suljettu ja tämä on riittävä jäähdytysnesteen lämpötilaerojen mittaamiseen sillä siellä tapahtuvat lämpötilaerot eivät ole läheskään yhtä nopeita, kuin imuilmassa tapahtuvat muutokset. Huomaa, että anturien antamat arvot ovat samat ja ainoana erona on, että moottorin lämpötila-anturi reagoi vain hitaammin muutoksiin. Esimerkiksi moottorin ollessa kylmä moottorin lämpötila-anturi ja imuilman lämpötila-anturi antavat saman resistanssin ja jännitearvon.

Kuva 8. Moottorin lämpötila-anturin rakenne ja ominaisuudet



Mittausväli: -40 - +125 Celsiusastetta
 Mittaustarkkuus: +/- 3 Celsiusastetta
 Vasteaika: 10 sekunttia koko mittausvälille
 Resoluutio: 0.6 Celsiusastetta
 Virrankulutus: <5mA VREF
 Ulostuloväli: 4,8% min - 91% max VREF:stä
 Kuormitusimpedanssi: > 100 Kohm

5.4 Kiertokulma-anturi

Kiertokulma-anturin tehtävä on mitata moottorin pyörimisnopeutta ja asentoa. Anturi antaa tietoa EDIS-sytytysjärjestelmällä jotta se tietää milloin seuraava kipinä tulee syntyä. Anturi on tyypiltään induktiivinen pulssigeneraattori ja se antaa ulos siniaaltoa, joka muutetaan sytytysohjaimessa digitaaliseen muotoon. Kuvassa 9 työssä käytetty Fordin alkuperäinen kiertokulma-anturi.



Kuva 9. Kiertokulma-anturi

5.5 Tyhjäkäyntisolenoidi

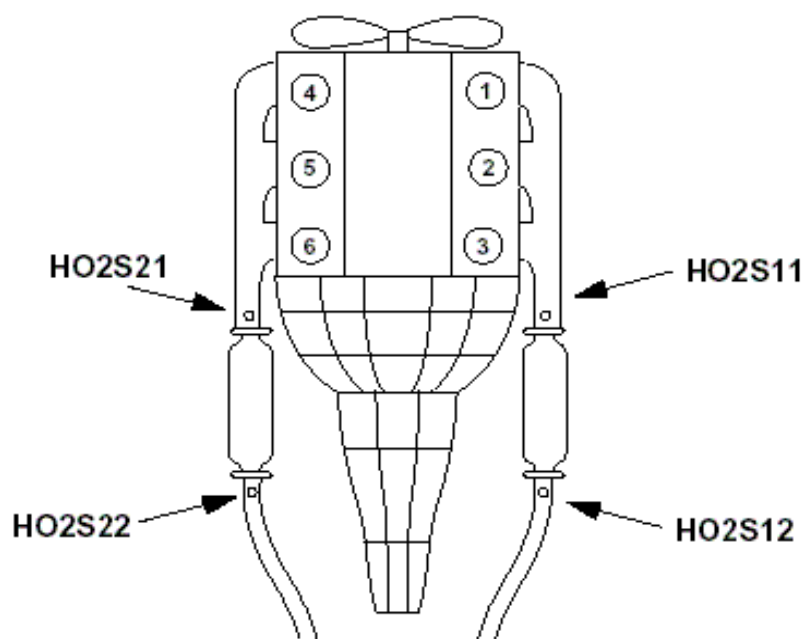
Tyhjäkäyntisolenoidi ei ole varsinainen anturi vaan elektoonisesti ohjattu venttiili. Solenoidi sijaitsee yleensä imusarjassa joko kaasuläppää ennen tai jälkeen ja sen tarkoitus on ohjata ilmaa ohi kaasuläppästä ja tasata tyhjäkäyntiä. Kuvassa 10 tyypillinen Fordin tyhjäkäyntisolenoidi.



Kuva 10. Tyhjäkäyntisolenoidi

5.6 Pakokaasun happianturi

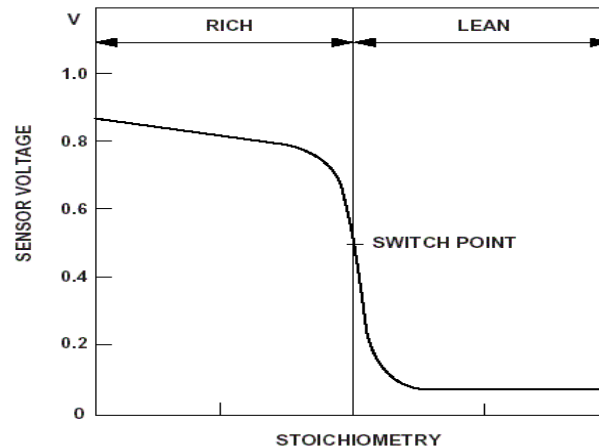
Pakokaasun happianturin tai tavanomaisemmin lambda-anturin tehtävä on mitata pakokaasun happipitoisuutta ja antaa tietoa moottorinohjainyksikölle siitä jännitemuodossa. Lambda-anturi tarvitsee toimiakseen 200 celsius asteen lämpötilan ja sen takia nykyautoissa onkin lämmityselementti sisäänrakennettuna. Alunperin Ford EEC-V järjestelmä käyttää 4 happianturia, kuten kuvassa 11 näkyy. Katalysaattorien jälkeen tulevat anturit mittaavat edeltävien anturien tehokkuutta.



Kuva 11. Happianturien sijoitus

Lambda-anturin antaessa alhaista jännitettä tarkoittaa se liian rikasta polttoaineseosta ja korkea jännite tarkoittaa liian laihaa seosta. V-moottorissa olisi syytä olla molemmin puolin moottoria pakosarjan jälkeen happianturit, mutta Megasquirt-I pystyy käyttämään vain yhtä anturia kerrallaan. Anturin

sijoittaminen kauemmaksi pakoputkeen yhdyskohdan jälkeen saattaisi olla liian viileä ja vaarantaisi anturin toiminnan. Kuvasta 12 näkee miten seoksen mennessä laihemmalle jännite tipahtaa.



Kuva 12. Happianturin jännite/seossuhde kuvaaja

5.7 Imusarjan paineanturi

Imusarjan paineanturin tehtävä on mitata muutoksia ilmanpaineessa ja välittää tietoa ohjainyksikölle, jotta se voi muuttaa seosta sen mukaan. Megasquirt-I on piirilevyllä integroitu kuvan 13 mukainen Freescale Semiconductorin MPX4250AP-paineanturi. Anturille on ilmoitettu kykenevän mittaamaan maksimissaan 2,5-barin painetta. Tämä tarkoittaa, että ilmanpaine huomioituna anturi kykenisi turboahdetussa moottorissa toimimaan noin 1,5-barin paineella maksimissaan.



