

Harri Lehtonen

Polttoaineensuihkutuksen suunnittelu ja toteutus moottoripyörään

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Harri Lehtonen

Työn nimi: Polttoaineensuihkutuksen suunnittelu ja toteutus moottoripyörään

Ohjaaja: Ari Saunamäki

Vuosi: 2014 Sivumäärä: 57 Liitteiden lukumäärä: 3

Tässä opinnäytetyössä käsitellään elektronista polttoaineensuihkutusta rakennettuna kaasutinmoottoriseen moottoripyörään. Työssä keskitytään polttoaineensuihkutusjärjestelmän rakenteeseen, hyötyihin ja ajoneuvon käytettävyyden parantamiseen. Opinnäytetyössä esitellään polttosuihkutuksen peruseräatit ja rakennosat, sekä suunnitellaan ja toteutetaan polttoaineensuihkutus moottoripyörään.

Polttoaineensuihkutus suunniteltiin ja toteutettiin 1987 vuosimallin Yamaha SRX-6 moottoripyörään, josta se on pienin muutoksin sovellettavissa mihin tahansa kaasutinmoottoriseen moottoripyörään. Projektissa ei muutettu moottorin alkuperäistä sytytyksenohjausta vaan siinä keskityttiin pelkästään polttoaineensyötön ohjaukseen. Elektronisen polttoaineensyötön suunnittelu tehtiin käyttäen apuna aiheeseen liittyvää kirjallisuutta sekä kokeneiden virittäjien tietotaitoa. Lopuksi työn tulokset selvitettiin tehodynamometrin avulla.

Työn tuloksena saatiin suunniteltua ja toteutettua moottoripyörään soveltuva elektroninen polttoaineensuihkutus kaasuttimen tilalle. Lisäksi työssä käsiteltiin kattavasti polttoaineensuihkutusta ja jonkin verran kaasutintakin, joten se toimii myös asiaan perehtymättömän lukijan oppimateriaalina. Työstä on hyötyä myös lukijalle, joka haluaa päivittää ajoneuvonsa polttoaineensyöttöä.

Asiasanat: Moottoripyörä, polttoaineensuihkutus, polttoaineensyöttö.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Harri Lehtonen

Title of thesis: Design and assembly of electronic fuel injection on a motorcycle

Supervisor: Ari Saunamäki

Year: 2014 Number of pages: 57 Number of appendices: 3

This thesis deals with the electronic fuel injection of a carburetted motorcycle. It concentrates on the structure of the electronic fuel injection, its benefits and improving the usability of the vehicle. The main point of this thesis is to design and assemble the electronic fuel injection of the motorcycle and it also explains the principles of the fuel injection and its components.

The electronic fuel injection was designed and assembled for the 1987 Yamaha SRX-6 motorcycle and it can be modified to any motorcycle with minor changes. This design does not modify the standard ignition system of the motorcycles, so it only controls the fuel delivery. The design of the electronic fuel injection was done using the literature related the topic and with the help of the knowledge of experienced tuners. The results of the modification were examined with a dynamometer.

This thesis provided a design and a test for an electronic fuel injection that is suitable for replacing the carburetion of a motorcycle. The thesis also handled a great deal the electronic fuel injection and a bit about carburetion, so it works also as learning material for an inexperienced reader. It is also useful for person who wants to improve his vehicles fuel delivery.

Keywords: Motorcycle, electronic fuel injection, fuel injected engines.

SISÄLLYS

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
1 JOHDANTO	8
2 LAIT JA ASETUKSET	9
3 MOOTTORIPYÖRÄN POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ	11
3.1 Kaasutin yleisesti	12
3.2 Yamaha SRX-6 alkuperäinen kaasutin	15
3.3 Elektroninen polttoaineensuihkutus yleisesti	16
3.4 Polttoainelinjan komponentit	19
3.5 Ilmajärjestelmän komponentit.....	24
3.6 Ohjainlaite ja anturointi.....	24
4 MEGASQUIRT	33
5 TOTEUTUS.....	36
5.1 Imusarja	36
5.2 Polttoainelinja.....	38
5.3 Suuttimet.....	39
5.4 Kaasuläppäkotelot.....	40
5.5 Anturointi.....	41
6 SÄÄTÄMINEN.....	45
6.1 Tunerstudio säätöohjelma.....	45
6.2 Säättäminen	47
7 YHTEENVETO.....	50
8 LÄHTEET	52
9 LIITTEET	54

Käytetyt termit ja lyhenteet

ECU	Electronic Control Unit, elektroninen ohjausyksikkö
ECM	Electronic Control Module, elektroninen ohjausyksikkö
NTC	Negative Temperature Coefficient, negatiivinen lämpötilakerroin
MAP	Manifold Absolute Pressure, imusarjan absoluuttinen paine
TPS	Throttle Position Sensor, kaasuläpän asentoanturi

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Nelitahtimoottorin työkierto (Bell 1998, 1.10).	11
Kuvio 2. Kaasuttimen periaatekuva (Mauno 2002, 2.2).	13
Kuvio 3. Luistikaasuttimen periaatekuva (Mauno 2002, 2.4).	13
Kuvio 4. Teikei Kikai Y27PVx1 räjäytyskuva (Yamaha Motor Co, 4.1).....	15
Kuvio 5. Yamaha SRX-6 kaasutin.....	16
Kuvio 6. Seossuhteen verrannollisuus tehoon ja polttoaineen kulutukseen (Mauno 1992, 7).....	17
Kuvio 7. Yksi- ja monipistesuihikutussuuttimien sijoitus imusarjassa (Tranter 1995,135).....	18
Kuvio 8. Polttoainepumpun halkileikkaus (Tranter 1995, 139).	20
Kuvio 9. Polttoainesuodatin (Tranter 1995, 140).....	21
Kuvio 10. Polttoaineenpaineensäädin (Tranter 1995, 139).	21
Kuvio 11. Suihikutussuutin (Mauno 2002, 2.26).	22
Kuvio 12. Kaksisuutinjärjestelmän periaate (Bell 1998, 7.16).	24
Kuvio 13. Läppätyyppinen ilmamäärämittari (Bell 1998, 7.6).	26

Kuvio 14. Potentiometrityyppinen kaasuläppäanturi (Bauer 2003, 14).....	28
Kuvio 15. Lambda-anturin halkileikkaus (Robert Bosch Pty Ltd 2013).....	31
Kuvio 16. Ruiskunohjausjärjestelmän takaisinkytketty tila (Tranter 1995, 147).....	32
Kuvio 17. Megasquirt V3.0 piirilevy (Bowling & Grippo 2013).	34
Kuvio 18. Imusarja kokonaisuudessaan koottuna hitsausjigiin.	37
Kuvio 19. Imusarja ja läppärungot kiinnitettynä sylinterikanteen.	38
Kuvio 20. Säädettyä bensapaineensäädin.	39
Kuvio 21. Muokatut BMW-kaasuläppäkotelot.	41
Kuvio 22. Lambda-anturin asennus.	43
Kuvio 23. Elektroninen polttoaineensuihkutus asennettuna kokonaisuudessaan.	44
Kuvio 24. Tunerstudion perusnäkyvä.....	46
Kuvio 25. Moottorin ensimmäinen käynnistys.	48
Kuvio 26. Tunerstudion luoma polttoainekartta.	49

1 JOHDANTO

Nykyaikana moottoripyörien kaasuttimet alkavat olla vanhanaikaisia ja niissä onkin lähes poikkeuksetta siirrytty käyttämään elektronista polttoaineensuihkutusta. Tähän ovat osaltaan vaikuttaneet vuonna 2003 Euro2-päästönormin myötä kiristyneet päästörajat, joilla halutaan vähentää moottorien tuottamaa pakokaasusaastetta. Ottomoottorin palotapahtuman optimoimiseksi on siirrytty kaasuttimesta elektroniseen polttoaineen suihkutukseen.

Liikenteen turvallisuusviraston taulukoiden mukaan Suomen tieliikenteessä olevista moottoripyöristä noin puolet on rekisteröity ennen Euro2-päästönormin voimaantuloa vuonna 2003 (Liikenteen Turvallisuusvirasto Trafi 2003; Liikenteen Turvallisuusvirasto Trafi 2013). Ennen vuotta 2003 rekisteröityjen moottoripyörien voidaan siis päätellä olevan kaasuttimella varustettuja. Kaasutinmoottoriseen moottoripyörään voi kuitenkin hankkia parempaa käytettävyyttä, helpompaa säädettävyyttä ja vihreitä arvoja korvaamalla vanhan, aikansa palvelleen kaasuttimen nykyaikaisella polttoaineensuihkutuksella.

Työn tavoitteena on perustella kaasuttimen vaihtamista polttoaineensuihkutukseen. Konkreettisesti tämä tapahtuu rakentamalla 1987 vuosimallin Yamaha SRX-6 -moottoripyörään polttoaineensuihkutus kustannustehokkaasti ja esittelemällä vertailuarvot sen tehoista molemmilla polttoainejärjestelmillä. Muutostyö on tarkoitus toteuttaa mahdollisimman pienellä budjetilla, jotta se olisi taloudellisesti järkevää polttoaineensuihkutuksen tuomiin etuihin nähden.

2 LAIT JA ASETUKSET

Kun moottoripyörän tekniikkaa muutetaan alkuperäisestä poikkeavaksi, on hyvä ensimmäisenä selvittää, mitä voi lain puitteissa muuttaa ja millä tavoin. Monet muutokset vaativat muutoskatsastuksen, joka ei yksiselitteisesti aina onnistu niin että pyörää käydään näyttämässä katsastuskonttorilla. Muun muassa rungon muu-
tostöistä pitää olla tehtynä lujuuslaskelmia ja muutoksien on oltava ammattimaisesti tehtyjä. Tällaisia muutoksia ovat esimerkiksi jousitetun takapään muuttaminen jäykäksi tai akselivälin kasvattaminen keulaa pidentämällä ja moottoritehon kasvattaminen yli 10 % mallisarjan tehokkaimpaan moottoriin nähden. Moottoripyörän ja L_{5e}-luokan ajoneuvon polttoainesäiliön, polttoaineletkujen ja polttoainejärjestelmän liitännöiden on oltava tiiviitä ja riittävän tukevasti kiinnitettyjä. Säiliön täyttöaukon tulee sijaita sellaisessa tilassa, josta polttoainevuoto voidaan välittömästi havaita. (Liikenne- ja viestintäministeriön asetus L-luokan ajoneuvon korjaamisesta ja rakenteen muuttamisesta 2009, 1078/2009 17 §.)

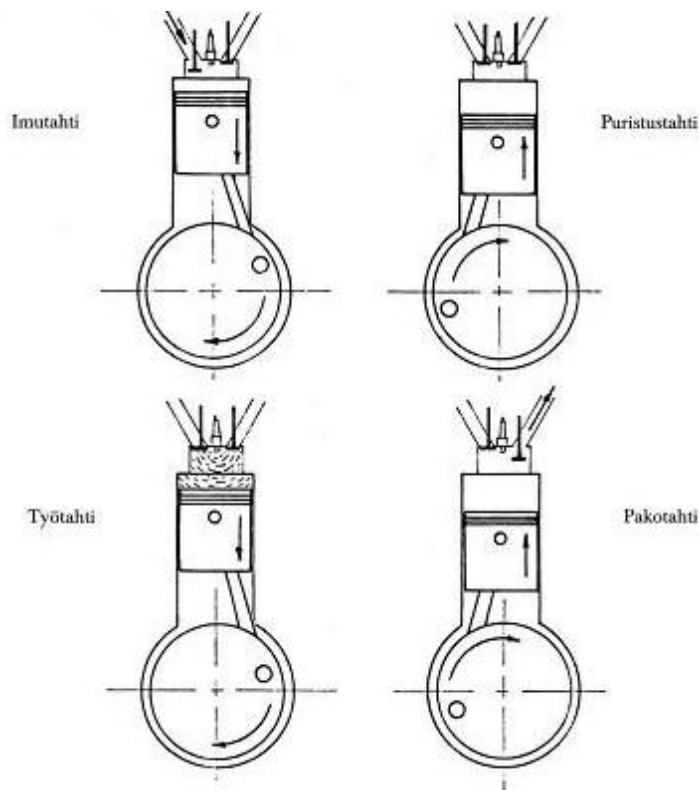
Kaasutinmoottorisen moottoripyörän modifiointi elektroniselle polttoaineen suihkutuselle ei tässä tapauksessa vaadi suuria erikoisjärjestelyjä, koska kyseessä on iäkäs moottoripyörä. Tässä tapauksessa sitä eivät koske uudempien eli 2004 ja siitä eteenpäin ensirekisteröityjen moottoripyörien päästörajat, vaikkakin tässä tapauksessa päästöt oletettavasti pienenevät tarkemman polttoaineseoksen annostelun myötä. Lakitekstiä L-luokan ajoneuvon korjaamisesta ja rakenteen muuttamisesta (1078/2009) tulkittaessa kävi ilmi, että muutoskatsastusta vaativia muutoksia ovat sellaiset, jotka muuttavat rekisteriotteen tietoja, esimerkkinä sylinteritilavuuden kasvattaminen. Muista erikseen mainituista muutoksista, jotka vaikuttavat esimerkiksi ajodynamiikkaan, vaaditaan myös muutoskatsastus.

Polttoaineensuihkutusjärjestelmän rakentaminen on lain puitteissa mahdollista, mutta se vaatii muutoskatsastuksen polttoainejärjestelmän osalta, jotta muutosten voidaan todeta olevan liikennekäytössä turvallisia esimerkiksi polttoaineliitännöiden tiiveyden osalta. Katsastuksen vaatiminen on ymmärrettävää, sillä ruiskujärjestelmän polttoainelinja on täysin erilainen kaasutinjärjestelmään verrattuna jo pelkäs-

tään polttoainepaineen osalta. Tehon mahdollista nousua ei tarvitse erikseen kat-
sastaa, mikäli se ei ylitä 10 %:a mallisarjan tehokkaimpaan moottoriin nähden.

3 MOOTTORIPYÖRÄN POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ

Ottomoottori-nimitystä käytetään yleisesti kaksi- tai nelitahtisista bensiinimoottoreista. Opinnäytetyön kohteena on yksisylinterinen nelitahtimoottori, joten työssä keskitytään pelkästään nelitahtisen moottorin toimintaan. Nelitahtimoottorin neljä tahtia ovat työkierron alusta lähtien imutahti, puristustahti, työtahti ja viimeisenä pakotahti (Kuvio 1). Nelitahtimoottorin työkierto vaatii kaksi kampiakselin täyttä kierrosta (720°) ja taas kaksitahtimoottorissa vain yhden kierroksen (360°). (Bell 1998, 1.10.)



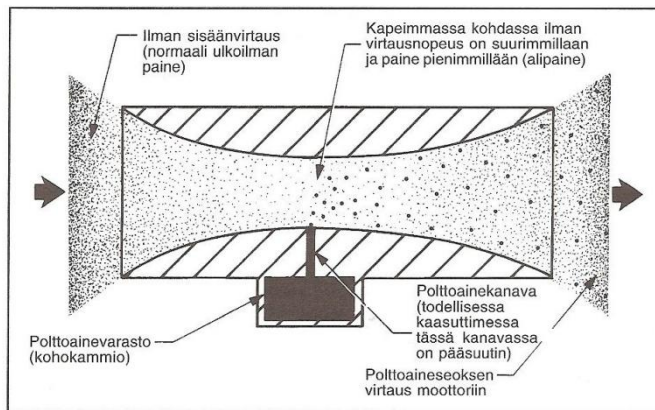
Kuvio 1. Nelitahtimoottorin työkierto (Bell 1998, 1.10).

