

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja korjaamotekniikka

Opinnäytetyö

Timo Kettunen

MEGASQUIRT-MOOTTORINOHJAIMEN JA SUIHKUTUSYKSIKÖN ASENNUS

Työn ohjaaja Tekn. Lis. Tauno Kulojärvi

Tampere 2008

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka

Auto- ja korjaamotekniikka

Kettunen, Timo

MegaSquirt-moottorinohjaimen ja suihkutussyksikön asennus

Tutkintotyö

30 sivua

Työn ohjaaja

Tekn. Lis. Tauno Kulojärvi

Joulukuu 2008

Hakusanat

megasquirt, TBI

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella ja sovittaa GM TBI-suihkutussyksikkö ja MegaSquirt-moottorinohjausjärjestelmä alun perin kaasutinkäyttöiseen ottomoottoriin. Työssä käsitellään järjestelmän vaatimia muutoksia ja keskitytään moottorin säätämiseen erityisesti polttoainetalouden maksimoimiseksi. Työ tehdään, jotta elektroniset moottorinohjausjärjestelmät tulisivat syvällisemmin tutuksi.

TAMPERE POLYTECHNIC

Automotive and Transport Engineering

Automotive and Workshop Engineering

Kettunen, Timo Installation of MegaSquirt Engine Management system and
Throttle Body Injection

Engineering Thesis 30 pages

Thesis Supervisor Lic. Tech. Tauno Kulojärvi

December 2008

Keywords megasquirt, TBI

ABSTRACT

The aim of this thesis was to fit throttle body injection system in place of a carburetor, and to control fuel and spark with MegaSquirt-engine management. Tuning was performed specially fuel-efficiency in mind. Through this installation, a deeper understanding of engine management systems was also gained. First a choice between multi-point injection and throttle body injection is discussed, and then the latter is installed and finally tuned to operate properly in all conditions. As a result is a well-performing vehicle with high reliability.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	5
2 POLTTOAINEJÄRJESTELMÄN VALINTA	6
2.1 Monipistesuihkutus.....	6
2.2 Yksikkösuihkutus	6
3 MEGASQUIRT-MOOTTORINOHJAUS	8
3.1 MegaSquirt-moottorinohjaimen kehitys.....	8
3.2 Megasquirt-moottorinohjaimen ominaisuudet	9
3.3 Polttoaineen annostelu.....	10
3.4 Sytytyksen ohjaus	12
4 MUUTOSTYÖ	13
4.1 Suihkutusyksikön asennus.....	13
4.2 Polttoainepumppu ja -linjat	15
4.3 Sytytysjärjestelmän muutokset.....	16
4.4 Lambda-anturin ja sen ohjainlaitteen asennus.....	17
4.5 Lämpöanturien asennus	17
4.6 Johdotus, releasian ja ohjainyksiköiden sijoitus	18
5 MOOTTORINOHJAUKSEN SÄÄTÄMINEN	18
5.1 Perusasetukset.....	19
5.2 Sytytyksen asetukset.....	20
5.3 Polttoainesuuttimien asetukset	22
5.4 Polttoainekartat.....	23
5.5 Sytytyksen ohjaus	25
5.6 Kylmäkäynti- ja kiihdytysrikastukset.....	27
6 LOPPUTULOKSET JA ARVIOINTI.....	29
LÄHTEET	30

1 JOHDANTO

Nykyaikaisen moottorinohjauksen vaatimukset ovat kasvaneet kahden edellisen vuosikymmenen aikana voimakkaasti pääosin tiukentuneiden päästörajoitusten johdosta. Tästä syystä moottoria on voitava ohjata erittäin tarkasti. Moottorin tarkka ohjaus on mahdollista vain elektroniikan avulla, mikä on johtanut lisääntyvään elektronisten komponenttien käyttämiseen.

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella elektroninen moottorinohjaus ja polttoaineen suihkutuslaitteisto vanhentuneen kaasuttimen ja mekaanisten moottorinohjausmenetelmien tilalle. Työn tavoitteena on pääosin moottorinohjausjärjestelmän toiminnan syvälinen ymmärtäminen. Siinä tarkastellaan aluksi eri vaihtoehtoja polttoaineen suihkutusjärjestelmäksi ja moottorinohjaukseksi ja käydään läpi muutoksen vaatimukset. Tämän jälkeen muutos toteutetaan ja moottori säädetään toimimaan optimaalisesti eri käyttötilanteissa. Moottorinohjaimen säätämisessä keskitytään lähinnä kohteena olevan ajoneuvon käyttämiin polttoaine- ja sytytysjärjestelmiin.

2 POLTTOAINEJÄRJESTELMÄN VALINTA

Polttoainejärjestelmän nykyaikaistamisella tavoiteltiin päivittäisessä käytössä olevan, iäkkäämmän ajoneuvon luotettavuuden ja polttoainetalouden kasvua. Muutoksen kohteena oleva ajoneuvo on Dodge Aspen vuosimallia 1980. Moottorin iskutilavuus on 3,7 litraa ja vaihteistona on TF 904-automaattivaihteisto lukkoturbiinilla. Alun perin polttoainetta syöttää kaksikurkkuinen, melko vikaherkkä kaasutin. Muutosta suunniteltaessa pääpaino asetettiin edullisuuden lisäksi monipuoliselle säädettävyydelle.

2.1 Monipistesuihkutus

Monipistesuihkutus tuli markkinoille yksikkösuihkutuksen jälkeen, ja sitä käytetään edelleen lähes kaikissa uusimmissa ottomoottoreissa. Jokaiselle sylinterille on oma suuttimensa, jolloin polttoaineseoksen jakaantuminen on hyvin tasaista. Tämän ansiosta pakokaasupäästöt ovat alhaisemmat ja moottorin toiminta parempaa alakierroksilla kuin aikaisemmilla polttoainejärjestelmillä.

Monipistesuihkutus olisi paras valinta tähän sovellukseen, mutta kustannusten pitämiseksi kurissa yksikkösuihkutus valittiin uudeksi polttoainejärjestelmäksi. Jatkossa järjestelmä on tarpeen niin vaatiessa melko yksinkertainen muuttaa monipistesuihkutukseksi tekemällä suuttimille paikat imusarjaan, ja lisäämällä polttoainekisko ja polttoaineen paineensäädin. Suihkutusyksikköä voidaan käyttää läppärunkona poistamalla siitä suuttimet.

2.2 Yksikkösuihkutus

Yksikkösuihkutus yleistyi 80-luvun puolivälin jälkeen tiukentuneiden saastemääräysten johdosta. Yksikkösuihkutusta käytettiin siirtymävaiheessa kaasuttimesta monipistesuihkutukseen sen yksinkertaisen sovittamisen ansiosta jo olemassa olevaan kaasutinmoottoriin. Toimintaperiaatteena on suihkuttaa

polttoaine yhdestä tai useammasta suuttimesta, jotka sijaitsevat ennen kaasuläppää. Polttoaineen annostelu on tarkempaa kuin kaasuttimella, koska moottorinohjain kykenee korjaamaan suihkutettavan polttoaineen määrää eri antureiden tietojen avulla. Suihkutusyksikön suurimmat puutteet ovat seoksen epätasainen jakautuminen eri sylintereille eripituisten imukanavien takia, sekä polttoaineen kerääntyminen imukanaviston seinämiin matalilla kierroksilla. Yksikkösuihkutuksen etuina jälkiasennusta ajatellen ovat sen edullisuuden lisäksi melko yksinkertainen asennus kaasuttimen korvaajaksi.

Suihkutusyksiköksi valittiin General Motors:n TBI-tuotenimellä (Throttle Body Injection) markkinoima yksikkö, jota käytettiin laajalti koko konsernin tuotteissa 80-luvun puolivälistä aina vuoteen 1996 asti. TBI on tunnetusti luotettava ja yksinkertainen suihkutussyksikkö, jossa on integroituna kaasuläpän asentotunnistin, polttoaineen paineensäädin ja askelmoottori joutokäyntikierrosten nostamiseksi tarvittaessa.

Suihkutusyksikkö kannattaa valita sellaisesta ajoneuvosta, jonka moottorin teho on mahdollisimman lähellä kohteena olevan moottorin tehoa. Mikäli suihkutussyksikkö on mitoitettu liian isoksi, ajoneuvon käytöksestä tulee hyökkäävää. Tämä johtuu kaasuläpän pienellä liikkeellä tapahtuvasta isosta virtauspinta-alan muutoksesta. Liian pieni suihkutussyksikkö taas ei riitä syöttämään tarpeeksi polttoainetta suurella kuormalla, ja seos muuttuu laihaksi. Työn kohteena olevaan ajoneuvoon TBI-yksikkö hankittiin 1990 vuosimallin 4,3 litran iskutilavuudella olevasta Chevrolet S10 Blazerista. Blazerissa on tehtaan ilmoittamat 150 hevosvoimaa, joka on hyvin lähellä kohteena olevan ajoneuvon moottorin 130 hevosvoiman tehoa. Tämän ansiosta polttoainesuuttimia voi käyttää sellaisenaan.