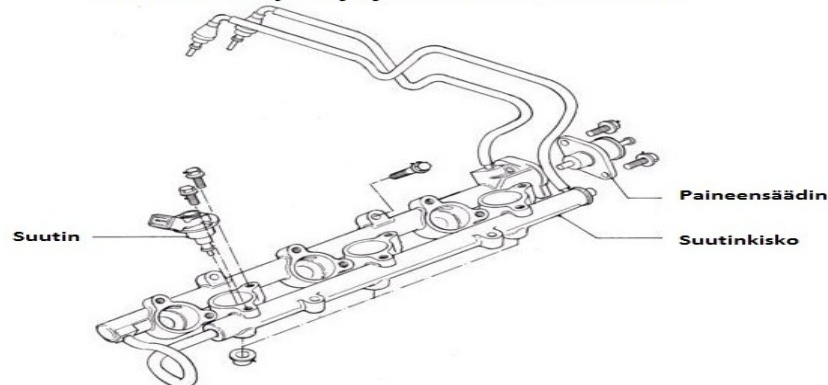
Kuva 13. Paineanturi

5.8 Polttoaineen syöttö

Polttoaineen syöttö tapahtuu auton kuvassa 14 näkyvällä alkuperäisellä sähköisellä tankinsisäisellä polttoainepumpulla. Pumppu syöttää korkealla paineella polttoaineen suutinkiskolle, josta se sitten annostellaan suuttimien kautta imukanavaan. Suuttimet ovat sivusyöttöisiä, mikä tarkoittaa, että suuttimen ulkoreuna ui polttoaineessa. Tämän tapainen rakenne samalla jähdyttää suuttimia. Mikäli suuttimia täytyy myöhemmin vaihtaa isompiin viritystasetta muuttaessa, joutuu muuttamaan imusarjaa, polttoainekiskoja, koska tämän tyyppisiä suuttimia ei ole juurikaan saatavilla. Polttoaineen painetta ja takaisinpäästöä säätelee suutinkiskon toisessa päässä oleva paineensäädin. Näihin ei tehty muutoksia, koska auto on alunperin tarkoitettu ruiskumoottorille ja mitään merkittävää muutosta ei olla moottorin viritystaseseen tekemässä, joten alkuperäisosat pitäisi riittää hyvin. (Megamanual 2004, Ford Scorpio 2001)



Polttoaineen syöttöjärjestelmän rakennekuva



Kuva 14. Polttoainejärjestelmä

6 RAKENNUSARJA

Megasquirt-rakennusarja tilattiin suomalaiselta elektrooniikkaa myyvältä verkkokaupalta. Sarja pitää sisällään kaikki tarvittavat osat laitteen rakentamiseen, piirilevy, 1.5-bar paineanturi, liittimet, komponentit, kotelon ja Motorolan MC68HC908GP32-mikroprosessorin. Kuvassa 15 osat ja komponentit näkyvät pöydälle eriteltynä. Tuote ei ole alkuperäinen Bowling & Grippo-tuote vaan suomalainen kopio, joten kansainväliset Megasquirt-foorumit eivät tue sitä. Suomalaiselta finsquirt-sivustolta löytyy kuitenkin apua ongelmatilanteisiin, jos ja kun sellaisiin törmää.



Kuva 15. Megasquirt-rakennusarja

Megastimulaattori sisältää 6 potentiometriä, 4 lediä, ajastinmikropiirin, DB-37 liittimen, ym. komponentteja. Stimulaattori toimitetaan kuvassa 16 näkyvän yleismallisen levyn kanssa, joten täytyy olla tarkkana ettei jätä oikosulkuja

levylle. Megastimulaattorilla on tarkoitus imitoida moottorin toimintoja, esimerkiksi potentiometrit imitoivat vedenlämpötilaa, ilmanlämpötilaa, kierroslukua, happianturin lukemaa. Ledit kuvastavat suuttimien, polttoainepumpun ja tyhjäkäyntisolenoidin toimintaa.



Kuva 16. Megastimulator-rakennusarja

6.1 Kokoaminen

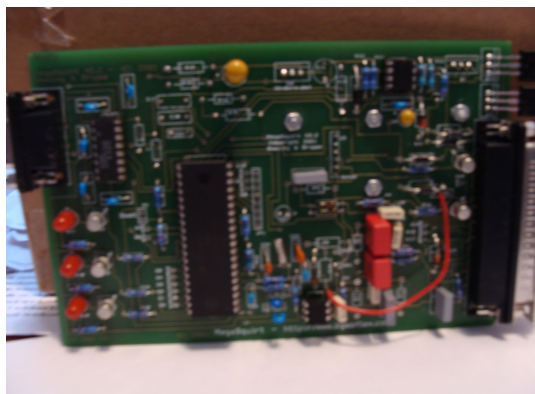
Megasquirtia varten löytyy internetistä hyvät ohjeet, joita noudattaen ei pitäisi tulla suurempia ongelmia myöhemmässä vaiheessa. Ohjeet on tehty sillä tavalla, että jokaisessa vaiheessa testataan juuri koottu piiri ja sitten vasta, kun kyseinen vaihe on testattu toimivaksi, siirrytään eteenpäin. Mikäli noudattaa tätä metodia, on huomattavasti helpompaa selvittää vikoja mikäli niitä ilmaantuu myöhemmässä vaiheessa.

Muutama kohta eroaa ohjeista poiketen, koska käytettiin sytytyksen ohjaukseen Ford EDIS6-suorasytytysjärjestelmää ja Fordin antureita. Tämä on helpoin tapa toteuttaa suorasytytysjärjestelmä. Megasquirt-I uudemmissa malleissa löytyy hyvin toteutettu toiminta, jolla Megasquirt voi ohjata suorasytytyspuolaa tai puolaa.

Ford Electronic Distributorless Ignition System eli Fordin elektroninen jakajaton sytytysjärjestelmä käyttää itsenäisesti toimivaa sytytysmoduulia, joka ohjaa hukkakipinäpuolaa. Hukkakipinäpuolassa sytytys tapahtuu aina

yläkuolokohdassa, jolloin myös pakotahdilla tulee ”hukkakipinä”. Systemi toimii ”Limb home”-tilassa, vaikka se ei saisi ohjainyksiköltä sytytyksen ohjaukseen minkäänlaista tietoa. Limb home-tilassa ohjainmoduli asettaa sytytysennakon 10-asteeseen, jolloin suorituskyky kärsii huomattavasti, mutta moottori kuitenkin toimii sen sijaan, että kipinä katoaisi kokonaan. Fordin EDIS-järjestelmä on aika suosittu vaihtoehto ollut pitkään Megasquirt-käyttäjien keskuudessa, koska se on helpoin vaihtoehto mikäli haluaa suorasytytyksen. Järjestelmiä löytyy 4-8 sylinteriin ja kytkentämuutokset, joita piirilevylle tarvitsee tehdä ovat melko minimaalisia ja helppoja toteuttaa.

Rakennussarjan koottiin suoraan kasaan ja testausvälivaiheet jätettiin pois ja tämä osoittautui myöhemmin huonoksi ratkaisuksi. Rakennussarjan ohjeet olivat erinomaiset, mutta osaluettelo ja komponenttien merkinnät olivat heikot. Tuote on kopio, joten komponentit on mitä milloinkin halvimmalla ovat saaneet. Paras mahdollinen vaihtoehto olisi ollut ostaa alkuperäinen Bowling & Grippo-tuote relepiirin kanssa. Tämä olisi ollut huomattavasti kalliimpi, mutta myös laadukkaampi ja varmasti luotettavampi ratkaisu.

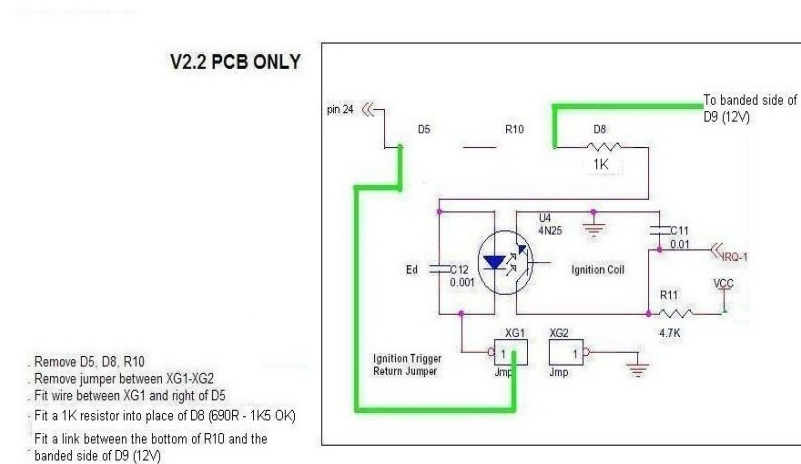


Kuva 17. Megasquirt koottuna ja modifioituna

Kokoamiseen tarvitaan hyvä kolvi, tinalankaa ja sivuleikkurit. Ensimmäisenä juotetaan virransyöttö paikalleen, jonka jälkeen mitaillaan, joko Megastimulatorin tai pelkän 9V-pariston kytkemällä piirin toimintaa. Seuraavassa vaiheessa juotetaan paikalleen sarjaliikennepiiri ja kytketään virrat levyille jälleen ja sarjaliikenteen pystyy testaamaan tietokoneella hyperterminal-ohjelmalla.