Imutahdissa mäntä liikkuu alaspäin imuventtiilin ollessa auki, jolloin alipaine imee polttoaineseosta sylinteriin. Imutahdin päättyessä eli männän tullessa alakuolokohdan alkaa puristustahti. Puristustahdin aikana mäntä nousee puristaen samalla polttoaineseosta imu- ja pakoventtiilin ollessa kiinni. Männän saavuttaessa yläkuolokohdan seos sytytetään sytytystulpan kipinällä. (Nunney 2007, 5.)

Paineenalaisen seoksen syttyessä tapahtuu voimakas laajeneminen, joka painaa mäntää alakuolokohtaa kohti. Männän liikkuaessa alaspäin tapahtuu työtahti, joka tuottaa moottorin mekaanisen energian. Kun mäntä saavuttaa alakuolokohdan ja lähtee ylöspäin, alkaa pakotahti. Pakotahdin aikana pakovoventtiili on auki ja mäntä työntää pakokaasun pois sylinteristä. Nyt on suoritettu täydellinen työkierto, jolloin männän liikkuaessa taas alaspäin samalla imuventtiili avautuu ja alkaa uusi kierto. (Nunney 2007, 5.)

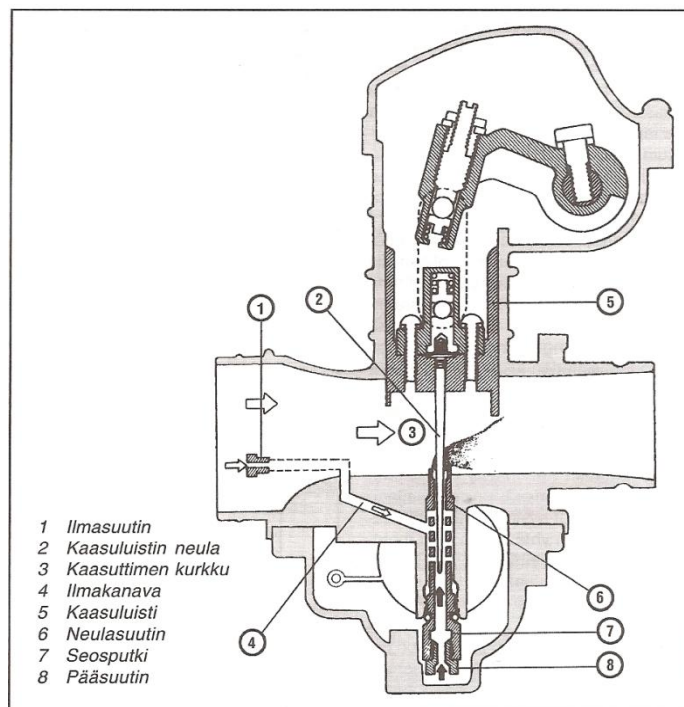
3.1 Kaasutin yleisesti

Moottoreiden valmistuksen alusta asti niitä on varustettu kaasuttimella, jonka tarkoituksena on yksinkertaisesti sekoittaa sopiva ilma-polttoaineseos kulloistakin tarvetta varten. Pelkistetyimmillään kaasutin koostuu kurkusta, jonka keskiosa on kapeampi kuin sen päät (Kuvio 2). Kurkun muoto selittyy fysiikan virtauslaeilla, sen kapeammassa keskikohdassa virtaus on suuri ja paine pieni. Kurkun keskiosaan tulee polttoainekanava kohokammioista, josta alipaine imee polttoaineen pisaroina ilman sekaan. Polttoainekanavan koolla on merkitystä seoksen suhteen eli mitä isompi kanava, sitä enemmän polttoainetta pääsee pisaroitumaan kurkun läpi virtaavan ilmaan sekaan. Myös kohokammiossa sijaitsevalla koholla on oma merkityksensä seokseen, koho pitää polttoainepinnan vakiona eikä pinnanvaihteluita, jotka rikastaisivat tai laihentaisivat seosta, pääse syntymään. Kuvatun kaltainen kaasutin toimisi lähinnä moottorissa, jossa kierrokset ja kuormitus pysyvät vakiona. Käytännössä kaasutin on paljon mutkikkaampi, sillä se tarvitsee tarpeen mukaan säätyviä osia toimiakseen laajalla alueella muuttuvilla kierroksilla ja kuormituksilla. (Mauno 2002, 2.2.)



Kuvio 2. Kaasuttimen periaatekuva (Mauno 2002, 2.2).

Moottoripyörien kaasuttimet ovat yleensä muuttuvakurkkuisia kaasuttimia, joissa vaijerilla liikutettava luisti säätelee portaattomasti kurkun poikkipinta-alaa. On olemassa myös kiinteäkurkkuisella kaasuttimella varustettuja moottoripyöriä, joissa ilmavirtausta kontrolloidaan kaasuläpällä. Ne ovat kuitenkin harvinaisia, joten tässä osiossa keskitytään pelkästään luistikaasuttimeen (Kuvio 3) ja sen toimintaperiaatteeseen.



Kuvio 3. Luistikaasuttimen periaatekuva (Mauno 2002, 2.4).

Polttoainepumppua kaasutinmoottorisissa moottoripyörissä ei tarvita, sillä polttoaine kulkeutuu tankista painovoiman avulla kaasuttimen kohokammioon. Kohokammiossa koho ja neulaventtiili pitävät polttoaineenpinnan oikealla tasolla sulkien ja avaten polttoaineen tulokanavaa tarpeen mukaan. Kohokammioista polttoaine kulkeutuu pääsuuttimeen, jonka virtausta säättää luistin liikettä seuraava kartion mallinen neula. Pääsuuttimesta polttoaine kulkeutuu kurkun kapeimpaan kohtaan ja sekoittuu siellä ilman kanssa. Luistin neula kapenee alaspäin mentäessä. Luistin noustessa ylös neulan ja pääsuuttimen välinen rako suurenee ja polttoaineen virtaus kasvaa. (Mauno 2002, 2.3.)

Tällaisella kaasuttimella saadaan seos säädettyä sopivaksi erilaisille kuormituksille ja kierrosnopeuksille. Erilaisia säätöjä saadaan esimerkiksi luistin neulan muotoa muuttamalla, pääsuuttimen koon muutoksilla ja neulan korkeutta säätämällä. Lisäksi säädöt pitää tehdä kohteena olevan moottorin spesifikaatioiden mukaan, niihin vaikuttaa muun muassa pakoputkiston ja ilmanpuhdistimen virtaus.

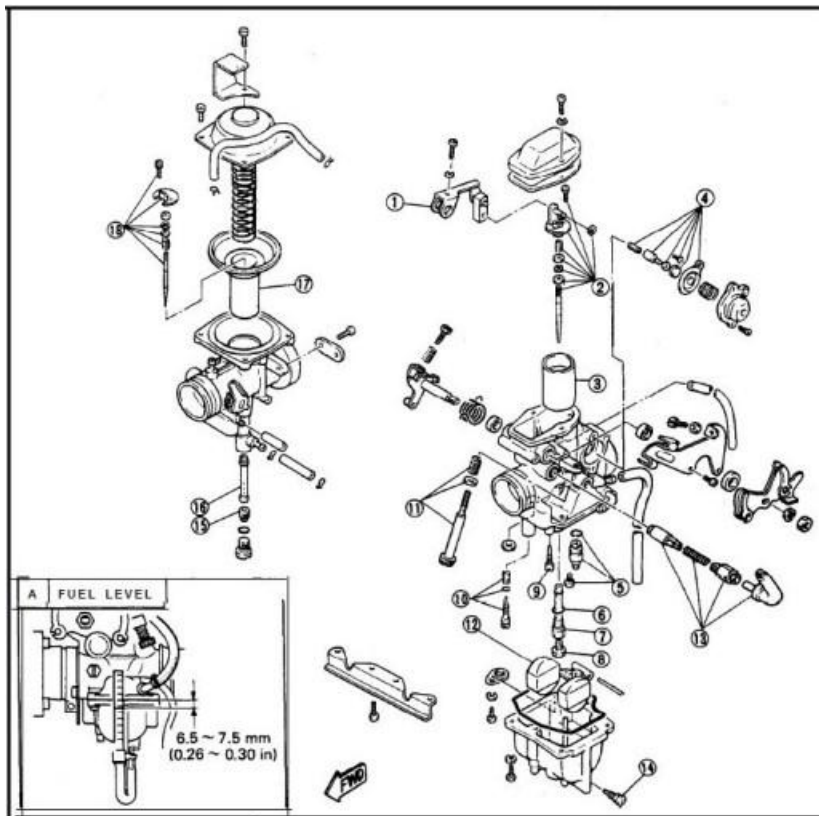
Luistikaasuttimen tyhjäkäyntikäyttö on yleensä ratkaistu erillisellä joutokäyntikanavalla, joka johtaa polttoaineseosta luistin takapuolelle. Luistin takapuolelta polttoaineseos imeytyy moottoriin alipaineen vaikutuksesta. Tyhjäkäyntiseos voidaan säätää kanavassa oleva säätöruuvilla kuhunkin moottoriin sopivaksi. Tällainen ratkaisu on tehty siksi, että luistin alla oleva alipaine on niin pieni, ettei se yksinkertaisesti pysty imemään riittävästi polttoainetta tyhjäkäyntiä varten. (Mauno 2002, 2.6.)

Kylmä moottori tarvitsee käynnistyäkseen rikkaamman seoksen kuin lämmin eli enemmän polttoainetta suhteessa ilman määrään. Seosta rikastetaan joko rajoittamalla imuilman virtausta tai lisäämällä polttoaineen syöttöä. Perinteinen tapa rikastamiseen on käsikäyttöinen vipu, joka painaa kohokammion koho alaspäin nostaen samalla polttoainepintaa. Polttoaineenpinnan noustessa kaasuttimen kurkuun pääsevän polttoaineen määrä lisääntyy ja seos rikastuu. Uudempien moottoripyörien kaasuttimissa on taas yleisesti käytössä käsikäyttöinen tai automaattinen rikastinlappä. Rikastinlappä vähentää moottoriin pääsevän ilman määrää ja aiheut-

taa kaasuttimen kurkkuun suuren alipaineen, jolloin lisää polttoainetta pääsee imeytymään suuttimesta rikastaen seosta. (Mauno 2002, 2.9.)

3.2 Yamaha SRX-6 alkuperäinen kaasutin

Työn kohteena olevassa moottoripyörässä on harvemmin käytetty kaksivaiheinen kaasutin, jossa on kaksi erillistä kaasutinta käyttäen kuitenkin samaa kohokammiota (Kuvio 4). Kaasutin toimii kahdessa vaiheessa. Tasakaasulla ajettaessa vain pienempi kurkku on auki ja täyskaasulla myös isompi kurkku alkaa toimia.



Kuvio 4. Teikei Kikai Y27PVx1 räjäytyskuva (Yamaha Motor Co, 4.1).

Tasakaasulla toimiva kaasutin on tavanomainen vaijeritoiminen luistikaasutin, kun taas toissijainen kaasutin on autokäytöstä tutumpi alipaineella toimiva muuttuvakurkkuinen versio (Kuvio 5). Muuttuvakurkkuisessa kaasuttimessa kurkun poikkipinta-alaa muuttavaa luistia ohjataan moottorin imun alipaineella, siten että mitä

suurempi on moottorin imusarjan alipaine, sitä korkeammalle luistin yllä olevan kammion ohjattu alipaine vetää sitä. Muuten se toimii samoin kuin ensisijainenkin kaasutin eli luistin noustessa alipaineen vaikutuksesta kurkun poikkipinta-ala suurenee ja neulan noustessa luistin mukana myös polttoainetta tulee enemmän suutimesta.



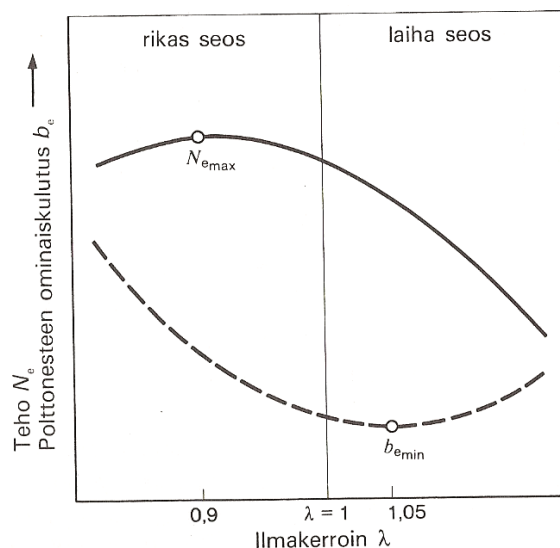
Kuvio 5. Yamaha SRX-6 kaasutin.

3.3 Elektroninen polttoaineensuihutus yleisesti

Moottori tarvitsee toimiakseen sopivan polttoaineesta ja ilmasta koostuvan seoksen, joka on hyvin syttyvä ja palava. Tässä tapauksessa polttoaineesta puhuttaessa tarkoitetaan bensiiniä, maaöljystä jalostettua polttoainetta, joka koostuu likimain kokonaan hiilestä ja vedystä. Jotta bensiini palaisi mahdollisimman suurella hyödyllä, se tarvitsee yhtä kilogrammaa kohti 3,4 kg happea. Ulkoilmassa happea on kuitenkin vain noin 23 %, eli ilmaa tarvitaan 14,7 kg yhtä bensiinikilogrammaa kohden. Stoikiometrinen seossuhde on siis 1:14,7. Rikkaalla seoksella tarkoitetaan seosta, jossa on vähemmän kuin 14,7 kg ilmaa yhtä bensiinikiloa kohti ja laihalla

seoksella taas seosta, jossa on enemmän kuin 14,7 kg ilmaa yhtä bensiinikiloa kohti. (Autoteknillinen taskukirja, 498.)

Vaikka bensiini palaakin parhaiten stoikiometrisellä seossuhteella, sillä ei saavuteta parasta hyötyä moottorin toiminnan kannalta, vaan seosta pitää muuttaa tilanteen mukaan (Kuvio 6). Ajettaessa osakuormalla käytetään laihempaa seosta, jolloin kulutusta saadaan pienemmäksi. Moottorin täyttä tehoa haluttaessa käytetään rikkaampaa seosta ja samalla tavalla seosta rikastetaan esimerkiksi moottoria käynnistettäessä. (Bell 1998, 7.1.)



Kuvio 6. Seossuhteen verrannollisuus tehoon ja polttoaineen kulutukseen (Mauno 1992, 7).

Yksipistesuihkutuslaitteistossa on vain yksi suutin, jonka kautta polttoainetta annostellaan moottorin kaikille sylintereille. Suutin sijaitsee ennen imusarjaa olevassa suihkutussyksikössä kaasuläpän yläpuolella, josta sen muodostama seos jakautuu sylintereille. Kyseinen sovellus ei ole paras mahdollinen, mutta ajaa asiansa perusmoottoreissa, joissa ei haeta suurta tehoa vaan kohtuuhintaista ja toimivaa konstruktiota. Yksipistesuihkutus on kuitenkin edistyksellinen seoksenmuodostukseltaan kaasuttimeen verrattuna. Kuvatunlaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi Bosch Mono-Motronic. (Bell 1998, 7.2.)

