

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2020

Heidi Elmén

# POLTTOAINEEN RUIKUTUSJÄRJESTELMÄN ASENTAMINEN KAASUTINMOOTTORIIN

– MegaSquirt

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Heinäkuu 2020 | 35 sivua

Heidi Elmén

# POLTTOAINEEN RUISKUTUSJÄRJESTELMÄN ASENTAMINEN KAASUTINMOOTTORIIN

- MegaSquirt

Tämän työn tavoitteena on asentaa kaasutinmoottorilla varustettuun ajoneuvoon elektroninen polttoaineen ruiskutusjärjestelmä käyttäen MegaSquirt-ohjainlaitetta. Ensin käydään läpi bensiinimoottorin polttoaineensyötön perusteita, ja millä tavalla eri komponentit toimivat järjestelmässä. Tämän jälkeen alkaa suunnitteluvaihe, jossa tehdään erilaisia laskuja ja päätelmiä asennukseen liittyen. Suunnittelun aikana perehdytään joidenkin auton alkuperäisten osien muokkaamiseen, mutta myös uusien komponenttien hankintaan ja asennukseen.

Perehdytään MegaSquirt-ohjainlaitteen ominaisuuksiin, sekä miten se käsittelee moottorin eri antureilla mitattuja tietoja.

Työn lopputulos on suunnitelma, jolla saadaan tämä järjestelmä toimimaan kyseisessä ajoneuvossa. Käydään myös läpi joitakin käytännön asennusvaiheita.

ASIASANAT:

Autotekniikka, polttomoottorit, päästöt, kaasutin

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

July 2020 | 35 pages

Heidi Elmén

# INSTALLING FUEL INJECTION SYSTEM IN A CARBURETED ENGINE

- MegaSquirt

The purpose of this work is to install an electronic fuel injection system in a vehicle equipped with a carburetor engine, using a MegaSquirt control unit. First, the basics of gasoline engine fuel systems are covered, and how the various components work in the system. This is followed by the design phase, where various calculations and conclusions are made regarding the installation. During the design phase, some of the car's original parts are modified, but new components are also acquired and installed.

We get acquainted with the features of the MegaSquirt control unit, as well as how it processes the information it receives from the various sensors of the engine.

The end result of the work is a plan to make the system work in this particular vehicle. We also go through some practical installation steps.

KEYWORDS:

Automotive engineering, combustion engines, emissions, carburetor

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 BENSIINIMOOTTORIN POLTTOAINEENSYÖTÖ</b>	<b>7</b>
2.1 Polttoaineensyötön perusteita	7
2.2 Polttoaineen syöttöjärjestelmistä	9
2.2.1 Kaasutin	9
2.2.2 Ruiskutusjärjestelmä	12
<b>3 SYTYTYSLAITTEISTO</b>	<b>17</b>
<b>4 MEGASQUIRT I V3.0</b>	<b>19</b>
<b>5 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU</b>	<b>23</b>
5.1 Suuttimet ja polttoaineensiirto	23
5.2 Imusarja	26
<b>6 MEGASQUIRT-OHJAIMEN ASENNUS</b>	<b>29</b>
<b>7 LOPUKSI</b>	<b>34</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>35</b>

## KAAVAT

Kaava 1. Lambda-arvon laskeminen (Lehtinen & Rantala 2012, 177).	7
Kaava 2. Moottoriin menevän ilman massavirran laskeminen (Ribbens 1998, 178).	21
Kaava 3. Ilman tiheyden laskeminen (Ribbens 1998, 179).	21
Kaava 4. Tilavuusvirran laskeminen (Ribbens 1998, 180).	21
Kaava 5. Muutetaan virtausmäärä kuutiosenttimetreiksi.	24
Kaava 6. Tietyn kierrosluvun virtausmäärän laskeminen (Bosch 2014, 462).	24
Kaava 7. Virtausmäärän laskeminen.	25
Kaava 8. Helmholtzin kaava akustisesta resonaattorista (Delaney 2002).	26
Kaava 9. Moottorin parhaan väännön kierrosluvun laskeminen (Delaney 2002).	27

## KUVAT

Kuva 1. Kaasuttimen ensiökurkku ja kohojärjestelmä (Lehtinen & Rantala 2012, 183).	10
Kuva 2. Osakuormalla vain ensiöpuolen pääsuutinpiiri on toiminnassa (Lehtinen & Rantala 2012, 183).	11
Kuva 3. Perinteinen induktiosytytysjärjestelmä mekaanisella katkojalla (Lehtinen & Rantala 2012, 129).	17
Kuva 4. MegaSquirt:n kytkentäkaavio (MegaManual 2020).	20
Kuva 5. Erilaisia ruiskutuskuvioita (T2Bay 2018).	25
Kuva 6. Suuttimien ja ilman virtauksen välinen kulma.	28
Kuva 7. Suuttimien reiät porauksen aikana ja jälkeinpäin hiottuina.	29
Kuva 8. Vanha kaasutin muutettu kaasuläppäkoteloksi.	30
Kuva 9. Pakosarja ennen ja jälkeen lambda-anturin asennuksen.	31
Kuva 10. Polttoainesuodattimen asennus sekä vanhan polttoainepumpun peitelevy.	31
Kuva 11. MegaSquirt:n sijainti keskikonsolissa.	32
Kuva 12. Valmis imusarja suuttimilla ja jakoputkella.	33

## KUVIOT

Kuvio 1. Lambda-arvon vaikutus moottorin tehoon sekä ominaiskulutukseen (Lehtinen & Rantala 2012, 177).	8
Kuvio 2. Lambda-arvon vaikutus moottorin päästöjen koostumukseen (Bosch 2014, 614).	9

# 1 JOHDANTO

Kaasutinmoottorilla varustettuja ajoneuvoja näkee nykypäivänä vain harvoin liikenteessä, ja siihen on tietysti selkeät syyt. Tämä vanhentunut tekniikka aiheuttaa enemmän päästöjä, eikä käytettävyys ole yhtä hyvä verrattuna uudempiin polttoaineen ruiskutuksella varustettuihin moottoreihin.

Yleisesti voisi ajatella, että kaasutinmoottorilla varustetun auton vaihtaminen uudempaan malliin olisi helpoin vaihtoehto, mutta autoharrastajan näkökulma voi olla hieman erilainen. Vanhan auton päivittäminen uudella tekniikalla voi olla monessa mielessä hyvinkin järkevä ratkaisu.

Tässä työssä asennetaan vuosimallin 1988 Mitsubishi Lanceriin kaasuttimen tilalle elektroninen ruiskutusjärjestelmä. Jotta työ onnistuisi, tarvitaan paljon taustatietoa bensiinimoottorin polttoaineensyötöstä. Työssä käydään läpi järjestelmän eri komponentit ja niiden ominaisuudet, sekä tutustutaan MegaSquirt-ohjainlaitteen toimintaan. Tehdään myös joitakin laskutoimituksia liittyen järjestelmän suunnitteluun. Lopuksi käydään läpi käytännön työvaiheet.

Polttoaineen ruiskutusjärjestelmän asennus on suhteellisen laaja projekti, missä myöskin pyritään pitämään kustannukset mahdollisimman pieninä. Hyöty tästä tulee olemaan se, että saadaan muuten hyväkuntoinen vanha ajoneuvo taas liikkeelle. Entiseen verrattuna autolla tulee olemaan parempi käytettävyys, pienempi polttoaineenkulutus, sekä vähemmän pakokaasupäästöjä.

## 2 BENSIINIMOOTTORIN POLTTOAINEENSYÖTTÖ

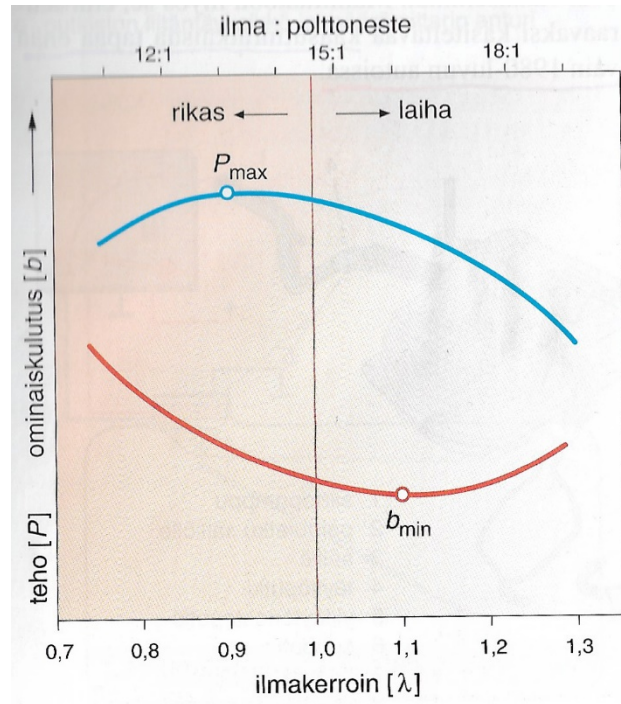
### 2.1 Polttoaineensyötön perusteita

Kipinäsytytysmoottori tarvitsee sopivan määrän ilmaa ja polttoainetta toimiakseen. Teoriassa yhden kilon polttoaineen täydelliseen palamiseen tarvitaan 14,7 kiloa ilmaa. Tämä suhde 14,7:1 kutsutaan stökiometriseksi suhteeksi. Käytännössä tämä vaihtelee paljon ajon aikana, esimerkiksi kiihdyttäessä tai moottorin ollessa vielä kylmä. Moottoriin menevä ilmamäärä havainnollistetaan ilmakertoimella  $\lambda$  (lambda).

$$\lambda = \frac{\text{tuotu ilmamassa (kg)}}{\text{teoreettinen ilmamassa (kg)}} = 1$$

Kaava 1. Lambda-arvon laskeminen (Lehtinen & Rantala 2012, 177).