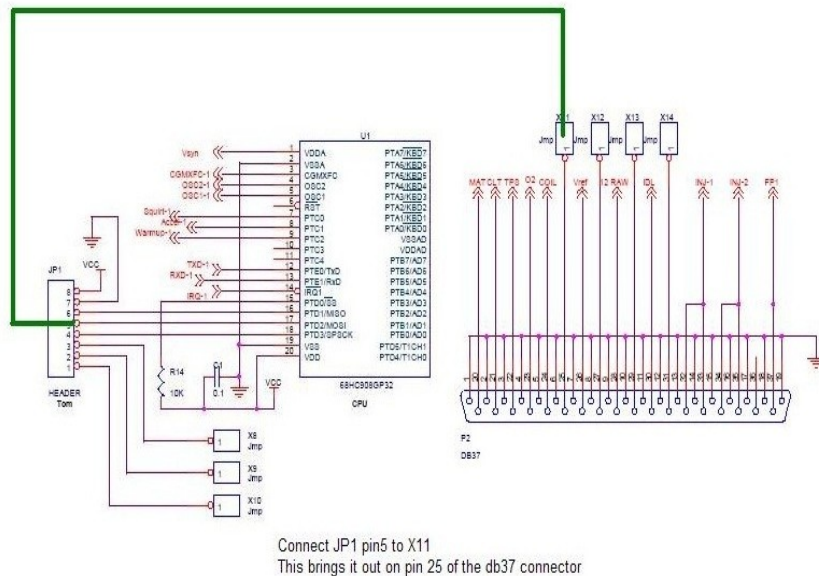
Jokaisen näppäilykirjaimen tulisi näkyä ruudulla. Kolmannessa vaiheessa juotetaan prosessorin kellopiiri ja tätä testataan tietokoneella PC-Configurator ohjelmalla. Tässä vaiheessa ”Runtime Display”-nappia painamalla pitäisi näytölle ilmestyä laskuri, joka alkaa nolasta ja päättyy 255, jonka jälkeen se alkaa taas alusta. Neljännessä vaiheessa asennetaan Megasquirtin INPUT eli sisääntulo. Kierroslukua ja lämpötiloja säädeltäessä stimulaattorilla, pitäisi PC-Configuratorin näytöllä näkyä nyt toimintaa. Viimeisessä vaiheessa juotetaan OUTPUT eli ulostulo. Tämän vaiheen jälkeen Megasquirt on valmis ja stimulaattorin kaikki ominaisuudet pitäisi nyt toimia.

Modifikaatiot, joita levyille tehtiin oli sytytysjärjestelmää ja antureita varten. Fordin antureita varten vertailuvastukset vaihdetaan 33,6 kilohmiisiin. Suorasytytysjärjestelmää varten muutoksia pitää tehdä sekä sisääntulo, että ulostulopuolella. Input kootaan, kuten megamanuaalin ohjeissa, mutta seuraavilla muutoksilla, D5, D8, R10 ja hyppylanka XG1-XG2 poistetaan. Seuraavaksi asennetaan hyppylanka XG1 ja D5 oikean puolen välille, varotaan sekoittamasta XG ja X-merkintöjä ja 1k Ohmin vastus D8 tilalle. Viimeisenä asennetaan hyppylanka R10 alaosan ja D9 merkityn puolen välille. Asennusta havainnollistaa parhaiten kuvan 18 kaavio. Sisääntulopuoli on näillä yksinkertaisilla muutoksilla valmis.



Kuva 18. Input-modifikaatio

Ulostulopuolen modifikaatioksi riittää, että JP1-nasta 5 yhdistetään X11. Varotaan sekoittamasta XG ja X-nastoja, kuva 19 helpottaa tunnistamaan oikeat nastat. X11-nasta on yhdistetty DB37-liittimen nastaan 25. Näillä muutoksilla ulostulo on valmis ja Megasquirt muutettu käyttämään Ford EDIS-sytytysjärjestelmää.

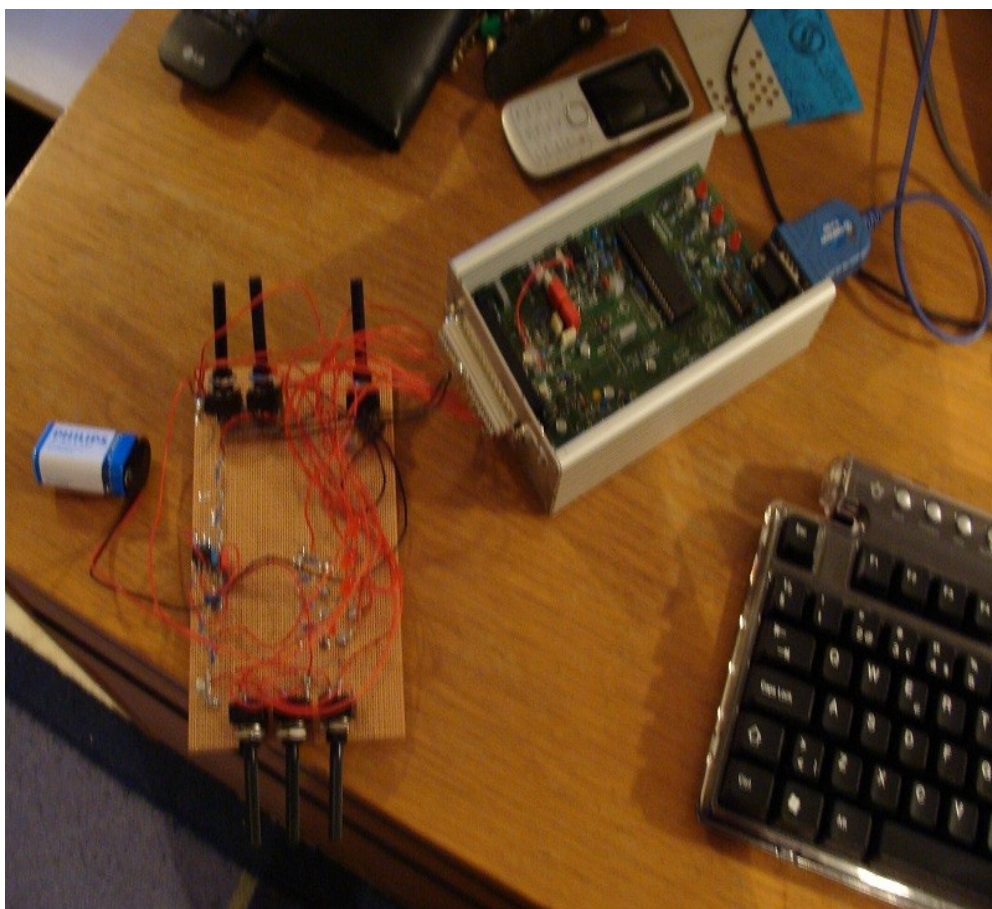


Kuva 19. Output-modifikaatio

6.2 Testaaminen

Testaamista varten laitteen mukana on hyvä ostaa MegaStimulator, jonka tehtävänä on imitoida moottorin toimintoja. Stimulaattorin mukana tulee yleismallinen reikälevy, 6 säätövastusta, piiri ja 4 lediä. Säätövastuksilla on tarkoitus stimuloida moottorin eri toimintoja, kuten kaasun asentoa, veden lämpötilaa, imuilman lämpötilaa. Ledit kuvastavat suuttimien ja polttoainepumpun toimintaa. Laitteen pitäisi olla hyvä Megasquirtin toiminnan testaamiseen ja moottorin toiminnan hahmottamiseen. Ohjeissa suositellaan, että rakentaja juottaa MegaStimulatorin ensimmäisenä, jotta hän saa tuntumaa kokoamiseen.