Edellistä parempi tapa suihkutussuutinten sijoittamiseen on laittaa jokaiselle sylinterille oma suutin joko imusarjaan tai sylinterikannen imupuolen kanavaan. Tällaista ratkaisua kutsutaan nimellä monipistesuihkutus (Kuvio 7). Kun jokaisella sylinterillä on oma suutin, saadaan joka sylinterille tarkasti oikea määrä polttoainetta ja palotapahtumasta tulee halutunlainen. (Bell 1998, 7.2.)

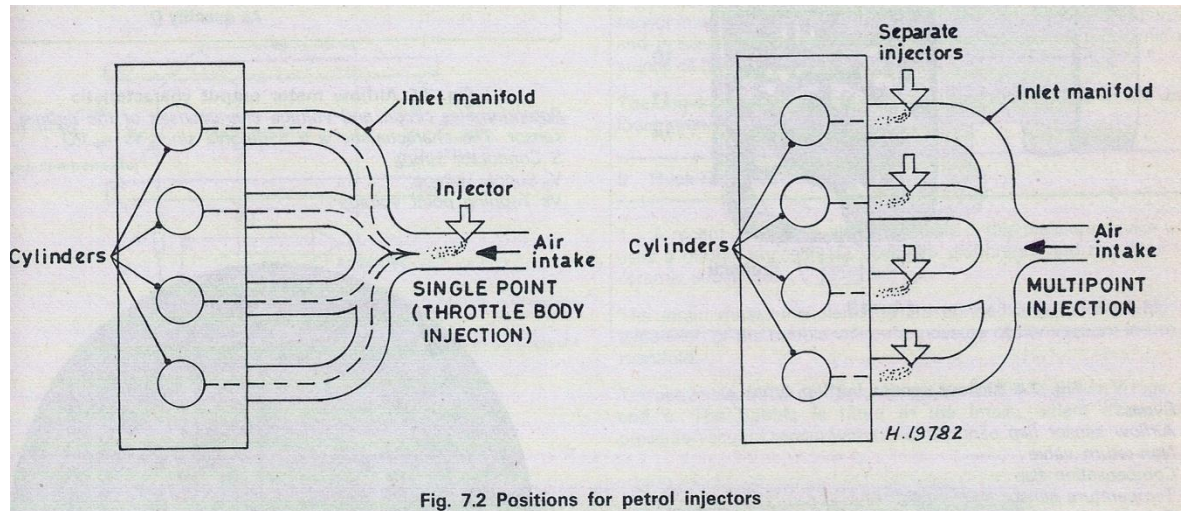


Fig. 7.2 Positions for petrol injectors

Kuvio 7. Yksi- ja monipistesuihkutussuuttimien sijoitus imusarjassa (Tranter 1995,135).

Suihkutustapoja on kaksi erilaista: samanaikainen ja vuorottainen. Samanaikaisessa suihkutuksessa kaikki suuttimet suihkuttavat polttoainetta aina samaan aikaan, kaksi kertaa työkierron aikana eli kerran per kampaikselin kierros. Tästä seuraa väistämättä se, että polttoainetta suihkutetaan myös niille sylintereille, jotka eivät ole imutahdissa. Samanaikainen polttoaineensuihkutus ei siis ole paras tapa, mutta se on yksinkertainen ja verraten halpa suihkutustapa. Siinä voidaan käyttää pienempiä suuttimia, koska suihkutusta tapahtuu kaksi kertaa työkierron aikana. Tällöin saadaan pienempi polttoaineen pisarakoko kuin isommilla suuttimilla ja seoksenmuodostus paranee. Ohjainlaite on usein ohjelmoitu suihkuttamaan vain kerran työkierron aikana, jos moottorin kuormitus ja kierrokset ovat pieniä, jolloin myös suihkutussuuttimien toiminta on tarkempaa, koska aukioloaika ei jää liian lyhyeksi. (Bell 1998, 7.23.)

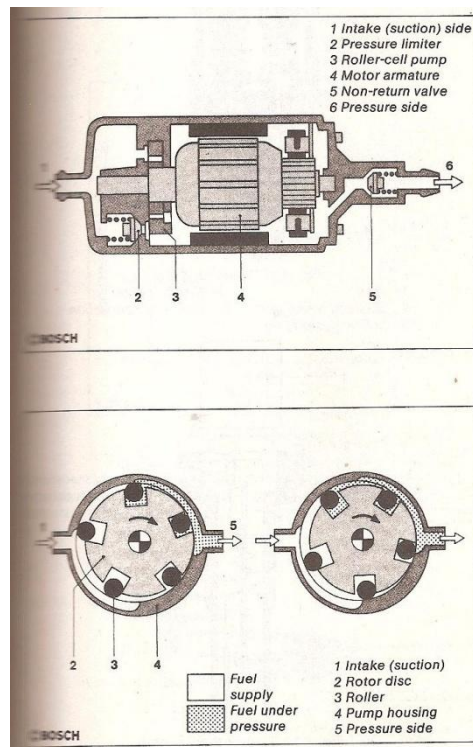
Vuorottaisessa suihkutuksessa kaikki suuttimet suihkuttavat polttoainetta eri aikaan eli työkierron aikana vain yksi suutin suihkuttaa ja suihkutusta tapahtuu kulloinkin imutahdissa olevaan sylinteriin. Suuttimet on yleensä ohjelmoitu avautumaan hieman ennen imuventtiilin avautumista, jotta se ehtii suihkuttamaan tarpeellisen polttoainemäärän. Näin ollen suuttimet voidaan pitää pienikokoisena, jotta polttoaine pisaroituu pienemmäksi ja seoksenmuodostuminen paranee. (Bell 1998, 7.24.)

3.4 Polttoainelinjan komponentit

Suihkutusjärjestelmä koostuu kolmesta osasta: polttoaine-, ilma- ja sähköjärjestelmästä. Polttoainejärjestelmään kuuluvat polttoaineen siirtopumppu, korkeapainepumppu, paineensäädin, suuttimet ja suodatin. Ilmajärjestelmään taas kuuluvat kaasuläppäkotelo ja lisäilmaventtiili. Sähköjärjestelmään lasketaan kuuluviksi ohjainyksikkö ja sen tarvitsemat anturit.

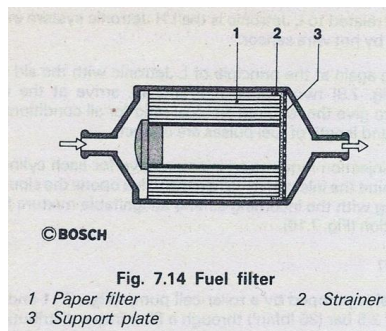
Polttoainelinjan ensimmäinen lenkki on polttoaineen siirtoon tarvittava siirtopumppu, joka on järjestelmästä riippuen joko polttoainetankin sisällä tai sen välittömässä läheisyydessä. Nykyisissä järjestelmissä se on lähes poikkeuksetta tankin sisäinen. Tankin sisäisen pumpun etuihin voidaan lukea hyvä jäähdytys, mutta toisaalta se on huollon kannalta hankalampi kuin tankin ulkopuolella sijaitseva pumppu. Suuttimien tarvitseman paineen tuottamiseen käytettävä korkeapainepumppu on poikkeuksetta sähkötoiminen. Ohjainlaite ohjaa pumpulle menevää virtaa, jottei pumppu pyöri jatkuvasti täydellä teholla esimerkiksi tasakaasulla ajettaessa. Pumpun on oltava oikein mitoitettu järjestelmää varten, jotta siinä on kaikissa tilanteissa sopiva tuotto tarpeeseen nähden. Näin saadaan varmistettua, ettei polttoaineputkiston paine pääse laskemaan missään tilanteessa. Joissakin järjestelmissä käytetään polttoaineen välisäiliötä, jonka täyttämistä huolehtii polttoaineen siirtopumppu. Korkeapainepumppu (Kuvio 8) imee polttoaineen välisäiliöstä, jonka tarkoituksena on estää ilman imeytyminen polttoainelinjastoon

esimerkiksi mutka-ajossa polttoaineen siirtyessä reunasta reunaan varsinaisessa tankissa. (Bell 1998, 7.31.)



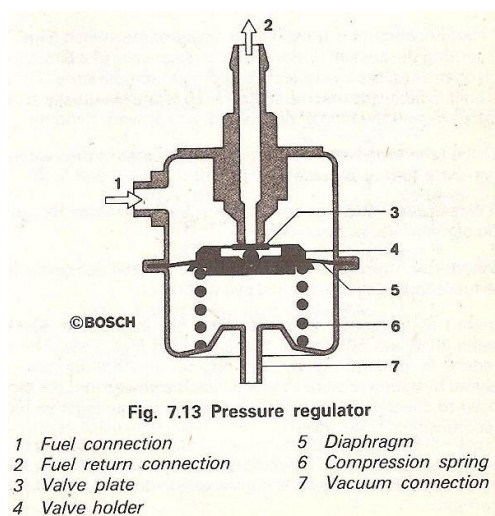
Kuvio 8. Polttoainepumpun halkileikkaus (Tranter 1995, 139).

Polttoainepumpusta seuraava osa on polttoainesuodatin (Kuvio 9), joka pitää roskat poissa polttoainelinjasta ja suuttimista. Suodattimen pitää olla tarpeeksi suuri, jotta se ei vastusta polttoaineen virtausta ja lisäksi suodatuskyvyn pitää olla hyvä. Suodatin koostuu metallisesta rungosta ja paperisuodattimesta, jonka suodatuskyky on noin 10 μm eli läpimitaltaan 0,01 millimetriä suuremmat hiukkaset eivät läpäise suodatinta. Jottei suodatin pääse tukkeutumaan, se tulee vaihtaa säännöllisesti. Tällä minimoidaan mahdollisuudet suodattimen tukkeutumiseen ja polttoaineensaantiongelmiin. (Tranter 1995, 140.)



Kuvio 9. Polttoainesuodatin (Tranter 1995, 140).

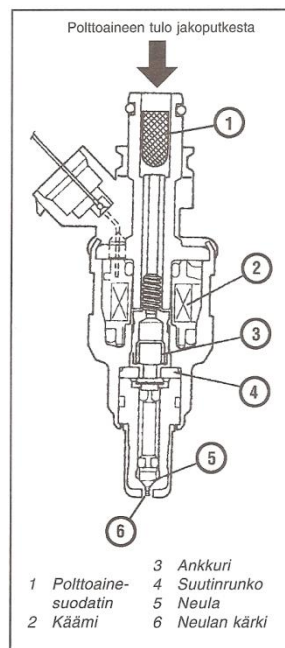
Suodattimelta polttoaine kulkeutuu polttoaineen jakotukkiin ja sieltä paineensäätimelle (Kuvio 10), joka sijaitsee yleensä polttoaineenjaketukin päässä. Sen tarkoituksena on pitää suuttimille tuleva polttoaineen paine suhteessa imusarjan paineeseen tasaisena ohjaamalla polttoaineen paluukiertoa. Paineensäädin on rakenteeltaan yksinkertainen, siinä on kaksi kammiota, joiden välissä on jousikuoritteinen kalvo. Toiseen kammioon vaikuttaa polttoaineen paine ja toiseen imusarjan alipaine. Kalvo liikkuu paineen vaihteluiden vaikutuksesta ja tilanteesta riippuen polttoainetta johdetaan paluulinjaa pitkin takaisin polttoainesäiliöön. Johtuen suurituottoisesta polttoainepumpusta paluuvirtausta tapahtuu jatkuvasti jopa täyskaasulla. Jatkuvasta polttoaineen vaihtuvuudesta on hyötyä, sillä se ei pääse lämpiämään liiaksi ja höyrystymään (höyrylukon mahdollisuus), koska tankista virtaa koko ajan viileää polttoainetta. (Bell 1998, 7.29.)



Kuvio 10. Polttoaineenpaineensäädin (Tranter 1995, 139).

Polttoaineenpaineella on tärkeä osuus suuttimien toiminnan kannalta, koska polttoaineensyöttö on suunniteltu toimimaan tietyllä paineella. Ohjainlaitteeseen on asetettu suuttimien virtaus tietyllä paineella, mikäli virtaus muuttuu, se vaikuttaa myös suutinten virtaukseen. Kun painetta pienennetään, suuttimien virtaus pienenee ja seos muuttuu laihaksi. Painetta nostettaessa taas virtaus kasvaa ja seos rikastuu. Kummassakin tapauksessa moottorin toiminta heikkenee ja ohjainlaite joutuu korjaamaan seosta lambda-anturilta saatujen tietojen mukaan. (Banish 2009, 44.)

Polttoaineen viimeinen etappi ennen palamista on suihkutussuuttimet (Kuvio 11). Suuttimet ovat periaatteeltaan solenoidi- eli magneettiventtiileitä, jotka ovat kiinni, kunnes saavat ohjainlaitteelta pulssin ja avautuvat suihkuttaen polttoaineen imusarjaan. Suutin koostuu rungosta, neulasta, käämistä ja käämin sisällä liikkuvasta ankkurista. Kun käämissä ei kulje virtaa, jousi pitää suuttimen neulaa tiukasti istukassa pitäen polttoaineen takanaan. Ohjainlaitteen lähettäessä suuttimelle pulssin, käämi magnetoituu ja vetää ankkurin sisäänsä. Tällöin neula vetäytyy istukasta ankkurin mukana ja polttoaine pääsee suuttimen läpi. (Bell 1998, 7.4.)

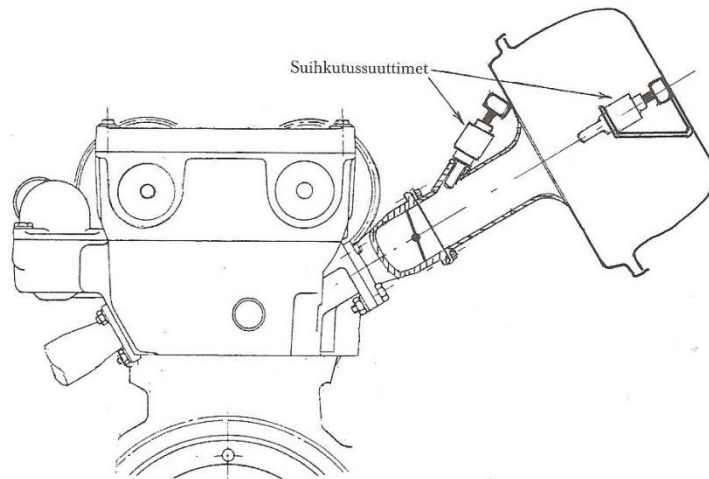


Kuvio 11. Suihkutussuutin (Mauno 2002, 2.26).

Eräs tärkeä asia moottorin toiminnan kannalta on suuttimien käyttösuhteen mitoitus eli suuttimien auki- ja kiinnioloajan suhde. Kun suuttimen käyttösuhde on 100 %, se on koko ajan auki ja käyttösuhteen ollessa 0 %, se on koko ajan kiinni. Esimerkiksi 65 % käyttösuhteella, suutin on sadan sekunnin ajanjaksolla 65 sekuntia auki ja 35 sekuntia kiinni. 100 % käyttösuhdetta on vältettävä, koska jos suutin koko ajan auki niin se ylikuumenee ja suihkutuspää vääristyy, lisäksi suutin saattaa rikkoutua käyttökelvottomaksi. Suuttimet pitääkin mitoittaa niin, että ne eivät kierrosten ja kuormituksen ollessa korkeitakaan, ole koko ajan auki. Suuttimien maksimikäyttösuhteen ohjearvona voidaan Bellin mukaan pitää 85 %. (Bell 1998, 7.27.)