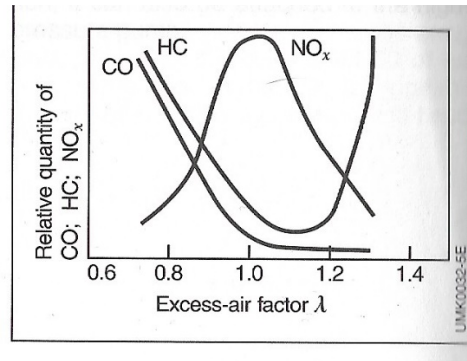
Kun lambda-arvo on alle yksi, seosta kutsutaan ”rikkaaksi”, eli polttoainetta ruiskutetaan sylintereihin enemmän kuin 14,7:1. Hieman rikkaalla seoksella ( $\lambda = 0.85-0.95$ ) saadaan suurin teho moottorista, mutta polttoaineenkulutus on tietysti korkeampi. Vastaavasti kun lambda-arvo on yli yksi, seos on ”laiha”, ja polttoainetta ruiskutetaan vähemmän kuin stökiometristä suhdetta. Näin ei saavuteta yhtä paljon tehoa, mutta hieman laihalla seoksella polttoaineenkulutus on pienimmillään, eli kun lambda on noin 1,1. (Lehtinen & Rantala 2012, 177)



Kuvio 1. Lambda-arvon vaikutus moottorin tehoon sekä ominaiskulutukseen (Lehtinen & Rantala 2012, 177).

Seoksella on myös iso vaikutus päästöihin, sillä nykypäivän kolmitoimikatalysaattorit toimivat parhaiten juuri stökiometrisellä seoksella. Tämän takia modernit moottorit käyvät seoksella  $\lambda = 1$  aina kun se on vain mahdollista. Joissakin ajotilanteissa on kuitenkin tarpeen käyttää hieman poikkeavaa seosta, esimerkiksi kun moottori käy suurella kuormalla. Tällaisessa tapauksessa pakokaasujen lämpötila voisi nousta jopa 900 °C:een, mikä voisi vahingoittaa esimerkiksi turboahdinta, lambda-anturia tai katalysaattoria. Ohjainlaite säättää tällaisessa tapauksessa seosta hieman rikkaaksi, mikä tarkoittaa, että kaikki polttoaine ei pala täydellisesti, eli ei muutu hiilidioksidiksi (CO<sub>2</sub>). Sen sijaan osa muuttuu hiilimonoksidiksi (CO), jonka palamisreaktio ei ole yhtä lämmin. (Bosch 2014, 614)





Kuvio 2. Lambda-arvon vaikutus moottorin päästöjen koostumukseen (Bosch 2014, 614).

## 2.2 Polttoaineen syöttöjärjestelmistä

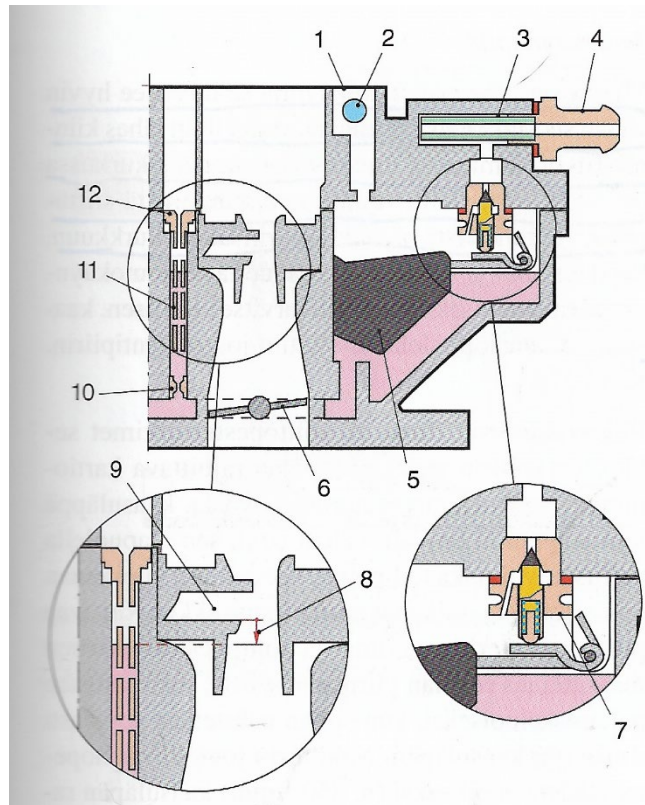
### 2.2.1 Kaasutin

Kaasutin oli tavanomainen ratkaisu bensiinikäyttöisissä polttomoottorilla varustetuissa ajoneuvoissa aina 80-luvun loppuun asti. Kaasutin ei ole kovin tarkka annostelevaan oikeaa määrää polttoainetta moottorin eri käyntiolosuhteissa, joten polttoaineenkulutus ja haitallisten pakokaasujen määrä on modernimpiin polttoaineruiskutusjärjestelmiin verrattuna suurempi. Tämän takia autonvalmistajat luopuivat kaasuttimista kun lainsäädäntö kiristi päästörajoituksia.

#### **Kiinteäkurkkuinen kaasutin**

Kaasuttimen kurkussa polttoaine sekoittuu sisään virtaavan ilman kanssa, ja valmis seos päästetään ulos kurkun alapuolessa olevasta kaasuläpästä. Tämän tyyppisessä kaasuttimessa voi olla yksi, kaksi tai neljä kurkkua. Lukumäärä määräytyy moottorin sylinteritalavuuden ja tehontarpeen mukaan. Projektiautossa oli asennettuna kaksikurkkuinen kaasutin, joten tutustutaan tarkemmin tähän rakenteeseen.

Polttoaine pumpataan auton polttoainesäiliöstä kaasuttimen kohokammioon, joka on pieni säiliö kaasuttimen sivussa. Täällä nestepinta pyritään aina pitämään vakiokorkeudella, tästä huolehtii kohoventtiili. Nestepinnan laskiessa kohokammiossa, kohoventtiili avautuu ja päästää polttoainetta sisään. Vastaavasti kun pinta taas nousee tietylle tasolle, kohoventtiili sulkeutuu.



1. Sisäinen tuuletuskanava, 2. Ulkoinen tuuletuskanava, 3. Verkkosuodatin, 4. Poltto-  
nesteen tulo, 5. Muovinen koho, 6. Kaasuläppä, 7. Kohoventtiili, 8. Nestetason korkeus-  
ero, 9. Purkausaukko, 10. Pääsuutin, 11. Seosputki, 12. Lisäilmasuutin

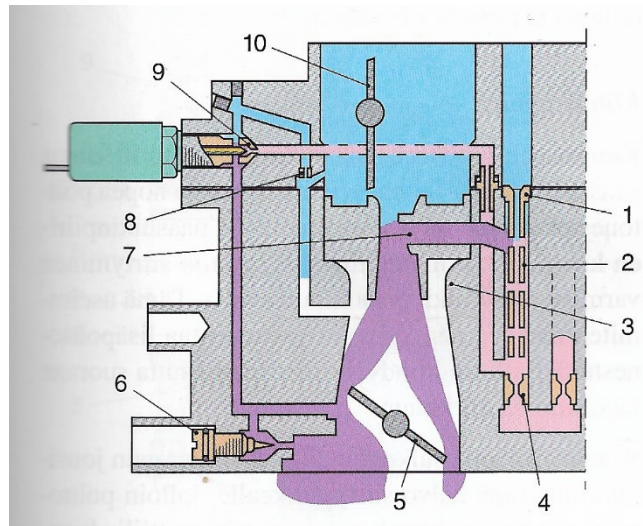
Kuva 1. Kaasuttimen ensiökurkku ja kohojärjestelmä (Lehtinen & Rantala 2012, 183).

Kohokammiolla on myös tuuletusjärjestelmä, joka pitää ilmanpaineen normaalina. Ajossa tuuletus hoituu sisäisen tuuletuskanavan kautta, mutta moottorin seistessä tai käydessä joutokäyntiä tuuletus ohjautuu läppäventtiiliin kautta suoraan ulkoilmaan. Tämä venttiili on kytketty kaasupoljinivustoon, ja tällä tavalla HC-höyryjen pääsy kanavaan on estetty, mikä varmistaa moottorin kuumakäynnistyksen onnistumisen.

Ajon aikana imuilma virtaa kaasuttimen kurkun läpi, sekoittuu kuristuskohdassa polttoai-  
neen kanssa, ja jatkaa kaasuläpän kautta imusarjaan. Kuristuskohtan johdosta kur-  
kussa vallitseva paine määräytyy ilmavirran nopeuden mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että  
tehontarpeen kasvaessa myös moottorin imuilman nopeus kasvaa, minkä seurauksena  
paine kaasuttimen kurkussa laskee. Tämä alipaine puolestaan imaisee kurkkuun tietyn  
määrän polttoainetta kohokammioista, siellä vallitsevan normaalipaineen johdosta.

Pienillä nopeuksilla ajettaessa ainoastaan toinen kaasuttimen kurkuista on käytössä, ns. ensiökurkku. Toisiokurkku tulee käyttöön vasta tehontarpeen kasvaessa. Näiden kahden kaasuläpät on yhdistetty toisiinsa mekaanisella vivustolla, jonka vaiheistus päättää, milloin toinen läppä avataan.

Kaasutin tarvitsee myös erillisen joutokäyntipiirin, sillä joutokäynnin aikana ilman virtausnopeus ja siitä syntyvä alipaine on pieni, eikä se riitä siirtämään polttoainetta kurkkuun. Joutokäyntipiirin purkausaukko sijaitsee hieman kaasuläpän alapuolella, jossa vallitsee joutokäynnin aikana voimakas alipaine, kaasuläppien ollessa lähes kokonaan kiinni. Tämä alipaine imee joutokäyntikanavan ilma- ja polttoainesuuttimien kautta hieman ylikasta seosta imusarjaan. Kaasuläpän rajoitinruuvi säätää moottorin joutokäyntinopeutta, ja joutokäyntikanavan säätöruuvi puolestaan seoksen määrää. Näiden kahden ruuvin oikeilla säädöillä saadaan käynti tasaiseksi ja päästöt mahdollisimman pieniksi.



