



Säädettävän moottorinohjaus- järjestelmän asentaminen Volkswagen kuplaan

Atte Havukainen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Ajoneuvotekniikka
Korjaamotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Korjaamotekniikka

HAVUKAINEN, ATTE

Säädettävän moottorinohjauksen asentaminen Volkswagen Kuplaan

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2020

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa moottorinohjausjärjestelmä vanhempaan henkilöautoon.

Työssä tutkitaan, kuinka moottorinohjausjärjestelmä toimii. Lisäksi selvitetään, että minkälaisista komponenteista se koostuu.

Ajoneuvolle tehtiin muutamia mittauksia, joiden avulla vertaillaan muutoksia ajoneuvon toiminnassa uuden ja vanhan tekniikan välillä. Mittauksilla tutkittiin muun muassa ajoneuvon suorituskykyä, polttoaineen kulutusta ja pakokaasupäästöjä.

Mittauksien perusteella todettiin, että moottorinohjausjärjestelmän asennuksen jälkeen ajoneuvon polttoaineenkulutus pienentyi, pakokaasupäästöt olivat puhtaammat ja moottoriteho kasvoi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Vehicle technology
Garage engineering

ATTE HAVUKAINEN

Installing an adjustable Engine Management System to a Volkswagen Beetle

Bachelor's 59 pages, appendices 2 pages
May 2020

The purpose of the thesis was to design and implement an engine control system for an older passenger car.

The thesis also investigates how an engine control system works. In addition, it is clarified what kind of components it consists of.

A few measurements were made on the vehicle to compare changes in vehicle performance between new and old technology. The measurements examined the vehicle's emissions, fuel consumption and performance.

Based on the measurements, it was found that after the installation of the engine control system, the vehicle's fuel consumption decreased, exhaust emissions are cleaner and engine power increased.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	POLTTOMOOTTORIN TOIMINTA JA KOHDEAUTON ESITTELY	8
	2.1 Kohdeauto.....	8
	2.2 Nelitahtinen polttomoottori	9
3	MOOTTORIN OHJAUSJÄRJESTELMÄT	11
	3.1 Vanha moottorinohjausjärjestelmä	11
	3.2 Elektroninen moottorinohjausjärjestelmä	13
	3.2.1 Moottorin ohjainlaite	15
	3.2.2 Kaasuläpän asentotunnistin ja kaasuläppä	16
	3.2.3 Moottorin ja imuilman lämpötila-anturi	18
	3.2.4 Pakokaasun happitunnistin.....	19
	3.2.5 Kampiakselin asentotunnistin	19
	3.2.6 Imusarjan paineanturi	21
	3.2.7 Kaksoiskipinäpuola.....	21
	3.2.8 Suuttimet	23
	3.2.9 Paineensäädin.....	24
4	MOOTTORINOHJAUKSEN ASENTAMINEN	26
	4.1 Polttoainejärjestelmän asennus	26
	4.1.1 Polttoainelinjat	26
	4.1.2 Korkeapainepumppu	28
	4.1.3 Suuttimet ja polttoainekiskot.....	29
	4.1.4 Paineensäädin.....	30
	4.1.5 Imusarja.....	30
	4.2 Sytytysjärjestelmän ja anturoinnin asennus	32
	4.2.1 Puola	32
	4.2.2 Kampiakselin asentotunnistin	33
	4.2.3 Lämpötila-anturit.....	34
	4.2.4 Pakokaasun happitunnistin.....	35
	4.2.5 Kaasuläppä ja asentotunnistin.....	36
	4.2.6 Moottorin ohjainlaite	36
	4.2.7 Imusarjan paineanturi	37
5	Moottorinohjauksen säätäminen	38
	5.1 Ohjainlaitteen perusasetukset.....	38
	5.2 Lambda kartta	42
	5.3 Polttoainekartta	43
	5.4 Sytytyskartta.....	45

6	Mittaukset	47
6.1	Kiihdytysmittaus	47
6.2	Moottoritehon laskeminen	47
6.3	Kulutuksen mittaaminen	49
6.4	Päästömittaus	50
7	Mittaustulokset.....	51
7.1	Kulutusmittaus.....	51
7.2	Kiihtyvyydsmittaus ja moottorin tehon laskenta.....	51
7.3	Päästömittaus	54
8	POHDINTA	55
	LÄHTEET	56
	LIITTEET	58
	Liite 1. Työssä käytetyt osat.....	58
	Liite 2. Polttoainelinjojen kaaviokuva	59

LYHENTEET JA TERMIT

HC	Palamaton hiilivety yhdiste
CO	Hiilimonoksidi
O ₂	Happi
Nox	Typhen oksidi
CO ₂	Hiilidioksidi
VR-anturi	Kampiakselin asentotunnistin
NCT- vastus	Lämpötilan mukaan säätävä vastus
Detonointi	Polttoaineen ennenaikainen syttyminen

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa moottorinohjausjärjestelmä Volkswagen Kupla -merkkiseen henkilöautoon. Moottorinohjausjärjestelmän asennuksella tavoitellaan parempaa polttoainetaloudellisuutta, suorituskykyä ja pienempiä päästöjä. Lisäksi haluttiin päästä eroon ongelmista, joita vanha kaasuttaja aiheutti.

Aluksi raportissa käydään läpi lyhyesti nelitahtisen ottomoottorin toiminta. Tämän jälkeen tutkitaan ajoneuvon vanhaa ja uutta moottorin ohjausjärjestelmää. Raportissa esitetään mistä komponenteista järjestelmät koostuvat ja kuinka eri komponentit toimivat.

Teoriaosuuden jälkeen esitetään moottorinohjausjärjestelmän asentaminen ajoneuvoon komponenttikohtaisesti. Lopuksi esitellään ajoneuvolle tehtyjen mittauksien menetelmät ja tarkastellaan saatuja tuloksia.

2 POLTTOMOOTTORIN TOIMINTA JA KOHDEAUTON ESITTELY

2.1 Kohdeauto

Volkswagen Tyyppi 1 on Suomessa paremmin tunnettu nimellä Volkswagen Kupla. Kupla on saksalaisen autonvalmistaja Volkswagenin ensimmäinen automalli ja yksi maailman eniten valmistetuista autoista. Auton suunnitteli aikanaan Ferdinand Porsche 1930-luvun lopulla. Kupla suunniteltiin kansanautoksi. Vaatimuksena sen suunnittelussa oli mahdollisimman matala hinta, pieni polttoaineenkulutus ja sillä piti pystyä ajamaan 100 kilometrin tuntivauhtia Saksan uusilla autobahneilla, eli moottoriteillä.

Kuplan valmistus aloitettiin vuonna 1938. Ensimmäiset autot valmistuivat KdF-wagen merkkisenä. Kunnolla tuotanto alkoi vasta toisen maailmansodan päätyttyä, jolloin myös merkiksi vaihtui Volkswagen. Valmistus jatkui aina vuoteen 2003 asti. Kuplia ehdittiin valmistaa noin 21,5 miljoonaa yksilöä ja se onkin yksi maailman eniten valmistetuista henkilöautoista. (Ojanen 1998.)

Suomeen kuplia alkoi tulla virallisesti vuonna 1950. Aluksi tuontimäärät olivat pieniä johtuen Suomessa 1962 vuoteen asti vallinneista autojen tuontirajoituksista. Tuontirajoitusten poistuttua tuli kuplasta yksi Suomen yleisimmistä ajoneuvoista, 1960 ja -70 luvuilla. (Ojanen 1998.)



KUVA 1. Volkswagen kupla

Työn aiheena oleva auto on vuoden 1973 Volkswagen kupla. Se on varustettu 1,6 litraisella ilmajäähdytteisellä vastaiskumoottorilla ja manuaalivaihteistolla. Polttoaineen syöttö tapahtuu kaasuttajan avulla ja sytytystä ohjaa virranjakaja. Autoon on asennettu paremmin virtaava pakoputkisto ja hieman alkuperäistä suurempi kaasuttaja.

Moottorinohjauksen asentamisella pyritään korjaamaan muutamia häiritseviä ongelmia, joita autossa on käytön aikana havaittu. Ensimmäinen ongelma on runsas polttoaineen kulutus, joka on noin 11 litraa sataa kilometriä kohden.

Toinen ongelma on kaasuttimessa oleva automaattiryppy. Kylmäkäynnistyksessä seos menee niin rikkaalle, että polttoainetta päätyy moottoriöljyn joukkoon. Öljyn seassa oleva polttoaine heikentää moottoriöljyn voiteluominaisuuksia, mikä nopeuttaa moottorin kulumista.

Kolmas ongelma on kylmällä säällä kaasuttajaan kertyvän jään aiheuttamat käyntihäiriöt. Näiden ongelmien poistamisen lisäksi moottorinohjauksen asennuksella tavoitellaan tehon kasvua ja laajempia säätömahdollisuuksia.

2.2 Nelitahtinen polttomoottori

Polttomoottori on voimakone. Moottorin umpinaisessa sylinterissä vapautetaan polttamalla nestemäiseen tai kaasumaiseen polttoaineeseen sitoutunut energia ja muutetaan se sopivien kone-elimien avulla mekaaniseksi työksi.

Kuplassa on nelitahtinen vastaiskumoottori. Vastaiskumoottorin erona yleisemmin käytettyihin rivimoottoreihin on moottorin sivuille vaakatasoon sijoitetut sylinterit. Tällä tavalla saadaan moottorista mahdollisimman pienikokoinen. Moottori toimii nelitahtisella toimintaperiaatteella. Siihen kuuluu nimensä mukaan neljä eri tahtia, jotka ovat imutahti, puristustahti, työtahti ja poistotahti.

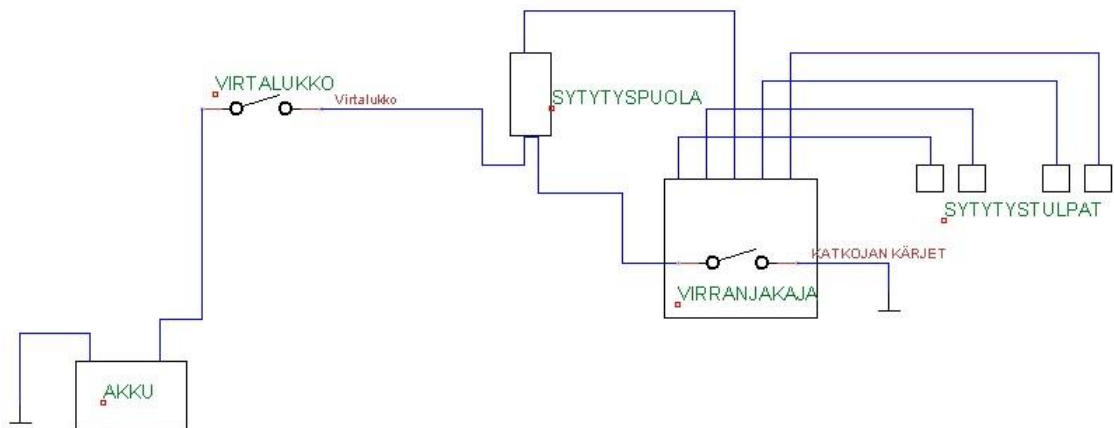
Imutahdilla imuventtiili aukeaa ja sylinterissä alaspäin liikkuva mäntä imee sylinteriin polttoaineseosta. Seuraava tahti on puristustahti. Puristustahdilla molemmat venttiilit ovat kiinni ja ylöspäin nouseva mäntä puristaa polttoaineseoksen

noin 20 - 40 baarin paineeseen. Puristustahdin jälkeen tulee työtahti. Työtahdin aikana kokoon puristettu seos sytytetään oikein ajoitetulla kipinällä. Nopeasti palava seos laajenee ja työntää mäntää alaspäin. Mäntään kohdistuva työntövoima välitetään kiertokangen avulla kampiakselille, jossa se muuttuu pyörimisliikkeeksi. Työtahdin jälkeen tulee poistotahti. Poistotahdin aikana ylöspäin työntyvä mäntä työntää pakokaasun pois sylinteristä, avautuneen pakiventtiin kautta. Tämän jälkeen nelitahti kierto alkaa uudelleen. (Eerola 1970, 24-26.)