Normaalisti suuttimet ovat imusarjan loppupäässä lähellä sylinterikantta, josta ne suihkuttavat polttoaineen melkein suoraan imukanaviin. Tämä auttaa seosta muodostumaan hyvin palavaksi, koska polttoaine suihkutetaan lähelle kuumia imuventtiilejä. Tällainen sijoitus parantaa moottorin ominaisuuksia pienillä kierroksilla ja kuormituksilla, joka on katukäytössä toivottavaa. (Bell 1998, 7.14.)

Kilpakäyttöä varten on erilaisia sovellutuksia, joissa ei niinkään haeta käytettävyyttä vaan maksimaalista tehoa. Seuraavia sovellutuksia käytetään vain vuorottaisella suihkutustavalla. Tällainen tapa on esimerkiksi sijoittaa suuttimet erillisimusarjaa käytettäessä mahdollisimman kauas sylinteristä ennen kaasuläppiä. Näin saadaan pidennettyä seoksen muodostumisaikaa, pienennettyä polttoaineen pisarakokoa ja samalla jäähdytettyä imuilmaa. On olemassa myös kaksisuutinjärjestelmiä (Kuvio 12), joilla saavutetaan molempien sijoitustapojen hyödyt ja voidaan käyttää kahta pienempää suutinta yhden ison sijaan. Pienemmillä suuttimilla pisarakoko ei kasva liian suureksi ja haittaa seoksen muodostumista. Näin saadaan tehoaluetta laajemmaksi ja moottori on vähemmän jyrkkä tehon suhteen. (Bell 1998, 7.15.)



Kuvio 12. Kaksisuutinjärjestelmän periaate (Bell 1998, 7.16).

3.5 Ilmajärjestelmän komponentit

Palotapahtumaan tarvitaan polttoaineen lisäksi ilmaa, jonka määrää pitää kontrolloida kaasuläppäkotelossa sijaitsevalla kaasuläpällä. Läppäkotelo on kiinnitetty imusarjan päälle ja ilma virtaa sen läpi. Läppäkotelo ei muodosta seosta vaan säätelee ainoastaan moottoriin imettävän ilman määrää. Ilman määrän mukaan määräytyy myös moottorin käyntinopeus ja teho. Kotelossa on läpän, yleisesti käytetään yhtä läppää, tai läppien lisäksi joutokäyntikanava. Joutokäyntikanava ohittaa kaasuläpän ja päästää ilmaa moottoriin kaasuläpän ollessa kiinni. Sen johtaman ilman määrää voidaan säätää siihen vaikuttavasta joutokäynnin säätöruuvista. Lisäksi kaasuläppäkotelosta löytyy lisäilmaventtiili, joka ohittaa kaasuläpän kun moottori on kylmä ja nostaa käyntinopeutta. Lisäilmaventtiilin asentoa ohjataan nestejäähdytteisessä moottorissa jäähdytinnesteen lämmöllä tai lämmitettävällä bimetalli-kierukalla. (Bell 1998, 7.3.)

3.6 Ohjainlaite ja anturointi

Polttoaineen ja ilman sekoittumista tarvitaan ohjaamaan elektroninen ohjausyksikkö eli ECU, josta muun muassa Yhdysvalloissa käytetään nimitystä ECM. Usein

ECU ohjaa myös sytytystä mutta sytytyksen ja ruiskun ohjaukset voivat olla myös erillään, jolloin ne kuitenkin toimivat yhdessä. Ohjainlaitteelle tulee tietoja eri antureilta, joiden mukaan se muokkaa toimintaansa kulloisenkin tarpeen mukaan ja siten osaa asettaa oikeanlaiset aukioloajat (suihkutusmäärät) suuttimille ja lähettää niille ohjauspulssin. Ohjainyksikkö on oikeastaan pienoistietokone, johon on ohjelmoitu monenlaisiin tilanteisiin sopivia suihkutussuureita. Ohjelmointi on suoritettu ajamalla dynamometrillä eri kuormitustilanteissa ja esimerkiksi lämpötiloissa. (Bell 1998, 7.4.)

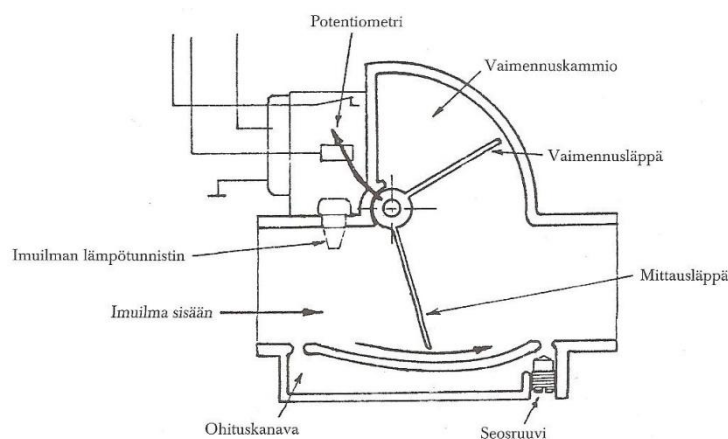
Ohjain tarvitsee erilaisia anturitietoja, joilla se säätelee polttoaineen suihkutushetkeä ja määrää. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi moottorin pyörintänopeus, kaasuläpän asento ja moottorin lämpötila. Ohjainlaitteelle tietoja välittävät anturit muuttavat mitattavansa tiedot sähköiseen muotoon, jota ECU osaa käsitellä. Esimerkiksi imuvarjainpaineanturi ilmoittaa paineen muutokset jännitteen muutoksina.

Moottorin lämpötila-anturi välittää tiedon moottorin lämpötilasta, jotta ECU tietää milloin moottori on normaalissa käyttölämpötilassa ja sen mukaan vähentää polttoaineen suihkutusta eli laihentaa seosta. Lämpötila-anturi sijaitsee yleensä moottorin lohossa ja mittaa jäähdytysnesteen lämpötilaa. Kun anturi mittaa riittävän korkean lämpötilan, rikastus kytketään pois. Ilmajäähdytteisissä moottoreissa se sijaitsee useasti sylinterinkannessa, ja se mittaa pelkän kannen materiaalin lämpötilaa. Anturi on yleensä NTC-vastus, joka lämmitessään pienentää resistanssiaan ja lähettää ohjainlaitteelle tiedon lämpötilasta ohmeina. Resistanssi voi olla esimerkiksi kylmässä moottorissa 10000 ohmia ja normaalissa käyttölämpötilassa alle 300 ohmia. Toimiva lämpö-anturi on tärkeä moottorin toiminnan kannalta, mikäli anturin virtapiirissä on oikosulku, siinä ei ole juurikaan resistanssia ja seosta ei kylmänä rikasteta. Virtapiirin katkos taas aiheuttaa jatkuvan suuren resistanssin ja seos on moottorin lämmitettyäkin rikas, mikä näkyy muun muassa polttoaineenkulutuksen nousuna. (Bell 1998, 7.1. ; 7.9.)

Ilman tiheys on lämpötilan mukaan muuttuva suure, kuumana pienempi ja kylmänä suurempi. Tätä ilmiötä varten tarvitaan imuilman lämpötila-anturi. Mikäli tätä

anturia ei olisi käytössä, seos jäisi kylmällä säällä normaalia laihemmaksi ja lämpimällä säällä rikkaammaksi. Itse anturi on hyvin samanlainen kuin moottorin lämpötilaa mittaava anturi eli se toimii vastus-periaatteella ja tuottaa lämpötilatiedon ohmeina, sillä vastuksen resistanssi muuttuu lämpötilan mukaan. (Bell 1998, 7.6.)

Moottorin kuormitustasoa mittaamaan on kehitetty ilmamäärämittari, joka tuottaa tiedon kuormituksesta mittaamalla lävitseen virtaavan imuilman määrän. Ilmamäärämittareita on olemassa monenlaisia, yleisimpiä niistä ovat läppämittari (Kuvio 13) ja kuumalankamittari, sekä vortex-mittari. Läppäperiaatteella toimivassa mittarissa kantavana ideana on tarkkaan kalibroidun jousen sulkema läppä ja potentiometri. Mittariin kuuluu imuilmanlämpötila-anturi, jonka avulla saadaan selville ilman tiheys. Mittarin läpi virranneesta ilman tilavuusvirrasta ja tiheydestä ohjainlaite laskee ilman massavirran. Moottorin imemä ilma painaa läppää josta vasten sen mukaan mitä enemmän ilmaa imetään ja läpän akseli liikuttaa potentiometriä, joka välittää ohjainlaitteelle imuilman määrän jännitteen muutoksina. Mittauksen tarkkuuden takia on tärkeää, ettei jousen kuormittama läppä pääse värähtelemään imuventtiilien avautumisen aiheuttaman pulssimaisen virtauksen vuoksi. Mittaavan läpän takana onkin tämän takia toinen läppä vaimentamassa värähtelyä. (Bell 1998, 7.6.)



Kuvio 13. Läppätyyppinen ilmamäärämittari (Bell 1998, 7.6).

Imuilmavirran massavirtaa mittamaan on kehitetty kuumalankamittari, jossa ei ole lainkaan läppiä, vaan nimensä mukaisesti hyvin kuumaksi lämmitetty platinalanka.

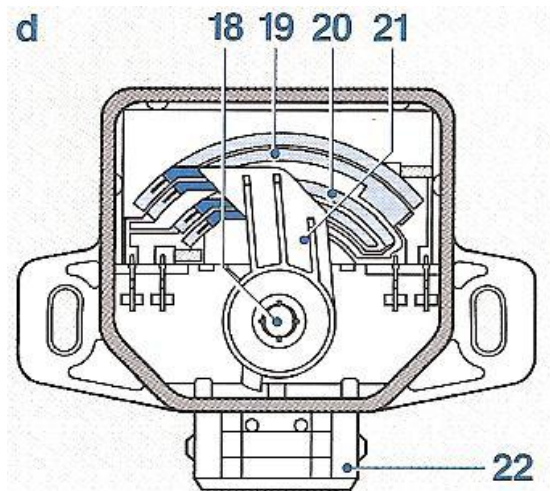
Yksinkertaistettuna mittari on putki, jonka sisällä on sähköisesti lämmitettävä lanka ja lankaa suojaamassa metalliritilät, sillä lanka on hyvin herkkä katkeamaan ohuutensa takia. Mittaus tapahtuu sillä periaatteella, että lanka pidetään koko ajan vakio-lämpötilassa ja imuilma jäädyttää sitä kulkiessaan mittarin lävitse. Langan lämmitykseen pitää käyttää aina sitä enemmän sähkövirtaa mitä enemmän ilmaa kulkee moottoriin, ilman määrä luetaan siis lämmitykseen käytettävän virran määrästä. (Bell 1998, 7.7.)

Moottorin kuormitusta mittaa myös vortex-mittari, joka mittaa ilmamäärää ilmavirran pyörteilystä. Mittari koostuu ilman suuntaamiseen käytettävästä kennosta, joka johtaa ilman pyörteyttäjään. Pyörteyttäjä on suunniteltu niin, että pyörteily ei ole sattumanvaraista vaan aina samanlaista. Ilmavirran ohittaessa pyörteyttäjän syntyy vastakkaisiin suuntiin virtaavia ilmassojen pareja. Mittaaminen tapahtuu mittaamalla pyörreparien määrä per aikayksikkö ultraäänilähettimeillä ja vastaanottimella. Moottorin kuormitus määritetään tässä tapauksessa pyörteistä aiheutuvien sähköpulsseiden taajuudesta. (Bell 1998, 7.7.)

Ilmamäärämittari voidaan korvata MAP-anturilla (Manifold Absolute Pressure), joka mittaa samaa suuretta eli moottorin kuormitusta eri tavalla. Se ei siis mittaa moottorin imuilman määrää, vaan vertaa imusarjan painetta ympäröivään ilmanpaineeseen. Anturi sijaitsee imusarjassa tai ohjainlaitteessa sisäänrakennettuna, jolloin siihen tarvitsee vain johtaa alipaineletku imusarjalta. Nykyaikaisissa järjestelmissä käytetään usein pietsosähköisiä paineantureita, joilla pystytään mittaamaan paineen muutoksia suurella taajuusalueella. Anturissa on pietsokiteeseen kiinnitetty kalvo, jonka läpi johdetaan jännite. Kun kalvoon vaikuttaa paine, pietsokiteen resistanssi muuttuu ja jännitteen muutos kertoo ohjainlaitteelle paineen määrän. (Bell 1998, 7.7; Robert Bosch Pty Ltd 2013a.)

Ilman pääsyä moottoriin on säätelemässä kaasuläppä, jonka asento ohjainlaitteen pitää tietää. Kaasuläpänasentoanturi (TPS) (Kuvio 14) sisältää potentiometrin, johon kaasuläpän akselin liike vaikuttaa muuttaen sen resistanssia. Potentiometrin läpi johdetaan jännite, jonka muutoksista ohjainlaite saa tiedon kaasuläpän asen-

nosta. Potentiometrillä kaasuläpän asento saadaan määritettyä tarkasti, mutta on käytössä myös sellaisia antureita, joissa on ääriasennoissa kärkiparit (Joutokäynti ja täyskaasu). Tyhjäkäynnillä joutokäynnin kärkipari on kiinni, täyskaasulla täyskaasun kärkipari puolestaan kiinni ja välialueella molemmat ovat auki. Tämänkin perusteella ohjainlaite pystyy säätämään seosta, muttei yhtä tarkasti kuin potentiometriä käytettäessä. (Bell 1998, 7.9.)



Kuvio 14. Potentiometrityyppinen kaasuläppäanturi (Bauer 2003, 14).

Käyntinopeusanturin tieto moottorin pyörintänopeudesta ja kampiakselin asennosta voi tulla ohjainlaitteelle joko virranjakajan tunnistimelta tai suoraan kampiakselilta. Kampiakselilla tunnistin sijaitsee joko etupään hihnapyörässä tai takapään vauhtipyörässä. Anturi on yleensä induktioanturi, joka määrittää pyörintänopeuden kampiakselin pyörittämän hammaspyörän pyörimisestä. Hammaspyörässä on tasavälein hampaat, jotka ohittaessaan anturin aiheuttavat anturiin indusoituvan sähköpulssin. Näiden sähköpulssien mukaan ohjainlaite laskee pyörintänopeuden. Samalla hammaspyörällä on usein myös kammenkulma-anturi, joka indusoituu kun hammaspyörän ajoitustappi tai poraus ohittaa sen pyöriessään. Yksi kampiakselin kierros tuottaa vain yhden sähköpulssin kammenkulma-anturiin, joka auttaa sytytyksen ohjausta määrittämään sytytyshetkeä. Nämä kaksi anturia voivat olla myös yhdistettynä, jolloin ne määrittävät pyörintänopeuden ja kammenkulman niitä varten tehdyltä triggeripyörältä. (Mauno 1992, 180; Autoteknillinen taskukirja 2003, 534.)