1. Lisäilmasuutin, 2. Seosputki, 3. Kurkku, 4. Pääsuutin (ensiöpuoli), 5. Kaasuläppä, 6. Joutokäyntiseosruuvi, 7. Purkausaukko (sumutin), 8. Joutokäynti-ilmasuutin, 9. Joutokäyntisuutin, 10. Rikastinläppä

Kuva 2. Osakuormalla vain ensiöpuolen pääsuutinpiiri on toiminnassa (Lehtinen & Rantala 2012, 183).

Kiihdytystilanteen aikana kaasuläpät avautuvat nopeasti, ja polttoaineen riittävä lisäys ei useimmiten onnistu. Häiriötön kiihdytys voidaan varmistaa kiihdytysrikastuksen avulla. Useimmiten tämä toteutetaan mekaanisella kalvopumpulla, joka imee polttoainetta kohokammioista. Pumpulta lähtevien suuttimien kautta ruiskutetaan kiihdytystilanteessa lisää polttoainetta suoraan kaasuttimien kurkkuihin.

Hyvän kylmäkäynnistyvyyden varmistamiseksi ensiökurkun yläpuolelle on sijoitettu rikastinläppä. Moottorin ollessa kylmä, polttoaine ei höyrysty kunnolla imukanavassa ja sylintereissä, ja tämän vuoksi tarvitaan normaalia rikkaampi seos. Ennen käynnistystä kuljettaja sulkee rikastinläppää kojelaudassa olevasta nupista, ja näin estyy ilman pääsy ensiökurkkuun melkein kokonaan. Samaan aikaan ensiöpuolen kaasuläppä avautuu sen verran, että joutokäyntipiiri aktivoituu. Tällä tavalla sylintereihin pääsee riittävästi rikasta seosta. Kun pyörimisnopeus kasvaa, alipaine lisääntyy rikastinläpän alla. Tämän johdosta jousikuormitteinen läppä pääsee avautumaan hieman, ja päästää enemmän ilmaa sylintereihin.

### **Muita kaasutintyypppejä**

Muuttuvakurkkuisessa kaasuttimessa on alipainemäntä, joka säätää kurkun poikkipinta-alaa moottorin tehontarpeen mukaan. Suuttimen säätö liikkuu männän mukana, ja alipaine vaihtelee riippuen kaasuläpän avautumisesta, moottorin kuormituksesta ja pyörimisnopeudesta. Tämän kaasuttimen rakenne on yksinkertaisempi, ja portaattoman säädön ansiosta tarvitaan vain kylmäkäynnistykseen erillistä lisärikastusta, sekä lyhyt joutokäyntikanava.

Päästörajoitukset tiukkenivat 90-luvun alussa merkittävästi, ja monet autonvalmistajat toivat markkinoille ruiskutusmoottoreilla varustettuja ajoneuvoja täyttämään näitä vaatimuksia. Toiset taas pyrkivät jonkinlaiseen hätäratkaisuihin, ja yksi niistä oli elektronisesti ohjattu kaasutin. Näissä kaasuttimissa elektroninen ohjainlaite säätää seoksen, keräämällä tietoja moottorin pyörimisnopeusanturilta, lambda-anturilta, sekä imuilman ja jäähdytysnesteen lämpöantureilta. Näin saavutetaan paljon tarkempi seossuhteen säätö, myös polttoaineenkulutus ja pakokaasupäästöt vähenevät. (Lehtinen & Rantala 2012, 182-186)

#### **2.2.2 Ruiskutusjärjestelmä**

Mekaaninen polttoaineenruiskutus oli käytössä jo 1900-luvun alussa, ensin lentokoneissa ja myöhemmin myös kilpa-autoissa. 60-luvulla eurooppalaiset autonvalmistajat ottivat käyttöön joissakin valikoiduissa malleissa Boschin kehittämän mekaanisen ruiskutusjärjestelmä Jetronic:n. Amerikkalainen yritys Bendix yritti samoihin aikoihin saada kehittämänsä elektronisen ruiskutusjärjestelmän markkinoille,

Electrojector:n. Järjestelmä asennettiin joihinkin Chryslerin automalleihin, mutta määrä jäi vähäiseksi, eikä menestynyt kovinkaan hyvin. Electrojector:n patentti myytiin Boschille, ja siitä syntyi D-Jetronic -järjestelmä, joka tuotiin markkinoille vuonna 1967. 70-luvulla myös japanilaiset autonvalmistajat ryhtyivät kehittämään elektronisia ruiskutusmoottoreita. Vuoden -75 Cadillac Seville:ssä oli Bendix:n kehittämä elektroninen ruiskutusjärjestelmä, joka oli hyvin samalainen verrattuna Bosch:n Jetronic-järjestelmiin. Kehitys jatkui 80-luvun ajan ja jo 90-luvulla elektronisesta ruiskutuksesta tuli yleinen ajoneuvoissa maailmanlaajuisesti. (Darby 2014)

Ruiskutusjärjestelmät keräävät tietoa moottoriin asennetuista lukuisista eri antureista. Ohjainlaite käsittelee näitä tietoja ja pystyy annostelevaan optimaalisen polttoainemäärän tilanteen mukaan. Pakoputkistossa sijaitsee myös yksi tai kaksi jäännöshappitunnistinta, jotka keräävät tietoa pakokaasujen koostumuksesta. Tämän tiedon avulla ohjainlaite voi päätellä oliko seos onnistunut, ja voi tarvittaessa korjata sitä. Tällä tavalla ohjainlaite myös osaa korjata seosta sitä mukaan kun moottori kuluu tai karstoittuu. Tällä tavoin ei ole tarvetta säätää järjestelmää jälkikäteen. (Nieminen 2005, 115)

Ruiskutusjärjestelmät voidaan vielä jakaa kahteen ryhmään, yksipisteruiskutus ja monipisteruiskutus. Yksipisteruiskutuksessa sijoitetaan ainoastaan yhtä sähköllä ohjattua magneettiventtiiliä kaasuläpän eteen, ilman sisäänvirtausaukon keskelle. Tällä tavalla seoksen jakautuminen tapahtuu samaan tapaan kuin kaasutinmoottorissa, kaasuläpän säännöstelemänä.

Monipisteruiskutuksessa jokaisella sylinterillä on oma magneettiventtiili, joka on sijoitettu imuventtiilin lähelle. Polttoainetta ruiskutetaan n. 3 barin paineella, joko jatkuvasti tai jaksottaisesti. Tällä tavalla ilma jakautuu tasaisemmin sylintereihin, sillä imusarjassa virtaa pelkästään ilmaa. Koska polttoainetta annostellaan jokaiseen sylinteriin samanlainen määrä, myös seoksen muodostus on tasaisempi.

Yksipisteruiskutus on jo vanhentunut järjestelmä, jota käytettiin joissakin automalleissa vielä 90-luvun loppupuolella. Tällaisia järjestelmiä olivat mm. Mono-Jetronic ja GM-Multec. Nykyään kaikissa bensiiniautoissa on käytössä monipisteruiskutus, ja viimeisen vuosikymmenen aikana myös suoraruiskutus on yleistynyt huomattavasti. Bensiinin suoraruiskutuksessa suuttimet ruiskuttavat polttoainetta suoraan palotilaan erittäin korkealla paineella. (Lehtinen & Rantala 2012, 187-193)

Ruiskutusjärjestelmissä on useita olleellisia komponentteja ja toimilaitteita. Ne ovat myös kehittyneet paljon vuosien varrella. Käytetään tässä tapauksessa esimerkkinä hieman vanhempaa järjestelmää, joka paremmin vastaa sitä mitä ollaan suunnittelemassa.

### **Moottorinohjain**

Moottorinohjain, eli ECU (Engine Control Unit), ohjaa moottorin toimintaa. Se kerää tietoa moottoriin asennetuilta antureilta, käsittelee nämä tiedot, ja säättää tämän mukaan moottorin käyntiä. Tavallisesti ohjataan ainakin seossuhdetta, sytytyksen ajoitusta ja joutokäyntinopeutta. Jos halutaan jälkikäteen virittää moottoria, voidaan muuttaa ECU:n arvoja. Auton alkuperäisessä ECU:ssa on kuitenkin usein rajoitettu säätövara, mutta markkinoilta löytyvät itsenäiset ECU:t voidaan ohjelmoida vapaasti. Tällainen on esimerkiksi MegaSquirt, jota käytetään tässä projektissa.

### **Ruiskutusventtiilit**

Ruiskutusventtiilit, eli suuttimet, ohjataan solenoidiventtiilin avulla, ja ne ruiskuttavat bensiinin hienojakoisena sumuna imukanavaan, noin 3 barin paineella. Suuttimen tuotto riippuu voimakkaasti polttoaineen paine-erosta suutinventtiilin etu- ja takapuolella. Tuottoon vaikuttaa tietysti polttoainelinjassa oleva paine, mutta myös imusarjassa oleva paine. Imusarjan painearvo on otettava huomioon erityisesti ahdetuissa moottoreissa, joissa paine vaihtelee alipaineesta ylipaineeseen, esimerkiksi 1,5 bariin. Tämän vuoksi paineensäätimelle viedään ahdetuissa moottoreissa letku imusarjasta, jotta polttoaineen paine ei yritä pysyä vakiona, vaan se vaihtelisi imusarjan alipaine/ylipaine tilanteen mukaan. Ohjainlaite säättää suuttimien aukioloajan.

### **Moottorin lämpötila-anturi**

Moottorin lämpötila-anturi on NTC-vastus, joka mittaa jäähdytysnesteen lämpötilan. Kun nesteen lämpötila kohoaa, anturin vastus laskee, ja tämä signaali lähetetään moottorin ohjainlaitteelle.