3 MOOTTORIN OHJAUSJÄRJESTELMÄT

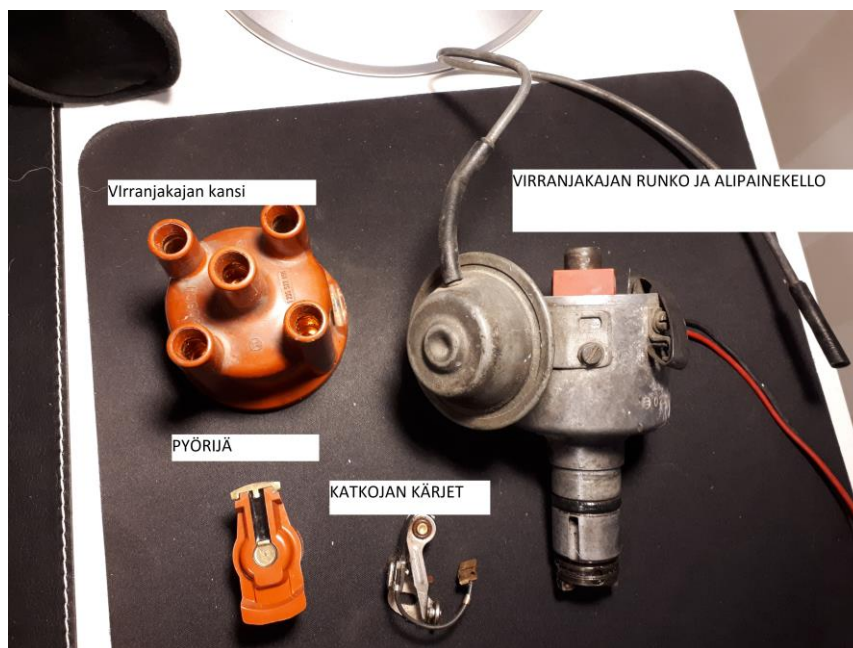
3.1 Vanha moottorinohjausjärjestelmä

Ennen moottorinohjausjärjestelmän päivittämistä, Kuplan sytytyksenohjaus tapahtui virranjakajan avulla. Virranjakajalla ohjattu sytytysjärjestelmä koostuu puolasta, virranjakajasta, akusta, sytytystulpista ja virtalukosta.



KUVA 2. Virranjakaja sytytys

Kipinän muodostaminen tapahtuu johtamalla akulta 12 voltin jännite sytytyspuolan ensiökäämiin. Puolaan johdettu virta muodostaa siinä magneettikentän. Tätä virtapiiriä kutsutaan ensiövirtapiiriksi. Kipinä muodostuu, kun ensiövirtapiiriä katkotaan aukaisemalla virranjakajassa olevat katkojankärjet. Kärkien auetessa puolaan syntynyt magneettikenttä katoaa ja puolan toisiokäämiin pääsee induoitumaan korkeajännite. Jännite johdetaan virranjakajan pyörijän ja virranjakajan kannessa olevien johdenastojen sekä tulpanjohtojen avulla sytytystulpille. Sytytystulppaan johdettu korkeajännite muodostaa tulpankärkien väliin sähköisen kipinän, joka sytyttää seoksen. (Lehtinen & Rantala 2012, 130.)



KUVA 3. Virranjakajan osat

Sytytysennakon säätäminen kärjellisessä sytytysjärjestelmässä tapahtuu virranjakajan rungossa olevien jousikuormitettujen keskipakopainojen avulla. Moottorin kierrosnopeuden noustessa painot pyrkivät ulospäin ja kääntävät virranjakajan nokkapyörää suhteessa virranjakajan akseliin. Kääntyvä akseli muuttaa moottorin sytytystä aikaisemmalle tai myöhäisemmälle moottorin kierrosten mukaan.

Toinen sytytysennakon säätöön osallistuva laite on virranjakajan kyljessä oleva alipainekello. Kello säätää sytytysennakkoa imusarjassa vallitsevan alipaineen mukaan. Alipainekellon tarkoitus on lisätä sytytysennakkoa maantienopeuksissa, jolloin saavutetaan pienempi polttoaineenkulutus.

Virranjakajassa on runsaasti mekaanisia osia, jotka kuluvat ajokilometrien kertyessä. Virranjakajan huollon ja säädön tarve on suurempi, kuin uusissa sytytysjärjestelmissä. Ajoituksen säätäminen eri kuormitustilanteille sopivaksi on myös vaikeampaa. Nykyisin erilaiset elektroniset sytytysjärjestelmät ovat korvanneet virranjakajat ajoneuvokäytössä. (Lehtinen & Rantala 2012, 136.)

Moottoriin syötettävä polttoaineen ja ilman seos muodostettiin ennen kaasuttajan avulla. Kaasuttaja on laite, jonka tehtävä on sekoittaa moottoriin imettävä polttoaineen ja ilman seos palamisen kannalta sopivaksi. Moottoriin imettävä ilma kulkee kaasuttajan läpi. Imusarjassa oleva alipaine imee kaasuttimen suutinpiirien läpi polttoainetta, joka sekoittuu läpivirtaavan ilman kanssa.

Kaasuttimilla ei saavuteta nykypäivän vaatimukset täyttävää polttoaineenkulutusta, eikä pakokaasupäästöjä. Kaasuttimet on korvattu ajoneuvoissa erilaisilla polttoaineen suihkutusratkaisuilla. Kaasuttajaa käytetään yhä erilaisissa pienkooneissa, kuten moottorisahoissa ja ruohonleikkureissa. Koska se on halvempi, pienikokoisempi ja yksinkertaisempi toteuttaa, kuin polttoaineen suihkutussysteemi. (Eerola 1970, 232-233.)



KUVA 4. KAASUTTAJA

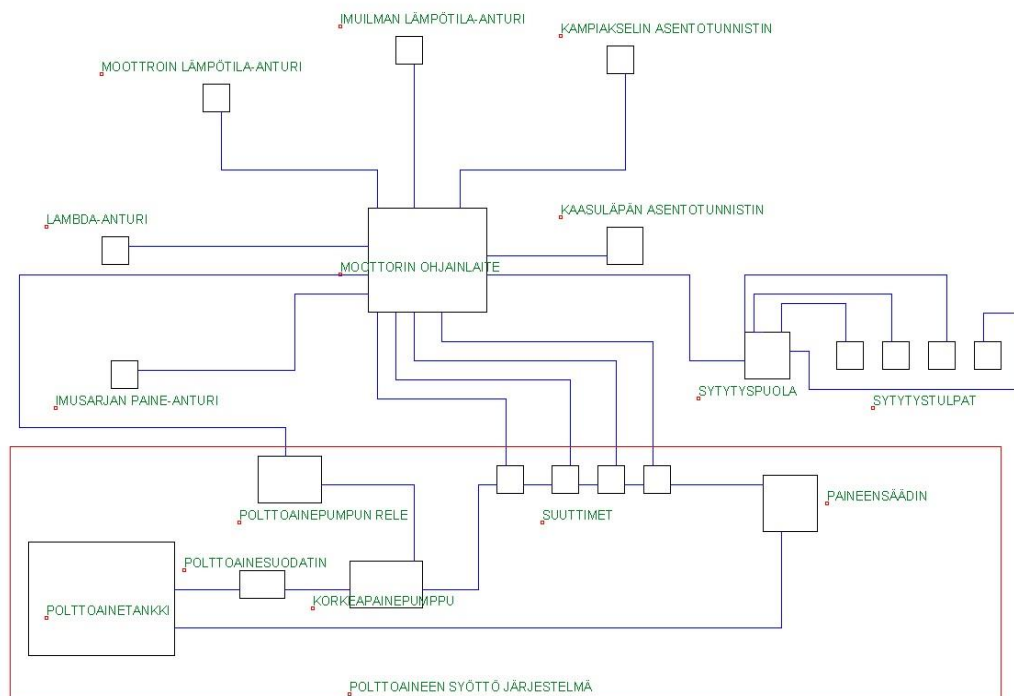
3.2 Elektroninen moottorinohjausjärjestelmä

Elektronisessa moottorinohjausjärjestelmässä mikrotietokone ohjaa polttoaineen suihkutusta ja sytytyksen ajoitusta. Järjestelmä mahdollistaa tarkemman polttoaineseoksen muodostuksen ja laajemmat säätömahdollisuudet sytytyksen ajoitukselle. Järjestelmällä saavutetaan tasaisempi ja tehokkaampi moottorin käynti.

Polttoaineen suihkutussysteemi koostuu korkeapainepumpusta, suuttimista, paineensäätimestä ja ohjausyksiköstä. Polttoaineen suihkutussysteemi tarvitsee korkeamman polttoaineen paineen, kuin kaasuttaja. Järjestelmä on monesti

varustettu kahdella polttoainepumpulla. Siirtopumppu syöttää polttoainetta tankilta korkeapainepumpulle. Korkeapainepumppu nostaa paineen noin kymmeneen baariin ja pumppaa polttoaineen suuttimille. Suuttimien tehtävä on suihkuttaa polttoaine sumuna imusarjaan, tai suoraan sylinteriin. Suuttimet on mitoitettu toimimaan yleensä noin 3 baarin paineella. Järjestelmän painetta ohjataan suuttimilta tankille palaavaan polttoainelinjaan asennetulla säätimellä. Säädin kuristaa paluuvirtausta ja pitää paineen suuttimille soveltuvana. (Lehtinen & Rantala 2012, 188.)

Kärjettömässä sytytysjärjestelmässä ei ole ollenkaan kuluvia mekaanisia osia, toisin kuin kärjellisessä järjestelmässä. Järjestelmä voi koostua neljästä erillisestä puolasta tai yhdestä puolapaketista. Puolapakettiin on koottu samaan osaan useampi ensiö- ja toisiokäämpipari. Sytytyksen ohjauksen hoitaa moottorin ohjainlaite. Kipinä muodostuu, kun ohjainlaite katkaisee puolalle syötettävän ohjausjännitteen. Jännitteen katkaisuhetkellä puolan toisiokäämiin indusoituu jännite, joka tulppalle johdettuna muodostaa kipinän tulpan kärkien väliin. (Lehtinen & Rantala 2012, 151,152.)