3 MEGASQUIRT-MOOTTORINOHJAUS

Edullista moottorinohjainta etsittäessä oikeastaan ainoaksi vaihtoehdoksi nousi MegaSquirt. Suomessakin verraten paljon myynyt ja kyseenalaista mainetta nauttiva MegaSquirt-I ei tullut kysymykseen, koska päivittäisessä ajossa olevan ajoneuvon tulisi olla ehdottoman luotettava. Sen seuraaja, huomattavasti kehittyneempi MegaSquirt-II riitti ominaisuuksiltaan ja koska sen suunnittelussa oli otettu erityisesti luotettavuus huomioon, valittiin se tulevaksi moottorinohjaimeksi.

3.1 *MegaSquirt-moottorinohjaimen kehitys*

Yksinkertaisen ja edullisen moottorinohjaimen kasvanut kysyntä johti EFI332-moottorinohjaimen kehitykseen vuonna 1995. EFI332-moottorinohjain julkaistiin vuonna 2000. Sen loivat Bruce Bowling ja Al Grippo, jotka toivoivat projektinsa tuottavan lopulta kaikkiin sovelluksiin käyvän järjestelmän. EFI332-moottorinohjain oli kuitenkin liian monimutkainen useimmille käyttäjille, sillä sen käyttöönotto vaati mm. ohjelmointitaitoja ja moottorinohjausalgoritmien syvällistä tuntemusta. Vastapainoksi järjestelmä oli todella tehokas ja joustava. Bowling ja Grippo näkivät markkinat yksinkertaisemmalle ja helpommin käyttöönotettavalle moottorinohjaimelle, joten he kehittivät MegaSquirt:in. Idea projektin takana oli yksinkertainen: tavoitteena oli luoda ohjain, jolla voitaisiin ohjata polttoainesuuttimia missä tahansa laitteessa. Tämän lisäksi projektista päätettiin tehdä kaikille avoin ja piirilevykaaviot, ohjelmat, algoritmit ja kaikki projektiin liittyvä julkaistiin avoimesti. Näin menettelemällä järjestelmän jatkuva kehitys varmistettiin, ja ohjaimesta tuli enemmänkin opetuksellinen kuin kaupallinen tuote niille, jotka halusivat opetella polttoaineen suihkutuksen ohjausjärjestelmiä. Aikainen kehitysversio MegaSquirt-I-moottorinohjaimesta esiteltiin Circuit Cellar-lehdessä artikkelissa ”Building a Fuel-Injection ECU” tammikuussa 2002. Sen seuraaja, MegaSquirt-II julkaistiin vuonna 2005 ja se on vielä edeltäjään

huomattavasti luotettavampi ja vähemmän häiriöherkkä. Piirilevystä on tullut useampia versioita kehittäjien toimesta, viimeisimpänä pintaliitoskomponentteja

käyttävä v3.57. MegaSquirt-III on tulossa vuoden 2009 aikana, mutta sen ominaisuuksista ei ole vielä tarkkaa tietoa. /5/

3.2 Megasquirt-moottorinohjaimen ominaisuudet

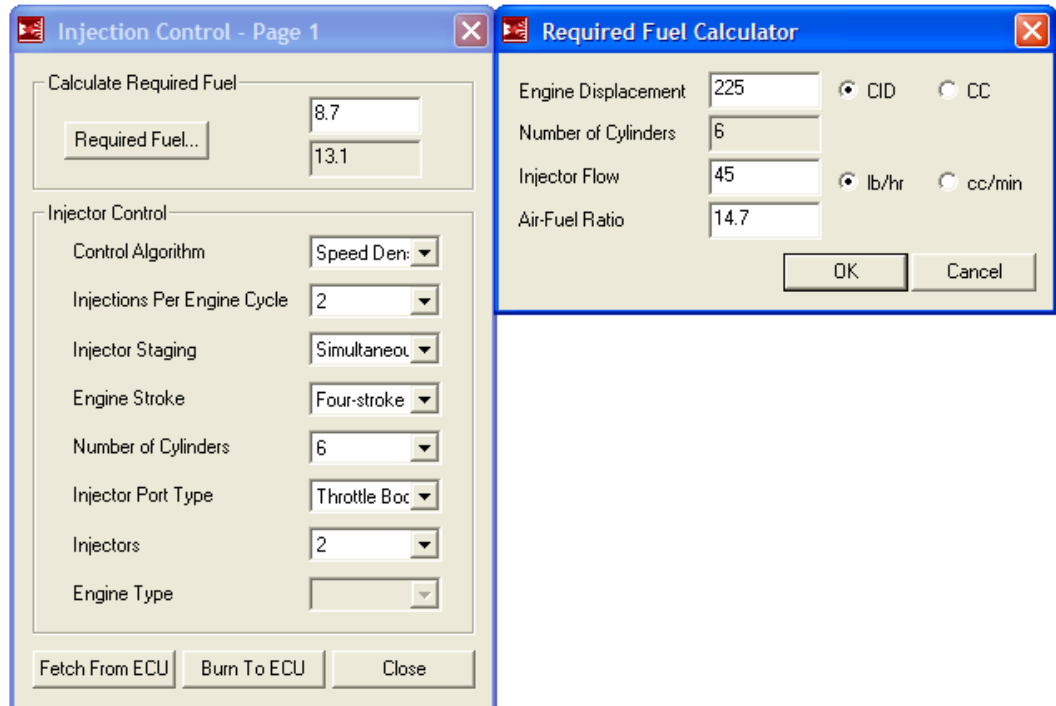
MegaSquirt-I-moottorinohjain käyttää Motorolan 8 MHz 68HC908-mikroprosessoria. Koodi on kirjoitettu käsin assemblerilla, joka takaa mahdollisimman tehokkaan ja nopean laskennan. MegaSquirt I-moottorinohjain kykenee laskemaan polttoaineen syötön reaaliaikaisena 16 000 kierrokseen minuutissa saakka. Vuonna 2005 moottorinohjaimesta esiteltiin seuraava kehitysversio, MegaSquirt 2. Tässä uusimmassa versiossa käytetään edellistä tehokkaampaa Motorolan MC9S12C64-suorittinta, ja koodi on kirjoitettu C-kielellä (taulukko 1). Uusina ominaisuuksina ovat mm. sytytyksen ohjaus, paljon korkeampi polttoaineen pulssileveyden erottelutarkkuus, erityyppisten joutokäyntiventtiilien ohjaus, tuki kampiakselin asentoanturille, ylimääräinen I/O-portti omavalintaisilla sisään- ja ulostuloilla esim. nakutusanturille ja automaattinen polttoaineseoksen säätö. /5/

Taulukko 1. MegaSquirt-kehitysversiot.

Moottorinohjain	MegaSquirt-I	MegaSquirt-II
Suorittimen ydin	8-bittinen	16-bittinen
Väylätaajuus	8 MHz	16 MHz
Flash-muistin määrä	32 kilotavua	64 kilotavua
Käyttäjämistin määrä	512 bittiä	2 kilotavua