### **Jäännöshappianturi (Lambda-anturi)**

Jäännöshappianturi, jota useimmiten kuulee nimitettävän "lambda-anturiksi", sijaitsee pakoputkistossa ennen katalysaattoria. Anturi mittaa pakokaasujen jäännöshappimäärää, ja lähettää signaalin ohjainlaitteelle, joka puolestaan säätää seosta  $\lambda$ -ikkunan sisällä ( $\lambda=0,98-1,02$ ). Tällä aluella kolmitoimikatalysaattori toimii parhaiten. Perinteinen lambda-anturi ei toimi kunnolla ennen kuin pakokaasut ovat saavuttaneet n.  $+350\text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilan, joten anturissa voi myös olla sähkövastuslämmitys, jolla nopeutetaan säädön aloitusta.

Nykypäivän autoissa on myös toinen lambda-anturi katalysaattorin jälkeen, jonka tehtävä on valvoa katalysaattorin toimintaa. Uusimmat lambda-anturit ovat myös tasotyypisiä laajakaista-antureita, joilla on paljon laajempi toiminta-alue vanhempiin ns. kaksitila-tyyppisiin antureihin verrattuna. (Lehtinen & Rantala 2012, 189-212)

### **Kaasuläpän asentotunnistin**

Vanhemmissa järjestelmissä kaasuläpän asentoa seuraa kaasuläppäkytkin, joka on yksinkertainen kytkin kahdella kärjellä. Tämä pystyy ainoastaan kertomaan milloin kaasuläppä on täysin auki tai milloin se on kiinni.

Myöhemmistä järjestelmistä löytyy säätövastus eli potentiometri, joka pystyy lukemaan kaasuläpän asennot. (Nieminen 2005, 119)

### **Polttoainepumppu**

Kaasutinmoottoreilla on yleensä mekaaninen polttoainepumppu, joka saa käyttövoimansa useimmiten nokka-akselilta. Tällainen pumppu ei kehitä tarpeeksi painetta ruiskutusjärjestelmälle, joten niitä on korvattu sähköisellä pumpulla. Sähkötoiminen polttoainepumppu sijaitsee useimmiten polttoainesäiliön läheisyydessä, ja siirtää polttoainetta säiliöstä suuttimien jakoputkelle. Jakoputkella on paineensäädin, jotta suuttimille tulevan polttoaineen paine olisi aina vakio imusarjan paineeseen verrattuna. Ylijäävä polttoaine palaa takaisin säiliöön paineensäätimen kautta.

Uudemmissa autoissa pumput sijaitsevat yleisesti ottaen tankin sisäpuolella, eikä paluulinjastoa enää ole, sillä paineensäädin sijaitsee säiliössä tai sen läheisyydessä. (Lehtinen & Rantala 2012, 189)

### **Ilmamassa-anturi**

Nykypäivänä käytetään ilmamassa-anturia, jonka keskelle ripustettu kuuma lanka pidetään koko ajan tietyssä lämpötilassa. Moottorin imuilma jäädyttää lankaa, ja ilman massa voidaan laskea suoraan langan tarvitsemasta lämmitystehosta.

Vanhemmissa järjestelmissä käytettiin myös ilmamäärämittaria, jossa oli ilmavirtauksen mukana kääntyvä mekaaninen läppä ja siihen liitetty potentiometri. Myös imusarjan painetta on joissakin tapauksissa mitattu paineanturilla (Manifold Air Pressure, MAP) yhdessä imuilman lämpötila-anturin kanssa. Moottorin ohjainlaite laskee näiden kahden arvojen perusteella moottoriin menevän ilman massan. (Nieminen 2005, 117)

### **Käyntinopeus**

Ohjainlaite tarvitsee myös tiedon moottorin käyntinopeudesta, jotta se pystyisi laskemaan suihkutusaajan pituutta oikein. Tämän signaalin voi ottaa virranjakajasta, joka on mekaanisesti kytketty moottorin nokka-akseliin. Jos ohjainlaite ohjaisi polttoaineen-syötön lisäksi sytytystä, tarvittaisiin lisäksi erillinen anturi antamaan tiedon moottorin asennosta, eli kampiakselin asentotunnistin.

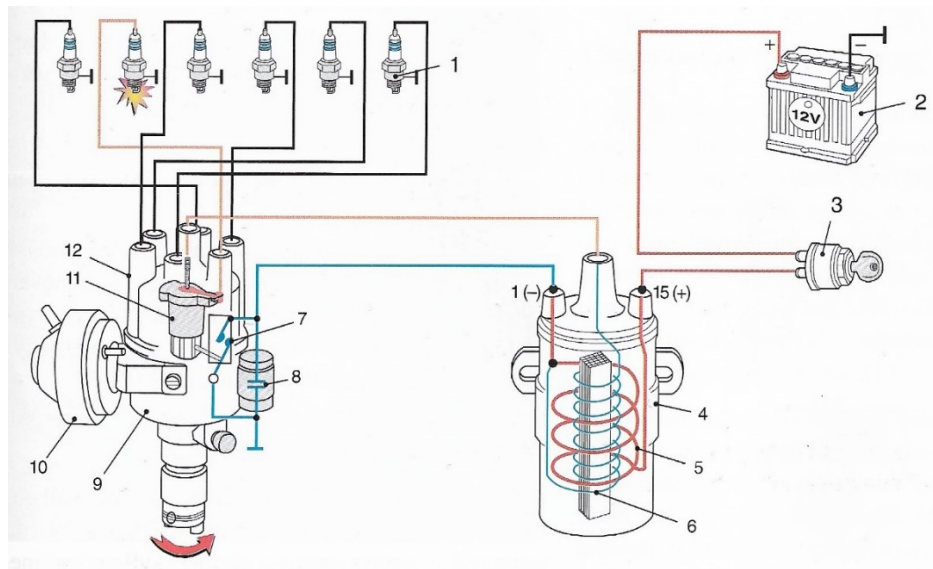


### 3 SYTYTYSLAITTEISTO

Jotta sylinteriin virtaava seos syttyy ja palaa mahdollisimman hyvin, tarvitaan kipinä juuri oikealla hetkellä. Sylinterin korkeassa paineessa akun jännite ei kuitenkaan riitä kipinän sytyttämiseen. Tarvitaan sytytyslaitteisto, joka muuttaa akun ja generaattorin pienenjännitteen 5000-30000 V:n suurjännitteeksi. Perinteinen akkusytytysjärjestelmä voidaan jakaa kahteen pääryhmään; induktiosytytysjärjestelmiin ja kapasitiivisiin sytytysjärjestelmiin.

Induktiosytytysjärjestelmässä sytytyspuolan magneettikentässä oleva energia muunnetaan induktion avulla korkeajännitteiseksi sähköenergiaksi. Tämä muunnos ohjataan mekaanisen tai elektronisen katkojan avulla. Katkoja sijaitsee virranjakajassa, joka jakaa korkeajännitteisen energian jokaisen sylinterin sytytystulpalle.

Kapasitiivisessa sytytysjärjestelmässä akkujännite varastoidaan noin 400 V:n jännitteisenä kondensaattoriin, mistä se puretaan sytytyshetkellä tyristorin avulla sytytyspuolalle ja virranjakajalle. Näin saadaan erittäin tehokas sytytyskipinä. Tätä järjestelmää on kuitenkin harvoin käytetty autoissa, mutta jonkun verran esimerkiksi moottoripyörissä.



1. Sytytystulppa, 2. Akku, 3. Virtalukko, 4. Sytytyspuola, 5. Ensiökäämi, 6. Toisiökäämi, 7. Katkoja, 8. Kondensaattori, 9. Virranjakaja, 10. Alipainesäädin, 11. Pyörrin, 12. Jakajan kansi

Kuva 3. Perinteinen induktiosytytysjärjestelmä mekaanisella katkojalla (Lehtinen & Rantala 2012, 129).