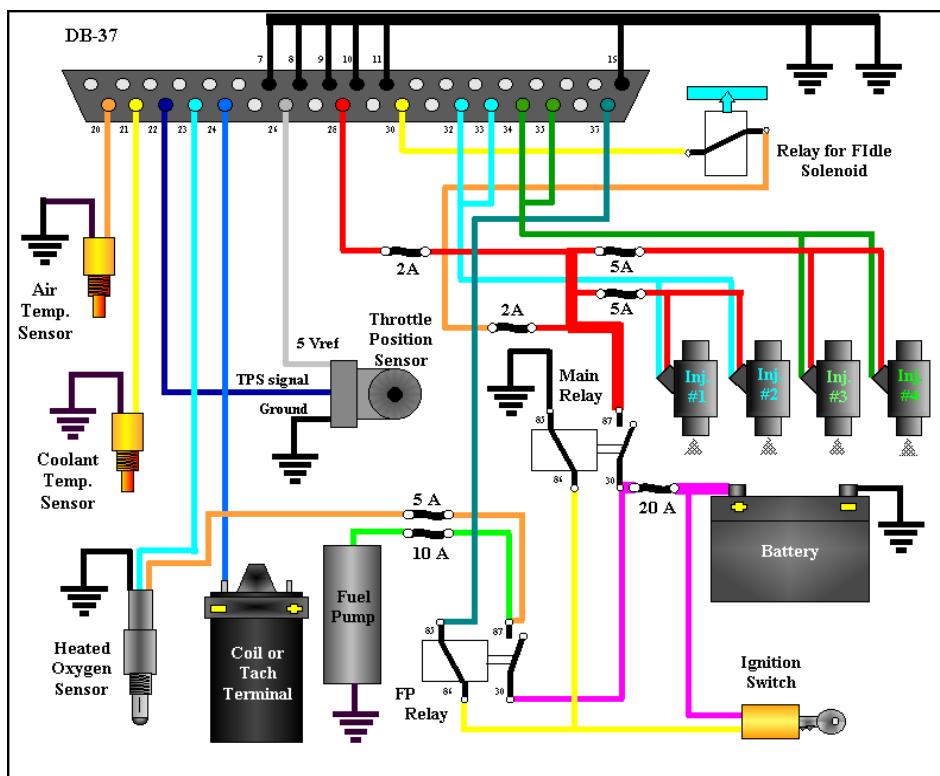
Megastimulaattori kytketään Megasquirttiin DB37-liittimellä ja virtansa se saa 9V-paristosta. Ensimmäistä kertaa, kun Megasquirrtia testattiin, se ei toiminut millään tavalla. Vikaa yritettiin selvittää levytä, mutta mitään ei löytynyt. Vikaa selvitettiin parin viikon ajan ja prosessoria mitattiin oskilloskoopilla, josta selvisi, että prosessori kytkeytyy vain noin sekunniksi päälle ja sitten siirtyy reset-tilaan. Lopuksi finsquirt-foorumin välityksellä löytyi tietoa, että prosessori kannattaa ohjelmoida uudelleen. Laitteeseen ohjelmoitiin uusi koodi ja se heräsi eloon. Testatessa huomattiin kuitenkin, että laite ei toimi kuten sen pitäisi, mutta koska muutokset oli tehty suorasytytysjärjestelmää ja Fordin antureita varten kuitattiin ongelma tämän syyksi eikä asiaa tutkittu enempää. Kuvassa 20 Megastimulator kytketty Megasquirt-ohjaimen, joka taas on puolestaan kytketty usbcomport-adapterilla tietokoneeseen testausta varten. (Megamanual 2004, Megasquirt Extramanual 2004)



Kuva 20. Megastimulaattori ja Megasquirt

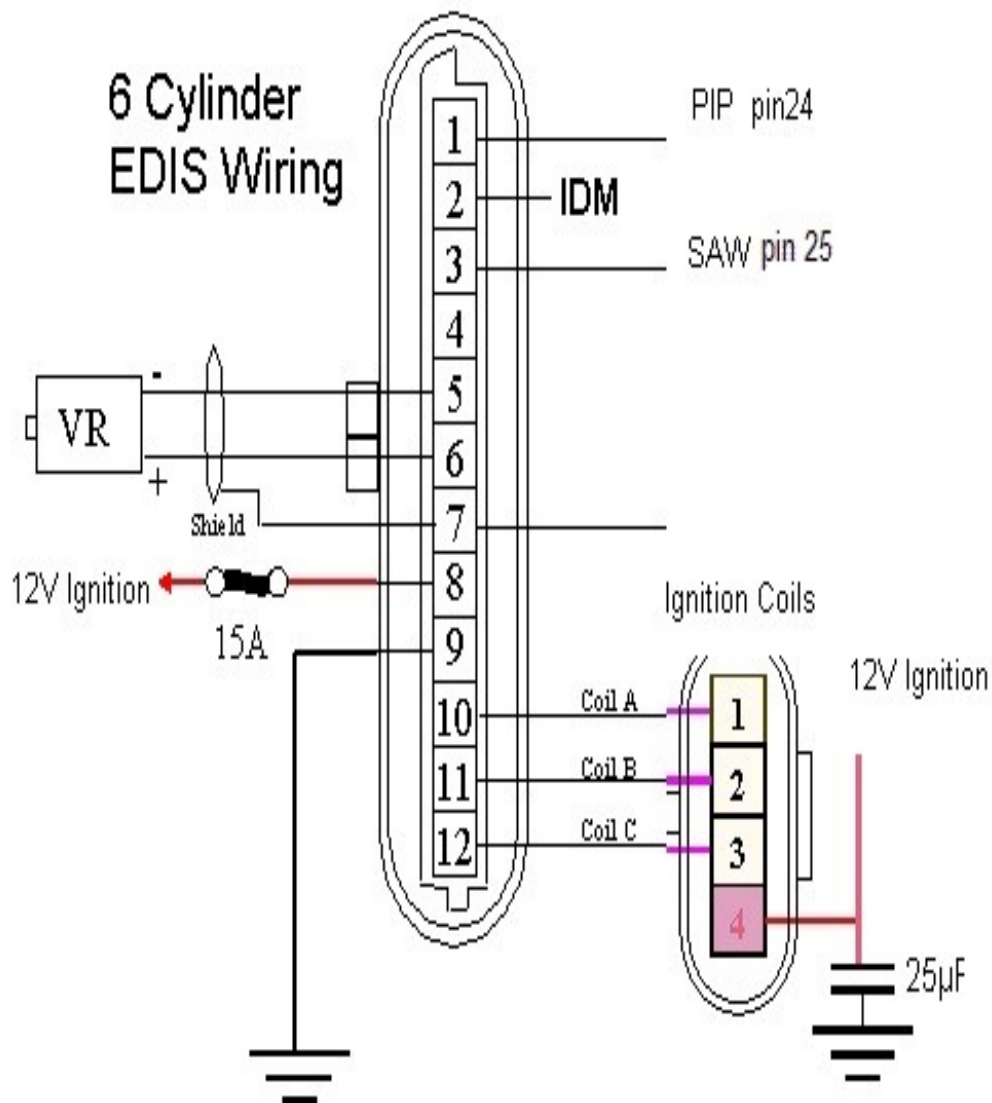
7 JÄRJESTELMÄN ASENNUS

Megasquirtia asentaessa on syytä tehdä johdotukset autoon hyvin selkeästi. Mikäli käyttää auton alkuperäistä johdotusta kannattaa siitä karsia kaikki ylimääräinen pois ja ryhmitellä johdot jotenkin järkevästi. Ensimmäisenä tehtiin moottorin johtosarja liittimille asti. Johtosarjaa tehtäessä kannattaa muistaa ettei johdot pääse koskettamaan teräviä kulmia. Moottori käy erittäin kuumana, joten johtojen päälle täytyy laittaa jotain lämpöeristävää materiaalia. Projektiin käytettiin lämmön kestävä sukkaa, johon johdot työnnettiin. Sukka kestää myös hankausta, joten sen ei pitäisi heti mennä puhki. Kannattaa piirtää jonkulaiset kytkentäkuvat väreistä ja liittimistä, jos tarvitsee myöhemmin tehdä muutoksia. Johtosarja muodostaa kahdesta osasta, auton johtosarja ja moottorin johtosarja. Seuraavassa vaiheessa kolvailtiin auton johtosarja. Johtosarjan rakentamista helpottaa megamanuaalin ulkoinen kytkentäkaavio kuvassa 21.