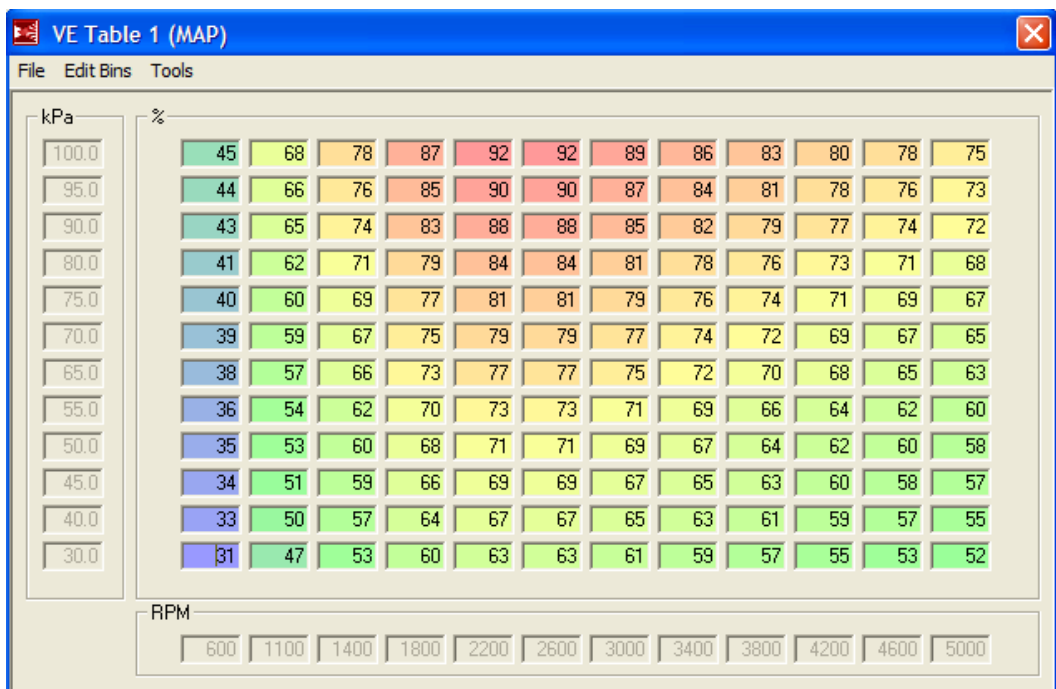
3.3 Polttoaineen annostelu

Polttoaineen annostelu perustuu laskennalliseen REG_FUEL-arvoon (Required Fuel), joka on suuttimen aukioloaika millisekunteina stökiömetrisen seoksen aikaansaamiseksi 100-prosenttisella volymetrillä hyötysuhteella VE, 100 kPa imusarjan absoluuttisella paineella ja imuilman lämpötilalla 21 °C. Todellisuudessa 100 % volymetriseen hyötysuhteeseen päästään vain imuilman ahtamisen avulla, mutta lähtökohdaksi laskennallinen arvo kelpaa hyvin. MegaTune-säätöohjelmassa on sisäänrakennettuna laskuri, joka laskee syötetyistä tiedoista REG_FUEL-arvon. Kuvassa 2 näkyvä alempi lukema on moottorinohjaimelle ladattava arvo, joka riippuu suuttimien käyttötavasta ja suihkutusten lukumäärästä. Syötettävät tiedot ovat moottorin tilavuus, sylinterien lukumäärä, suuttimien lukumäärä, suihkutusten määrä yhtä kampiakselin kierrosta kohden, suuttimen virtaus, suuttimien käyttötapa (yhtäaikainen tai vuoroittainen) ja polttoaineen tyyppi. Kuvassa 1 näkyvät työn kohteena olevaan moottoriin käytetyt valinnat, joiden kanssa kannattaa olla tarkkana erityisesti monipistesuihkutusta ohjattaessa. Esimerkiksi jos samanaikaisesti valittuna ovat vuoroittainen suihkutus ja yksi suihkutus kampiakselin kierrosta kohti, sylinterit saavat polttoainetta vain joka toisella kierroksella. /4/



kuva 1 MegaTunen Reguired Fuel-laskuri

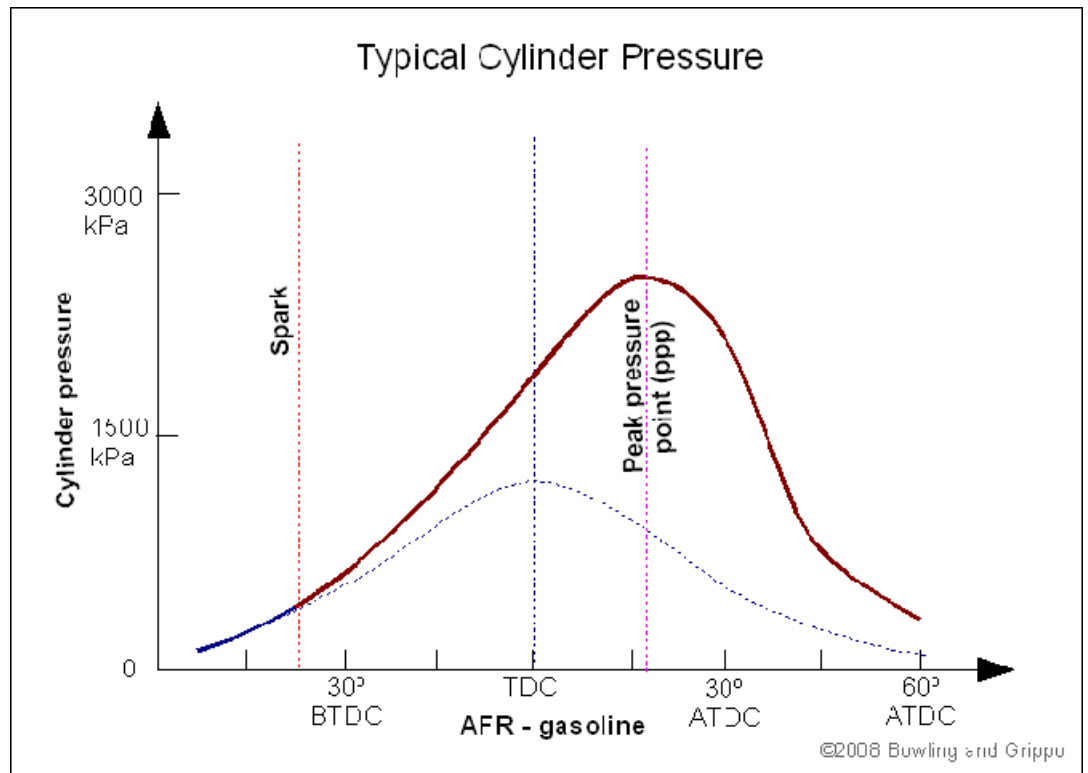
REG_FUEL-arvoa käytetään perustana laskettaessa suihkutuspulssin pituutta. Muuttujina ovat VE-taulukon arvo (kuva 2), imusarjan paine, kylmä- ja kiihdytysrikastukset, imuilman lämpötila ja lambdakorjaus. VE-taulukon työkaluvalikossa on laskuri, jolla saadaan moottorin tietojen avulla karkea taulukko rakennettua. /4/



Kuva 2 MegaTunen laskurin avulla tehty VE-taulukko (Volymetrinen hyötysuhde)

3.4 Sytytyksen ohjaus

Sytytysjärjestelmän tehtävänä on sytyttää polttoaineseos oikealla hetkellä, jotta palaminen olisi mahdollisimman täydellistä. Stökiometrisen, eli kemiallisesti ihanteellisen seoksen syttymiseen tarvitaan n. 2 mJ sytytysenergia. Rikkaan tai laihan seoksen syttymiseen tarvittava sytytysenergia on jopa 3 mJ. Seoksen syttymistä helpottaa pitkä kipinän kesto ja suuri kipinän pituus. Jotta moottorista saataisiin paras mahdollinen teho, on seos sytytettävä siten, että palokaasujen paine on suurimmillaan männän ohitettua yläkuolokohtaan. Jos sytytys tapahtuu liian aikaisin, palokaasujen paine toimii jarruna ja hidastaa männän liikettä. /1/ Tämän lisäksi palokaasujen paineen huippu saavutetaan liian aikaisin, ja kauimpana sytytystulpasta oleva seos saattaa syttyä suuren paineen ja kuumuuden johdosta, jolloin palotapahtuma ei ole tasainen. Tätä ilmiötä kutsutaan yleisesti termillä nakutus. Kuvassa 3 on esitetty erään ottomoottorin toimintaa 3000 kierroksella minuutissa. Seoksen syttymisestä sen täydelliseen palamiseen kuluu aikaa keskimäärin kaksi millisekuntia. Tässä ajassa kampiakseli kiertyy 36° . Optimikohta männän liikeradassa jolloin palamisen huippupaine saavutetaan on n. 17° ennen yläkuolokohtaa, joten palamistapahtuman on alettava tässä tapauksessa $36^\circ - 17^\circ = 19^\circ$ ennen yläkuolokohtaa. Sytytysennakkoon vaikuttaa myös sylinterin porauksen halkaisija, sytytystulpan sijainti palotilassa, palotilan muoto, seoksen pyörteily ja monet muut seikat. /7/



Kuva 3 Palokaasujen paine ja sytytys hetki. /7/

4 MUUTOSTYÖ

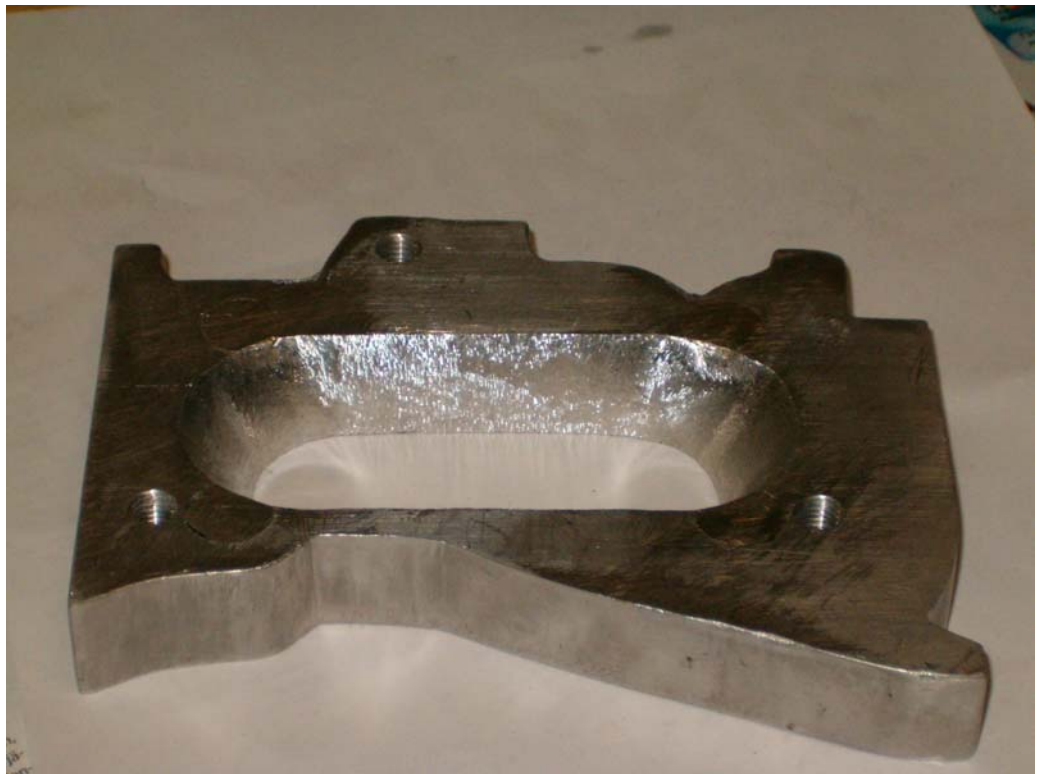
Muutostyö aloitettiin hankkimalla kaikki tarvittavat komponentit ja merkityt sähköjohtimet. Merkityt sähköjohtimet helpottavat mahdollista vianetsintää tulevaisuudessa eikä sähkökaaviota tarvitse piirtää. Kaikki komponentit asennettiin paikalleen ennen johtimien vetoa. Näin menetellen johdotuksista tulee siistit ja johtimet voi katkaista suoraan oikean mittaisiksi. Muutostyöhön kannattaa käyttää aikaa ja suunnitella se hyvin, jotta ongelmatilanteilta vältytään.