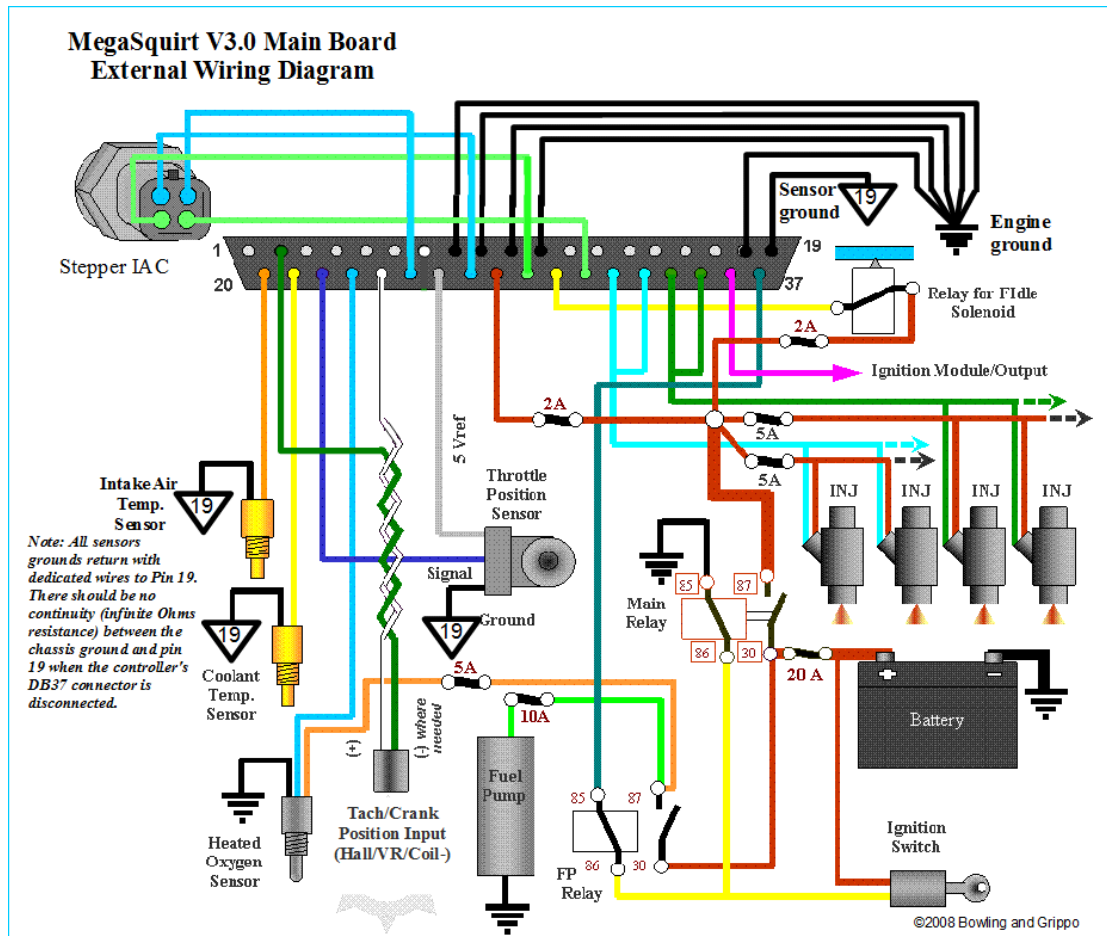
Moottorin käynnin aikana seoksen palamisen aiheuttama painehiippu pitää aina osua parhaaseen mahdolliseen kohtaan, eli noin 10-15° yläkuolokohdan jälkeen. Tämä tarkoittaa sitä, että sytytyshetki täytyy olla jokaisen käyntitilanteen mukaan tarkasti oikea. Sytytyshetken valitsemisessa pyritään joihinkin vaatimuksiin, esimerkiksi moottorin maksimaalinen teho, alhainen polttoaineenkulutus ja pienet päästöt. Nakutusta ei saa myöskään esiintyä. Nakutus-ilmiössä seos syttyy liian aikaisin hehkusytytyksen seurauksena, ja tämä aiheuttaa suurta rasitusta moottorin rakenteelle. Niin sanottu perusennakko tarkoittaa sitä sytytyshetkeä, joka on oikea kun moottori käynnistetään ja käy joutokäyntiä. Kun moottorin pyörimisnopeus kasvaa, ennakkoa säädetään aina yhä aikaisemmalle, tiettyyn ylärajaan asti. Perinteisessä virranjakajassa tämän tehtävän hoitaa keskipakoisäädin.

Muutkin tekijät vaikuttavat sytytyshetkeen, kuten moottorin rakenne, kuormitus, ja seoksen koostumus. Esimerkiksi osakuormalla sytytysennakkoa on lisättävä, sillä moottoriin menee hitaammin syttyvä ja palava seos. Perinteisesti tämän hoitaa alipainesäädin. Alipaine johdetaan imusarjasta kaasuläpän lähettyviltä, ja jousikuormitteinen kalvo kiertää katkojaa haluttuun suuntaan. (Lehtinen & Rantala 2012, 134-136)

## 4 MEGASQUIRT I V3.0

Moottorin ohjainlaitteeksi valittiin MegaSquirt I V3.0, joka ostettiin käytettynä ja valmiiksi kasattuna. Markkinoilta löytyy lukuisia eri merkkiä ohjainlaitteita, esimerkiksi Motec, Haltech, MaxxECu tai Link. Kaikilla tällaisilla itsenäisillä ohjainlaitteilla on hieman erilaisia ominaisuuksia, sekä tietenkin vaihtelevia hintoja. MegaSquirt on halvemmasta päästä, ja se olikin merkittävä valintaan vaikuttava tekijä. Toinen tärkeä tekijä oli se, että netistä löytyy runsaasti MegaSquirt:in liittyviä ohjeita ja käyttäjäfoorumeita, joten apua saa tarvittaessa helposti.

MegaSquirt sai alkunsa vuonna 1996 amerikkalaisesta nettifoorumista, jossa joukko harrastelijoita keskustelivat mahdollisuutta kehittää omaa ohjainlaitetta. Kaksi näistä, Bruce Bowling ja Al Grippo, ryhtyivät lopulta haasteeseen. He kehittivät yhdessä Grippon Chevrolet Camaroon sopivan ohjainlaitteen, joka osoittautui hyvin toimivaksi. Ohjainlaite oli kuitenkin aivan liian monimutkainen tavalliselle harrastelijalle, joten he alkoivat kehittämään toista versiota, joka olisi helppokäyttöinen kaikille. Näin syntyi ensimmäinen MegaSquirt, joka julkaistiin vuonna 2001. (MegaSquirt 2020)



Kuva 4. MegaSquirt:n kytkentäkaavio (MegaManual 2020).

Yksi MegaSquirt:n ominaisuuksista on se, että itse piirilevyssä on valmiina asennettu MAP-anturi. Katsotaan siis sopiva kohta kaasuläppäkotelosta tai imusarjasta, mistä saadaan luotettava painelukema, ja vedetään sieltä alipaineletku suoraan MegaSquirt:n kotelossa olevaan anturin mittausputkeen.

Imusarjan paine vaihtelee jokaisen sylinterin imutahdin aikana, mutta moottorin ohjainlaite tarvitsee vain tiedon keskimääräisestä paineesta. Tämän takia MAP-anturi yhdistetään imusarjaan hyvin ohuen letkun avulla, sillä tämä suodattaa pois nopeat vaihtelut, ja päästää vain keskimääräisen paineen anturille.

MAP-anturin ja imuilman lämpötila-anturin avulla MegaSquirt pystyy laskemaan moottoriin menevän ilman massavirtaa  $R_m$ . Tämä saadaan kertomalla imuilman tilavuusvirta  $R_v$  ilman tiheyden  $d_a$  kanssa.

$$R_m = R_v \times d_a$$

Kaava 2. Moottoriin menevän ilman massavirran laskeminen (Ribbens 1998, 178).

Imuilman tiheys saadaan normaalisti standardista, eli ilmanpaine merenpinnan tasolla (SLSD). Tästä saadaan vakiot tiheys  $d_o$ , absoluuttinen paine  $p_o$  ja absoluuttinen lämpötila  $T_o$ . Yhdessä MAP-anturin sekä imuilman lämpötila-anturin arvojen  $p$  ja  $T_i$  kanssa, saadaan laskettua ilman tiheyttä.

$$d_a = d_o \times \left(\frac{p}{p_o}\right) \times \frac{T_o}{T_i}$$

Kaava 3. Ilman tiheyden laskeminen (Ribbens 1998, 179).

Tilavuusvirta  $R_v$  saadaan moottorin kierrosnopeudesta, sylinteritilavuudesta sekä tilavuushyötysuhteesta  $n_v$ .

$$R_v = \left(\frac{RPM}{60}\right) \times \left(\frac{D}{2}\right) \times n_v$$

Kaava 4. Tilavuusvirran laskeminen (Ribbens 1998, 180).

Tilavuushyötysuhde saa arvon välillä 0...1, ja se riippuu imusarjan paineesta ja moottorin kierrosluvusta. Ohjainlaitteeseen voidaan tallentaa taulukko, mistä löytyy tilavuushyötysuhteen arvot kaikissa moottorin käyttöolosuhteissa. Ohjainlaite käyttää tätä taulukkoa laskiessaan tilavuusvirtaa. Nykypäivän moottoreissa käytetään kuitenkin ilmamassamittaria, joka mittaa suoraan ilman massavirtaa, jolloin edellämainittuja laskuja ei tarvita. (Ribbens 1998, 176-180)

Lambda-anturi ei ole välttämätön MegaSquirt:n toiminnalle, mutta sitä suositellaan vahvasti. Lancerissa ei ole katalysaattoria, joten siinä mielessä lambda-anturi ei ole niin suureksi hyödyksi, mutta sellainen haluttiin kuitenkin asentaa moottorin paremman toiminnan varmistamiseksi. MegaSquirt I pystyy ainoastaan lukemaan yhden lambda-anturin, myöhemmät versiot voivat lukea kahta. Lambda-anturin kohdalla ohjainlaite toimii kahdessa eri tilassa; suljettu tila ja avoin tila. Suljetussa tilassa ohjainlaite käyttää lambda-arvoa säätäessään seosta. MegaSquirt:n tapauksessa tämä tarkoittaa sitä, että

moottori on ollut käynnissä vähintään 30 sekuntia, on tarpeeksi lämmin, käy tarpeeksi korkeilla kierroksilla, sekä kaasuläpän asento on alle 70% auki. Avoimessa tilassa ohjainlaite jättää huomiotta lambda-arvon, eli nämä ovat tilanteet missä kaikki edellämainitut vaatimukset eivät täyty.

Lambda-anturiksi valittiin kolmijohtiminen lämmitetty versio. Ero lämmitetyn ja lämmittämättömän anturin välillä on siis sisäänrakennettu lämmityselementti, joka mahdollistaa nopeamman ja varmemman toiminnan. Kun auto käynnistetään, lämmityselementti lämmittää nopeasti anturin käyttölämpötilaan, eli n. 350 °C:een. Normaalin ajon aikana pakokaasut ovat niin lämpimät, että lämmitystä ei tarvita, mutta jos ajaa vähän aikaa hyvin alhaisella kuormituksella tai auto käy joutokäyntiä pidemmän ajan, voi lämpötila hetkellisesti pudota alle 350 °C. Tällöin lambda-anturi antaa virheellisiä arvoja. Tällaiselta tilanteelta vältytään siis lämmitetyllä anturilla, sillä elementti ylläpitää toimintalämpötilan koko ajon aikana.