Kuva 21. Megasquirt-ulkoinen kytkentä

Edis6 ohjainyksiköltä VR-anturille ja ohjainyksiköltä Megasquirtille menevät signaalit vietiin suojatulla 2-napaisella johtimella ja suojat maadoitettiin akkuun, koska kyseisessä ohjainyksikössä ei ollut kuvaan 22 merkittyä Shield-nastaa. (Megamanual 2004, Ford Scorpio 2001)



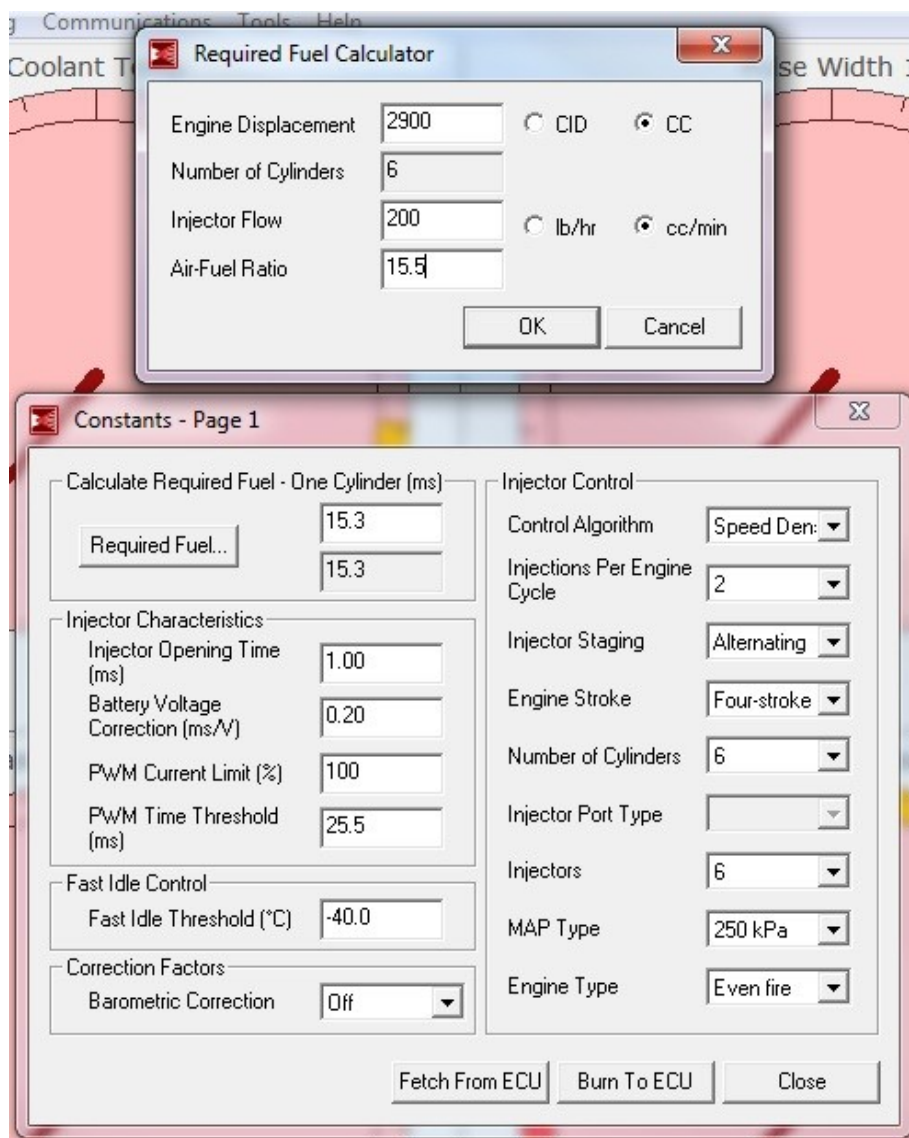
Kuva 22. EDIS6-kytkentäkaavio

8 JÄRJESTELMÄN SÄÄTÖ

Prosessoriin ohjelmoidaan MegaSquirt extra-koodi, jolla mahdollistetaan sytytyksen ohjaus Megasquirtissa. Megasquirtia säädetään Megatune-ohjelmalla, jonka on tehnyt Eric Fahlgren MS-I ja MS-II kokoonpanoja varten. Megatunen etu on se, että sitä kehitetään ja päivitetään jatkuvasti ja on kuitenkin kohtuullisen helppokäyttöinen. Vaihtoehtoisesti voi käyttää myös PC-Configuratoria, joka on alkuperäinen Bowling & Grippon tekemä säätöohjelma. Siinä on vähemmän ominaisuuksia, mutta se on myös huomattavasti yksinkertaisempi. Megatunella säätäminen onnistuu vaikka käynnissä ja autoa ajettaessa kannettavan tietokoneen avulla. Megatunen voi asettaa datalogging-tilaan, jolloin se tallentaa kaiken tiedon tiedostoon. Käyttäjä voi tarkistaa myöhemmin ja tehdä muutoksia myöhemmin tämän perusteella asetuksiin. Datalogging voi olla kätevä esimerkiksi silloin mikäli jonkin vika ilmaantuu vain satunnaisesti. Mikäli käyttää muita antureita kuin General Motorsin, käyttäjä voi ottaa ne käyttöön luomalla uudet lämpötilakartat Roger Ennsin valmistamalla Easytherm-ohjelmalla. Anturimuutokset tehtiin piirilevyille suoraan, joten Easythermin käyttö tässä tapauksessa ei ole tarpeellista.

8.1 Perusasetukset

Megatunen välilehdestä Basic Settings valitaan Engine Constant-valikko, josta säädetään moottorin vakiot. Valikossa säädetään pääosin suuttimien toimintaa. Kuvasta 23 näkee minkälainen Engine Constant-valikko ja polttoainelaskuri ovat.



Kuva 23. Vakiot

Calculate Required Fuelilla määritetään tarvittava polttoaineen määrä sylinteriä kohden. Laskuri tarvitsee moottorin tilavuuden, suuttimien virtausnopeuden ja halutun seossuhteen, jonka jälkeen se laskee tarvittavan aukioloajan suutinta kohden.

Injector characteristicsin alta säädetään suuttimien ominaisuuksia, kuten aukeamisaika, akun jännitekorjaus, virranrajoitus, virran aikakynnys. Megamanuaalissa käsketään asettamaan PWM Time Threshold 25.4 millisekuntiin, PWM Current limit 100 %, mikäli käytössä on korkeaohmiset

suuttimet. Fordin alkuperäissuuttimet ovat luokkaa 8 ohmia ja ohje oli tarkoitettu yli 10 ohmisille, mutta tämä on riittävän lähellä, joten tästä pitäisi olla suhteellisen helppo lähteä säätämään käyntiä.

Fast Idle Controlilla tarkoitetaan nopeantyhkäynnin ohjausta. Jätettiin asetukseen -40 celsiusastetta, koska tällä ei vielä ole tässä vaiheessa suurta merkitystä.

Correction factorsin alta löytyy barometrinen korjaus, joka otetaan pois käytöstä, koska suomessa ilmanpaine ei muutu merkittävästi, että tällä olisi merkitystä moottorin toimintaan.

Control Algorithmiin valitaan speed density, joka tarkoittaa, että polttoaineen syöttö lasketaan paineanturin ja kierrosluvun perusteella.