4.1 Suihkutusyksikön asennus

Suihkutusyksikkö asennetaan kaasuttimen tilalle alkuperäiseen imusarjaan. Koska kiinnitysreikien sijainnit eivät ole samanlaisia, tarvittiin sovitelevy imusarjan ja suihkutussyksikön väliin. Sovitelevyn suunnittelussa piti ottaa huomioon kaasuläppävivusto ja kickdown- ja vakionopeussäätimen vivustot. Suunnittelu aloitettiin piirtämällä TBI-suihkutusyksikön ääriarajat, kiinnitysruuvien sijainti ja

kurkkujen rajat paperille. Tämän jälkeen alkuperäisen kaasuttimen tiiviste asetettiin paperille, ja piirrettiin kiinnitysruuvien paikat siten, että kurkkujen sijainnit olivat tarkalleen keskeisesti toisiinsa nähden. Sovitelevy työstettiin paperimallin mittojen mukaan 20 mm:n alumiinista, jotta kurkkujen kokoerosta johtuva kartiomainen siirtymäosuus häiritsisi virtausta mahdollisimman vähän. Sovitelevy kiinnitettiin imusarjaan kaasuttimen kiinnitysruuvien rei'istä kuusiokoloruuveilla ja ruuvien päälle tehtiin peitelevyt, jotta muutoin näkyviin jäävät ruuvinkannat eivät jäisi häiritsemään virtausta (kuva 4).

Ilmansuodatinkotelona haluttiin käyttää alkuperäistä, kaasuttimen päällä ollutta ilmasuodatinkotelo. TBI-suodatinkotelosta leikattiin pohja irti, ja liitettiin se hitsaamalla alkuperäisen suodattimen pohjalevyyn. Näin alkuperäistä raitisilmanottokanavaa voitiin käyttää muokkaamattomana. Imuilman esilämmitysjärjestelmän termostaatti irrotettiin vanhasta suodatinkotelosta ja liitettiin uuteen pohjaan. Imuilman lämpöanturi kierrettiin suodatinkoteloon imutorveen porattuun reikään, ja lukittiin se paikoilleen.



Kuva 4 Suihkutusyksikön sovitelevy

4.2 Polttoainepumppu ja -linjat

Polttoainepumppuja on saatavilla polttoainesäiliöön asennettavia ja säiliön ulkopuolelle asennettavia malleja. Polttoainesäiliöön asennettavan pumpun etuihin voidaan lukea pumpun erinomainen jäähdytys ympäröivän polttoaineen avulla, ja vähäinen meluntuotto. Tässä työssä käytettiin säiliön ulkopuolista mallia sen yksinkertaisen asennuksen ja edullisuuden takia. Ulkopuolista pumppua käytettäessä tulee varmistaa pumpun riittävä polttoaineen saanti, sillä pumppu jäähtyy polttoaineen avulla.

Pumpun käyttöään pidentämiseksi karkea, n. 100 - 150 mikronin esisuodatin asennettiin polttoainesäiliön ja pumpun väliin. Hienojakoisempaa suodatinta ei kannata käyttää, koska helposti tukkeutuvana se saattaisi vaurioittaa polttoainepumppua imun vaikeutuessa. Esisuodattimen lisäksi pumpun ja suuttimen väliin asennettiin n. 10 mikronin suodatin estämään pienempien roskien pääsyä suuttimille. Polttoainelinja säiliöltä TBI-yksikölle tehtiin raskaan kaluston puolella käytetystä, sisähalkaisijaltaan 8 mm muoviputkesta asennuksen helpottamiseksi. Alkuperäisestä syöttölinjasta tehtiin paluulinja tankille.

Polttoainesäiliöön oli vielä tehtävä muutoksia, jotta polttoainepumpulle ei pääsisi ilmaa eri ajotilanteissa, kuten jarrutettaessa. Yksi ratkaisu olisi ollut tehdä erillinen sumppu, jossa olisi aina polttoainetta. Asennuksesta haluttiin kuitenkin siisti, joten säiliön ulkopuoliset ratkaisut eivät tulleet kysymykseen. Säiliön pohjaan porattiin 30 mm reikiä, ja tälle alueelle hitsattiin erillinen astia. Astian pohjaan asennettiin esisuodatin ja tehtiin liitos polttoaineputkea varten. Kuvassa 5 näkyy säiliön pohja ja karkea esisuodatin. Näin menettelemällä pohjaan hitsattu astia ei pääse tyhjenemään kovassakaan ajossa, ja polttoainepumppu ei pääse imemään ilmaa.



Kuva 5 Muokattu polttoainesäiliön pohja

4.3 Sytytysjärjestelmän muutokset

Megasquirt-moottorinohjaimen avulla säädetään sytytysennakkoa ja sytytyskulmaa kulloisenkin käyttötilanteen mukaan. Jotta moottorinohjain voisi säätää sytytysennakkoa, tarvitaan liipaisu joka tapahtuu jokaisella sylinterillä samalla hetkellä ennen yläkuolokohtaa. Koska auton alkuperäisessä virranjakajassa oli sytytysennakon säätö keskipakopainojen ja alipaineen avulla, se ei olisi soveltunut uuteen järjestelmään, jossa moottorinohjain säätää sytytysennakkoa. Tämän takia autoon hankittiin seuraavan mallisukupolven virranjakaja, jossa sytytysennakkoa säädetään alkeellisen moottorinohjaimen avulla. Virranjakajassa on yksi sakara kutakin sylinteriä kohti, ja liipaisu tapahtuu induktiivisen impulssianturin kautta. Induktiivinen anturi on kestopagneettikentillä varustettu vaihtovirtageneraattori, jossa on staattori ja roottori, joiden sakaroiden lukumäärä vastaa moottorin sylinterilukua.

Sytytyspuolaa ohjataan VB921-sytytysmodulin kautta. Moottorinohjaimella on paikka sytytysmodulin juottamista varten, mutta sytytysmoduli asennettiin alumiiniseen jäähdytyslevyyn n. 50 cm pituisten johtimien päähän. Tällä pyrittiin varmistamaan, ettei sytytysmodulin kautta kulkeva suuri virta häiritse moottorinohjaimen komponentteja.

4.4 Lambda-anturin ja sen ohjainlaitteen asennus

Tarkkaa polttoaine-ilma seoksen säätöä varten hankittiin Innovaten valmistama LC-1-laajakaistalamdaohjain ja Bosch LSU-4 laajakaista-anturi. Lambdaohjain sijoitettiin kojetaulun alle, ja laajakaista-anturille hitsattiin pakoputken alkuosaan M18 x 1,5 mutteri. Anturi sijoitettiin pakoputken yläpuolelle niin, ettei putkessa mahdollisesti seisova kondensoitunut vesi pääse vahingoittamaan anturia.

4.5 Lämpöanturien asennus

Jäähdytysnesteen lämpöanturi asennettiin alkuperäisen ilmausruuvin paikalle termostaattikoteloon. Anturina käytettiin GM:n valmistetta, koska MegaSquirt osaa tulkita sen vastusarvoja oletuksena oikein. Myös muita antureita voidaan luonnollisesti käyttää, kunhan kolme resistanssia vastaavaa lämpötilaa tiedetään. MegaTune osaa laskea loput pisteet näiden kolmen tiedon avulla.

Imuilman lämpöanturiksi valittiin avoin anturi, koska se reagoi lämpötilan muutoksiin huomattavasti nopeammin kuin suljettu eikä hintaeroa suljettuun ollut. Vapaastihengittävässä moottorissa imuilman lämpötilaanturiksi olisi sopinut myös jäähdytysnesteen lämpöanturi.

4.6 Johdotus, relerasian ja ohjainyksiköiden sijoitus

Jälkiasennettavissa moottorinohjausjärjestelmissä tulee kiinnittää erityistä huomiota johdotusten ja johtimien laatuun sekä maadoituspisteisiin. Näin vältetään väärin tai katkonaisten anturitietojen aiheuttamilta virheiltä, jotka ajossa tuntuvat yleisimmin nykimisenä tai moottorin puutumisenä. LC-1-lambdaohjaimen maadoituskaapeli juotettiin suoraan akun miinuskaapelin kylkeen, eikä kojetauluun joka olisi ollut luontevin maadoituspiste. Moottorinohjaimen relerasia maadoitettiin suoraan moottorilohkoon, joka on paras mahdollinen paikka. Tässä on huomioitava, että saman ruuvin alle ei saa liittää useita maadoituskaapeleita niiden väliin muodostuvan hapettuman takia. /3/

Moottorinohjain sijoitettiin kojetaulun alle, ja johdotukset vedettiin rintapellin läpi relerasialle. Johdotusten vetämistä sytytyspuolan läheltä vältettiin, koska anturien signaalien haluttiin kulkevan mahdollisimman häiriöttömästi.