Yksi jäähdytysnesteen lämpötila-anturi löytyi jo valmiina Lancerista, eli hyvin yksinkertainen NTC-vastus, josta lähtee vain yksi signaalijohdin suoraan mittaristolle. Tällainen anturi maadoittaa itsensä suoraan moottorilohkoon, ja oli hyvin tavallinen autoissa ennen elektronisten ruiskutusjärjestelmien tuloa. Tämän tyyppinen anturi altistuu helposti häiriöille, joilla ei ole juurikaan vaikutusta mittaristoa ajatellen, mutta ohjainlaitteille tämä ei sovi. Siksi nykyään käytetään kaksijohtimista anturia, jossa on erillinen maadoituspiste. Tässä tapauksessa säilytetään alkuperäistä mittarille menevää anturia, ja liitetään ohjainlaitteeseen erillisen kaksijohtimisen lämpötila-anturin.

Kaikilla lämpötila-antureilla ei ole samat lämpötila/vastusarvot, joten jos käytetty anturi poikkeaa MegaSquirt:n standardista, voidaan käyttää erillistä ohjelmaa EasyTherm. Tällä saadaan muutettua arvot kyseistä anturia vastaavaksi, ja nämä uudet arvot siirretty suoraan MegaSquirt:lle. Tämä käy myös imuilman lämpötila-anturille, joka toimii samalla periaatteella. (MegaManual 2020)

## 5 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Projekti-auton moottori on Mitsubishiin 4G15, joka on 1.5 litrainen, 8-venttiilinen SOHC-moottori. Joidenkin lähteiden mukaan tästä moottorista olisi olemassa myös ruiskutus-versio. Todennäköisesti sellainen on hyvin harvinainen, tai sitten ei ainakaan ikinä tuotu Eurooppaan, sillä tällaisia osia oli mahdotonta löytää mistään. Tämän moottorin 12-venttiilistä ruiskutusversiota löytyi joitakin ihan Suomestakin, mutta selvisi nopeasti että näiden kahden imusarjojen vaihto keskenään ei olisi ollut ihan helppo tehtävä. Olisi tarvinnut suunnitella ja valmistaa adapteri sylinterikannen ja imusarjan välille, mikä olisi tässä tapauksessa vienyt liian paljon aikaa ja rahaa. Päädyttiin modifioimaan alkuperäisen imusarjan mahdollisuuksien mukaan. Korostettakoon vielä, että koska tässä projektissa ei ollut tarkoitus tehdä autosta tehokkaampi, vaan pelkästään saada se ajokuntoon, tämä päätös oli suhteellisen helppo tehdä.

### 5.1 Suuttimet ja polttoaineensiirto

Suuttimet valittiin moottorista, jossa on saman verran tehoa ja sylintereitä, PSA:n TU3JP-moottorista. Tehoa löytyy 55 kW molemmista, ja suuttimet ovat myös muotoiltuja siten, että niiden asentaminen ei olisi aivan liian monimutkaista. Polttoainepumppu on perusmallinen, polttoainesäiliön ulkopuolelle asennettava, ja tuottaa 3 barin paineella 130 l/h. Uusi paineensäädin oli myös hankittava, tähän valittiin säädettävä malli, joka oli suhteellisen helppo asentaa.

Suunniteltaessa ruiskutusjärjestelmää on hyvä muistaa, että koko polttoainejärjestelmä ja sen eri osat ovat suunniteltuja suuttimien virheettömän toiminnan ympärille. Suuttimien virtausmäärä ilmoitetaan yksiköissä g/min tai cc/min, ja useimmat valmistajat käyttävät testauksessa 3 barin vakiopainetta. Virtausmäärää mitataan muuttumattomassa tilassa, eli suuttimet pidetään auki jatkuvasti. Tätä 100% käyttöjaksoa ei kuitenkaan koskaan käytetä kun suuttimet ovat asennettuna moottoriin, koska tämä johtaisi liialliseen kulumiseen ja lopulta ennenaikaiseen rikkoutumiseen. Tavallisissa ruiskutusjärjestelmissä suuttimien käyttöjakso ei koskaan ylitä 80%.

Moottorissa olevien suuttimien varsinainen virtausmäärä riippuu useasta eri tekijästä; suuttimille virtaava polttoainemäärä, polttoaineen paine, imusarjan paine, sekä suuttimien käyttöjakso (vaihtelee moottorin kuormituksen mukaan).

Polttoainelinjaston virtauksen määrä riippuu pumpun tuloaukolla olevasta polttoaineen määrästä, polttoaineputkien halkaisijasta, järjestelmän paineesta, sekä polttoainepumpun tuottomäärästä. (Thompson 2007)

Kun lasketaan, millaiset suuttimet autoon tarvitaan, täytyy ensin ottaa huomioon suuttimien virtausmäärä. Jotkut valmistajat ilmoittavat määrän grammoina, ja silloin arvo on muutettava kuutiosenttimetreiksi. Joissain on myös maininta, mitä nestettä on käytetty testaamiseen, monet valmistajat käyttävät esimerkiksi n-heptaania bensiinin sijaan. N-heptaani on suoraketjuinen alkaani, joka ei ole yhtä tiheää kuin bensiini. Jos tällaisessa tilanteessa käyttäisi laskuissa normaalin bensiinin tiheyttä, tulos olisi virheellinen.

Valituilla suuttimilla virtausmäärä on 75 g/min, ja käytetty neste on n-heptaani. Lasketaan ensin määrää kuutiosenttimetreinä. N-heptaanin tiheys on 0.684 g/cc.

$$\frac{75 \text{ g/min}}{0.684 \text{ g/cc}} = 109.649 \approx 110 \text{ cc/min}$$

Kaava 5. Muutetaan virtausmäärä kuutiosenttimetreiksi.

Saadaakseen selville tarkasti oikea virtausmäärä tietylle kierrosluvulle, olisi käytettävä seuraava kaavaa:

$$V_E = \frac{P_{eff} \times b_e}{\rho \times n_p \times z}$$

Kaava 6. Tietyn kierrosluvun virtausmäärän laskeminen (Bosch 2014, 462).

Jotta ominaiskulutus saataisiin laskettua, olisi tarvetta saada auto dynamometrille. Koska tämä ei nyt ole mahdollista, on pakko tyytyä arvioimaan tulosta. Tämän ikäisen ja kokoisen moottorin ominaiskulutus voisi olla noin 0.45 lbs/(hp\*h), joka vastaa 274 g/kWh. Tämä on myös eräänlainen keskiarvo, sillä ominaiskulutus vaihtelee moottorin vääntömomentin ja kierrosluvun mukaan. Käytetään siis hieman yksinkertaistettua kaavaa, missä ei oteta huomioon kierroslukua eikä polttoaineen tiheyttä, ja lisätään siihen todellista vastaava suuttimien aukioloaika, joka tässä tapauksessa oletetaan olevan 80%. (Fuller 2012)

$$V_E = \frac{P_{eff} \times b_e}{60 \times z \times 0.8} = \frac{55 \text{ kW} \times 274 \text{ g/kWh}}{60 \times 4 \times 0.8} = 78,490 \text{ g/min}$$

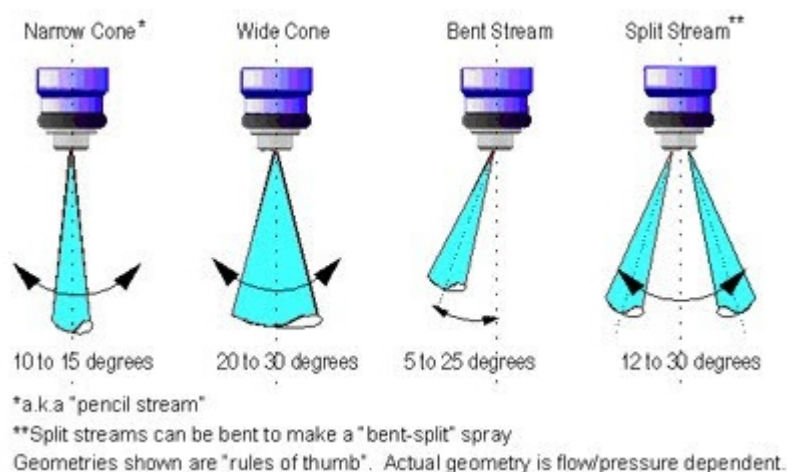


$$\frac{78.490 \text{ g/min}}{0.750 \text{ g/cc}} = 104,653 \approx 105 \text{ cc/min}$$

Kaava 7. Virtausmäärän laskeminen.

Tulos osuu tarpeeksi lähelle valittuja suuttimia, mutta tämä on siis vain suuntaa antava tulos. Jos kyseessä olisi auto, jossa vaadittaisiin tiettyä suorituskykyä, esimerkiksi kilpa-auto, olisi syytä tehdä tarkempia mittauksia dynamometrillä.

Toinen asia, mitä pitää ottaa huomioon suuttimien valinnassa ja asennuksessa on ruiskutuskuvio. Suuttimien ruiskutuskuvioita on erilaisia, riippuen siitä millaiseen moottoriin ne ovat tarkoitettuja. Suuttimen kärjellä voi olla yksi tai useampia reikiä.



Kuva 5. Erilaisia ruiskutuskuvioita (T2Bay 2018).

Suora, yksittäinen ruiskutuskuvio on hyvin yleinen vanhemmissa autoissa, ja sitä käytetään usein moottoreissa, joissa on vain yksi imuventtiili sylinteriä kohden. Jaettua ruiskutuskuviota käytetään vastaavasti usein moottoreissa, joissa on kaksi imuventtiiliä per sylinteri. Suuttimen ruisku voidaan suunnata myös vinoon. Useimmiten näin tehdään moottoreissa, joilla on erityinen suunnittelu, esimerkiksi jos suuttimet on asennettu epätavalliseen asentoon. (Bosch 2014, 623)

Valituissa suuttimissa on vain yksi keskitetty reikä, eli ruiskutuskuvio on kapea, suora yksittäinen säde. Tämä olikin hieman odotettavissa, sillä TU3JP-moottori on 8-venttiilinen.