KUVA 5. Elektroninen moottorinohjausjärjestelmä

3.2.1 Moottorin ohjainlaite

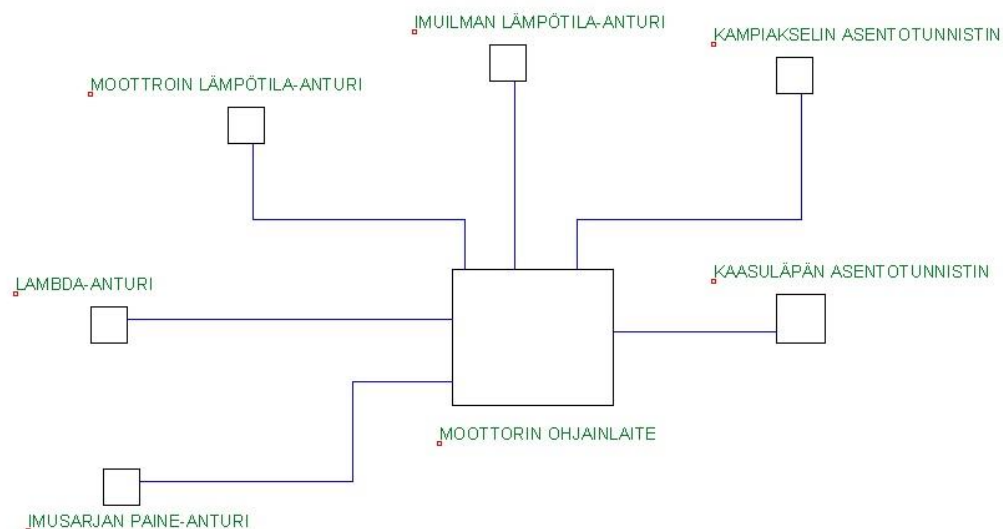
Elektronisen moottorinohjausjärjestelmän ydin on moottorin ohjainlaite. Se on mikrotietokone, joka säätelee polttoaineensuihkutusta sekä sytytyksen ajoitusta, jotta moottorin kävisi parhaalla mahdollisella hyötysuhteella.



KUVA 6. Moottorin ohjainlaite

Ohjainlaitteen muistiin on tallennettu kartoiksi kutsuttavat taulukkomuotoiset tiedostot. Kartoja on yleensä kolme; sytytysennakko-, polttoaine- ja lambda-arvo karta. Kartoilta ohjainlaite valitsee moottorin kuormitustilanteelle soveltuvat sytytysennakon- ja polttoaineensuihkutuksen arvot.

Moottorin ohjainlaite tarvitsee toimiakseen tiedon moottorin pyörimisnopeudesta, kuormitustilasta, lämpötilasta, pakokaasun jäännöshappipitoisuudesta ja kaasulämpän asennosta. Kuvassa 7 on esitetty havainne piirros moottorinohjauksen tarvitsemista antureista.



KUVA 7. Moottorin ohjainlaitteen tarvitsemat anturit

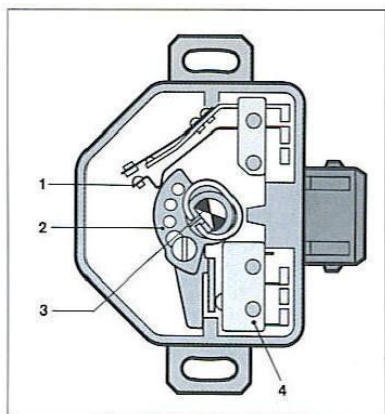
3.2.2 Kaasuläpän asentotunnistin ja kaasuläppä

Kaasuläpällä säädellään moottoriin imettävän ilman määrää ja moottorin kierros- lukua. Kaasuläpässä on yleensä alumiininen runko ja sen sisällä on imuaukon tiiviisti sulkeva läppä. Vanhemmissa autoissa kaasuläpän ohjaus on toteutettu vaijerilla. Uudemmissa autoissa kaasupolkimeen on asennettu tunnistin, joka välittää tiedon kaasupolkimen asennosta ohjainlaitteelle. Ohjainlaite kääntää kaasuläppää säätävää sähkömoottoria kaasupolkimen asennon perusteella.



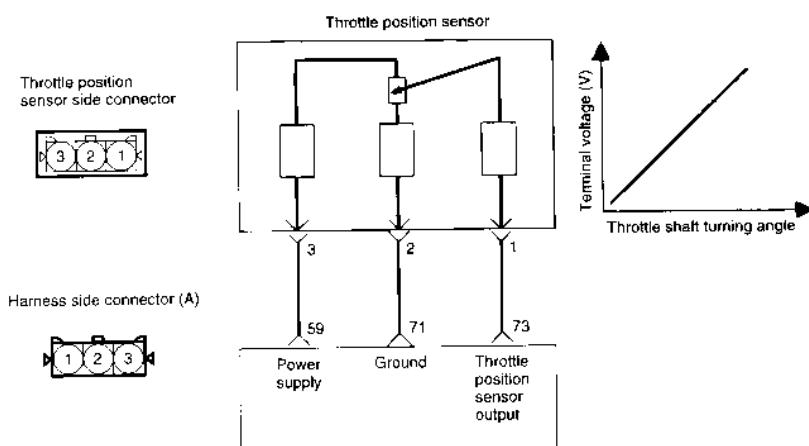
KUVA 8. Kaasuläppä ja asentotunnistin.

Ohjainlaitteelle täytyy kertoa tieto kaasuläpän asennosta. Tämä tapahtuu kaasuläpän asentotunnistimen avulla. Asentotunnistin sijaitsee kaasuläpän akselin päässä ja akseli kääntyessään pyörittää asentotunnistinta. Tunnistimia on kahta tyyppiä, säätövastuksellisia tai kytkimillä toteutettuja. Kytkimillä toteutetussa versiossa tunnistimessa on kaksi kytkintä. Tyhjäkäyntitilanteelle on oma kytkimensä ja täyskaasulle omansa. Osakaasutilanne näkyy ohjainlaitteelle tilana, jossa molemmat kytkimet ovat kiinni.



KUVA 9. Kaasuläpän asentotunnistin. (Robert Bosch GmbH 1981, 15)

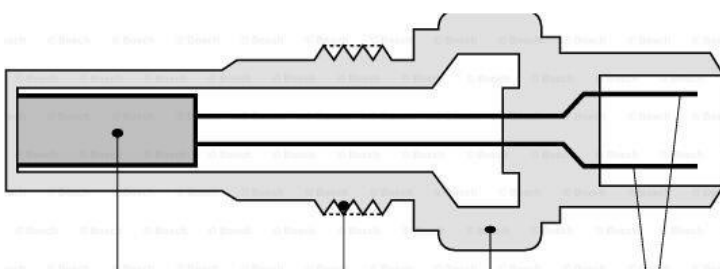
Tunnistin voidaan toteuttaa myös säätövastuksen avulla. Tunnistimen vastusarvo muuttuu kaasuläpän asennon muuttuessa. Tämä aiheuttaa muutoksen anturin mittauspisteen jännitteeseen. Muuttuvan jännitearvon avulla ohjainlaite saa tiedon kaasuläpän asennosta. (Lehtinen & Rantala 2012, 155.)



KUVA 10. potentiometri tyyppisen kaasuläpän asentotunnistimen kytkentä. (<http://www.newtonnet.co.uk> / Hyundai Coupe/Tiburon 1998-2000 service manual)

3.2.3 Moottorin ja imuilman lämpötila-anturi

Moottorin lämpötila-anturi kertoo moottorinohjaimelle tiedon moottorin lämpötilasta. Tämän tiedon perusteella ohjainlaite laskee seoksen lisärikastuksen tarpeen kylmäkäynnistys tilanteessa. Anturi on usein sijoitettu osaksi moottorin jäähdytysjärjestelmää, jossa se mittaa jäähdytysnesteen lämpötilaa. Myös öljyn lämpötilaa voidaan mitata, mutta öljyn hidas lämpeneminen aiheuttaa pidemmän seoksen rikastuksen. Anturin toiminta perustuu sen lämpötilan mukaan muuttuvaan vastusarvoon. Yleensä anturit ovat NTC-vastuksia, joiden resistanssi pienenee lämpötilan noustessa. (Lehtinen & Rantala 2012, 155.)



KUVA 11. Lämpötila-anturin rakenne (Robert Bosch GmbH 1981)

Toinen lämpötilaa mittaava anturi on imuilman lämpötila-anturi, joka mittaa moottoriin imettävän ilman lämpötilaa. Lämpötilatiedon perusteella ohjainlaite tekee korjauksia polttoaineseokseen. Korjaus on tarpeellinen kylmällä kelillä, koska polttoaineseos pyrkii pisaroitumaan imusarjan seinämiin. Seosta tulee rikastaa, jotta tämä ilmiö lieventyisi. Anturin rakenne on tehty avonaisemmaksi kuin moottorin lämpötila-anturin, mutta niiden toimintaperiaate on samanlainen. (Bell & Mauno 2007, luvun 7 sivu 6.)



Kuva 12. Imuilmanlämpötila anturi

3.2.4 Pakokaasun happitunnistin

Happitunnistin on pakosarjaan asennettava anturi, joka mittaa pakokaasun jäännöshapen määrää. Happitunnistimella mitattava lambda-arvo vertaa pakokaasussa olevaa jäännöshapen määrää teoreettiseen hapenmäärään, joka tarvitaan bensiinin ideaaliseen, eli stökiömetriseen palamiseen. Stökiömetrisen palamisen lambda-arvo on yksi. Bensiiniä poltettaessa tämä tarkoittaa, että yhden polttoainekilon polttamiseen tarvitaan 14,7 kiloa ilmaa. Seos on rikas, jos lambda-arvo on alle yhden. Seos on laiha, jos lambda arvo on yli yhden. (Lakkala 2015, 18.)

Happitunnistimia on laaja- ja kapeakaistaisia. Kapeakaistainen anturi kykenee mittaamaan happiarvoa vain 0,95 ja 1,05 lambda arvojen välillä. Kapeakaistaisen anturin avulla nähdään, jos seos on rikkaalla tai laihalla. Kapean mittausalueensa takia anturin avulla ei pystytä kuitenkaan säätämään seosta tarkasti.

Laajakaistainen anturi pystyy mittaamaan lambda arvoa 0,685 – 1,405 välillä. Laajan mittausalueensa ansiosta se soveltuukin hyvin moottorin säätämiseen. (Lakkala 2015, 18.)