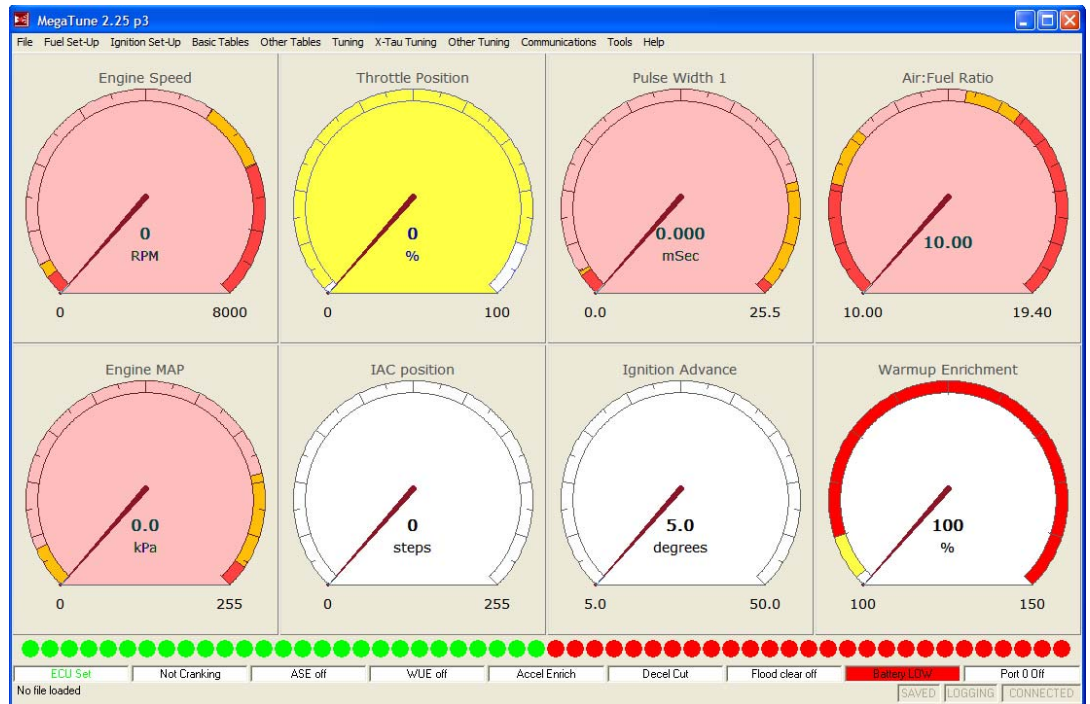
5 MOOTTORINOHJAUKSEN SÄÄTÄMINEN

Ajoneuvojen muutoksien valmistuttua alkoi työn haastavin osuus, moottorinohjauksen säätäminen. Säätäminen tapahtuu kannettavalla tietokoneella sarjaportin kautta. Säätämisohjelmaksi valittiin Eric Fahlgrenin kehittämä Windows-pohjainen MegaTune (kuva 6). Periaatteina säädettäessä on hyvä muistaa seuraavat asiat:

- 1 Tallenna usein, ja pidä varmuuskopio toimivista asetuksista.
- 2 Muuta yhtä asiaa kerrallaan, jotta tiedät paransiko muutos moottorin käytöstä
- 3 Jos muutos ei paranna mitään, palaa aikaisempaan asetukseen
- 4 Säädä perusasetukset ensin kuntoon, sitten vasta kiihdytsrikastukset ym.

Kaikki asetukset tehtiin silmälläpitäen mahdollisimman edullista polttoainetaloudellisuutta ja ajomukavuutta, katalyysaattorilla varustetut

vähäpäästöiset autot tulee säätää mahdollisimman lähelle lambda-arvoa 1 eli polttoaine-ilmasuhdetta 14,7. /7/



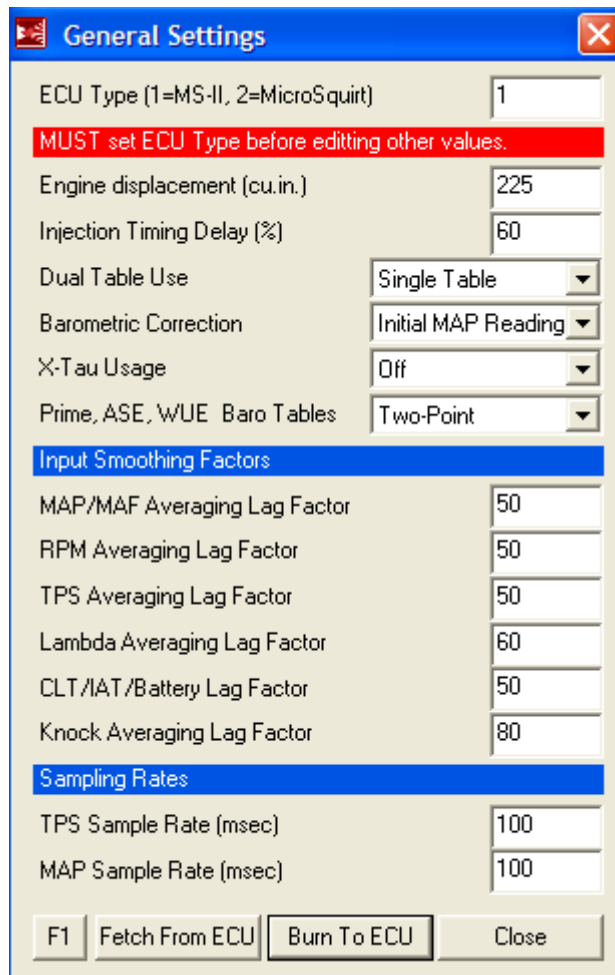
Kuva 6 MegaTune-ohjelman pääsivu

5.1 Perusasetukset

Säätäminen aloitettiin perusasetuksista (kuva 7). Barometriseksi korjaustavaksi valittiin ajoneuvon käynnistyksen yhteydessä otettava ilmanpaineen arvo. Toisena vaihtoehtona on käyttää kahta paineanturia, jolloin toisesta anturista voidaan lukea vallitseva ilmakehän paine, ja korjata vastaavasti imusarjan painelukemaa. Suomessa korkeuserot ovat niin pieniä, että käynnistyksen yhteydessä korjattava painelukema katsottiin riittäväksi. X-Tau-kiihdytsrikastuksen korjausta ei vielä tässä vaiheessa otettu käyttöön. Osa suihkutettavasta polttoaineesta jää imusarjaan ja venttiilin takapinnalle, jolloin todellinen sylinteriin suihkutettava määrä ei vastaa haluttua määrää. X-Tau-korjauksella tämä virhe pystytään eliminoimaan.

Seuraavaksi valittiin esisuihkutukselle, käynnistyksen jälkeiselle rikastukselle, kylmäkäyntirikastukselle ja barometriselle korjaukselle taulukoiden sijaan kahden

ääriarvon käyttö. Myöhemmin taulukot otettiin käyttöön, jotta kylmäkäyntirikastukset saatiin halutunlaisiksi. Muita perusasetuksia ovat viivekertoimet, joilla anturien signaalia saadaan tasaisemmaksi sekä kaasuläpän asentoanturin ja lambda-anturin näytteenottotaajuudet.



kuva 7 MegaTunen perusasetukset

5.2 Sytytyksen asetukset

Sytytyksen asetukset säädettiin vastaamaan kokoonpanoa, jossa MegaSquirt ohjaa sytytyspuolaa VB921-sytytysmodulin kautta. Kuvassa 8 nähdään nämä asetukset. Trigger Offset säädettiin arvoon 10° ennen yläkuoloakohtaa, koska tätä käytetään käynnistyksessä. Moottori käynnistyi nopeimmin tällä tehtaalla suosittelemalla

perusennakolla. On huomioitava, että myös virranjakajaa on säädettävä niin, että kampiakselin ajoitusmerkki näyttää 10° .