Moottorinohjaus tarvitsee lambda-anturin (Kuvio 15) pystyäkseen tarkkailemaan palotapahtuman lopputulosta. Lambda-anturilla tutkitaan palotapahtuman onnistumista eli sen stoikiometrisyyttä, tämä saadaan selville mittaamalla pakokaasuista jäännöshapen määrä. Pakokaasun hapen määrä on suoraan verrannollinen polttoaineseoksen ilmamäärään eli mikäli ilmaa on enemmän kuin polttoainetta, lopputuloksena on laiha seos ja toisinpäin taas rikas seos. Lambda-anturi vaatii toimiakseen riittävän lämpötilan, joka on noin 315 celsiusastetta ja tästä johtuen anturi lämmitetään käyttölämpötilaan sähkövastuksella. Esilämmityksellä saavutetaan se hyöty, että lambda-anturi alkaa toimia nopeammin kylmässä moottorissa. Anturin mittaava osa on sijoitettu pakoputken sisälle ja sen sisältämä elektrolyytti tuottaa muutoksen jännitteessä pakokaasun jäännöshapen määrän mukaan. Ohjainlaite saa anturin signaalin perusteella pakokaasun koostumuksen selville ja osaa säätää seossuhdetta tarpeen mukaan. (Bell 1998, 7.9.)

Moottorinohjauksessa voidaan käyttää lambda-anturin lisäksi myös pakokaasun lämpötilamittausta. Pakokaasun lämpötilasta ohjainlaite voi päätellä palotapahtuman onnistumista mutta pelkästään sen tuottama tieto ei riitä seoksen säätämiseen. Pakokaasun lämpötila on korkeimmillaan kun poltettava seos on stoikiometrinen ja sen lämpötila laskee kun siirrytään rikkaampaan tai laihempaan seokseen. Lämpötilaan vaikuttaa myös sytytyksen ajoitus, sillä väärällä sytytyksen ennakkolla lämpötila kasvaa. Pakokaasun lämpötilamittausta käytetään yhdessä lambda-anturin kanssa seoksen ja sytytyksen säätöön, jolloin ohjainlaite voi optimoida ne kullekin ajotapahtumalle sopivaksi, pitäen pakokaasun lämpötilan turvallisella tasolla. Lämpötilaa mittaamaan käytetään termoparianturia, joka koostuu kahdesta toisiinsa liitetystä metallista. Mittaus perustuu metallien väliseen jännitteeseen, joka kasvaa kun toinen niistä altistetaan lämmölle ja toinen pidetään vertailulämpötilassa. Lämpötila määritetään jännite-erosta, joka saadaan selville kyseisen termoparin jännitteen lämpötilariippuvuudesta. (Sanderson 2008.)

Lambda-anturissa on zirkoniumdioksidista ja ytriumdioksidista muodostettu keraaminen elektrolyytti, jonka tarkoitus on pitää pakokaasu erillään ympäröivästä ilmasta. Keraamisen elementin ulko- ja sisäpinnalla on platinaelektrodi, joista sisä-

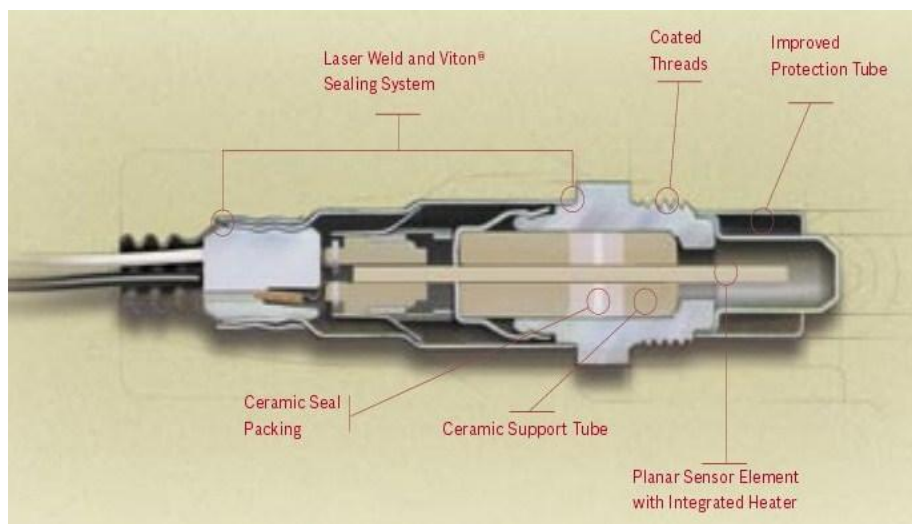
pinnalla oleva elektrodi on suojattu kaasua läpäisevällä keraamisella suojalla ja rei'itetyllä metalliputkella. Anturin toiminnan periaatteena on elektrodien välissä sijaitseva keraaminen elektrolyytti, joka johtaa happi-ioneja lämpötilan ollessa tarpeeksi korkea. Kun anturi on käyttölämpötilassa sisä- ja ulkopinnan elektrodien happipitoisuuden ero tuottaa keraamisen elektrolyytin läpi kulkevan sähkövirran, jolloin tästä sähkövirrasta voidaan päätellä pakokaasun jäännöshapen määrä ja säätää seosta sen mukaan. Kiinteän elektrolyytin läpi kulkeva jännite on rikkaalla seoksella luokkaa 800–1000 mV ja laihalla taas noin 100 mV. (Juhala, Lehtinen, Suominen & Tammi 2005, 168.)

Ulko- ja sisäpinnan elektrodien välissä oleva kerros voidaan toteuttaa titaniumdioksidista paksukalvotekniikalla, jolloin saadaan aikaiseksi nopeasti happipitoisuuden kanssa tasapainotilan saavuttava huokoinen puolijohdekerros. Tällaisen puolijohdekerroksen sähkönjohtavuus muuttuu sitä ympäröivän kaasun happipitoisuuden mukaan eli sen resistanssi joko kasvaa tai pienenee. Jäännöshapen määrän mittausta tapahtuu johtamalla elektrodeille jännite, josta titaniumdioksidikerroksessa tapahtunut jännitehäviö mittaamalla saadaan selville lambda-arvo. (Juhala ym. 2005, 168.)

Vanhemman tyyppistä, esimerkiksi 1990-luvulla käytettyä, lambda-anturia tarkempi pakokaasun jäännöshapen mittausta ja säätö saadaan aikaan laajakaistalambda-anturilla. Laajakaistalambda-anturilla on nimensä mukaisesti laaja mittausskala, erittäin laihasta seoksesta ja jopa ulkoilmasta, aina lambda-arvon 0,7 omaavaan rikkaaseen seokseen asti. Kattava mittausskala mahdollistaa jatkuvan lambdasäädön poiketen tavallisen lambda-anturin rikas-laiha-säädöstä. Jatkuvalla lambdasäädöllä saadaan tarkemmat mittaukset moottorin ohjainlaitteelle ja sen myötä tarkemmat ja nopeammat säädöt moottoriin syötettävälle seokselle. (Lehtinen & Rantala 2012, 212.)

Laajakaistalambda-anturi on kaksikennoinen anturi, joka koostuu zirkoniumoksiditunnistimesta ja virtarajoitteisesta tunnistimesta. Virtarajoitteisen tunnistimen toiminta perustuu zirkoniumdioksidikennon pinnoilla oleville elektrodeille johdettuun

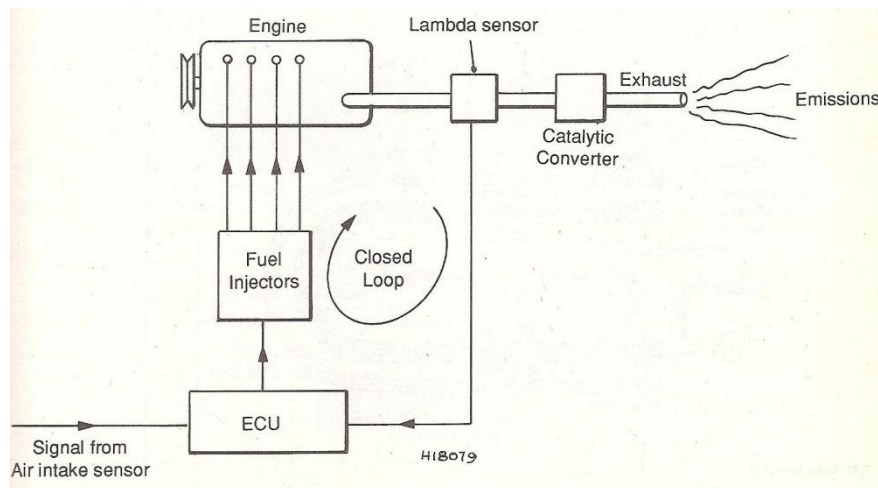
ulkoiseen jännitteeseen, joka pumppaa happi-ioneja katodilta anodille. Diffuusiovallin estäessä pakokaasun sisältämän hapen siirtymisen katodille saavutetaan tilanne, jossa tietty sähkövirta on kyllästymistilassa eli pakokaasun sisältämä hapen määrä on verrannollinen virran raja-arvoon. Elektroninen ohjainlaite muuttaa anturin pumppauskennon jännitettä pitäen mittauskennon kaasun koostumukseltaan vakiona, jolloin kenno pumppaa happea joko sisään tai ulospäin tarpeen mukaan. Anturin kokonaisjännite on virtausrajoitteisen tunnistimen ja zirkoniumdioksidikennon jännite yhteenlaskettuna kun virtarajoitteisen anturin anodille johdetaan ilmaa. Edellä mainitussa tilanteessa seos on laiha kun taas stoikiometristä seosta lähestyttäessä virtausrajoitteisen anturin jännite lähenee nollaa ja seoksen mennessä rikkaalle jännite muuttuu negatiiviseksi. (Juhala ym. 2005, 169.)



Kuvio 15. Lambda-anturin halkileikkaus (Robert Bosch Pty Ltd 2013b).

Seosta ei aina säädetä pakokaasun jäännöshappiarvon perusteella vaan myös pelkästään ruiskujärjestelmän muiden anturien tuottamilla tiedoilla. Tämä on tarpeellista siksi, että kaikissa moottorin käyttötilanteissa stoikiometrinen seos ei ole ideaalinen käytettävyyden kannalta. Jokapäiväisessä käytössä on ajotilanteita, joissa tarvitaan rikkaampaa seosta. Näihin lukeutuu esimerkiksi moottorin kylmäkäyttö, jossa seosta rikastetaan moottorin häiriöttömän käynnin saavuttamiseksi. Rikkaampaa seosta vaaditaan myös esimerkiksi kiihdytyksessä, sillä stoikiometrisellä seoksella ei saavuteta moottorin suurinta tehoa. Edellä mainittua skenaariota, jossa lambda-anturin toimittamat tiedot ohitetaan, kutsutaan järjestelmän avoi-

meksi tilaksi. Normaalitilannetta, jossa jäännöshapen määrä otetaan huomioon, kutsutaan takaisinkytketyksi tilaksi tai suljetuksi kierrokseksi (Kuvio 16). (Bell 1998, 7.10.)



Kuvio 16. Ruiskunohjausjärjestelmän takaisinkytketty tila (Tranter 1995, 147).

Jäännöshapen määrällä on merkitystä seoksen säätämisen lisäksi myös pakokaasujen puhdistamisessa katalysaattorissa. Katalysaattorin tuloksellisen toiminnan edellytyksenä on se että seos on stoikiometrinen eli lambda-arvo on 1, näin katalysaattorissa tapahtuvat reaktiot puhdistavat pakokaasut suunnitellusti ja sen kestoikä pitenee. Katalysaattorin toiminnan ja kunnon seuraamista varten joissakin järjestelmissä on lambda-anturi ennen ja jälkeen katalysaattorin. Ennen katalysaattoria olevalla anturilla kerätään tietoa pakokaasusta seoksen säätöä varten ja jälkimmäisellä tutkitaan pakokaasun koostumusta sen tullessa puhdistuksesta, jolloin saadaan heti selville ongelmat katalysaattorissa. (Bell 1998, 7.10.)

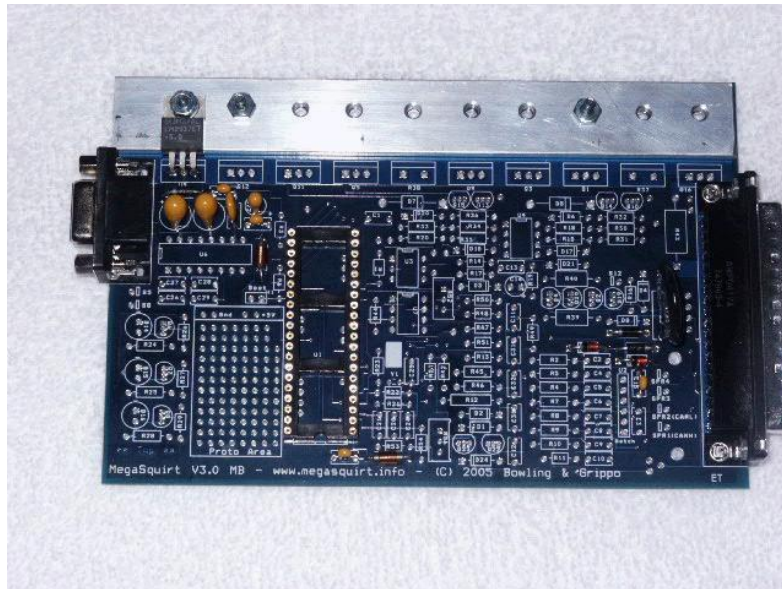
4 MEGASQUIRT

Megasquirt on Bowling & Grippo -yhtiön suunnittelema ja valmistama moottorinohjain, joka on suunniteltu haastamaan isojen yhtiöiden, kuten Hestecin, ohjaimia kilpailukykyisillä ominaisuuksillaan ja verraten halvalla hinnallaan. Kantavana ideana on ollut tehdä tavallisten moottoriharrastajien tarpeisiin soveltuva yleiskäyttöinen moottorinohjain, jonka saa sovellettua mihin tahansa kipinäsytytteiseen ottomoottoriin. Megasquirtin hinta on kohtuullinen, koska sen käyttäjän pitää itse ottaa huomioon kohteena olevan moottorin erityispiirteet, rakentaa johdotus ja anturointi sekä säätää ohjaimen parametrit. Täysin puhtaalta pöydältä rakentamisessa ei kuitenkaan tarvitse lähteä, sillä internetistä on saatavissa lukuisten käyttäjien apua, Megasquirtiin keskittyviä foorumeja ja kattava englanninkielinen ohjekirja. (Bowling & Grippo 2013.)

Megasquirtin (Kuvio 17) toiminta perustuu flash-pohjaiseen mikrokontrolleriin, jonka todellinen sisäinen väylätaajuus on 8 Mhz. Megasquirtin ohjelma on kirjoitettu suoraan konekielellä, jotta se olisi mahdollisimman tehokas ja nopea toiminnoltaan. Se pystyykin laskemaan reaaliajassa polttoaineensyöttömääriä korkeillekin kierrosluvuille. Ohjaimessa käytetään sisäistä flash-muistia, joka mahdollistaa reaaliaikaisen uudelleenohjelmoinnin eli sen asetuksia voidaan muokata moottorin käydessä. (Bowling & Grippo 2013.)

Aluksi Megasquirtia myytiin pelkästään rakennussarjana, joten ohjainlaitteen hinta oli todella halpa. Nykyään ohjaimen saa myös valmiiksi koottuna. Ensimmäiset sovellutukset keskittyivät pelkästään polttoaineen annosteluun, kun taas uudemmilla versioilla voidaan ohjata sytytystä ja esimerkiksi vesiruisua. Megasquirtin ohjelmistot, alkuperäiset kokoonpanopiirustukset ja ohjelmakoodit ovat kaikkien käytettävissä, joten kehitystä tapahtuu koko ajan. Käyttäjät ovatkin tehneet monenlaisia muutoksia alkuperäisiin piirilevyihin ja ohjelmakoodeihin, muun muassa

eri apulaitteiden ohjauksia ja esimerkiksi ahtamiseen liittyviä erikoiskokoonpanoja. (Bowling & Grippo 2013.)