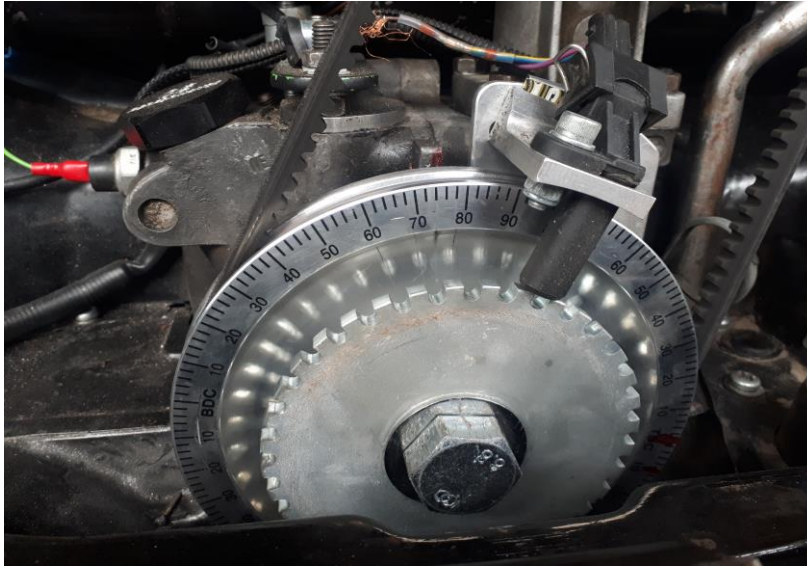


KUVA 13. Pakokaasun happitunnistin

3.2.5 Kampiakselin asentotunnistin

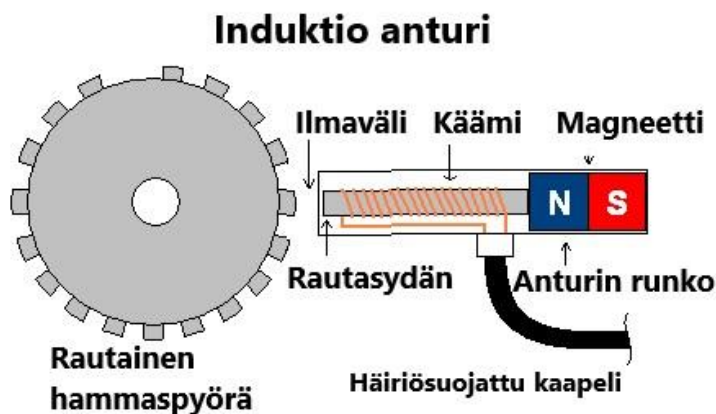
Moottorinohjain tarvitsee tiedon moottorin asemasta ja pyörimisnopeudesta, jotta polttoaineen suihkutusta ja kipinän muodostusta tapahtuvat oikealla hetkellä. Tämä tieto saadaan kampiakselin asentotunnistimelta. Asentotunnistimen anturi lukee

hihnapyörään tai vauhtipyörään kiinnitettyä metallista hammaspyörää, mistä käytetään myös nimitystä triggeripyörä. (Lehtinen & Rantala 2012, 154.)



Kuva 14. Kampiakselin asentotunnistin ja triggeripyörä.

Asentotunnistin on induktio tyyppinen. Se koostuu anturin keskellä olevasta metallisesta sauvasta, kuparikäämistä ja kestmagneetista. Anturin induktiokäämin päidenvälille syntyy jännite, kun kampiakselin mukana pyörivä metallinen hammaspyörä pyörii lähellä anturia. Jännite on yksivaiheista sinimuotoista vaihtosähköä ja sen amplitudi on nollassa. Jännitteen voimakkuus riippuu moottorin pyörimisnopeudesta. Pyörimisnopeustieto saadaan mitattua jännitesignaalin nollassa kohtien välisestä etäisyydestä. Puuttuvat hampaat aiheuttavat anturin signaaliin korkean piikin. Ohjainlaite laskee näitä piikkejä ja ajoittaa niiden perusteella sytytys hetken oikein. (Lehtinen & Rantala 2012, 154.)

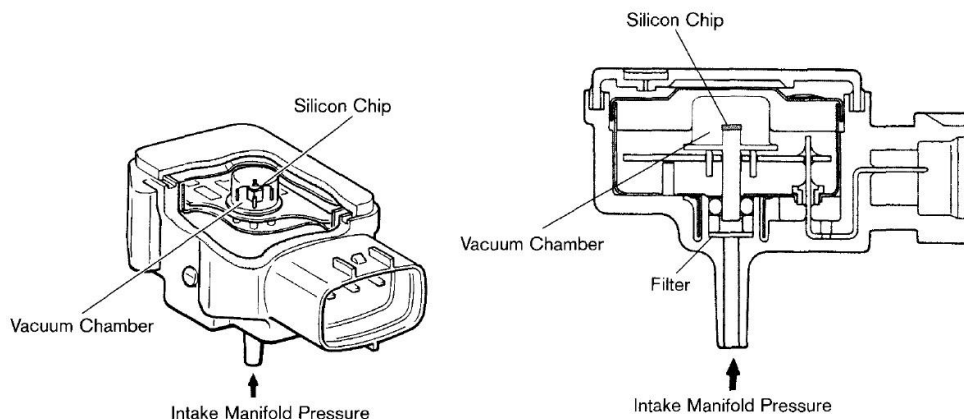


KUVA 15. Induktioanturin rakenne

3.2.6 Imusarjan paineanturi

Imusarjan paineanturi mittaa imusarjassa vallitsevaa painetta, joka on vapaasti hengittävässä moottorissa alipainetta. Paine kuvaa moottorin kuormitustilannetta. Tyhjäkäynnillä ja tasaista maantienopeutta ajettaessa, on kaasuläppä vähän auki ja imusarjan alipaine on suuri. Korkealla kuormituksella kaasuläppä on täysin auki ja alipaine on pieni.

Anturin sisällä on vakio alipainekammio, johon imusarjassa vallitsevaa painetta verrataan. Paine-ero kammion ja imusarjan alipaineen välillä taivuttaa anturin sisällä olevaa silikonikalvoa, joka painaa vastuselementtiä. Vastus elementin resistanssi muuttuu, mikä vaikuttaa anturin mittauspisteen jännitteeseen. Tämän signaalin vaihtelun avulla ohjainlaite saa tiedon imusarjan alipaineesta. Alipainetietoa käytetään oikean ruiskutusmäärän mitoituksessa ja sytytyksen ajoituksessa. (Lehtinen & Rantala 2012, 154.)



KUVA 16. Imusarjan paineanturi (<http://otostudy15.blogspot.com>)

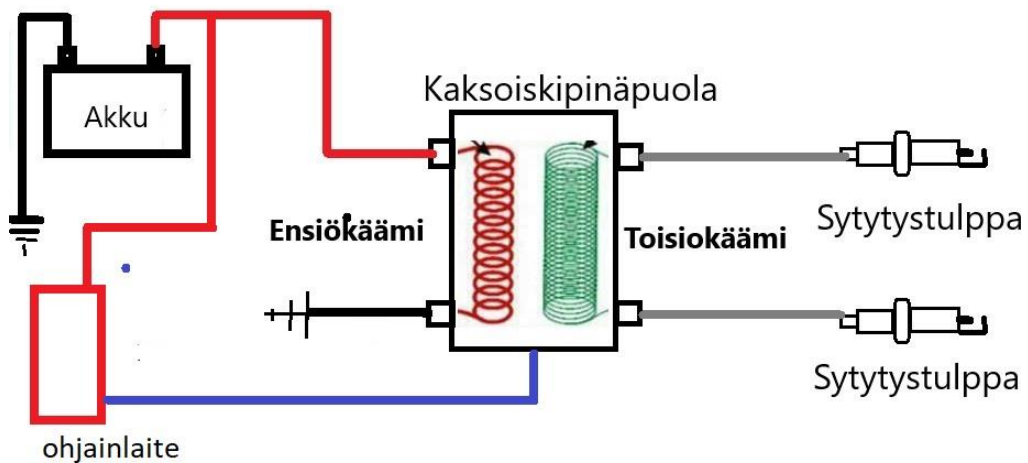
3.2.7 Kaksoiskipinäpuola

Puolan tehtävä on muodostaa korkeajännite, joka johdetaan sytytysjohtimia pitkin sytytystulpille. Korkeajännite hyppää tulpankärkien välillä ja muodostaa voimakkaan sähköisen kipinän. (Lehtinen & Rantala 2012, 159.)



Kuva 17. Kaksoiskipinäpuola

Puola koostuu kahdesta galvaanisesti erotetusta ensiö- ja toisiokäämpiparista. Toisiokäämien molempiin päihin on kytketty sytytystulppa. Kipinä muodostuu, kun ensiökäämin virtaa katkotaan. Puolan sisäisessä ohjausvirtapiirissä on transistori kytkentä, jolla katkotaan ensiövirtapiiriä ohjainlaitteen ohjaamana. Virran katkaisuhetkellä toisiokäämiin indusoituu korkeajännite. Puola antaa kipinän kahdelle tulpalle samanaikaisesti. Toinen annetuista kipinöistä menee poistotahdilla olevalle sylinterille, eli se jää hyödyntämättä. Tästä tulee myös nimitys hukkakipinäsytytys. Puola tarvitsee moottorinohjaimelta kaksi sytytyksen ohjauslähtöä. Yksi lähtö kumpaakin käämpiparia kohden. (Lehtinen & Rantala 2012, 159.)



KUVA 18. Kaksoiskipinäpuolan rakenne

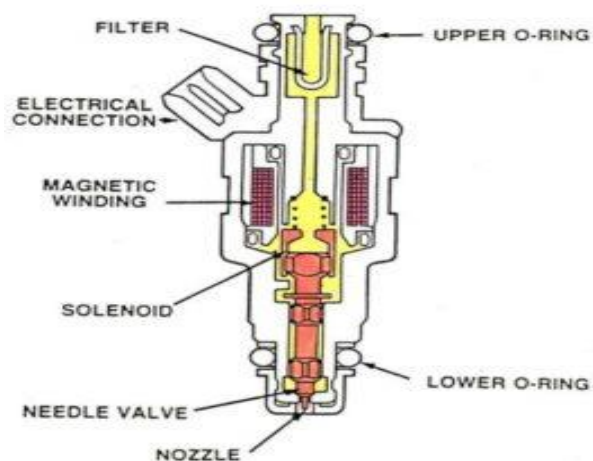
3.2.8 Suuttimet

Suihkusuutin on ruiskutusjärjestelmän komponentti, jonka tehtävä on suihkuttaa polttoaine mahdollisimman hienona sumuna imusarjaan tai suoraan sylinteriin.



Kuva 19. Suutin

Suutin koostuu suutinrungosta, neulaventtiilistä ja sähkömagneetista. Ruiskutus tapahtuu, kun moottorinohjainlaite sulkee suuttimen virtapiirin maadoittamalla sen. Suuttimen sisällä oleva sähkömagneetti avaa suuttimen neulaventtiilin, jolloin polttoaine pääsee virtaamaan hienona sumuna suutinkärjen läpi ulos suuttimesta. Moottorille sopivat suuttimet valitaan niiden tilavuusvirran perusteella. Valmistaja on antanut suuttimille staattisen tilavuusvirta arvon, joka on yleensä mitoitettu 3 baarin polttoaineen paineelle. (Lehtinen & Rantala 2012, 199.)



KUVA 20. Suuttimen rakenne (southernperformanceinjectors. 2011)

Suuttimien virtausmäärän riittävyyttä voidaan tarkastella laskemalla ensin käytössä olevan moottorin polttoaineen tarve. Laskeminen tapahtuu seuraavalla kaavalla 1.

$$FP = HP \times K \quad (1)$$

Kaavassa merkki FP on polttoaineen virtaus (cm^3/min). Merkki HP kuvaa moottorin maksimitehoa hevosvoimina mitattuna. Merkki K on kerroin, jonka arvo on vapaasti hengittävillä moottoreilla 4,6 ja ahdetuilla moottoreilla 5,6. (Bell & Mauno 2007, luvun 7 sivu 35.)