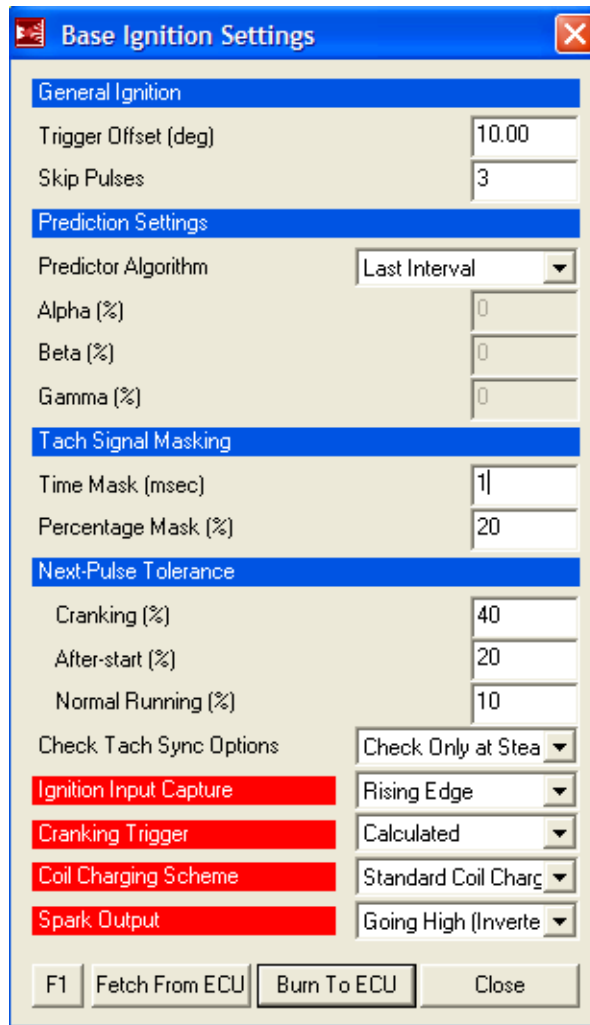
Skip pulses on käynnistyksessä ohitettavien pulssien määrä ennen kierrosluvun laskemiseen käytettäviä pulsseja. Tämä jätettiin oletusarvoonsa 3, koska luvun pienentäminen ei nopeuttanut käynnistystä.

Predictor algorithm on seuraavan yläkuolokohdan ennustamiseen käytettävä laskentamenetelmä. Menetelmäksi valittiin yksinkertaisempi Last Interval Alpha-Beta-Gamma-suodatuksen sijaan.

Tach Signal Masking on hyödyllinen käytettäessä sytytyspuolan negatiiviselta navalta liipaisua tai haluttaessa vähentää induktiivisen anturin häiriöitä. Mitä suuremmaksi arvot asetetaan, sitä karkeammaksi signaalin vastaanotto muuttuu mutta toisaalta myös häiriönkesto kasvaa.

Next Pulse Tolerance on tarkoitettu virheellisten liipaisujen karsimiseen. Se ilmoitetaan sytytyspulssien välisten aikojen muutosprosenttina. Jos todellinen muutos on suurempi kuin Next Pulse Tolerance-arvo, liipaisu hylätään.

Loput sytytysasetuksista valitaan kulloisenkin järjestelmän mukaan.



Kuva 8 Sytytysasetukset

5.3 Polttoainesuuttimien asetukset

Pulssileveysmodulaation arvojen säätäminen aloitetaan polttoainesuuttimien impedanssin selvittämisellä. Mikäli impedanssi on suurempi kuin 10 Ohmia, kyseessä on korkeaimpedanssinen suutin. Tällöin pulssileveysmodulaatiota ei tarvita, eikä säätämistä tarvitse suutinten osalta jatkaa. Työssä käytettävässä GM TBI-suihkutusyksikössä olevat suuttimet ovat kuitenkin matalaimpedanssiset, joten säätö oli tarpeellinen. Moottorinohjaimen käsikirjassa kehoitettiin aloittamaan säätö asettamalla aikakynnys (PWM Time Threshold) arvoon 1,0 ms ja virran rajoitus (PWM Current Limit) arvoon 30 %. Virran rajoitusprosenttia pienennetään kunnes joutokäynti heikkenee. Tämä johtuu virran liiallisesta rajoituksesta jolloin suutin ei

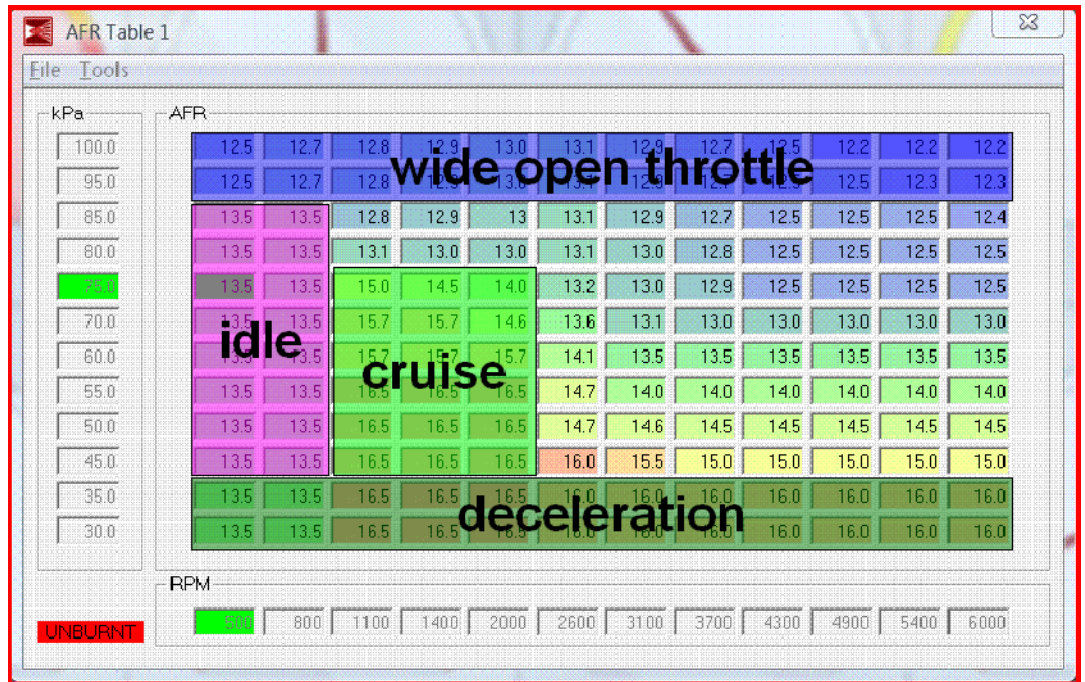
enää aukea kokonaan. Tätä arvoa nostetaan 3 - 5 prosenttiyksikköä jotta riittävä toimintavarmuus saavutetaan. Virran rajoitus on tärkeää säätää ennen autolla ajamista, koska muutoin suuttimet saattavat ylikuumentua. Aikakynnyksen tulisi olla suunnilleen sama kuin suuttimen aukioloaika, joten nämä jätettiin arvoon 1 ms.

5.4 Polttoainekartat

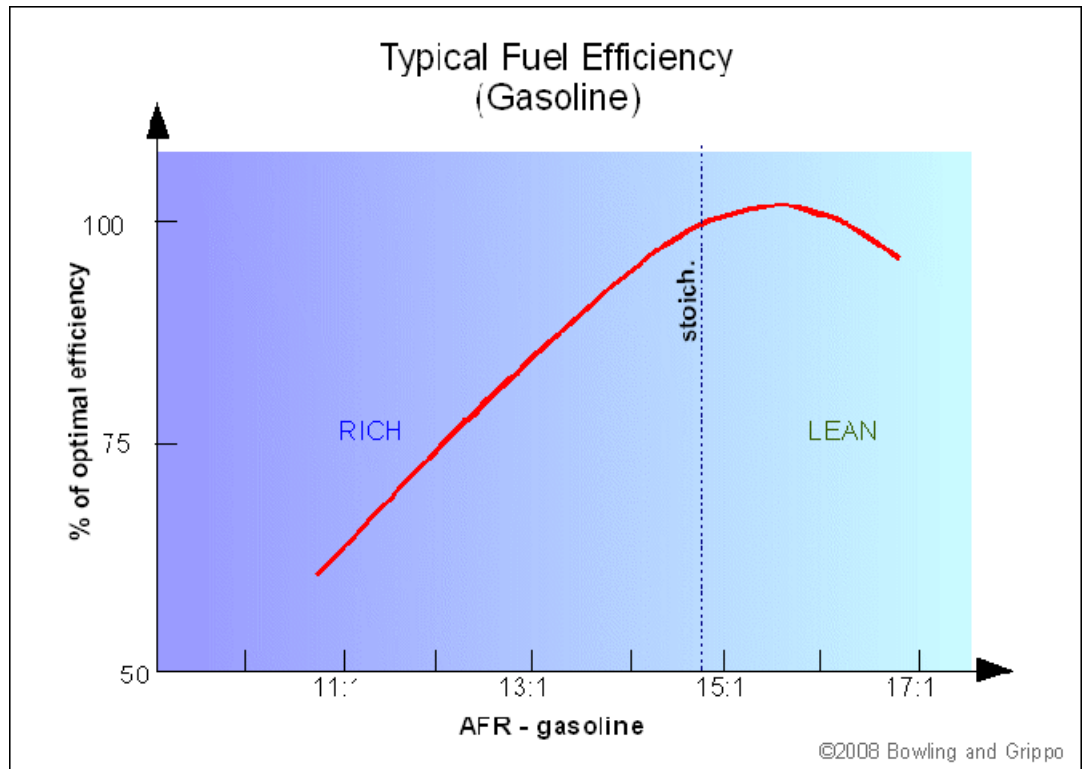
Polttoainekarttojen teko aloitetaan luomalla kuvan 9 kaltainen polttoaine-ilmasuhdekartta. Kuvasta erottuu vaalean punaisella värillä joutokäyntialue, vaalean vihreällä maantieajoalue, sinisellä täyskaasualue ja tumman vihreällä moottorijarrutusalue.

Joutokäynti säädetään niin, että imusarjassa vallitsee mahdollisimman pieni paine. Tämä toteutuu yleensä hyvin lähellä polttoaine-ilmasuhdetta 13,5.