Kuvio 17. MegaSquirt V3.0 piirilevy (Bowling & Grippo 2013).

MegaSquirtilla voidaan ohjata niin yksipiste- kuin monipistesuihkutustakin ja kampiakselin asentotunnistinta käytettäessä voidaan MegaSquirt ohjelmoida myös vuorottaiselle polttoaineensuihkutukselle, jolloin päästöjä saadaan hieman pienemmiksi. Ohjain on kuitenkin helpointa säätää samanaikaiselle polttoaineensuihkutukselle ja siten se saadaan toimimaan vähäisilläkin anturitiedoilla. Edellä mainitussa tapauksessa se tarvitsee anturitietoja ainoastaan moottorin- ja imuilmanlämpötilasta, moottorin kierroksista ja kaasuläpän asennosta. Pakokaasun jäänöshappea mittaava lambda-anturi ei ole pakollinen, mutta varsinkin laajakaistaisena, se helpottaa säätämistä. Ohjaimen oletusantureiksi on koodattu General Motorsin MAP- ja lämpötila-anturit. Muitakin lämpötila-antureita voi helposti käyttää selvittämällä niiden vastusarvot tietyssä lämpötilassa ja muuttamalla tiedot MegaSquirtin säätöohjelmaan moottorinohjauksista säädettäessä. (Bowling & Grippo 2013.)

Tätä opinnäytetyötä aloitettaessa MegaSquirtin käyttäminen moottorinohjauksena oli selvää jo pelkästään taloudellisista syistä. Valinta moottorinohjainten kesken oli helppo, koska muiden merkkien hinnat lähtevät 2000 eurosta ja MegaSquirtin 350

eurosta. Megasquirtin asentaminen tai säätäminen eivät kuitenkaan juuri eroa kalliimmista.

Työssä käytettäväksi moottorinohjausjärjestelmäksi valittiin uusin versio Microsquirtista, joka on suunniteltu moottoripyöräkäyttöä silmälläpitäen kokonsa ja suojauksensa puolesta. Pienen kokonsa takia siitä on jouduttu karsimaan Megasquirtista löytyvä sisäinen MAP-anturi, mutta sen muut ominaisuudet ovat samat. Valintaan vaikutti myös se, että Megasquirtia on käytetty runsaasti tieliikennekäytössä olevissa kulkuneuvoissa, joten siitä löytyy paljon käyttäjäkokemuksia ja tietotaitoa.

5 TOTEUTUS

5.1 Imusarja

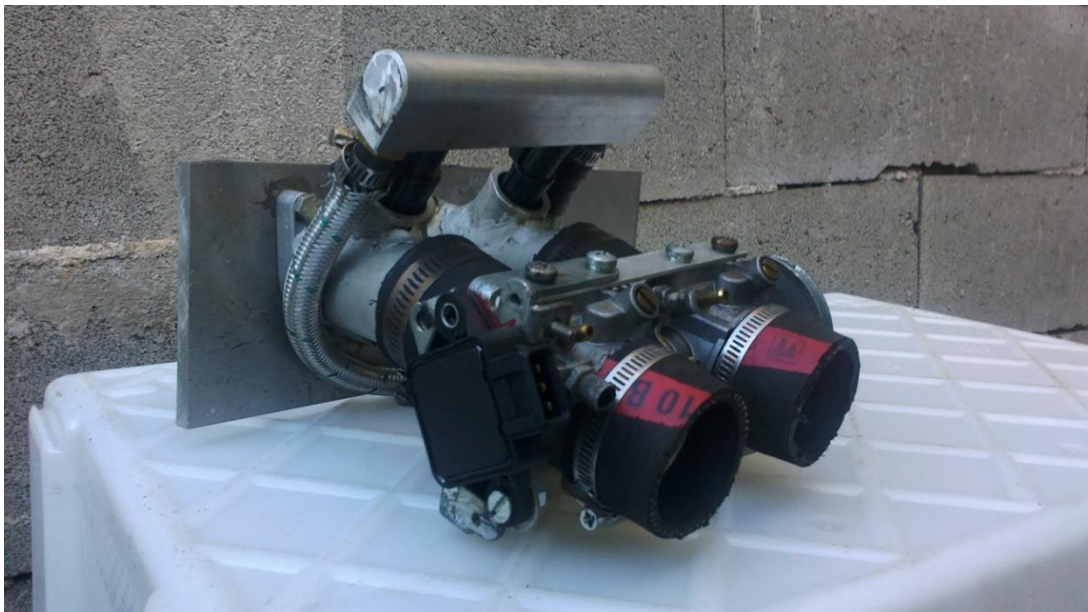
Polttoaineensuihkutuksen rakentamisen ensimmäinen askel on hankkia imusarja, johon kiinnittyvät suuttimet ja läppärungot. Tässä tapauksessa valmista imusarjaa ei ole saatavilla, koska kyseistä moottoripyörämallia ei ole koskaan valmistettu polttoaineensuihkutuksella. Sopivaa aihiotakaan ei ollut saatavilla, joten imusarja valmistettiin alusta asti itse. Imusarjan suunnittelussa pyrittiin mukailemaan alkuperäistä imusarjaa mahdollisimman paljon, jotta kaikki tarvittava saataisiin mahtumaan moottoritilaan.

Suunnittelussa tulee ottaa huomioon sylinterin imukanavien koko, imusarjan laippojen kiinnitys ja tiivistys sylinteriin, läppärunkojen kurkkujen koko, suuttimien paikat ja niiden oikea asento. Lisäksi myös materiaalivalintoihin tulee kiinnittää huomiota. Imusarjan materiaaliksi valittiin alumiini sen keveyden, korroosiokestävyyden ja hyvän työstettävyyden vuoksi.

Opinnäytetyön kohteena olevassa yksisylinterisessä moottoripyörässä on neliventtiilinen sylinterikansi, joten siinä on kaksi imukanavaa. Tästä syystä imusarja päätettiin tehdä kahdesta erillisestä osasta, joissa molemmissa on oma suutin ja läppärunko. Näin tekemällä välttyttiin työläältä imuputkien yhdistämiseltä ja yhden ison läppärungon käytöltä, joten jo vähäistä tilaa saatiin säästettyä.

Imusarjan kiinnityslaipat mallinnettiin alkuperäisiä laippoja mukaillen Autocad-ohjelmalla (ks. Liite 3). Laipat leikattiin laserilla jättäen laipan vahvuuteen työstövara, jotta sylinteriin vastaava pinta saadaan koneistettua suoraksi. Laipan ja sylinterin välinen tiiviys on imuilmavuotojen estämisen kannalta tärkeää. Laippaan sorvattiin tästä syystä ura kumiselle O-renkaalle, joka hoitaa tiivistyksen.

Imuputkiksi valittiin 120 mm pitkät alumiiniputket, joihin sorvattiin alumiinipyörötangosta TIG-hitsaamalla kiinnitettävät istukat suuttimille. Suutinistukat hitsattiin putkeen 30°:n kulmassa, koska suuttimet ja suutintukki eivät mahtuneet moottoritilaan suuremmassa kulmassa. Tämän jälkeen imusarjalle tehtiin yksinkertainen hitsausjigi (Kuvio 18), jossa oli kierrereiät samalla jaolla kuin imusarjalla sylinterissäkin. Tällä tavoin putkille saatiin haettua sopiva kulma leveämmällä jaolla oleviin kaasuläppärunkoihin nähden.



Kuvio 18. Imusarja kokonaisuudessaan koottuna hitsausjigiin.

Kaasuläppärunkojen mallista johtuen imusarjan toiseen päähän ei tehty laippakiinnitystä, vaan läppärungot yhdistettiin imusarjaan kumiholkeilla (Kuvio 19). Kumiholkkikiinnitys on hyväksi todettu jo kaasuttimien ja nykyistenkin suihkutuslaitteistojen imusarjoista. Tällä tavalla ne vievät vähemmän tilaa ja läppärungot on helppo irrottaa tarvittaessa.



Kuvio 19. Imusarja ja läppärungot kiinnitettynä sylinterikanteen.

5.2 Polttoainelinja

Polttoainelinjan komponenttien suurin ongelma oli löytää tarpeeksi pienikokoinen korkeapainepumppu sopivalla tuotolla. Pumpuksi valikoitui Volkswagen Polo-henkilöautossa käytetty 3 barin tuotolla oleva Boschin korkeapainepumppu. Tärkeimpänä kriteerinä oli kuitenkin pumpun asennus tankin ulkopuolelle, koska tankin sisäisen pumpun asentaminen olisi hyvin työlästä ja samalla tuhottaisiin alkuperäinen polttoainetankki. Koska moottoripyörän laturin tuotto on mitoitettu pieneksi autoon tarkoitettua polttoainepumppua ajatellen, sen virrantarvetta kompensoitiin jännitettä pienentävällä piirilevyllä. Piirinlevyn tarkoituksena on pienentää pumpun virrankulutusta tasakaasulla ajettaessa, jolloin täyttä tuottoa ei tarvita. Pumppu antaa täyden tuoton vasta täyskaasutuksessa saatuaan Megasquirtilta signaalin piirilevyllä.

Polttoainelinjan seuraavaksi osaksi asennettiin alumiinirunkoinen polttoainesuodatin ja sen jälkeen suutintukki, johon suuttimien tulopuoli kiinnitetään. Suutintukilta johdettiin polttoaineletku moottoripyörän runkoon kiinnitetylle polttoainepaineensäätimelle. Paineensäätimeksi (Kuvio 20) valittiin nestevaimennetulla mittarilla varustettu säädettävä malli, jotta polttoaineen painetta voidaan ruiskun ohjauksen säätämisen aikana muuttaa tarvittaessa.



Kuvio 20. Säädettävä bensapaineensäädin.

Koska alkuperäistä polttoainetankkia ei haluttu muuttaa, paineensäätimeltä lähtevä polttoaineen paluulinja vaati suunnittelua. Paluulinjan tekeminen ratkaistiin poistamalla alkuperäinen polttoainehana käytöstä ja tekemällä sen paikalle kiinnitykseltään alkuperäisen hanan mallinen jakotukki kahdella lähdöllä. Paluupuoleen tehtiin tankin sisäpuolelle 100 mm pitkä putki, joka estää mahdollisten ilmakuplien pääsyn polttoainekiertoon.

5.3 Suuttimet

Suutinten valinta on eräs tärkeimpiä asioita polttoaineensuihkutusta rakennettaessa, sillä liian suuret suuttimet voivat aiheuttaa polttoaineen pisaroitumista ja sitä myöten käyntihäiriöitä. Liian pienten suuttimien tuotto taas saattaa yksinkertaisesti

loppua kesken ja polttoaineseos menee laihalle. Isot suuttimet hankaloittavat myös ruiskukokoonpanon säätämistä, sillä niiden aukioloaika joudutaan pitämään joutokäynnillä minimaalisena. Pienillä suuttimilla taas käyttösuhte saattaa nousta liian korkeaksi eli ne ovat melkein jatkuvasti auki ja niiden toiminta häiriintyy esimerkiksi suuttimien kuumenemisen myötä. Suuttimet pitää mitoittaa moottorin mukaan eli polttoaineen tarpeen ja suutinten määrän mukaan, jolloin ei tule yllätyksiä.

Suutinten virtaus= $P \cdot BSFC / (\text{Suutinten lukumäärä} \cdot \text{käyttöaste})$, jossa P on moottorin teho hevosvoimina. BSFC tarkoittaa polttoainemäärää, joka kuluu yhden hevosvoiman teholla tunnin aikana. BSFC-kerroin on väliltä 0,42–0,58, jonka alapäähän sijoittuvat ahtamattomat moottorit. Kaavan antama virtaus ilmoitetaan lb/hr eli paunaa tunnissa, joka saadaan muunnettua millilitraa minuutissa (ml/min)-yksikköön kertomalla saatu tulos lukuarvolla 10,5. (Bowling & Grippo 2013.)

Tässä projektissa suuttimet valittiin Meqasquirtin käyttöohjeessa olevan laskukaavan perusteella, jolla saadaan suuntaa antava virtausarvo suuttimille. Kaavasta laskemalla 45 hevosvoiman, kahden suuttimen, 65 % käyttösuhteen ja vapaasti hengittävän moottorin kertoimen (0,50) mukaan tulokseksi saatiin 181,7 ml/min virtaavat suuttimet. Saadun virtausarvon perusteella valittiin suuttimiksi 210 ml/min virtaavat tarvikesuuttimet, jotka testattiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun autolaboratoriossa vuotojen ja suihkun muodon virheiden havaitsemiseksi. Uusista suuttimista ei odotetusti vikaa löytynyt ja ne kelpuutettiin suihkutusjärjestelmän osaksi. Valitut suuttimet ovat korkeaohmisia (12 ohm), joten ne kelpaavat moottorinohjaimen ohjattavaksi sellaisenaan. Ne eivät myöskään vaadi ylimääräisiä etuvastuksia tai pulssimoduloitua virranrajoitusta kuten matalaohmiset suuttimet.

5.4 Kaasuläppäkotelot

Kaasuläppäkoteloja valittaessa tulee ottaa huomioon kurkun koko, sillä se ei saa kasvaa liiksi tai moottorin toiminta häiriintyy varsinkin korkeilla kierroksilla. Optimaalisen koon pystyykin määrittämään vain dynamometrillä kokeilemalla eri kaa-

suläppäkotelaita. Tässä tapauksessa kaasuläppäkoteloina valittiin BMW - moottoripyörän kaasuläppäkotelot, joiden kurkkujen halkaisija on 35 mm eli vain hieman suurempi kuin alkuperäisen kaasuttimen kurkkujen halkaisija (Kuvio 21).



Kuvio 21. Muokatut BMW-kaasuläppäkotelot.

5.5 Anturointi

Ohjainlaitteen antureina päätettiin käyttää mahdollisimman paljon General Motorsin antureita, joita Microsquirt ymmärtää ilman kalibrointia. Näin ollen oli tarkoituksenmukaista käyttää moottorinlämpötila- ja imuilmanlämpötila-antureina GM-valmisteita.

Polttoaineensuihkutusjärjestelmässä (Kuvio 23) päädyttiin käyttämään Alpha-N-tyyppistä ohjausta. Tämän tyyppisessä ohjauksessa ei mitata imusarjan painetta eikä imuilman määrää vaan, polttoaineen suihkutusmäärän laskenta on TPS-pohjainen eli perustuu kaasuläpän asentoanturin antamiin tietoihin. Tässä moottorissa edellä mainittu on paras vaihtoehto, sillä imusarjan painetta ei pystytä luotettavasti mittaamaan. Yksisylinterisen moottorin imusarjassa joko on paine tai sitä ei ole, riippuen kampiakselin asennosta, joten signaali olisi ollut liian epätarkka. Imusarjanpaineanturi olisi voitu korvata ilmamäärämittarilla, mutta sitä ei kuiten-

kaan haluttu käyttää sen korkean hinnan ja imuilmaputkiston virtauksen huononemisen takia. Useampisylinterisissä moottoreissa imusarjan paine taas voidaan mitata tekemällä imusarjaan imuputket yhdistävä kokoojakammio, jossa vallitsee jatkuva paine.