Injections Per Engine Cycleen valitaan montako ruiskutusta tapahtuu yhden kampiakselin kierron aikana ja tähän valitaan kaksi.

Injector Stagingiin valitaan ruiskuttaako kaikki suuttimet yhtä aikaa tai joka toinen kerta. Kohtaan valitaan Alternating eli joka toinen kerta.

Engine Strokessa määritetään onko moottori tyypiltään 2 vai 4-tahtinen. Kohtaan valitaan Four Stroke eli 4-tahtinen.

Number of Cylindersiin määritetään montako sylinteriä moottorissa on. Kohtaan valitaan 6.

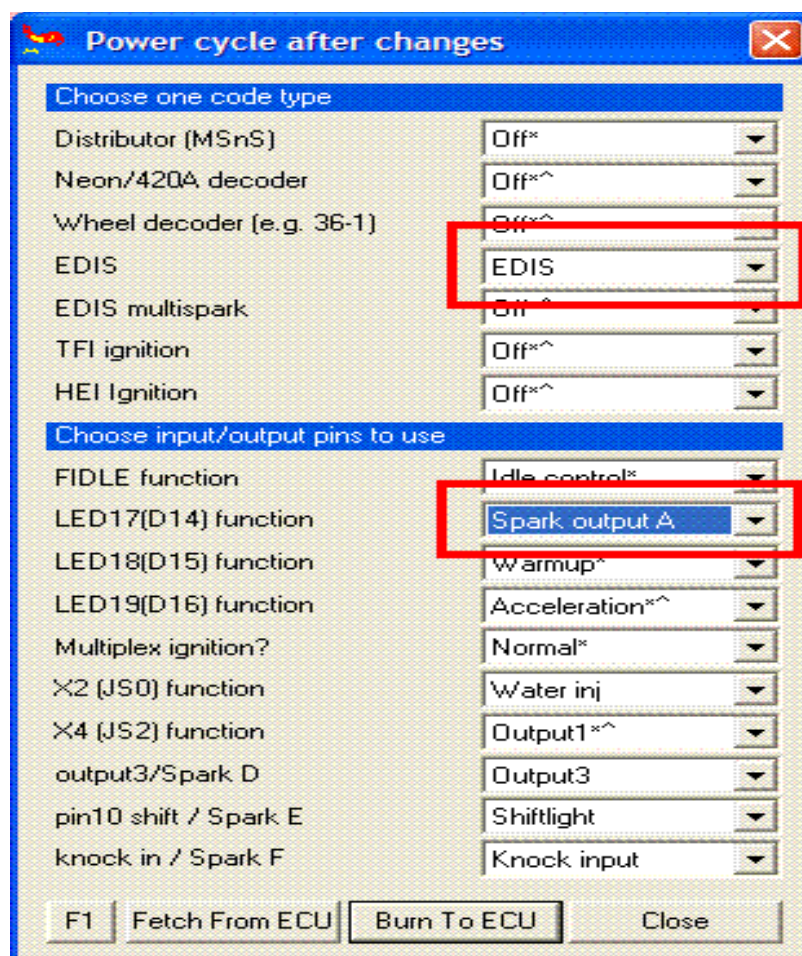
Injectorsin kohtaan määritetään montako suutinta on käytössä. Kohtaan valitaan 6.

Map Type kohdassa määritetään minkä tyyppinen imusarjan paineanturi on käytössä. Kohtaan valitaan 250kPa.

Engine Typeen valitaan tapahtuuko sytytykset tasavälein. Kohtaan valitaan Even fire eli tasavälein tapahtuva sytytys.

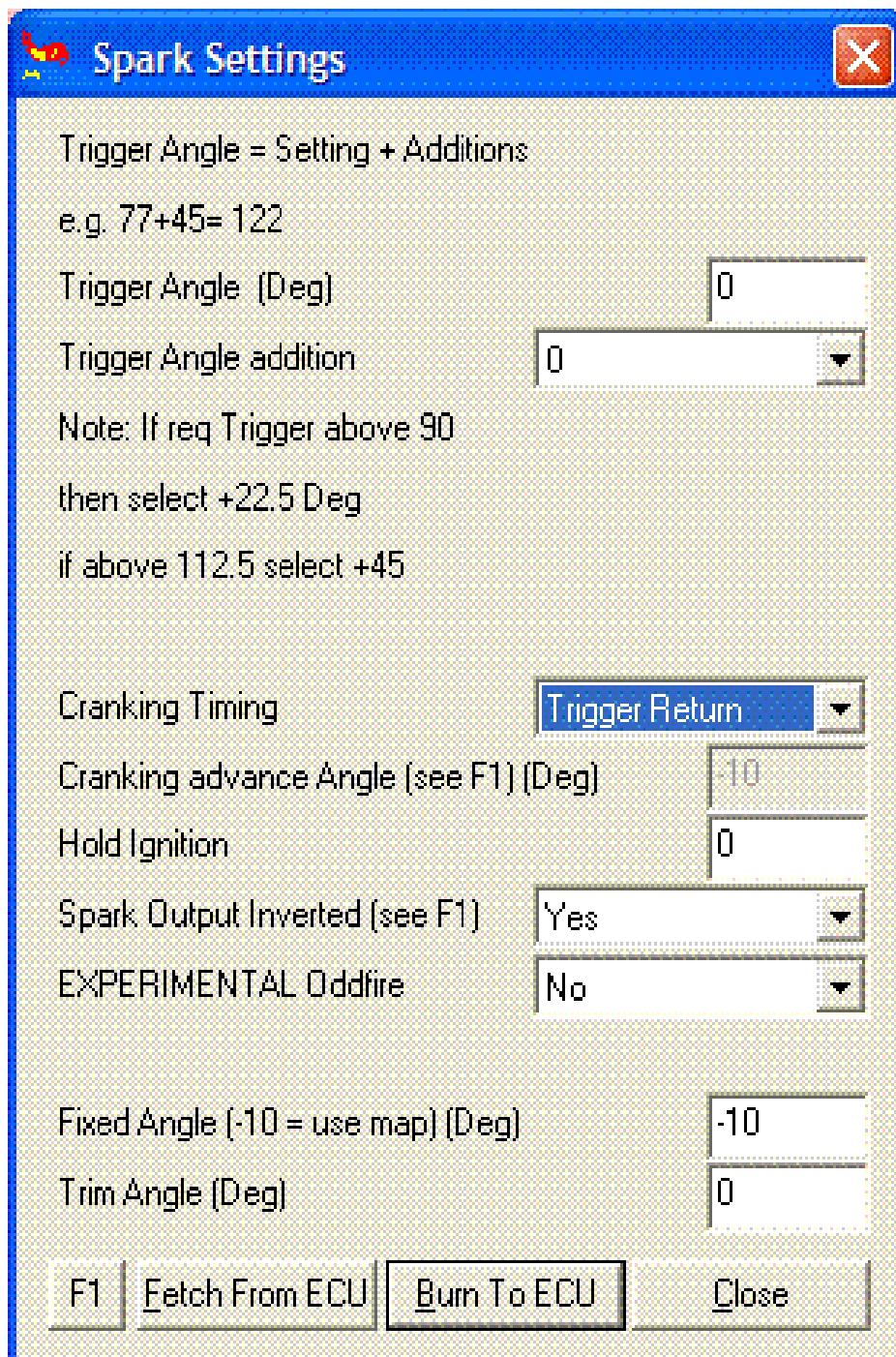
8.2 EDIS-asetukset

Perusasetuksia tehdessä on tärkeä asettaa sytytysjärjestelmän asetukset kohdalleen. Väärät asetukset voivat vahingoittaa sytytysjärjestelmän herkkiä elektroniikkaosia tai pahimmassa tapauksessa aiheuttaa moottorivaurion. Basic Settings-välilehdeltä siirrytään kuvassa 24 näkyvään Codebase and Outputs functions-valikkoon. Sieltä valitaan mitä sytytysjärjestelmää käytetään ja mitä signaaleja prosessori millekin ulostulolle antaa. Valitse EDIS käyttöön ja tarkista ettei mikään muu sytytysjärjestelmä ole käytössä ja vaihda kohtaan LED17 Spark_output A ja huolehdi ettei mikään muu kohta ole valittuna Spark_outputiksi.