Maantieajon säätö kannattaa aloittaa arvosta 15,5. Tätä nostetaan kunnes laiha seoksesta johtuvia sytytyskatkoksia alkaa esiintyä. Tämä tuntuu miedoimmillaan ajon aikana hieman jarruttavana kulkemisena. Jotta sytytyskatkoksia ei esiintyisi, rikastetaan seosta 0,3 yksikköä. Tyypillinen maantieajon polttoaine-ilmasuhde asettuu välille 16 - 16,5, jolloin polttoaineen kulutus on pienimmillään (kuva 10).



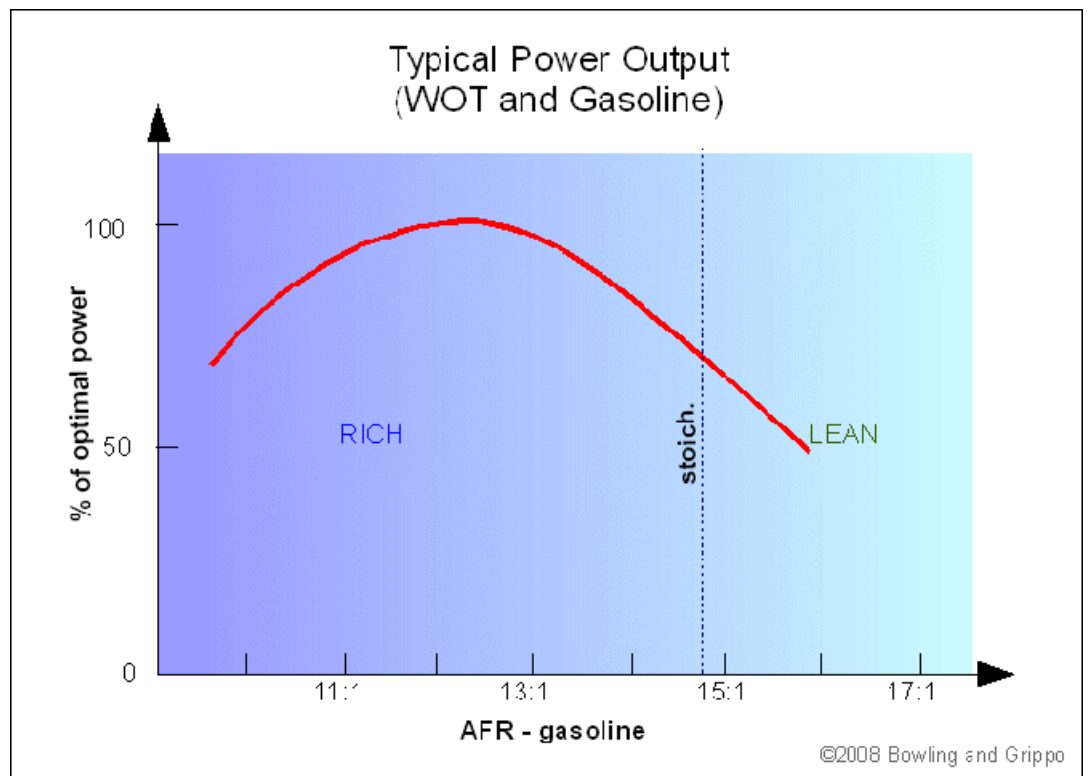
Kuva 9 Polttoaine-ilmasuhde eri ajotilanteissa /7/



Kuva 10 Tyypillinen polttoaineen kulutus eri seossuhteilla /7/

Täyskaasualue säädetään kuvan 11 mukaisesti polttoaine-ilmasuhteelle 12,5, jolloin tehontuotto on parhaimmillaan. Kun tavoitteet on asetettu, MegaTunen luomaa VE-

taulukkoa muokataan niin, että lambdakorjaus on mahdollisimman vähäistä. Solujen arvoja kasvattamalla seos rikastuu, ja MegaTunen pääsivun mittareihin on valittavissa lambdakorjauksen prosentuaalinen määrä. Myös automaattista lambdakorjausta voidaan käyttää VE-taulukon muokkaamiseen. Jos automaattinen korjaus laitetaan asetuksista päälle, VE-karttaa muokataan automaattisesti kunnes lambdakorjaus on pieni tai sitä ei tarvitse tehdä. Automaattisäädön asetuksista saadaan säätöherkkys valittua.



Kuva 11 Tyypillinen tehontuotto eri seossuhteilla /7/

5.5 Sytytyksen ohjaus

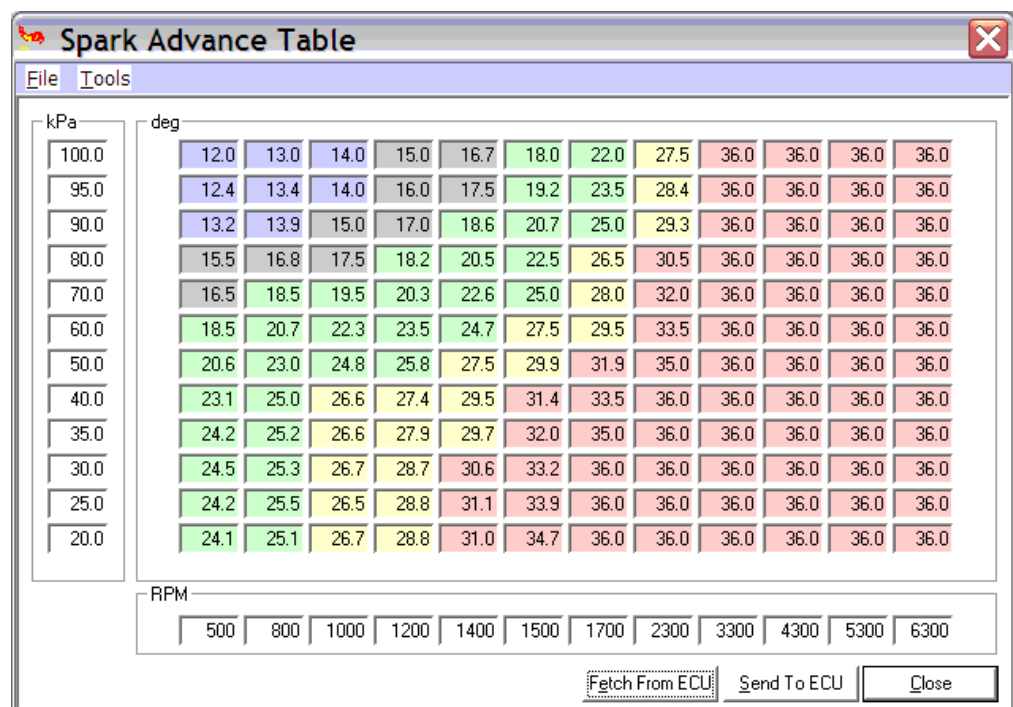
Sytytysennakkokartan teko aloitetaan maksimiennakon ja perusennakon selvittämällä. Tässä tapauksessa perusennakko oli ilmoitettu moottoritilassa sijaitsevassa tarrassa, ja oli 10° ennen yläkuoloa. Perusennakko vaihtelee tyypillisesti vakio moottorien 8° ja kilpamoottorien 16° välillä. Maksimiennakkoon vaikuttavat monet seikat kuten palotilan muotoilu, sylinterin kansien materiaali, venttiilien lukumäärä, polttoaineen laatu ja porauksen halkaisija. Yleisesti ottaen

vanhemmat moottorit ennen vuotta 1990 toimivat parhaiten n. 36° sytytysennakolla, uudemmat kaksiventtiilitekniikkaa käyttävät moottorit n. 30° sytytysennakolla ja moniventtiilitekniikkaa hyödyntävät kevytmetallisilla sylinterin kansilla varustetut moottorit n. 26° sytytysennakolla. /7/

Joutokäynniltä 3000 kierrokseen minuutissa täyskaasun (100 kPa) sytytysennakkoa kasvatetaan lineaarisesti perusennakosta maksimiennakkoon. Imusarjaan paineen 1 kPa pudotusta kohden sytytysennakkoa kasvatetaan 0,3°. Kuvassa 10 nähdään esimerkki sytytyskartasta.

Esimerkistä poiketen joutokäyntiennakko kannattaa pitää alle 20° ennen yläkuolokohtaa jotta joutokäynti pysyisi mahdollisimman tasaisena.