Imuilman lämpötila-anturi asennettiin ilmansuodattimen yhteyteen, josta se saa hyvin mitattua imuilman lämpötilan ja pysyy puhtaana. Sopivan paikan löytäminen moottorinlämpötila-anturille vaati hieman enemmän suunnittelua, sillä anturin mitauspaikan pitää olla kohtuullisessa ajassa lämpenevä. Yksi vaihtoehto olisi ollut asentaa lämpötila-anturi moottorin öljysäiliöön, josta kuitenkin luovuttiin öljysäiliön suhteellisen hitaan lämpenemisen vuoksi ja anturin paikaksi valittiin nopeimmin lämpenevä paikka eli sylinterikansi. Tässä tapauksessa GM:n valmistamaa lämpötila-anturia ei käytetty, koska sylinterikanteen ei haluttu tehdä muutoksia. Lämpötila-anturi korvattiin rengasliittimeen liimatulla NTC-vastuksella, joka sijoitettiin jakopäänketjun kiristimen pultin alle. NTC-vastuksen periaatteena on se, että sen vastusarvo muuttuu lämpötilan muutosten myötä. NTC-vastus korvaa tässä ja miksei monessa muussakin tapauksessa samalla periaatteella toimivan GM-anturin hyvin, kunhan selvitetään anturin vastusarvot tietyissä lämpötiloissa ja syötetään tiedot ruiskunohjaimelle sitä säädettäessä.

Kaasuläpänasentoanturina käytettiin Boschin TPS-anturia, joka on potentiometriperiaatteella toimiva kaasuläpänasentotunnistin. Alkuperäistä katkaisijamallista anturia ei tässä voitu käyttää, koska sillä ei saada tarpeeksi tarkkaa tietoa kaasuläpän asennosta. Anturin asennus ei onnistunut suoraan vanhan katkaisijamallisen anturin tilalle vaan sille piti tehdä oma kiinnitysadapteri sekä kaasuläpältä anturille tulevaa akselia lyhentää.

Tieto moottorin käyntinopeudesta otettiin tässä tapauksessa kampiakselille asetettavan triggeripyörän sijaan sytytyspuolan miinusnavalta. Pelkkä polttoainesyötön ohjaus ei vaadi tarkempaa tietoa kampiakselin asennosta, toisin olisi, jos Microsquirt ohjaisi myös sytytystä. Tämä tapa vaatii jonkin verran testailua eri vastusten kanssa, sillä puolan ja moottorinohjaimen väliin vaaditaan tapauksesta riip-

puen 5–15 kilo-ohmin vastus, jottei sytytyspuolan jännite riko moottorinohjausta. Tällä tavalla kuitenkin säästytään triggeripyörän tekemiseltä magneettoon ja suojakotelon muokkaamiselta hall-anturia varten.

Pakokaasun jäännöshapen määrää mittaamaan kaavailtiin aluksi laajakaistalambda-anturia, ajatuksesta kuitenkin luovuttiin sen hintavuuden takia. Sen sijaan lambda-anturina toimii NTK:n valmistama lämmitettävä kapeakaistainen anturi. Anturi asennettiin pakosarjan kollektoriin, noin 50 senttimetrin päähän pakoaukoista (Kuvio 22). Laajakaistalambdalla ruiskun ohjauksen säätäminen on helpompaa, mutta saman asian ajaa kapeakaistainenkin, joka lämmitettynä pysyy jatkuvasti oikeassa käyttölämpötilassa.



Kuvio 22. Lambda-anturin asennus.



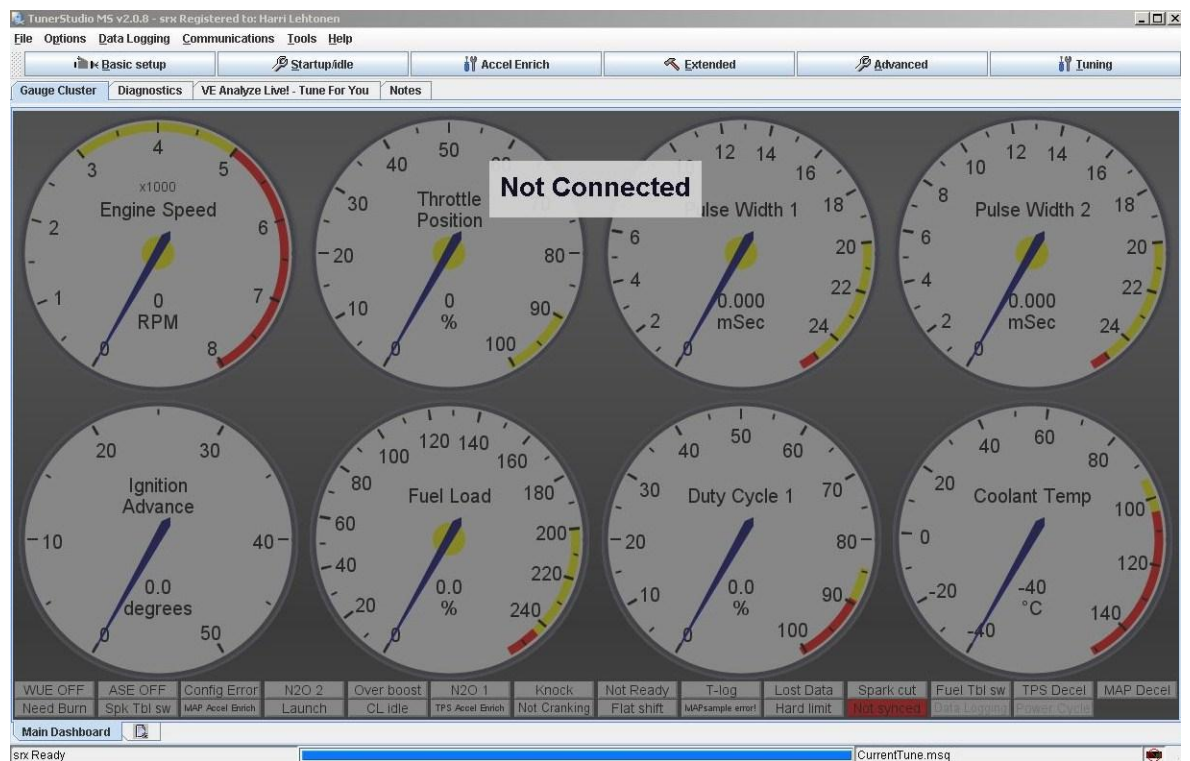
Kuvio 23. Elektroninen polttoaineensuihkutus asennettuna kokonaisuudessaan.

6 SÄÄTÄMINEN

Suihkutuslaitteiston ohjaimen parametrit pitää säätää moottorin saamiseksi toimimaan sopivilla seoksilla läpi kierrosalueen. Ennen moottorin käynnistystä on varmistuttava siitä, että kaikki liitokset ovat pitäviä ja varmasti oikeissa paikoissa, koska väärä johto väärässä liittimessä aiheuttaa järjestelmän toimimattomuuden ja pahimmassa tapauksessa ohjaimen rikkoutumisen. Säädettävästä järjestelmästä on syytä tarkistaa myös akun varaustila, sytytyslaitteiston kunto ja polttoaineen paine, jotka ollessaan viallisia vaikeuttavat säätämistyötä. Esimerkiksi kuluneet sytytysjohdot saattavat niin sanotusti lyödä läpi ja aiheuttaa sytytyskatkoja ja esimerkiksi liian pieni polttoaineen paine vähentää suutinten tuottoa.

6.1 Tunerstudio säätöohjelma

Megasquirtin alkuperäisen säätöohjelman Pc Configuratorin tilalle kehitetty Megatune on eniten kyseisen moottorinohjaimen säätämisessä käytetty ohjelma, joka on alkuperäistä ohjelmaa helppokäyttöisempi ja monipuolisempi. Megatunesta on ilmestynyt myös kehittyneempi versio Tunerstudio (Efi-analytics) (Kuvio 24), jossa on parempi käyttöliittymä ja usb-yhteensopivuus. Säätöohjelmien rinnalle on kehitetty myös muita säätämistä helpottavia ohjelmia, esimerkiksi Easytherm, jonka avulla voi ottaa käyttöön erityyppisiä lämpötila-antureita asettamalla sen kautta niille arvot Megatuneen. Käyttäjät ovat luoneet myös muita säätämistä tukevia ohjelmia, joilla esimerkiksi Megatunen keräämät tiedot saadaan graafiseen muotoon (MS Logfile Visual Viewer). (Bowling & Grippo 2013.)



Kuvio 24. Tunerstudion perusnäkömää.

Ennen moottorin käynnistystä Tunerstudioon pitää syöttää vakioarvoja, jotka ovat moottorikohtaisia tai laskettuja. Tällaisia arvoja ovat esimerkiksi suutinten määrä, sylinterien määrä ja moottorin tyyppi. Suuttimien arvoja määrittäessä on tärkeää tietää suutinten ominaisuudet, kuten tuotto käytettävällä polttoaineenpaineella ja niiden vastusarvo eli ovatko suuttimet matala- vai korkeaohmisia. Lisäksi ohjelmaan tulee määrittää polttoaineensyötön tyyppi, joko samanaikainen tai jaksottainen, lambda-anturin tyyppi ja suuttimien aukeamisaika. Ilman näitä tietoja moottorinohjaus ei tiedä mitä se ohjaa ja miten. Ohjaimelle tärkeä tieto on säätöalgoritmi, jonka mukaan se laskee suuttimien moottorille syöttämän polttoaineen määrän. Ohjain voi laskea säädön imusarjan paineen ja moottorin kierroksien perusteella, jolloin säätöalgoritmista käytetään nimeä Speed Density. Toinen tapa Alpha-N-säätö, jossa ohjain tekee säädön moottorin kierrosluvun ja kaasuläpän asennon mukaan. (Bowling & Grippo 2013.)

6.2 Säättäminen

Opinnäytetyön kohteena olevan moottoripyörän suihkutusrjestelmää alettiin säätää ohjeiden mukaisesti. Ensin asetettiin vakiot, kuten moottorin ja lämpötilanturien tiedot ja sen jälkeen laskennalliset arvot, muun muassa polttoaineen tarve. Perusarvojen ja anturien kalibrointien jälkeen moottorin pitäisi käynnistyä, vaikkakaan käynnin ei pitäisi olla moitteetonta ilman tarkempia säätöjä. Suihkutuksen säätöalgoritmiksi valittiin Alpha-N-säätö, jossa ohjain säätää sitä pelkästään moottorin kierrosluvun ja kaasuläpän avautuman perusteella. Alpha-N ei ole säätötavoista tarkin, koska ohjain ei saa tarkkaa tietoa moottorin kuormitustilanteesta, esimerkiksi ylämäkeen ajettaessa. Edellä mainitussa tilanteessa Alpha-N-säädöllä toimiva ohjaus ei osaa syöttää moottoriin lisää polttoainetta kuormituksen kasvaessa, vaan polttoainetta joudutaan syöttämään kaasuläppiä avaamalla. Alpha-N-säädöllä suihkutuksen toimii hyvin säädetyn kaasuttimen tavoin ollen kuitenkin tarkempi kuin paraskaan kaasutin.

Tässä tapauksessa moottoria ei saatu käynnistymään lukuisten yritysten jälkeen, jolloin perusasetuksia ja säätöjä muutettiin moneen kertaan sekä ohjeita tutkittiin entistä tarkemmin. Minkäänlaista selitystä käynnistymättömyydelle ei löydetty, kunnes selvisi, että Microsquirt ei ohjannut suuttimia lainkaan eli niille tullut minkäänlaista pulssia moottoria käynnistettäessä. Syyksi paljastui vika Microsquirtiin valmistajan asentamassa MS V 3.0-koodissa, joka korvattiin tyhjentämällä ohjaimen muisti ja asentamalla MS 2.0 Extra-koodi sen tilalle. MS 2.0 Extra on vanhemman ohjaimen koodi, jota monet kokeneemmat käyttäjät ovat ehtineet parantella ja näin korjata siinä esiintyneet viat. Tämän koodin asennuksen jälkeen säätöohjelman käyttöliittymä muuttui olennaisesti selkeämmäksi ja moottori käynnistyi kolmannella yrityksellä (Kuvio 25).

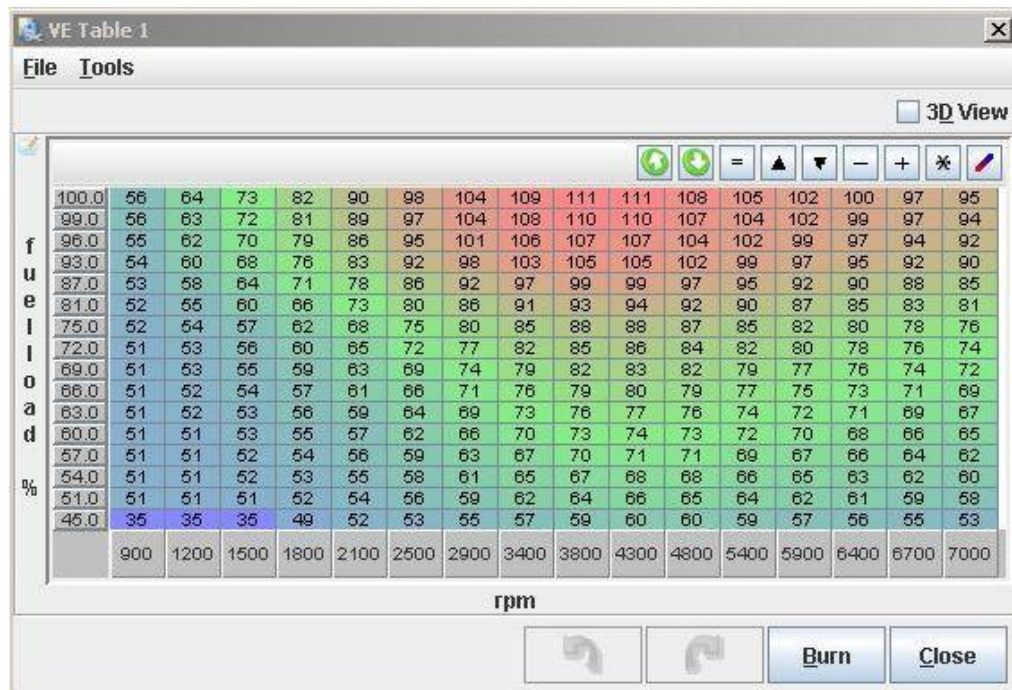
Käynnistykseen yhteydessä moottorin havaittiin tarvitsevan lisäilmaa liian suuren rikastuksen vuoksi, ja tämä ongelma ratkaistiin avaamalla kaasuläppää hieman käynnistettäessä. Koska kyseinen moottoripyörä on polkukäynnisteinen, käynnistysrikastuksen määrittely on hankalaa. Ohjain avaa suuttimet jokaisella polkaisulla,

jolloin polttoainetta syötetään auttamatta liikaa, jos moottori ei käynnisty ensimmäisellä yrityksellä. Liialta polttoaineesta seuraa mahdollinen sytytystulpan kaskuminen ja sen myötä käynnistysvaikeudet. Edellä mainitun vuoksi käynnistysrikkastus säädettiin kokeilun kautta mahdollisimman pieneksi, siten että moottoria saattoi pyörittää käynnistyspolkimella ennen käynnistystä ilman moottorin tulvimista.