Moottorin polttoaineen tarpeen selvittämisen jälkeen, lasketaan suuttimien virtausmäärä kaavan 2 avulla.

$$FI = SF \times N \times M \quad (2)$$

Kaavassa merkki FI on suuttimien kokonaisvirtaus (cm^3/min). Merkki SF on suuttimen staattinen virtausarvo (cm^3/min), tämä arvo on yleensä suutinvalmistajan ilmoittama ja se on määritetty tietylle paineelle. Merkki N on suuttimien lukumäärä ja merkki M on suuttimien käyttösuhde. Tämä arvo mitoitetaan yleensä maksimissaan 80 prosenttiin, jotta suuttimen suihkutustarkkuus ei kärsi. (Bell & Mauno 2007, luvun 7 sivu 35.)

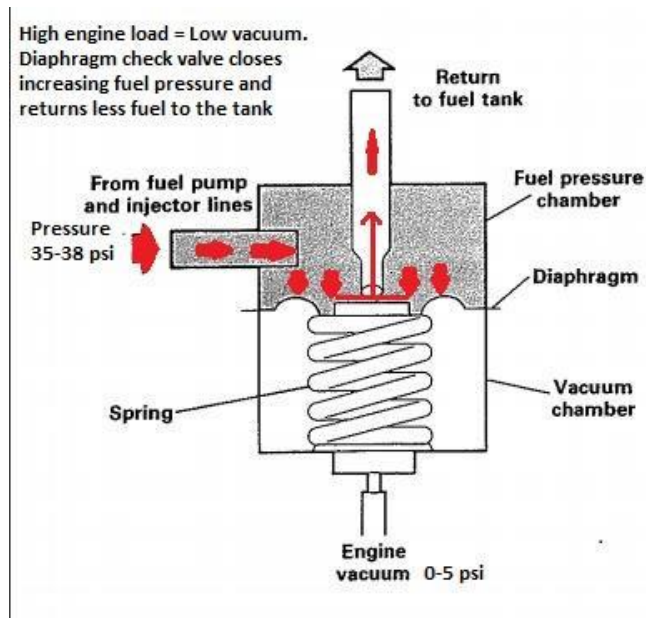
3.2.9 Paineensäädin

Valmistaja on antanut suuttimille käyttöpaineen, jossa ne toimivat parhaiten. Korkeapainepumpun tuottama paine täytyy laskea vastaamaan suuttimien käyttöpainetta. Paineen laskeminen tehdään paineensäätimen avulla.



KUVA 21. Paineensäädin

Paineensäätimiä on kiinteitä ja säädettäviä. Kiinteä säädin rajoittaa paineen tiettyyn arvoon, kun taas säädettävässä versiossa käyttäjä saa itse säätää haluamansa paineen. Paineensäädin koostuu kahdesta kammiosta, jotka on erotettu jousikuormitteisella kalvolla. Kalvon toisella puolella on polttoaineenpaine ja toisella puolella on imusarjanpaine. Kammioiden välinen paine-ero liikuttaa kalvoa ja polttoainetta pääsee virtaamaan paluulinjaan tarvittaessa. (Bell & Mauno 2007, luvun 7 sivu 35.)



KUVA 22. Paineensäätimen toiminta (www.thesamba.com 2008)

4 MOOTTORINOHJAUKSEN ASENTAMINEN

Moottorin ohjausjärjestelmä pitää sisällään monia komponentteja, jotka täytyy asentaa ajoneuvoon. Kuplassa ei ole mitään tarvittavia komponentteja valmiina. Jokaiselle komponentille täytyy suunnitella tarkoituksenmukainen asennuspaikka ja kiinnitystapa, jotta laitteistosta saadaan toimintavarma.

Tässä luvussa käydään läpi moottorinohjaimen tarvitsemien antureiden ja laitteiden asennus ajoneuvoon. Jani Halosen (2012) veewe.net sivustolle samankaltaisesta projektista kirjoittama blogiteksti oli hyvänä apuna moottorinohjausjärjestelmän suunnittelussa sekä asennuksessa. Joitakin blogitekstissä esitetyistä osien asennuspaikoista pystyi suoraan hyödyntämään tässä työssä. Monille osille täytyi kehittää toimivampi ratkaisu, erilaisten komponenttivalintojen vuoksi.

4.1 Polttoainejärjestelmän asennus

Kuplassa ei ole alun perin yhtäkään ruiskukäyttöön soveltuvaa polttoaineen syötön komponenttia. Polttoainelinjat on tehtävä ruiskukäyttöön soveltuviksi. Polttoainepumppu on vaihdettava tehokkaampaan ja polttoaineen suodatus on rakennettava paineenkestäväksi. Lisäksi suuttimet ja polttoaineen jakokiskot on sijoitettava moottoritilaan.

4.1.1 Polttoainelinjat

Polttoaineen suihkutusjärjestelmää varten tarvitaan kaksi polttoainelinjaa. Toinen on painelinja ja toinen on paluulinja suuttimilta tankille. Linjojen tulee olla hyvin virtaavia ja paineen kestäviä.

Linjojen materiaaliksi valittiin kahdeksan millimetrin sisähalkaisijalla oleva seostettu kupariputki. Ajoneuvokäyttöön tarkoitettu seostettu kupariputki ei ole niin herkkää murtumaan tärinästä, kuin normaali kupariputki. Putkia ei saanut vietyä

samaa reittiä auton pohjassa, kuin alkuperäistä putkea. Putket asetettiin kulkemaan auton pohjassa oikealla puolella pohjalevyn pökkauksen vieressä. Niiden kiinnitys on toteutettu kumieristeisillä putkenkannakkeilla.



Kuva 23. Polttoainelinjat

Putkien reittiä suunniteltaessa piti huomioida, etteivät putket jää pohjan matalimmalle kohdalle. Ne ovat paremmin suojassa puhkeamiselta, jos auton pohja jostain syystä ottaa kiinni maahan.

Koko polttoainelinjastoa ei voinut järkevästi toteuttaa kupariputkella sen huonon taivuteltavuuden vuoksi. Putket päättyvät auton takaosassa taka-akselin etupuolelle, josta ne jatkettiin paineenkestävällä polttoaineletkulla moottoritilaan. Moottoritilan läpivienteihin asennettiin läpivientikumit, jotta letku ei pääse missään tapauksessa hankautumaan puhki.



Kuva 23. Polttoaineletkujen läpivienti moottoritilaan

Moottorilassa painelinja jaettiin messinkisiä haaraliittimiä käyttäen moottorin molemmilla sivuilla oleville polttoainekiskoille. Kiskoilta lähtevät paluulinjat yhdistettiin myös haaraliittimiä käyttäen paineensäätimelle menevään letkuun. Paineensäätimeltä palaava letku liitettiin moottorilaan tulevaan paluulinjaan. Etupäässä putket jatkuvat pyöräkoteloon, jossa ne vaihtuvat letkuiksi ja menevät polttoainepumpulle ja suodattimille.

4.1.2 Korkeapainepumppu

Alkuperäinen polttoainepumppu ei pystynyt tuottamaan suuttimien tarvitsemaa painetta, joten se korvattiin korkeapainepumpulla. Korkeapainepumppu tuottaa suuren paineen, mutta se pystyy imemään huonosti polttoainetta. Monissa autoissa on erikseen siirtopumppu, joka pumppaa polttoainetta tankilta korkeapainepumpulle. Kuplassa pystyi korkeapainepumpun sijoittamaan suoraan tankin alle, jolloin painovoima hoitaa siirtopumpun tehtävät.

Polttoainepumpun läheisyyteen sijoitettiin myös suodattimet. Ne saadaan tarvittaessa helposti vaihdettua pyöräkotelon kautta ilman tankin irrottamista. Pumppu ja suodatin kiinnitettiin putkenkannattimilla metallilevystä tehtyihin asennus alustoihin. Alustat kiinnitettiin auton koriin ruuvikiinnityksellä.



Kuva 25. Polttoainepumppu ja -suodatin

4.1.3 Suuttimet ja polttoainekiskot

Jokaiselle sylinterille asennettiin oma suutin. Suuttimille tehtiin paikat imusarjan alkukäyriin. Vastaiskumoottorissa sylinterit ovat eripuolilla moottoria. Suuttimille polttoainetta syöttävää suutinkiskoa ei voinut tehdä yksiosaisena. Kiskot tehtiin kahdesta kahden suuttimen kiskosta, jotka yhdistettiin toisiinsa polttoaineletkulla.



Kuva 26. Suuttimien kiinnitys imusarjaan.

Suuttimiksi valittiin 1,6 litraisen Audi A4:n Bosch ev14 -malliset suuttimet. Suuttimien kiinnitys sopi suoraan kuplassa käytettyihin suutinkiskoihin. Molempien ajoneuvojen moottoreiden litratilavuus on saman suuruinen. Audin moottoriteho on 101 hevosvoimaa, joten suutinten tuotto riittää noin 80 hevosvoimaiselle kuplan moottorille hyvin. Suuttimissa riittää vielä varaa moottoritehon kasvattamisellekin, ilman niiden vaihtoa.

Moottorin tarvitsema polttoaineen virtausmäärä ja suuttimien virtausmäärä tarkastettiin laskemalla. Laskennassa käytettiin sivulla 19 esitettyjä kaavoja. Tarvitava polttoaineen virtausmäärä laskettiin sillä oletuksella, että kuplan moottorin teho olisi 80 hevosvoimaa. Tarvittava polttoaineen virtaus on tällöin $368 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Suuttimien kokonaisvirtaukseksi saatiin 60 prosentin käyttösuhteella ja $165 \text{ cm}^3/\text{min}$ staattisella virtauksella $396 \text{ cm}^3/\text{min}$. Laskelmien mukaan suuttimien tuotto on riittävän suuri kuplan moottorille.

4.1.4 Paineensäädin

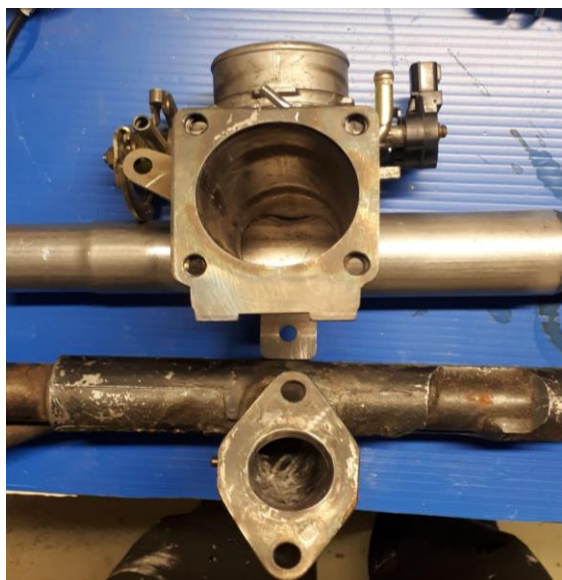
Paineensäätimen asennuspaikaksi valikoitui moottoritilan oikea reuna, jossa sen sai kiinnitettyä pulteilla moottorin jäähdytyspeltiin. Kuvassa 27 näkyy paineensäätimen asennuspaikka moottoritilassa. Säätimeltä lähtevä sininen letku on paineen säätimen stabilointipaineen letku, joka menee imusarjan kyljessä olevaan liittimeen.



KUVA 27. Paineensäädin

4.1.5 Imusarja

Kuplan alkuperäinen imusarja koostuu kolmesta osasta. Siinä on kaksi sylinterikansiin kiinnittyvää alkukäyrää ja T-haaran mallinen keskiputki, johon kaasuttaja on kiinnitetty. Alkuperäisen imusarjan halkaisija oli liian pieni ja siihen olisi ollut hankala rakentaa kiinnitys uudelle kaasuläpälle.