Edellä kuvatulla menetelmällä saadaan hyvin karkea, lähtökohtainen taulukko ajon aikana tapahtuvaa säätämistä varten. Ajon aikana tapahtuva säätö tehdään esimerkiksi vakiotilanteessa imusarjassa vallitsevaa painetta tarkkailemalla, sytytysennakkoa säädetään kunnes mahdollisimman pieni paine saavutetaan. /2/

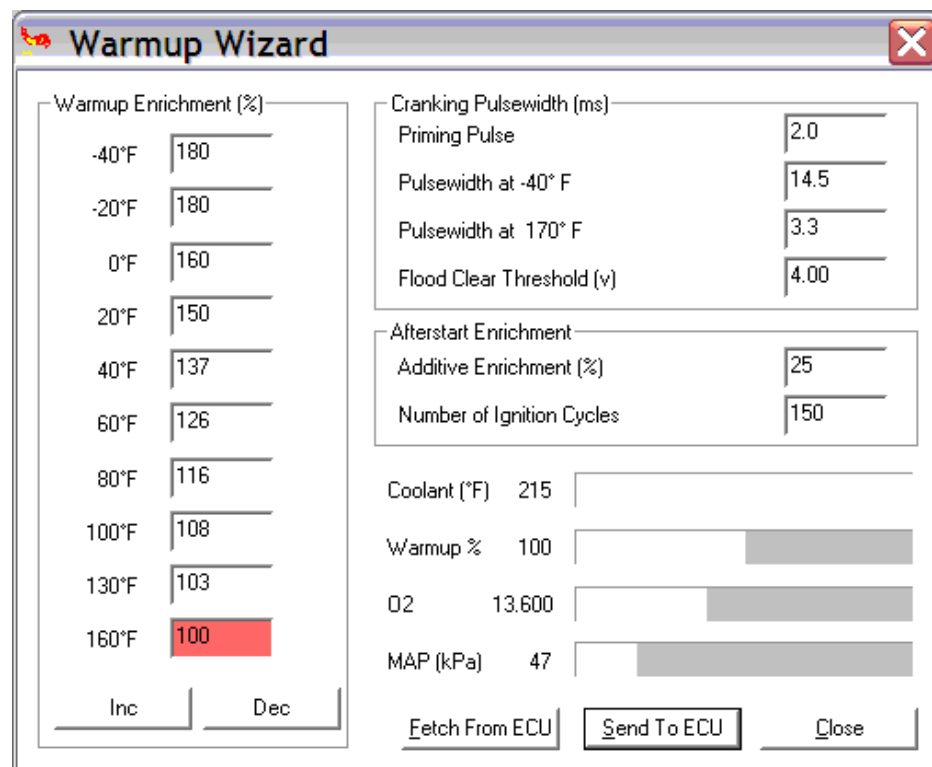


kuva 10 esimerkki sytytysennakkokartasta /1/

5.6 Kylmäkäynti- ja kiihdytysrikastukset

Kylmäkäyntirikastus säädetään MegaTunessa prosentuaalisena lisänä VE-aulukon arvoihin (kuva 11). Aluksi on syytä käyttää reiluja rikastusarvoja, jotta moottori saadaan käymään hyvin. Rikastus säädetään kymmenelle ennalta määrätyle pisteelle erikseen käynnistämällä kylmä moottori ja säätämällä kutakin solua laihemmalle, kunnes moottori käy huonommin. Tästä palataan takaisin hieman rikkaammalle, jolloin polttoaine-ilmaseos on optimaalinen. Toinen vaihtoehto on käyttää kahta ääriarvoa, jolloin väliarvot määräytyvät lineaarisesti. Rikastuksen säätö on aikaa vievää, koska moottorin on annettava jäähtyä kauttaaltaan ennen kuin säätöprosessi voidaan aloittaa uudelleen.

Käynnistyksessä käytettävät suihkutuksen pulssileveydet voidaan säätää tältä samalta välilehdeltä. Pulssileveydet säädetään niin, että moottori lähtee herkimmin käyntiin. Jos moottori pyrkii sammumaan heti käynnistyksen jälkeen, käynnistyksen jälkeistä rikastusta tai sen pituutta (number of ignition cycles) lisätään.



The screenshot shows the 'Warmup Wizard' software interface. It features a 'Warmup Enrichment (%)' table on the left, a 'Cranking Pulsewidth (ms)' section on the right, and an 'Afterstart Enrichment' section at the bottom right. The enrichment table lists values for temperatures from -40°F to 160°F. The cranking pulsewidth section includes settings for priming pulse, pulsewidth at -40°F, pulsewidth at 170°F, and flood clear threshold. The afterstart enrichment section includes additive enrichment and number of ignition cycles. At the bottom, there are fields for Coolant temperature, Warmup %, O2, and MAP, along with buttons for 'Fetch From ECU', 'Send To ECU', and 'Close'.

Temperature (°F)	Enrichment (%)
-40°F	180
-20°F	180
0°F	160
20°F	150
40°F	137
60°F	126
80°F	116
100°F	108
130°F	103
160°F	100

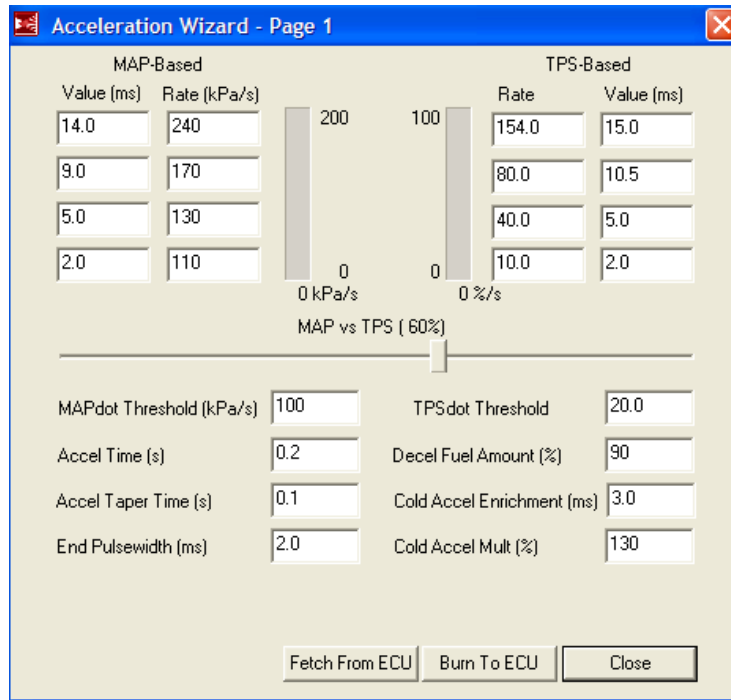
Parameter	Value
Priming Pulse	2.0
Pulsewidth at -40° F	14.5
Pulsewidth at 170° F	3.3
Flood Clear Threshold (v)	4.00

Parameter	Value
Additive Enrichment (%)	25
Number of Ignition Cycles	150

Parameter	Value
Coolant (°F)	215
Warmup %	100
O2	13.600
MAP (kPa)	47

Kuva 11 Kylmäkäyntirikastukset /8/

Kiihdytysrikastukset saadaan säädettyä imusarjan paineenmuutosten tai kaasuläpän asennon muutosnopeuden mukaan. Myös näiden sekoitusta on mahdollista käyttää (kuva 12). Rikastuksen määrä tietyllä muutosnopeudella säädetään neljälle pisteelle. Kulloinenkin muutosnopeus näkyy kuvassa 12 olevista kahdesta pystypalkista.



Kuva 12 Kiihdytysrikastuksen säätösivu

6 LOPPUTULOKSET JA ARVIOINTI

Varsinainen muutostyö onnistui erittäin hyvin, ja ainoaksi ongelmaksi paljastui puutteellinen häiriönsuojaus virranjakajan signaalille. Tämä aiheutti nykimistä ajossa. Vika oli helppo selvittää, kun huomattiin että virranjakajan pulssilaskuri aloitti aina nykimisen esiinnyttyä alusta. Koska työn kohde oli iäkäs, myös vuotavat pakosarja ja polttoainesäiliö jouduttiin korjaamaan. Ajoneuvolla on ajettu muutoksen jälkeen n. 6000 km, ja käyttövarmuus on selvästi parempi kuin aiemmin kaasuttimella varustettuna. Lisäksi polttoaineen keskikulutus on saatu verrattain alhaiseksi, n. 10 - 11 litraan sadalla kilometrillä, huomioon ottaen 1570 kg omamassan ja automaattivaihteiston.

Työn suurimpana tarkoituksena oli selvittää moottorinohjauksen toimintaa syvällisemmin, ja tässä onnistuttiin erinomaisen hyvin.

LÄHTEET

Painetut lähteet

- 1 Robert Bosch GmbH, BOSCH, autoteknillinen taskukirja. 6. painos. 2002, 1021 s.

Sähköiset lähteet

- 2 Configuring MegaSquirt-II [www-sivu]. [viitattu 16.10.2008]
Saatavissa: <http://www.megamanual.com/ms2/configure.htm>
- 3 LC-1 Digital Air/Fuel Ratio (Lambda) Sensor Controller Manual [sähköinen dokumentti]. [viitattu 16.10.2008] Saatavissa: http://www.innovatemotorsports.com/support/manual/LC-1_Manual.pdf
- 4 How MegaSquirt Works [www-sivu]. [viitattu 26.10.2008]
Saatavissa: <http://www.megamanual.com/v22manual/mfuel.htm>
- 5 Introduction to MegaSquirt [www-sivu]. [viitattu 16.10.2008]
Saatavissa: <http://www.megamanual.com/v22manual/mintro.htm>
- 6 MegaTune for MS-II/v2.8 [www-sivu]. [viitattu 16.10.2008]
Saatavissa: <http://www.megamanual.com/mt28.htm>
- 7 Principles of Tuning Programmable EFI [www-sivu]. [viitattu 16.10.2008] Saatavissa: <http://www.megamanual.com/begintuning.htm>
- 8 Tuning Your MegaSquirt-II (or MicroSquirt) [www-sivu]. [viitattu 16.10.2008] Saatavissa: <http://www.megamanual.com/ms2/tune.htm>