Kuvio 25. Moottorin ensimmäinen käynnistys.

Suihkutusta säädetään Volumetric Efficiency-taulukon (Kuvio 26) avulla, jolla voidaan ohjata moottorin täytöstä kullakin kuormituksella ja kierrosalueella. Polttoainekarttaa ei tarvitse luoda tyhjästä, vaan säätöohjelma luo karkeahkon kartan, kun sille syötetään tiedot moottorin tilavuudesta, kierrosalueet suurimmalle teholle ja väännölle sekä tyhjäkäyntikierrokset. Ohjelman luomalla kartalla moottori lähtee useimmiten käyntiin ilman säätöjä, mikäli kaikki arvot on syötetty oikein. Tämä kartta tarjoaa hyvän alkutilanteen tarkempaa säätämistä varten.



Kuvio 26. Tunerstudion luoma polttoainekartta.

Moottorin käynnistyttyä sen tyhjäkäyntiä alettiin säätää kohdilleen muuttamalla VE- taulukon säätöjä moottorin kierrosten ollessa alueella 1200–1500, kunnes moottorin käynti muuttui tasaiseksi. Tyhjäkäynnin kierrosnopeudeksi säädettiin kaasuläppien ohivirtausta muuttamalla noin 1400 rpm. Korkeilla tyhjäkäyntikierroksilla haluttiin varmistaa moottoriöljyn hyvä kierto, sillä paljon ajatun öljypumpun tuotto ei välttämättä enää riitä pienemmillä kierroksilla kunnolliseen voiteluun.

Moottoria säädettiin ajamalla sillä ensin testiajaja ja sen jälkeen säätämällä VE- taulukkoa. Testiajoissa kiinnitettiin huomiota tietyissä tilanteissa tapahtuneisiin viirveisiin ja pätkimisiin, esimerkiksi tasakaasulla ajettaessa ja äkillisissä kiihdytyksissä. Säädettäessä vältettiin suuria muutoksia, jotta moottorin saama polttoaineseos ei mene liian laihalle ja aiheuta moottorivauriota. Tästä syystä polttoaineseos pidettiin tarkoituksella rikkaana. Tällaisella säätötavalla polttoaineen suihkutuksen toimintaa ei saada tarkaksi, mutta kuitenkin normaalissa ajossa toimivaksi. Tällä tapaa voidaan kuitenkin tehdä karkea säätö ennen dynamometrissä tehtäviä hienosäätöjä, jossa moottorista saadaan huipputehot esille ja sen käytös paremmaksi.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli päivittää vanhan moottoripyörän alkuperäinen polttoainelaitteisto nykyaikaiseksi suunnittelemalla ja rakentamalla siihen elektroninen polttoaineensuihkutus. Työn alussa tutustutaan polttoaineensuihkutusjärjestelmän toiminnan periaatteisiin ja rakenneseisiin, sekä myös suppeasti kaasuttimen toimintaan. Suihkutusjärjestelmään perehtyminen antoi vankan pohjan projektin läpiviemiselle ja se auttaa myös lukijaa ymmärtämään työn vaatimuksia.

Projektin kohteena olevaa moottoripyörää ei ole koskaan valmistettu polttoaineensuihkutuksella, joten siihen jouduttiin suunnittelemaan ja valmistamaan käytännössä kaikki osat lukuun ottamatta ohjainta ja antureita. Vaikeinta osien suunnittelussa oli saada imusarja ja läppärungot mahtumaan moottoritilaan ja siinä ei onnistuttukaan ilman polttoainetankin muokkaamista. Järjestelmän osien sovituksen voi sanoa olleen kaikkein työläin vaihe, sillä myös moottoripyörän alkuperäiset ilman-suodattimet ja akkutelinet piti poistaa sekä niiden tilalle suunnitella uudet kokonaisuudet.

Moottoripyörän iän vuoksi sitä eivät koske nykyaikaiset päästövaatimukset, joten pakokaasun koostumusta ei mitattu, vaikkakin päästöt oletettavasti tarkemman polttoaineensuihkutuksen myötä pienenevät. Mikäli pakokaasupäästöjä haluttaisiin vielä entisestään pienentää, tulisi kiinnittää huomiota niiden jälkikäsitteilyyn esimerkiksi asentamalla katalysaattori.

Tärkein tavoite projektissa oli saada polttoaineensuihkutus toimivaksi ja sitä kautta nostaa moottoripyörän suorituskykyä. Ohjaus toteutettiin siten, että Megasquirt ohjaa pelkästään polttoaineen syöttöä ja sytytystä ohjaa moottorin alkuperäinen sytytysjärjestelmä. Tällä tavoin projekti pysyi laajuudestaan huolimatta yksinkertaisempänä ja säätäminen helpompana. Sytytyksen ohjaus voidaan kuitenkin lisätä jälkikäteen asentamalla kampiakselille triggeripyörä ja sitä lukeva anturi. Suihkutuksen säätö toteutettiin ajamalla testiajaja ja säätämällä ohjausta tarpeen mukaan. Tarkemmat säädöt olisi voinut tehdä säätämällä moottorinohjaus tehodynamomet-

rissä mutta sitä ei tässä vaiheessa haluttu tehdä sen korkean hinnan vuoksi, koska projektin budjetti olisi ylittynyt. Moottoripyörästä mitattiin pelkästään takapyöräteho mutta moottorinohjaus säädetään kuitenkin tulevaisuudessa tarkemmin tehodynamometrin avulla. Säättö ei tässä vaiheessa ole tarkka mutta moottoripyörän tehossa tapahtui muutoksia. Takapyöräteho nousi arvosta 36,47 hv/6446 rpm arvoon 40,41 hv/6350 rpm. Moottorin vääntömomentissa ei tapahtunut suurta muutosta, mutta sekin nousi arvosta 50,01 Nm/3447 rpm arvoon 50,67 Nm/3778 rpm. Vaikka moottorin tehossa ja väännössä ei tapahtunut suuria muutoksia, on syytä huomioida kaasuttimen teho- ja vääntökuvaajien selkeä lasku alakierroksilla sekä nopeasti huippukohdan jälkeen huonontuva vääntökäyrä. Polttoaineen suihkutuksella sekä teho- että vääntökuvaajat paranivat olennaisesti. Tehokuvaajasta jäi pois alakierroksilla tapahtuva lasku ja se myös tasoittui selkeästi, vääntökuvaaja taas tasoittui alakierroksilla ja sen laskeminen huipun saavutettuaan on loivempi (ks Liite 1 ja 2).

Projekti oli haastava, mutta se antoi hyvät valmiudet suunnitella polttoaineensuihkutus mihin tahansa kaasutinmoottoriin ja lisäksi paljon tietoa polttoaineensuihkutuksesta yleisesti. Siinä päästiin myös harjoittelemaan moottoripyörän sytytysjärjestelmän vianhakua käytännössä. Projektin kohteen sytytysjärjestelmästä rikkoutuivat staattori ja sytytyksen ohjaus, jotka saatiin pitkällisen perehtymisen jälkeen korjattua. Työn tavoitteissa onnistuttiin hyvin, sillä moottoripyörään saatiin rakennettua toimiva polttoaineensuihkutus ja sen teho nousi teho- ja vääntökuvaajien parantuessa samalla.

8 LÄHTEET

- Autoteknillinen taskukirja. 2003. Suomentaja Autoalan Koulutuskeskus Oy. 6. painos. Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Banish, G. 2009. Designing And Tuning High Performance Fuel Injection Systems. North Branch: Cartech Inc.
- Bauer, H. 2003. Bensiinimoottorin ohjaus Motronic-järjestelmät. Suomentaja Juha Seppälä. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
- Bell, A.G. 1998. Nelitahtimoottorin Virittäminen. Helsinki: Alfamer kustannus OY.
- Bowling, B. & Grippo, A. 2013. Megamanual. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.12.2013]. Saatavana: <http://www.megamanual.com/index.html>
- Juhala, M. Lehtinen, A. Suominen, M. & Tammi, K. 2005. Moottorialan sähköoppi. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Lehtinen, A. & Rantala, J. 2012. Autotekniikka 4: Moottori. Keuruu: Otavan Kirjapaino OY.
- Liikenne- ja viestintäministeriön asetus L-luokan ajoneuvon korjaamisesta ja rakenteen muuttamisesta 2009, 1078/2009 17 §. 2009. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Liikenteen Turvallisuusvirasto Trafi. 2003. Ajoneuvokanta vuonna 2003 haltijan kotimaakunnan ja -kunnan mukaan. [Verkojulkaisu]. Helsinki: Liikenteen Turvallisuusvirasto Trafi. [Viitattu 3.12.2013]. Saatavana: http://www.trafi.fi/palvelut/tilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/ajoneuvokanta_2003
- Liikenteen Turvallisuusvirasto Trafi. 2013. Ajoneuvokanta 2013 Rekisterissä olevat ajoneuvot haltijan kotimaakunnan ja -kunnan mukaan 30.9.2013. [Verkojulkaisu]. Helsinki: Liikenteen Turvallisuusvirasto Trafi. [Viitattu 3.12.2013]. Saatavana: http://www.trafi.fi/palvelut/tilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/ajoneuvokanta_2013
- Mauno, E. 1992. Virittäjän Käsikirja 3: Polttoainelaitteet. Helsinki: Alfamer kustannus OY.
- Mauno, E. 2002. Moottoripyörien Tekniikka. Helsinki: Alfamer kustannus OY.

Nunney, M.J. 2007. Light & Heavy Vehicle Technology Fourth Edition. United Kingdom: Elsevier Ltd.

Robert Bosch Pty Ltd. 2013a. Map sensor technical specifications. [Verkköjulkaisu]. Victoria: Robert Bosch Pty Ltd. [Viitattu 12.12.2013]. Saatavana: http://www.bosch.com.au/car_parts/en/html/4596.htm

Robert Bosch Pty Ltd. 2013b. Technical and sales information oxygen sensors. 2013. [Verkköjulkaisu]. Victoria: Robert Bosch Pty Ltd. [Viitattu 12.12.2013]. Saatavana: http://www.bosch.com.au/car_parts/en/html/4566.htm

Sanderson, S. 2008. Exhaust Gas Temperature. [Verkköjulkaisu]. Beaford Court, Bath: Future Publishing Ltd. [Viitattu 15.12.2013]. Saatavana: http://www.fastfordmag.co.uk/files/2009/02/FAF264.tech_.pdf

Tranter, A. 1995. Automotive Electrical And Electronic Systems Manual. USA: Haynes Publishing.

Yamaha SRX-6 Workshop Manual. 1987. [Pdf-tiedosto]. Yamaha Motor Co. [Viitattu 4.5.2013]. [Ei saatavissa].

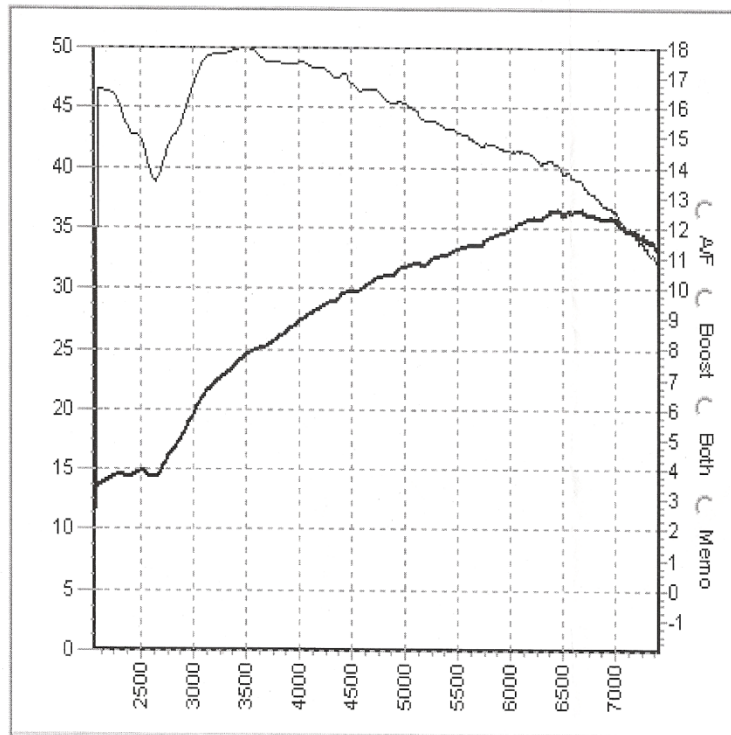
9 LIITTEET

LIITE 1. Moottorin teho- ja vääntökuvaaja kaasuttimella varustettuna.

LIITE 2. Moottorin teho- ja vääntökuvaaja polttoaineen suihkutuksella varustettuna.

LIITE 3. Imusarjan kiinnityslaipan osakuva ja imusarjan kokoonpanokuva.

LIITE 1. Moottorin teho- ja vääntökuvaaja kaasuttimella varustettuna.



YAMAHA SRX 600 rek.75-CBM

36.47 HP - 6446 RPM CF=1.0127
 50.01 NM - 3477 RPM AirTemp=20
 192 KM/H - 7417 RPM AirPress=984
 AirHum=55

WWW.DYNOSEC.COM

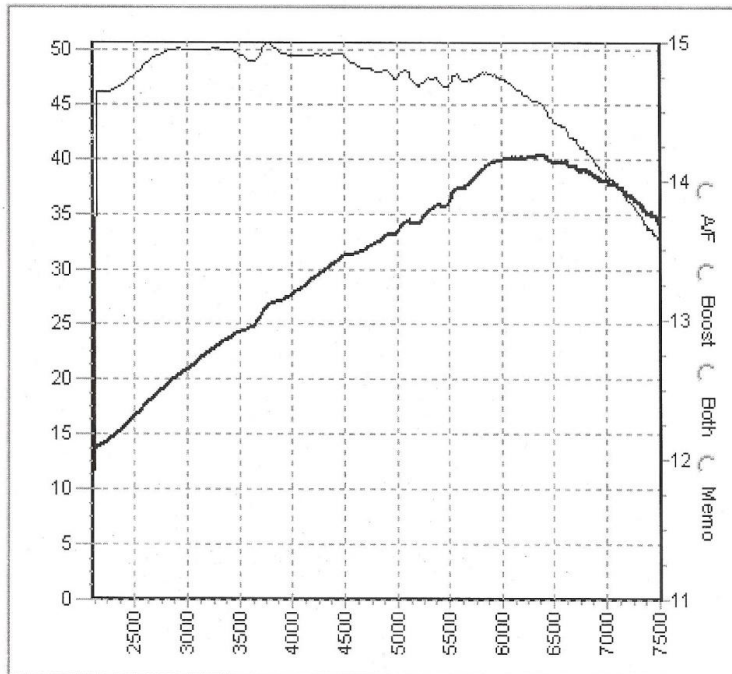
Version B Beta

PROBOOST RACING

DYNOSEC Dynamometer Software

racing@proboost.fi

LIITE 2. Moottorin teho- ja vääntökuvaaja polttoaineensuihkutuksella varustettuna.



YAMAHA SRX 600 rek.75-CBM

40.41 HP - 6350 RPM CF=1.0127
 50.67 NM - 3778 RPM AirTemp=20
 195 KM/H - 7522 RPM AirPress=984
 AirHum=55

WWW.DYNOMECCOM

Version B Beta

PROBOOST RACING

DYNOMECC Dynamometer Software

racing@proboost.fi

LIITE 3. Imusarjan kiinnityslaipan osakuva ja imusarjan kokoonpanokuva.