## 5.2 Imusarja

Kaasutinmoottorin imusarjassa kulkee valmis seos, kun taas ruiskutusmoottorin imusarjassa kulkee pelkkä ilma. Tämä tarkoittaa sitä, että kaasutinmoottorin imusarjassa ei pidä olla jyrkkiä käännöksiä, sillä isommat polttoainepisarat voivat helposti tarttua imusarjan seinämiin. Näin ollen kaasutinmoottorien ja ruiskutusmoottorien imusarjat ovat yleisesti jonkun verran erimuotoisia.

Tarkastellaan nykyisen imusarjan tilavuutta. Ensin täytyy ymmärtää, miten ilma liikkuu imusarjan sisällä. Tätä voidaan yleisesti tarkastella ikään kuin kahdesta eri suunnasta. Ilma voidaan ajatella olevan puristuva neste, ja näin tarkastella sen virtausta imusarjan sisällä. Toisaalta ilmamassaa voidaan myös tutkia sen akustisen käyttäytymisen perusteella, eli miten ääniaallot liikkuvat imusarjassa.

Ääniaallot liikkuvat värähtelyinä edestakaisin imusarjan imuputkia pitkin. Näillä värähtelyillä on taajuus ja energia. Vapaasti hengittävän moottorin imutahdin alkaessa palotilaan syntyy alipaine, ja imuventtiilin avautuessa imusarjassa oleva ilma lähtee liikkeelle. Kun ilma on lähtenyt liikkeelle imusarjan imuputkessa, se ei pysähdy kun imuventtiili sulkeutuu. Sen sijaan ilman ääniaalto ponnahtaa takaisin venttiilin takapuolelta ja kulkeutuu äänen nopeudella takaisin kohti imusarjan kokoojakammiota (plenum). Kokoojakammio käyttäytyy jousen tavoin, ja ääniaalto ponnahtaa takaisin imuventtiiliä päin, mutta tällä kertaa korkeammalla taajuudella ja energialla. Tällaiset heijastuneet ääniaallot jatkavat tätä samaa sykliä, samalla keräten enemmän energiaa, kunnes ne osuvat imuventtiilin kohdalle juuri sen avautuessa. Tämä on yksi tapa optimoida imusarjan muotoilua, eli saada nämä vahvistetut ääniaallot osumaan avatun imuventtiilin kohdalle halutun kierrosluvun aikana, jotta ilman virtaus sylinteriin tehostuu.

Koska nyt ei suunnitella uutta imusarjaa, ei voida optimoida sitä näiden tietojen perusteella. Mutta voidaan käyttää samoja laskuja saadaakseen selville kuinka hyvin vanha imusarja sopii uudelle ruiskutusjärjestelmälle. Käytetään Helmholtzin kaavaa akustisesta resonaattorista.

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{LV}}$$

Kaava 8. Helmholtzin kaava akustisesta resonaattorista (Delaney 2002).

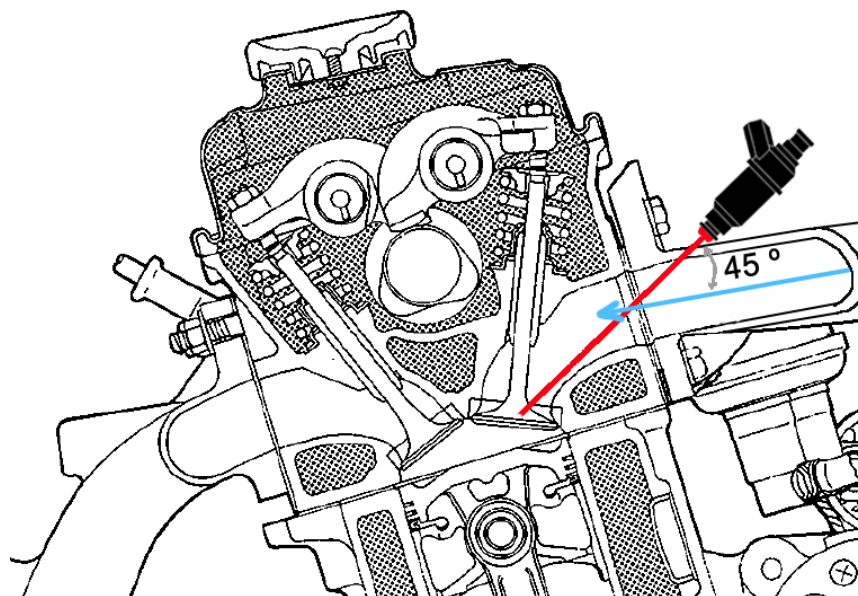
Tässä kaavassa  $f$  on kierrosluku, jossa saadaan paras vääntö,  $c$  on äänen nopeus 20 °C ilmassa,  $A$  on imuputken pinta-ala,  $L$  on imuputken pituus ja  $V$  on sylinteritilavuus. (Delaney 2002)

$$f = \frac{343 \text{ m/s}}{2 \pi} \sqrt{\frac{0,0006096 \text{ m}^2}{0,19\text{m} \times 0,001468 \text{ m}^3}} = 80,70 \text{ 1/s} = 4842 \text{ 1/min}$$

Kaava 9. Moottorin parhaan väännön kierrosluvun laskeminen (Delaney 2002).

Tällainen tulos on epäedullinen tämän kokoiselle moottorille, mutta tässä ei ole otettu huomioon imusarjan hieman erikoista muotoilua. Venttiileiltä kulkevat imuputket ovat sijoitettu pareittain kaasuttimen molemmille puolille. Noin puolivälissä ne yhtyvät yhdeksi putkeksi, ja kokonaispinta-ala muuttuu pienemmäksi kuin kahdella erillisellä putkella. Tästä halkaisijasta oli vaikeaa saada tarkat mitat, mutta jos pinta-ala pienenee hieman, myös kierrosluku pienenee.

Toinen tärkeä vaihe imusarjan muuttamisessa on suuttimien asentaminen. Kaksi asiaa täytyy ottaa huomioon; suuttimien sijainti sekä kulma. Ideaalinen kulma suuttimille olisi sellainen, että ruiskutussuunta on mahdollisimman yhdensuuntainen ilman virtauksen kanssa. Tämä parantaa ajettavuutta erityisesti alhaisilla nopeuksilla ja joutokäynnillä, sillä tällöin imusarjan alipaine on korkea, ja tehokas seoksen muodostus on tarpeen. Yleisesti pyritään siihen, että ruiskutuksen kulma olisi enintään 45° ilman virtaukseen nähden, mielellään tietysti vähemmän. Tähän voi kuitenkin olla haasteellista päästä, sillä imusarjan ympärillä olevaa tilaa on yleensä rajoitetusti, ja jakoputki voi ottaa kiinni johonkin kohtaan.



Kuva 6. Suuttimien ja ilman virtauksen välinen kulma.

Suuttimien sijainti imukanavassa on myös tärkeä, ja tämä yleisesti riippuu moottorin tehosta ja käyttötarkoituksesta. Tavallisessa henkilöautossa suuttimien virtausmäärä on yleensä suhteellisen alhainen ja suuttimien ruiskutuskuvio on hyvä, joten polttoaine sekoittuu tehokkaammin sisään virtaavaan ilmaan. Tämä tarkoittaa sitä, että suuttimet voidaan asettaa venttiilien lähelle. Jos kyseessä olisi tehokas moottori isoilla suuttimilla, olisi syytä asettaa niitä hieman kauemmas venttiileistä. Polttoaine tarvitsee enemmän aikaa sekoittuakseen kunnolla ilman kanssa, kun suuttimien virtausmäärä on suuri. (Hot Rod Network 2007)

Huomioitavaa tämän moottorin tapauksessa oli myös venttiilien sijainti sylinterikannessa. Venttiilit ovat hieman sivummalla imusarjan imuputkien keskilinjasta, eli kun imuputket jatkuvat sylinterikannen puolelle, ne kaartuvat jonkin verran sivulle. Tämä tarkoittaa sitä, että suuttimia ei pitäisi asentaa suoraan imuputkien keskilinjan mukaan, sillä muuten polttoaine ruiskutettaisiin imuputken seinälle. Niitä täytyy siis kääntää hieman keskilinjalta poispäin, noin  $10^\circ$ .

## 6 MEGASQUIRT-OHJAIMEN ASENNUS

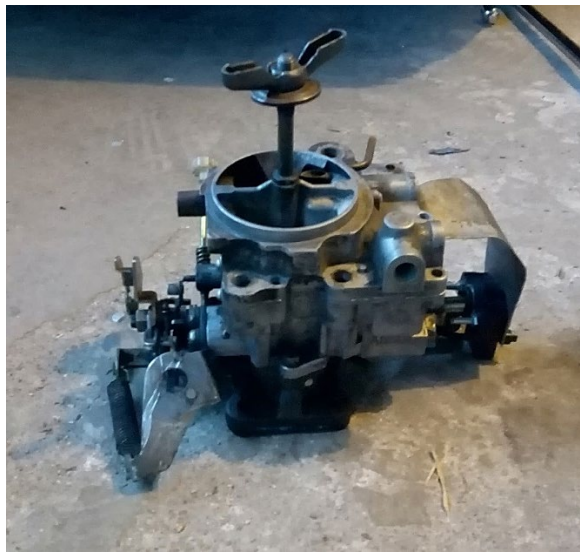
Rakentamiseen meni paljon aikaa, ja jotkut vaiheet olivat erityisen haastavia. Kaasutin oli jo poistettu autosta aikaisemmin, joten ensimmäinen vaihe tässä projektissa oli imusarjan irrotus. Sen jälkeen oli vuorossa suuttimien reikien poraaminen. Suuttimet on asennettava imusarjaan tarkasti mitoitettuihin istukoihin, jollaiset tähän imusarjaan oli itse valmistettava. Myöhemmin löydettiin kuitenkin verkkokauppa, mistä sai tällaisia valmiita holkkeja tilattua, ja jotka olivat juuri sopivan kokoisia valituille suuttimille. Holkkien ulkohalkaisija oli 20 mm, joten näin isoja reikiä oli porattava jokaiseen imuputkeen. Ennen itse poraamista piti vielä varmistaa missä kulmassa reiät täytyy olla, sekä piti tehdä myös pieni teline metallilevystä, jotta imusarja saatiin pysymään tukevasti kiinni porauksen aikana.