Kuva 28. Uusi ja vanha imusarja

Koko imusarja päätettiin tehdä uudelleen. Se pyrittiin tekemään mahdollisimman alkuperäisen kaltaiseksi, joten vain halkaisijaa kasvatettiin. Alkukäyrät korvattiin versioilla, joihin oli tehty paikat suuttimille. Uusi imusarja tehtiin putkesta ja neljä millimetriä paksusta metallilevystä, josta tuli kiinnityslaippa kaasuläpälle. Osat liitettiin toisiinsa hitsaamalla. Hitsauksia tehdessä tuli kiinnittää erityistä huomiota hitsaussaumojen laatuun. Saumojen täytyy olla täysin tiiviit, jotta moottoriin ei tule imuvuotoa.

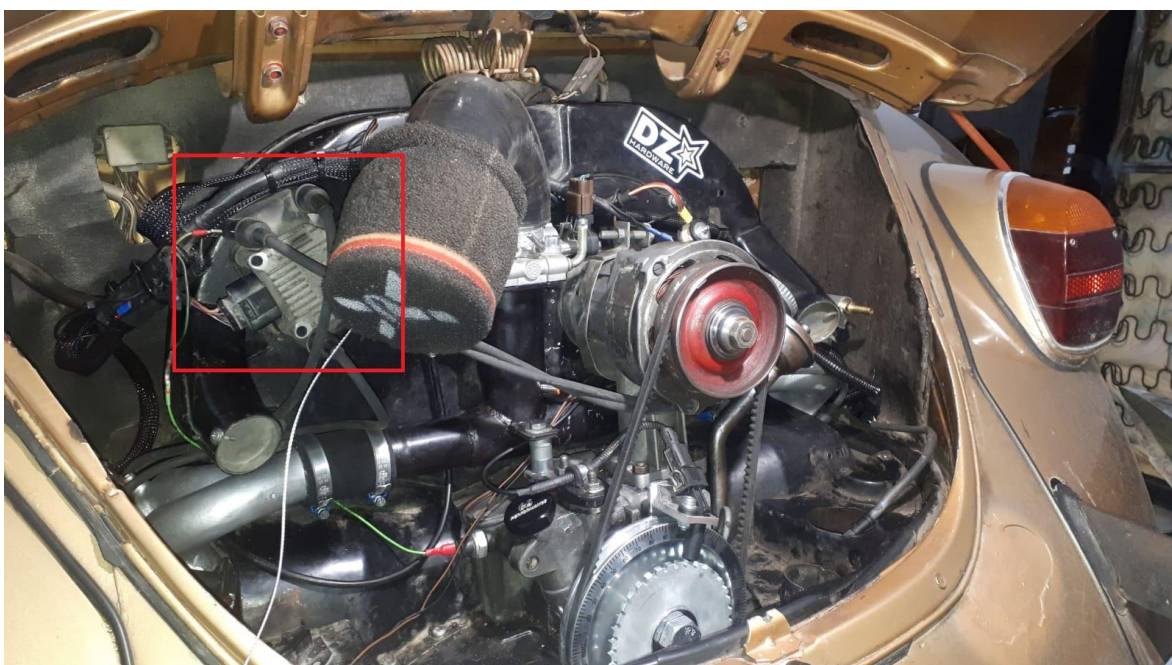


Kuva 39. Imusarja

4.2 Sytytysjärjestelmän ja anturoinnin asennus

4.2.1 Puola

Sytytyspuolaksi valittiin Volkswagenin tuotteissa paljon käytetty kaksoiskipinäpuola. Valintaperusteena oli hyvä saatavuus ja mahdollisuus ohjata puolaa suoraan moottorinohjaimen sytytyslähtöjen kautta. Puolassa on sisäänrakennettuna moottorinohjaimen tarvitsema ohjauselektronikka, joka tarvitaan ohjainlaitteen sytytyslähtöjen vaurioitumisen estämiseksi. Vanhassa ja uudessa puolassa on sama kiinnitysreikien väli, joten kiinnitys onnistui alkuperäiselle paikalle puhallinkotelon kylkeen.



KUVA 30. Sytytyspuolan sijainti

Puola vaatii toimiakseen kaksi sytytyksen ohjaus lähtöä. Yksi lähtö ohjaa aina kahden sylinterin sytytystä. Tulpanjohtoja kytkiessä on selvitettävä oikea kytkentäjärjestys, jotta kipinä menee oikealle sylinterille. Puolaan on sytytysjohtimien lähdöt merkattu A, B, C, D kirjaimin. Ohjainlaitteen sytytyslähtö numero 1, ohjaa puolan sytytysjohtimien lähtöjä A ja D. Lähtö 2 ohjaa puolan lähtöjä B ja C.

Sytytys tapahtuu hukkakipinä periaatteella. Kipinä tulee aina kahteen sylinteriin kerrallaan. Toinen sylintereistä on puristustahdilla ja toinen poistotahdilla. Poistotahdilla olevassa sylinterissä kipinä ei sytytä mitään, eli se menee hukkaan. Tästä tulee myös nimitys hukkakipinä sytytys.

Sytytys tapahtuu aina puolenkampiakselin kierroksen eli 180 asteen välein. Sytytysjohtimet tulee sijoittaa siten, että sytytyspuolan lähdöistä A ja D lähtevät johdot menevät vastakkaisilla puolilla moottoria oleville sylintereille. Myös lähtöjen B ja C johdot kytkettiin vastakkaisilla puolilla moottoria oleville sylintereille. Kuplassa sylinterin numero löytyy jäähdytyspellistä sylinterin päältä. Tulpanjohtojen kytkentä tapahtui taulukon 1 mukaisesti.

TAULUKKO 1. Tulpanjohtojen kytkentäjärjestys

SYTYTYSLÄHDÖN KIRJAIN	SYLINTERIN NUMERO
A	1
B	2
C	3
D	4

4.2.2 Kampiakselin asentotunnistin

Moottorin ohjainlaite saa pyörimisnopeustiedon kampiakselin asentotunnistimen avulla. Anturi lukee hihnapyörän päälle kiinnitettyä metallista hammaspyörää, jossa on 36 hammasta ja yksi puuttuva hammas. Puuttuvan hampaan avulla ohjain laskee koneen pyörimisnopeuden ja oikean sytytys- sekä ruiskutusajankohdan.

Asentaessa tuli huomioida, että anturin kaapelointi tehdään häiriösuojatulla kaapelilla ja sen reititys kulkee mahdollisimman kaukana sytytyspuolasta ja sen johdoista. Näin minimoidaan häiriöt anturin signaalissa. Anturin ja triggeripyörän välinen etäisyys täytyi säätää tarkasti 0,5 millimetrin suuruiseksi, jotta anturin signaali saatiin tarpeeksi voimakkaaksi.



Kuva 31. Kampiakselin asentotunnistin

4.2.3 Lämpötila-anturit

Moottorin ohjainlaite tarvitsee toimiakseen kaksi lämpötila-anturia. Toinen antureista mittaa moottoriin imettävän ilman lämpötilaa ja toinen moottorin lämpötilaa. Imuilman lämpötilaa mittaavan anturin sijainti ei ole vapaasti hengittävässä moottorissa kriittinen. Anturin voi sijoittaa ilmansuodattimen ja kaasuläpän välille. Kuppilassa anturin sijoituspaikaksi valittiin kaasuläppään kiinnittyvä moottorin ilmanoton letku.



KUVA 32 Imuilman lämpötila-anturi

Moottorin lämpötilaa mittaava anturi on kuplassa hankalampi toteuttaa. Yleensä moottorin lämpötilan mittaaminen tehdään jäähdytysnesteen lämpötilaa mittaamalla. Kuplan moottorin jäähdytys on toteutettu ilmalla, joten jäähdytysnesteestä mittaaminen ei onnistu. Vaihtoehdot ovat lämpötilan mittaus moottoriöljystä tai lämpötilan mittaus sylinterin läpi puhallettavasta ilmasta. Lämpötilan mittaus päätettiin toteuttaa öljytikun paikalle asennettavalla lämpötila-anturilla, joka mittaa lämpötilaa öljypohjasta.

4.2.4 Pakokaasun happitunnistin

Pakokaasun jäännöshappipitoisuuden mittaamista varten autoon asennettiin laajakajaista lambda-anturi. Lambda-anturi tulee sijoittaa oikein, jotta sen näyttämä lukema olisi mahdollisimman tarkka. Anturi sijoitettiin kohtaan, jossa kaikki moottorin tuottamat pakokaasut kulkevat sen ohitse.



KUVA 33. Lambda-anturin asennuspaikka

Kuplan moottorin rakenteen takia jokaiselta sylinteriltä lähtee oma putkensa. Ne yhdistyvät yhdeksi putkeksi juuri ennen äänenvaimenninta. Putkien yhdyskohtaan porattiin reikä ja siihen hitsattiin lambda-anturin kiinnitystä varten kierreholkki, johon anturi saatiin kierrettyä.

4.2.5 Kaasuläppä ja asentotunnistin

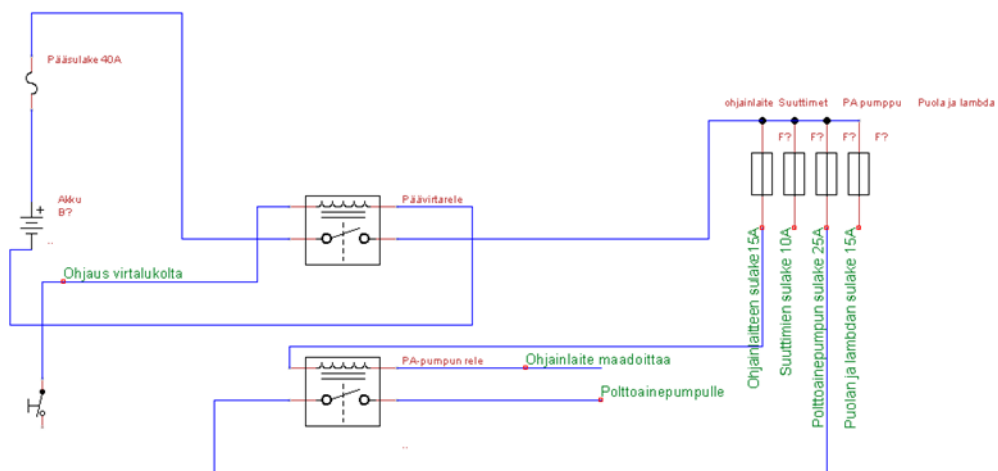
Auto haluttiin pitää hallintalaitteidensa osalta mahdollisimman yksinkertaisena. Kaasuläpän tuli olla mahdollisimman pienikokoinen, vaijerikäyttöinen ja siinä piti olla potentiometri tyyppinen kaasuläpän asentotunnistin.

Projektiin soveltuva kaasuläppä löytyi vuonna 1996 valmistetusta kaksilitraisesta Nissan Primerasta. Kaasuläpän mukana tuli oikeanlainen asentotunnistin, mikä helpotti asennusta. Kaasuläppä sijoitettiin moottoritilaan kaasuttajan paikalle.