Kuva 24. Sytytysmuutokset 1

Seuraavaksi siirry kuvassa 25 näkyvään Spark Settings-valikkoon, jossa säädetään kampaixselin asentotunnistimen asetukset. Tarkista, että Cranking Timing on asetettu Trigger Returniksi.



Spark Settings

Trigger Angle = Setting + Additions
e.g. 77+45= 122

Trigger Angle (Deg)

Trigger Angle addition ▼

Note: If req Trigger above 90
then select +22.5 Deg
if above 112.5 select +45

Cranking Timing ▼

Cranking advance Angle (see F1) (Deg)

Hold Ignition

Spark Output Inverted (see F1) ▼

EXPERIMENTAL Oddfire ▼

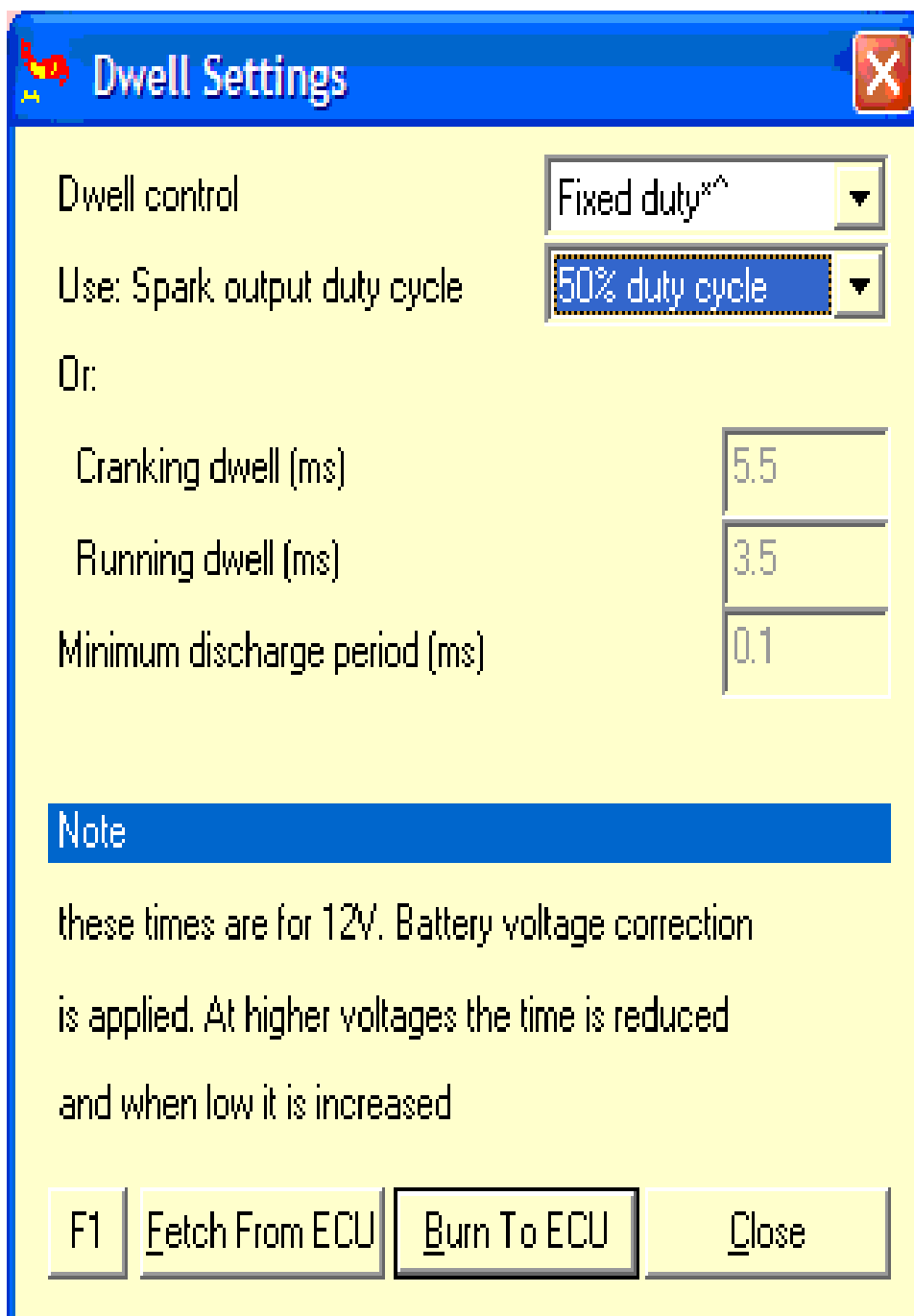
Fixed Angle (-10 = use map) (Deg)

Trim Angle (Deg)

F1 Fetch From ECU Burn To ECU Close

Kuva 25. Sytytysmuutokset 2

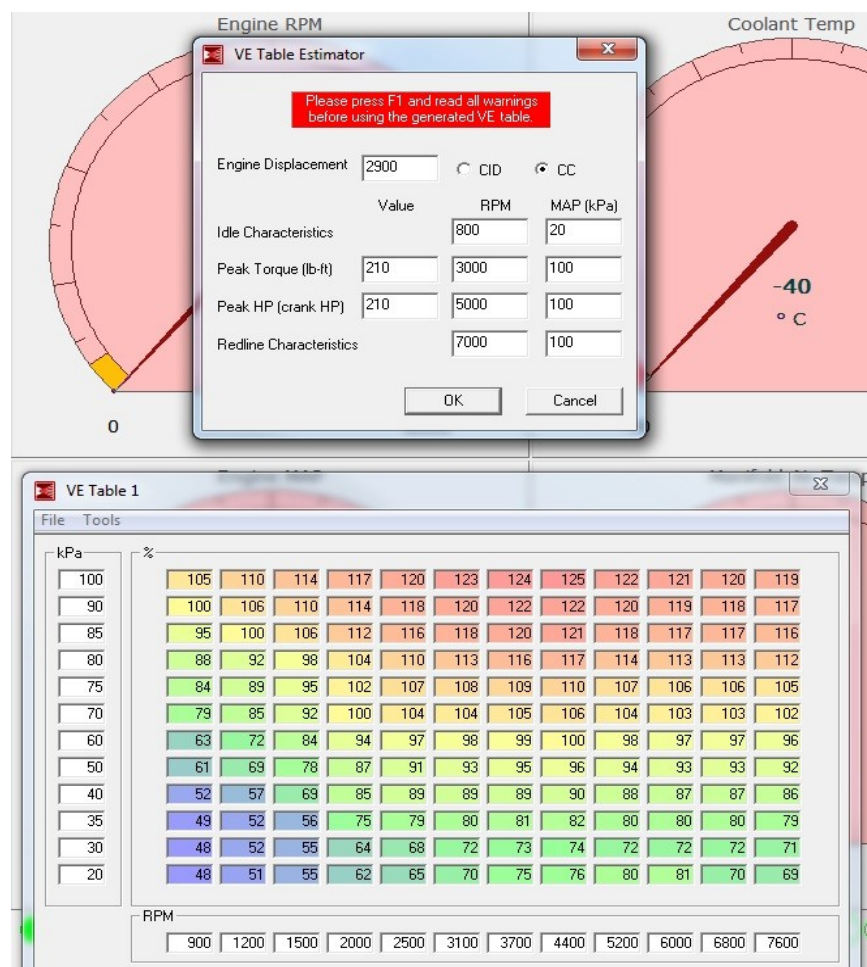
Kuvan 26 Dwell settings-valikossa säädetään sytytyspuolan latausaikoja. EDIS-järjestelmässä ne ovat vakiot, mutta jossain toisessa järjestelmässä niitä voisi muuttaa tästä valikosta. Aseta kohtaan Spark output duty cycle: 50 % duty Cycle