Kuva 7. Suuttimien reiät porauksen aikana ja jälkeinpäin hiottuina.

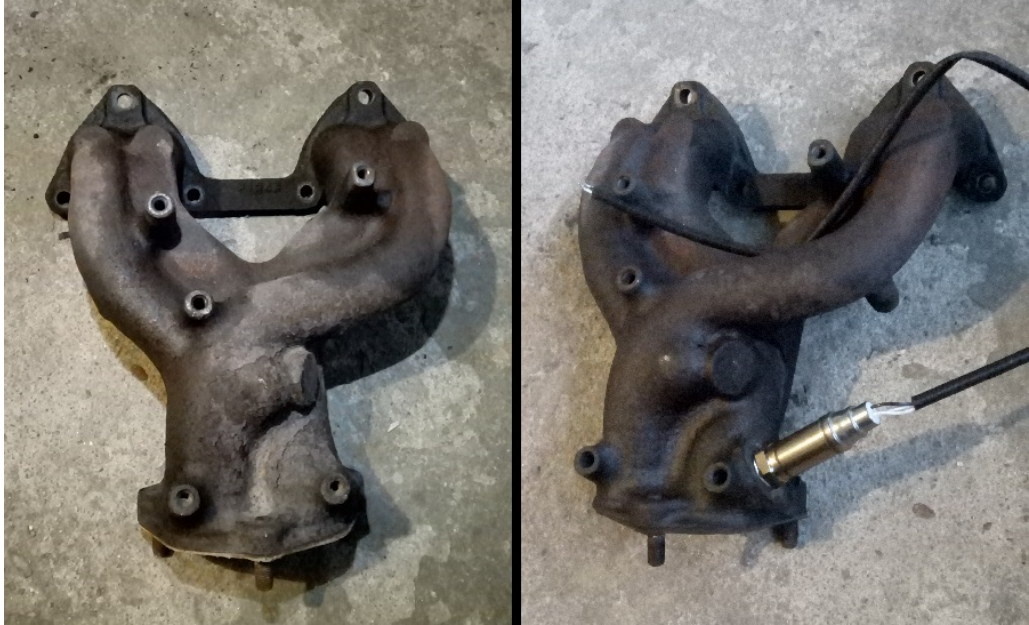
Kun reiät olivat valmiit, niitä hiottiin vielä tasaisiksi, ja sen jälkeen oli vuorossa holkkien kiinnittäminen. Yleinen tapa olisi ollut hitsata ne kiinni, mutta hitsaustarvikkeiden sekä rahan puutteessa päätettiin käyttää kemiallista metallia.

Vanhasta kaasuttimesta päätettiin tehdä kaasuläppäkotelokotelo, mikä osoittautui ihan hyväksi ratkaisuksi. Muuten olisi tarvinnut tehdä jonkinlaisia adaptoreita imusarjan ja ilman-suodatinkotelon puolelle. Kaasuttimesta poistettiin useita projektin kannalta tarpeettomia osia, jolloin jäljelle jäi periaatteessa vain läpät molemmissa kurkuissa. Ongelmiakin oli, esimerkiksi miten saataisiin molemmat läpät avautumaan samanaikaisesti. Se ratkaistiin pienellä o-renkaalla, joka ei ole kovin hyvä pysyvä ratkaisu, mutta väliaikaisesti se toimii halutulla tavalla. Muita muokkauksia piti myöskin tehdä, ryyppykello oli leikattava pois jotta jakoputki mahtuisi paikalleen, ja pieni teline piti lisätä kaasuttimen sivulle, jotta kaasuläpän asentoanturi pysyisi tukevasti paikallaan.



Kuva 8. Vanha kaasutin muutettu kaasuläppäkoteloksi.

Pakosarja irroitettiin lambda-anturin asennusreijän poraamista varten. Koska tästä moottorista on olemassa ruiskutusversio, pakosarjaan oli jo valmiiksi tehty hyvä, tasainen kohta anturia varten, vain itse reikä puuttui.



Kuva 9. Pakosarja ennen ja jälkeen lambda-anturin asennuksen.

Polttoainesuodatin asennettiin moottoritilaan, ja liitettiin polttoainelinjastoon. Vanha mekaaninen polttoainepumppu poistettiin, ja asennettiin siihen kohtaan peitelevy. Uusi polttoaineen paineensäädin kiinnitettiin moottorin läheisyyteen, ja letkut liitettiin polttoaineen paluuputkeen sekä jakoputken toiseen päähän. Paineensäätimestä vedettiin myös alipaineletku imusarjaan.



Kuva 10. Polttoainesuodattimen asennus sekä vanhan polttoainepumpun peitelevy.

MegaSquirt:lle löydettiin hyvä paikka ohjaamon keskikonsolissa, säilytyslokeron sisällä. Takapuolella on johtosarjalle reilusti tilaa, ja etupuolella pystyy kätevästi piilottamaan ohjainlaitteen laittamalla luukku kiinni. Matkustajan puolen jalkatilassa sijaitsee valmiina johtojen läpivientikohta, ja sieltä vedettiin myös läpi MegaSquirt:iin liitettävä alipaineletku.



Kuva 11. MegaSquirt:n sijainti keskikonsolissa.

Imusarjaan tehtiin vielä joitakin muokkauksia. Asennettiin uusia letkuliittimiä jarrutehostimen, MAP-anturin, virranjakajan sekä polttoaineen paineensäätimen alipaineletkuille. Sitten vuorossa oli polttoaineen jakoputki, johon porattiin reiät suuttimille. Molempiin päihin tehtiin myös kierteitä letkuliittimiä varten.





Kuva 12. Valmis imusarja suuttimilla ja jakoputkella.

Tämän jälkeen tehdään vielä pieni teline jakoputkelle, jotta se pysyy tukevasti kiinni imusarjassa. Autoon asennetaan vielä kaksi komponenttia; polttoainepumppu ja imuilman lämpötilatunnistin. Sen jälkeen liitetään vielä johtoja, ja auto on valmis ensimmäiselle käynnistysyritykselle.

## 7 LOPUKSI

Tämä projekti osoittautui lopulta hyvin laajaksi kokonaisuudeksi, ja vaati enemmän aikaa ja suunnittelua kuin alussa oli arvioitu. Valitettavasti asennusta ei ehditty ajoissa saada täysin valmiiksi, mutta työtä jatketaan vielä seuraavien viikkojen aikana. Ensimmäisen käynnistyksen jälkeen on varmasti luvassa myös paljon säätötyötä, jotta moottori kävisi mahdollisimman tasaisesti.

Suunnittelu ja asennus on kokonaisuudessaan ollut hyvin opettavainen kokemus. Vaikka tietoa oli jo ennestään polttomoottorin toiminnasta, siihen piti nyt syventyä entistä enemmän ja ymmärtää miten eri komponentit toimivat keskenään. Välillä jouduttiin miettimään hieman erikoisiakin ratkaisuja, jotta päästiin eteenpäin. MegaSquirt:n käyttö tässä projektissa oli myös onnistunut päätös, sillä sen ymmärtäminen oli suhteellisen helppoa.

Henkilökohtainen hyöty tästä projektista oli suuri, ja tässä asennuksen loppuvaiheessa on vahva tunne siitä että auto tulee käynnistymään ja käymään tällä järjestelmällä sen lopun elinkaaren aikana. Tärkeää on myös se, että auton polttoaineenkulutus ja pako-kaasupäästöt tulevat olemaan entistä pienemmät.

## LÄHTEET

Bosch Automotive Handbook, 2014. 9. painos. Saksa: Robert Bosch GmbH.

Darby, S. 2014. Top Automotive Innovations: History of Fuel Injection. Viitattu 10.3.2020. <http://bestride.com/news/top-automotive-innovations-history-of-fuel-injection>

Delaney, M. 2002. Intake Manifold Tech: Runner Size Calculations. Viitattu 19.4.2020. <http://hred.free.fr/Download/Articles%20Techniques/Runner%20Size%20Calculations.pdf>

Fuller, D. 2012. Injector Math: How to Calculate Optimum Fuel Injector Size. Viitattu 16.4.2020. <https://www.onallcylinders.com/2012/07/11/injector-math-how-calculate-optimum-fuel-injector-size/>

Hot Rod Network. 2007. EFI Nozzle Location. Viitattu 14.6.2020. <https://www.hotrod.com/articles/hrdp-0704-pitstop-fuel-injector-location/>

Lehtinen, A. & Rantala, J. 2012. Autotekniikka 4: Moottori. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

MegaManual. Wiring and Sensors. Viitattu 6.6.2020. <http://www.megamanual.com/v22manual/mwire.htm#ignition>

MegaSquirt. History. Viitattu 13.3.2020. <http://megasquirt.info/history/>

Nieminen, S. 2005. Auton rakenne : 1, Moottori ja tehonsiirto. Helsinki: WSOY.

Ribbens, W. 1998. Understanding Automotive Electronics. 5. painos, USA: Newnes.

T2Bay. 2018. New Engine.... Part 3 – Cleaning. Viitattu 15.6.2020 <http://t2bay.blogspot.com/2018/10/new-engine-part-3-cleaning.html>

Thompson, J. 2007. Go With the Flow: Basic Fuel System Analysis. Viitattu 14.4.2020. <https://www.motor.com/magazine-summary/go-flow-basic-fuel-system-analysis-july-2007/>