4.2.6 Moottorin ohjainlaite

Ohjainyksikkö sijoitettiin takapenkin taakse tavaratilaan. Tavaratilasta kaapelointi vietiin tulipeltiin tehdyn läpiviennin kautta moottoritilaan. Ohjainlaite päätettiin sijoittaa auton sisälle tilansäästämiseksi. Ohjaamossa se on myös paremmin suojassa kosteudelta ja lämmöltä, kuin ajoneuvon moottoritilassa.

Moottorinohjaimeksi valittiin Maxxecu merkinen moottorinohjain. Maxxecu on Ruotsalainen moottorinohjainvalmistaja, joka valmistaa ohjaimia katu- ja kilpikäyttöön. Tässä työssä käytettiin Maxxecun street versiota. Kyseinen ohjain valittiin, koska siinä on valmiiksi sisäänrakennettuna ohjauselektronikka laajakaista lambda-anturia varten.



KUVA 34. Ohjainlaitteen päävirtapiiri

Ohjainlaitteelle rakennettiin päävirtapiiri, jossa on päävirtarele ja polttoainepumpun rele. Lisäksi asennettiin tarvittavat sulakkeet. Virtalukolta otettiin ohjausvirta päävirtareleelle. Polttoainepumpun relettä ohjaa moottorin ohjainlaite.

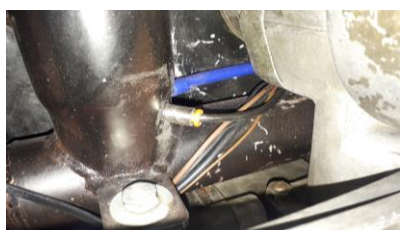
Moottorin ohjausjärjestelmän sähköasennukset tehtiin toimimaan rinnakkain auton alkuperäisen sähköjärjestelmän kanssa. Järjestelmä on tarvittaessa helposti purettavissa, jos auton haluaa muuttaa takaisin alkuperäiseksi.



KUVA 35. Moottorin ohjainlaite ja kytkentäkotelo

4.2.7 Imusarjan paineanturi

Imusarjan paineanturi on integroituna moottorinohjaimen piirilevylle ja painetieto sille välitetään pneumiikkaletkua pitkin. Imusarjaan tehtiin letkulle kiinnityspiste. Kiinnityksen tuli sijaita imusarjassa kaasuläpän jälkeen mahdollisimman lähellä kaasuläppää. Mittauspisteen piti olla mahdollisimman tiivis, jotta välttyttäisiin imuvoudolta. Kiinnitys toteutettiin 4 mm:n letkulle tarkoitetulla pneumiikkaliittimellä, joka on soveltuva ali- ja ylipaineelle.



KUVA 36. Imusarjan paineen mittausliitin

5 Moottorinohjauksen säätäminen

5.1 Ohjainlaitteen perusasetukset

Moottorin ohjainlaitteen säätäminen tehdään Ohjainvalmistajan kotisivuilta ladattavalla M-tune säätöohjelmalla. Perusasetusten säätäminen aloitettiin säätöohjelman Configuration välilehdeltä. Ohjelmaan syötettiin tiedot ohjattavan moottorin iskuilavuudesta, sytytysjärjestyksestä ja sylinterien lukumäärästä.

The screenshot shows the 'Engine settings' configuration window. It is divided into three sections: 'Engine settings', 'Firing order', and 'Even/oddfire'. Each section contains several configuration options with a question mark icon for help.

Section	Parameter	Value	Unit
Engine settings	Engine type	Piston 4-stroke	
	Cylinder count	4	
	Engine displacement	1600	cc
	Engine max crank RPM	350	rpm
Firing order	Engine fireorder 1	Cyl 1	
	Engine fireorder 2	Cyl 4	
	Engine fireorder 3	Cyl 1	
	Engine fireorder 4	Cyl 2	
Even/oddfire	Firing angle calculation	Automatic even fire	

KUVA 37. Ohjattavan moottorin perustiedot.

Seuraavaksi siirryttiin ohjelman Fuel välilehdelle. Fuel välilehdellä asetettiin käytettävän polttoaineen tyyppi, käytettävien suuttimien virtausmäärä, suihkutustapa ja suuttimien käyttöpaine. Suihkutustavaksi valittiin ryhmäsuihkutus. Tämä tarkoittaa, että kaksi suutinta suihkuttaa yhtä aikaa 360 asteen välein. Suuttimien sekventiaalista ohjausta ei tässä tapauksessa voitu käyttää, koska moottorissa ei ole vaadittavaa nokka-akselin pyörimistä mittaavaa anturointia.

Käytettäväksi polttoaineeksi valittiin bensiini. Polttoaineen paineeksi asetettiin kolme baaria, joka oli suuttimien valmistajan suositus.

Fuel inj general

General fuel injection settings

Injection method	? Group	▼
Fuel stoich AFR	? Gasoline (14.7)	▼
Multiply lambda	? Enable	▼
Use MAP-sensor	? Yes	▼
Staged injection	? Disable	▼

Note about MaxxECU MINI/STREET and low impedance injectors

When low impedance injectors (<8ohm) are used with MaxxECU MINI/STREET power resistors must be fitted in series with the injectors, otherwise the injectors can be damaged. Refer to the manual on when and how to do this.

Injector settings

Injector	? User defined	▼
Injectors per output	? 1 injector per output	▼ (number of primary injectors on each output)
Injectors per cylinder	? 1 injector per cylinder	▼ (number of primary injectors per cylinder)

Injector flow settings

Injector flow tracking	? Fixed flow with default pressure compensation	▼
Injector flow	? 819	cc/min (@ 3bar/43.5psi fuel pressure)
Fuel pressure tracking	? Fixed value, vacuum/boosttracking	▼
Fuel pressure	? 3.0	bar

KUVA 38. Polttoaine asetukset

Moottorin ollessa kylmä, suihkutettu polttoaine pyrkii pisaroitumaan imusarjan ja sylinterin pinnoille. Tämä ilmiö saadaan poistettua lisärikastamalla polttoaineesta käynnistyshetkellä. Säättöohjelmasta löytyy omat karttansa, joista voi säätää erikseen käynnistysrikastusta ja kylmän moottorin rikastusta suhteessa moottorin lämpötilaan. Kartat tulee säätää siten, että moottori käynnistyy helposti ja pysyy käynnissä kylmänäkin. Rikastuksen täytyy loppua, kun käyntilämpötila on saavutettu. Säättöohjelmaan on valmiiksi asetettu perusarvot rikastuksille, jotka osoittautuivat käyttökelpoisiksi. Lisärikastuskartat saa parhaiten kohdalleen kokeilemalla auton kylmäkäynnistystä erilaisilla rikastusarvoilla ja eri lämpötiloissa.

Start fuel								
Cranking fuel								
% of normal fueling								
	320.0	283.3	255.8	228.3	191.7	164.2	127.5	100.0
	-30.0	-10.0	5.0	20.0	40.0	55.0	75.0	90.0
	Coolant temp							

Warmup enrichment								
Warmup fuel								
Trim (+/- %)								
	54.0	44.4	34.8	25.2	15.6	6.0	0.0	0.0
	-30.0	-15.0	0.0	15.0	30.0	45.0	60.0	75.0
	Coolant temp							

Afterstart enrichment (ASE)									
Afterstart enrichment									
Trim (+/- %)									
	100.0	5.0	4.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	80.0	12.0	6.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	60.0	24.0	15.8	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
	40.0	36.0	25.5	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	20.0	48.0	35.2	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
	0.0	60.0	45.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	0.0	5.0	10.0	20.0	40.0	60.0			
	Engine runtime								

KUVA 39. Lisärikastus kartat

Seuraavaksi siirryttiin asettamaan sytytyksen perusasetuksia. Säättöohjelman Ignition välilehdellä säädettiin sytytystapa, puolan latausaika ja tehtiin akun jännitteen mukaan säätyvä korjauskartta puolan latausajalle.

Puolan latausaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu puolan täyden varauksen saavuttamiseen. Puolavalmistaja ilmoittaa yleensä sopivat lataus- ja purkuajat. Väärä ajan asetus voi aiheuttaa puolan vaurioitumisen. Sytytystapa valittiin käytettävän puolan mukaan. Sytytystavaksi asetettiin hukkakipinä.

Ignition settings	
Ignition system type	Wasted spark
Ignition system delay	40 μ s

Lock angle	
Lock ignition angle	
Ignition lock angle	0.0 degrees BTDC

Cranking ignition angle	
Cranking angle	Fixed
Cranking angle	10.0 degrees BTDC

Dwell settings	
Dwell mode	Time (dwell time + adjustments)
Dwell time	2.000 ms
Min discharge time	1.000 ms
Output polarity	Normal

Dwell voltage adjustment						
Correction (%)						
	150.0	130.0	110.0	100.0	100.0	100.0
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00
	Battery voltage					

KUVA 40. Sytytyksen asetukset

Perusasetusten säätämisen jälkeen asetettiin moottorin perusennakko kohdalleen. Säätäminen aloitettiin lukitsemalla säätöohjelmasta sytytysennakko nol- laan. Ennakon lukituksen jälkeen irrotettiin sytytystulpat moottorista, jotta se pyö- risi kevyemmin. Sytytystulppien irrotuksen jälkeen, pyöritetään kampiakselin ja lohkon ajoitusmerkit kohdakkain. Seuraavaksi mitataan hihnapyörän asteikkoa apuna käyttäen kampiakselin asentotunnistimen ja hihnapyörän ensimmäisen puuttuvan hampaan välinen asteluku. Saatu lukema syötetään ohjainlaitteen muistiin.

Ajoitus tarkastetaan vielä siihen tarkoitetulla ajoituslampulla. Lampun mittapää kiinnitetään sylinterin numero yksi tulpanjohtoon ja lamppu osoitetaan kohti loh- kon kyljessä olevaa ajoitusmerkkiä. Moottoria pyöritettäessä ajoituslampun tulee välähtää, kun moottorin ajoitusmerkit ovat kohdakkain. Lopuksi sytytysennakon lukitus vapautettiin säätöohjelman asetuksista.



KUVA 41. Ajoituslamppu

Perussäätöjen jälkeen moottori käynnistettiin ja käytettiin lämpöiseksi. Lämpöiseksi käyttämisen jälkeen voitiin aloittaa varsinainen ohjainlaitteen kartto- jen säätäminen.

5.2 Lambda kartta

Moottorinohjauksen varsinainen säätäminen aloitettiin lambda kartasta. Säättöohjelmassa on mahdollisuus säätää lambda karttaa kaksi- tai kolmiulotteisessa muodossa. Kaksiulotteinen kartta on taulukko, jossa vaaka-akselilla on moottorin pyörintänopeus ja pystyakselilla imusarjan paine, jonka mittayksikkö on kilopascal.

Lambda kartta tulee säätää siten, että tyhjäkäynnillä ja kevyellä kuormalla ajettaessa lambda arvo on mahdollisimman lähellä arvoa 1 tai vähän yli yksi, jolloin seos on hieman laiha. Moottorin polttoaineenkulutus on tällöin mahdollisimman pieni. Kuorman kasvaessa ja kierrosten noustessa lambda arvon tulee laskea alle yhden, jotta moottorista saadaan kaikki käytettävissä oleva teho irti.