Kuva 26. Sytytysmuutokset 3

8.3 Polttoainekartta

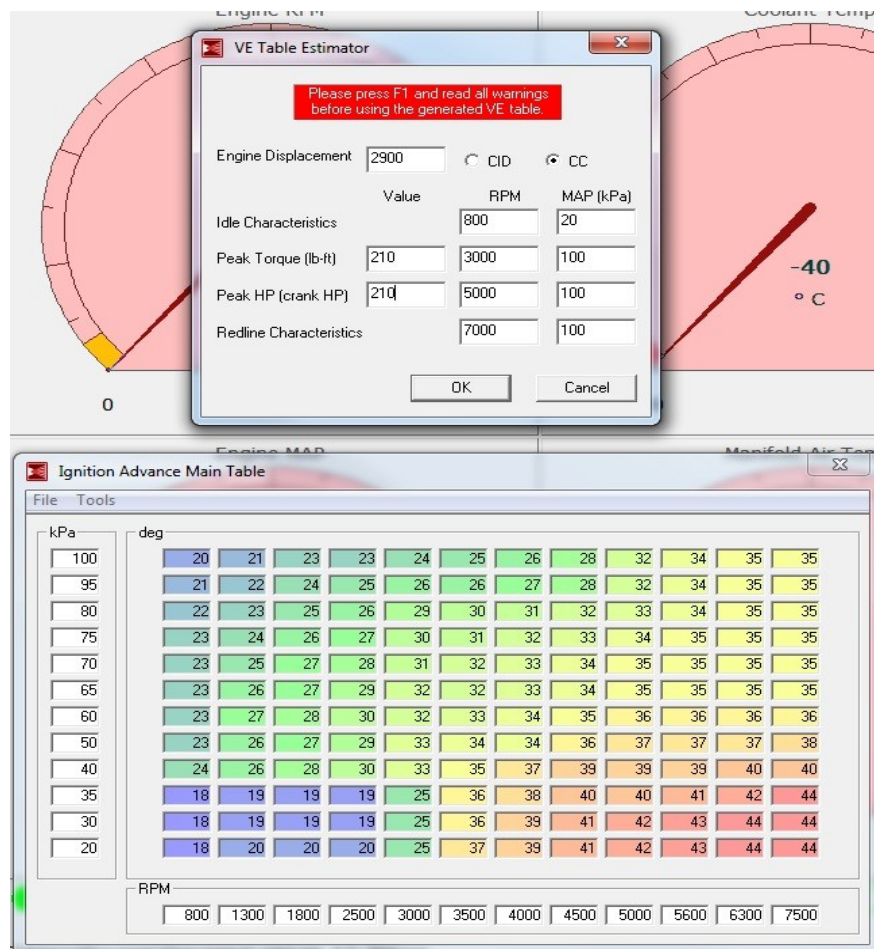
Polttoaine-valikko löytyy Basic Settings-välilehdeltä ja sieltä Fuel Ve table 1. Polttoainekartan konfiguroiminen alusta asti olisi kohtuullisen vaikeaa, joten tätä varten Megatunen polttoaine-valikosta löytyy valinta Generate Table. Valikkoon syötetään moottorin kuutiolavuus, maksimi vääntömomentti, maksimi teho, tyhjäkäynti- ja maksimikierrosluku. Kuvasta 27 käy ilmi miten polttoainekartan luominen tapahtuu käytännössä. Valmista polttoainekarttaa käyttäessä kannattaa muistaa että moottori saattaa käydä laihalla ja vaurioitua. Moottori olisi suositeltava säätää paikallaan mahdollisimman hyvin toimivaksi ennenkuin autolla lähtee ajamaan ja säätämään tarkemmin.



Kuva 27. Polttoainekartta

8.4 Sytytysennakkokartta

Sytytysennakon säätäminen tapahtuu samanlaisen taulukon avulla kuin polttoainekartan säätäminen. Valikko löytyy Spark-välilehdeltä Spark Table-valikosta. Syötä moottoria koskevat tiedot kuvassa 28 ylhäällä näkyvään Table Estimatoriin ja luo taulukko. Ohjelman luoma sytytystaulukkoa käytettäessä pätee samat säännöt, kuin polttoainekarttaa käytettäessä. Säädä moottori ensin toimimaan hyvin ja sitten vasta kokeile ajamista. Liian suuri ennako voi aiheuttaa moottorivaurion. Erityisesti ahdetuissa moottoreissa sytytys kannattaa asettaa mieluummin myöhäisemmälle, kuin liian aikaiselle vaurioiden välttämiseksi. (Megamanual 2004, Mega Extramanual 2004)



Kuva 28. Sytytysennakkokartta

9 KÄYNNISTYS JA VIANETSINTÄ

Nyt, kun Megatunella on tehty tarvittavat säädöt, vakiot, sytytysjärjestelmän säädöt ja on luotu polttoainekartta ja sytytysennakkokartta, on kokeiltava miten moottori käy. Moottorin pitäisi lähteä käymään Megatunen luomilla kartoilla, mutta moottori ei lähtenyt käymään eikä edes luvannut käynnistyä. Aikataulun tiukkuuden takia ei ole keritty selvittämään vikaa juurikaan, mutta ainakaan Megasquirt ei kytke polttoainerelettä, kun virrat laitetaan päälle eikä se myöskään kytkeydy startatessa päälle. Startatessa Megatunen kuvasta 29 selviää ettei järjestelmä saa kierroslukusignaalia. Tämä tarkoittaa, että joko johdotuksissa tai EDIS-järjestelmässä on jotain vikaa. Myös itse piirilevyllä täytyy olla jotain vikaa sillä polttoainepumpun pitäisi pyöriä pari sekuntia, kun virrat kytetään päälle ja tätä ei tapahdu. Tämä voi johtua viallisesta komponentista, huonosta juotoksesta tai vain virheellisestä kokoamisesta. Yleisin vika suorasytytysjärjestelmissä on moottorin ulkopuolella oleva kiertokulma-anturi, johon syntyy pieniä halkeamia ja kosteuden päästessä sisään aiheuttaa se satunnaisia häiriöitä tai anturin hajoamisen.



Kuva 29. Megatune startatessa autoa

10 PÄÄTELMÄ

Megasquirtia usein pidetään suhteellisen helppona rakentaa, mutta projektin jälkeen täytyy todeta, että ei kovinkaan moni asia mennyt suunnitellusti. Työssä tuli kokoamisvaiheessa vastaan asioita, joita ei ilman ulkopuolisen apua olisi kyennyt selvittämään. Johdotukset olisi voinut tehdä paremmin ja siistimmin, mikäli olisi ostanut uudet liittimet ja suunnitellut toteutusta paremmin. Jos nyt aloittaisi tekemään alusta näillä tiedoilla, mitä tämän projektin aikana on saanut tulisi lopputuloksesta huomattavasti parempi.

LÄHTEET

Bruce B, Grippo A. 2004. Megasquirt Extramanual. Viitattu 24.5.2012.
<http://www.msextra.com/doc/index.html>

Bruce B, Grippo A, Gardiner L. 2004. Megasquirt Manual. Viitattu 24.5.2012.
<http://www.megamanual.com/mtabcon.htm>

Davis M. 2010. Mechanical Fuel Injection. Viitattu 24.5.2012.
http://www.hotrod.com/techarticles/engine/hrdp_1010_what_you_need_to_know_about_mechanical_fuel_injection

Ferrel D. 1999. About Carburetors. Viitattu 24.5.2012.
http://www.ehow.com/about_4595928_carburetors.html

Ford Scorpio. 2001. Viitattu 24.5.2012. <http://www.fordscorpio.co.uk>

Nice K. 2012. Fuel Injection. Viitattu 24.5.2012.
<http://auto.howstuffworks.com/fuel-injection.htm>