Lambda target

Lambda table 1

Lambda (0.5-1.5)

MAP (kPa)	500	893	1286	1679	2071	2464	2857	3250	3643	4036	4429	4821	5214	5607
100.0	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920
92.7	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967	0.967
85.5	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974
78.2	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
70.9	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
63.6	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
56.4	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
49.1	1.050	1.050	1.000	1.000	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
41.8	1.050	1.050	1.000	1.000	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
34.5	1.050	1.050	1.000	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
27.3	1.050	1.050	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
20.0	1.050	1.050	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	500	893	1286	1679	2071	2464	2857	3250	3643	4036	4429	4821	5214	5607

RPM

KUVA 42. Lambdakartta.

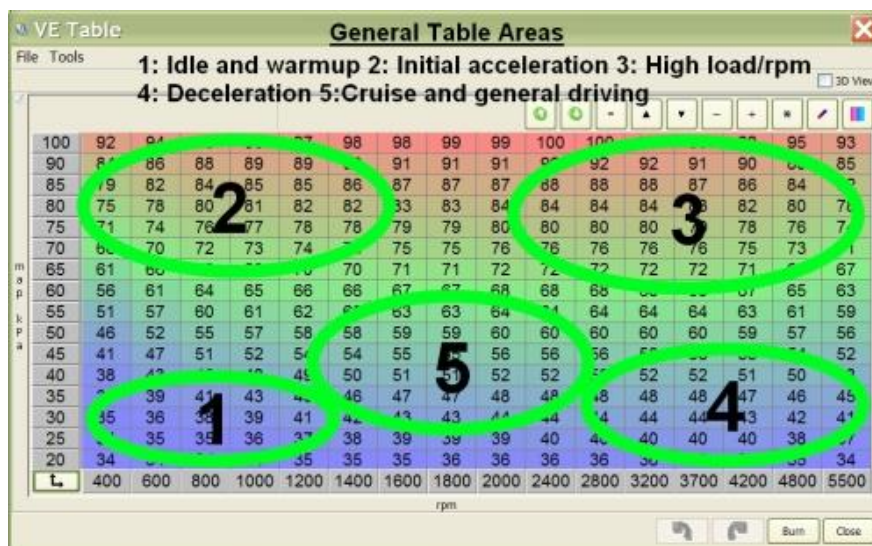
Lambda kartan säätäminen tehtiin ensimmäisenä, koska sitä voitiin hyödyntää polttoainekartan tekemisessä. Säättöohjelman autotune ominaisuus säätää polttoainekarttaa tehdyn lambda kartan perusteella. Polttoainekartan säädöt saatiin näin riittävän hyvin kohdalleen, jotta autolla päästiin ajamaan koeajoa. Moottorinohjainlaitteen tiedonkeräys toiminnolla saatiin kerättyä koeajon aikana antureiden näyttämää tietoa moottorin toiminnasta. Datan avulla karttaan voitiin tehdä säätöjä vielä tarkemmin seuraamalla lambda-arvoa eri kierrosalueilla ja kuormitustilanteissa.

5.3 Polttoainekartta

Lambda kartan valmistuttua voitiin siirtyä polttoainekartan säätämiseen. Moottori tarvitsee erilaisia seossuhteita eri ajotilanteille. Samalla kierrosluvulla imusarjan paine voi vaihdella vapaasti hengittävässä moottorissa 15 – 100 kilopascalin välillä. Kaasuläpän avautuma vaikuttaa imusarjanpaineeseen. Pienellä avautumalla alipaine on suuri ja suurella avautumalla alipaine on pieni. Kiihdytyksessä alipaine laskee ja moottorijarrutuksessa alipaine nousee. Moottorin ohjainlaite mittaa imusarjan painetta sekä moottorin pyörimisnopeutta. Anturitiedon perusteella se säätää moottoriin suihkutettavan polttoaineen määrää.

Polttoainekartta on taulukko, jossa pystyakselilla näkyy imusarjan alipaine ja vaaka-akselilla on moottorin pyörimisnopeus. Kartalla olevat lukemat ovat prosenttiarvoja moottoriin ruiskutetun polttoaineen määrästä. Yksinkertaistettuna prosenttiarvon kasvattaminen tarkoittaa suurempaa polttoaineen suihkutusmäärää eli rikastaa seosta ja arvojen pienentäminen vähentää ruiskutettavan polttoaineen määrää eli laihentaa seosta.

Polttoainekarttaa tehdessä tulee tietää, minkä tyyppistä seosta moottori tarvitsee eri kuormitusilanteissa. Hahmottamisen helpottamiseksi, kartan voi jakaa viiteen eri ajotilanteeseen. Ajotilanteet ovat 1: tyhjäkäynti, 2: alkukiihdytys, 3: täysi-kuorma, 4: moottorijarrutus, 5: maantieajo.



KUVA 43. Polttoainekartan alueet (speeduino.com 2017)

Kuvassa esitetyt perusalueet löytyvät jokaisen moottorin kartasta, mutta niiden kierrosalueet voivat vaihdella moottorin käyttötarkoituksesta ja viritysteesta riippuen. Alue yksi kuvaa tyhjäkäyntiä. Moottorin kuormitus on pieni ja se pyörii matalilla kierroksilla. Seoskartan voi säätää siten, että lambda arvo on noin yksi.

Alueella kaksi on pieni imusarjan alipaine ja matalat kierrokset. Kaasuläpän avautuma on tässä ajotilanteessa suuri, mutta moottori ei ole vielä kerännyt korkeita kierroksia. Moottori käy tällä alueella yleensä, kun lähdetään kiihdyttämään esimerkiksi liikennevaloista. Moottori tarvitsee tällöin enemmän polttoainetta, eli seosta täytyy rikastaa. Suihkutusmäärän tulee kasvaa tasaisesti kohti kartan yläreunaa. Lambda-arvon tulee tällä alueella laskea tasaisesti kohti arvoa 0,9 kuljettaessa kohti kartan yläreunaa ja pienempiä alipainelukemia.

Alueella kolme moottori käy korkeilla kierroksilla ja imusarjan alipaine on pieni. Tämä alue vastaa ajotilanteena, esimerkiksi kiihdytystilannetta tai suurella nopeudella ajamista. Moottorin huipputeho halutaan täten ottaa käyttöön. Tällä kartan osiolla seoksen tulee olla rikas, jotta moottori toimii tehokkaasti ja se ei kuumene liikaa. Rikas seos pienentää detonaation riskiä suurilla moottorin kuormituksilla.

Alueella neljä moottorissa on korkeat kierrokset ja suuri alipaine. Alue vastaa tilannetta, kun autolla ajetaan alamäkeen ja nostetaan jalka kaasulta. Moottori ei tarvitse tässä ajotilanteessa paljoa polttoainetta. Lambda-arvo voi olla reilusti yli yhden.

Alue viisi vastaa ajotilanteena normaalia rauhalista maantieajoa. Maantieajossa polttoaineen kulutus pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi. Tällä alueella Polttoainekartta säädetään siten, että lambda arvo voi mennä yli yhden, eli seos on laihalla. Pienin polttoaineen kulutus saavutetaan lambda-arvolla 1,05. Tästä laihempi seos kasvattaa moottorin lämpötilaa ja laskee tehoa tarpeettomasti.

5.4 Sytytyskartta

Sytytysennakolla tarkoitetaan kohtaa, jossa kipinä sytyttää polttoaineseoksen puristustahdilla olevassa sylinterissä. Sytytysennakko ilmoitetaan asteina. Lukema kuvaa sitä astemäärää, joka kampiakselin on pyörittävä sytytyksen jälkeen ennen, kuin mäntä saavuttaa yläkuolokohdan. Moottorin kierrosluvun kasvaessa sytytystä on aikaistettava, jotta seokselle jää riittävästi aikaa syttyä.

Sytytyskarttaa tehtäessä voi kartan jakaa myös eri ajotilanteisiin hahmottamisen helpottamiseksi, samaan tapaan, kuin aiemmin polttoainekartan kappaleessa. Tyhjäkäynnillä moottorille riittää pieni ennakko. Yleensä 10 astetta on hyvä määrä tyhjäkäynnille.

Kiihdytettäessä ennakon tulee kasvaa tasaisesti kohti maksimiarvoansa. Maantieajossa ajetaan laihalla seoksella ja pyritään saavuttamaan pieni polttoaineenkulutus. Laiha seos tarvitsee enemmän aikaa syttymiseen, jolloin täytyy käyttää isompaa ennakkoa.

Suurella kuormalla ajettaessa täytyy ennakon pienentyä maantieajon lukemista. Suuri ennakko lisää polttoaineen ennenaikaisen syttymisen, eli nakutuksen riskiä korkealla kuormituksella. Nakutus häiritsee moottorin toimintaa ja voi vaurioittaa moottoria. Moottorijarrutuksessa ennakko saa olla suuri, koska moottorin kuormitus on pieni ja seos on laiha.

Sytytyskartta on 16x16 ruutuinen taulukko, johon on listattu sytytysennakko lukemia. Taulukon vaaka akselilla on moottorin kierrokset ja pysty akselilla imusarjan alipainelukemat. Kartan tekeminen aloitettiin maksimiennakon määrittämisestä. Sytytyksen maksimiennakoksi valittiin 40 astetta. Tämä lukema valittiin sen vuoksi, että se on suurin mahdollinen ennakko, mikä vanhalla virranjakajalla oli mahdollista saada. Moottori on toiminut tällä ennakolla, joten tätä lukemaa voitiin pitää turvallisena lähtöarvona. Tyhjäkäynti ennakoksi asetettiin 10 astetta.

Kuplan vaihteiston välityksillä maantieajoa vastaava alue osuu kartalla 2500 – 3500 r/min alueelle. Sinne asetettiin korkeimmat sytytysennakon lukemat, jotka ovat lähellä maksimiennakkoa.

Korkean kuormituksen alueella ennakkoa laskettiin viidellä asteella, jotta välttäisiin moottorin mahdolliselta detonoinnilta. Pohja kartalle luotiin verkosta löytyvän laskurin avulla. Karttapohja tallennettiin moottorinohjaimelle ja sitä aloitettiin säätämään koeajojen ja ohjainlaitteen tiedonkeruu toiminnon avulla.

Ignition angle

Ignition angle table 1

degrees BTDC

MAP (kPa)

15.9	18.0	26.0	28.2	30.0	30.4	30.8	31.2	31.6	31.9	33.0	33.0	33.0	33.0
15.5	19.0	27.0	29.1	30.1	31.0	31.7	32.3	32.8	33.0	34.0	34.0	34.0	34.0
15.2	20.9	27.3	28.9	30.1	31.7	32.6	33.3	34.1	34.1	35.0	35.0	35.0	35.0
14.9	20.1	27.1	29.3	30.1	32.3	33.5	34.4	35.3	35.1	35.5	35.5	35.4	35.4
14.6	21.3	24.4	28.7	32.2	33.3	34.4	35.4	36.5	36.2	35.3	35.5	35.7	35.9
14.3	19.5	24.2	26.6	32.2	32.8	34.8	36.8	38.8	37.8	35.0	35.4	35.9	36.3
14.0	22.3	26.5	29.9	32.2	33.8	36.2	38.6	39.8	39.9	37.0	36.9	36.8	36.7
13.7	22.0	27.3	32.8	34.2	35.8	37.1	38.5	39.8	39.6	39.0	38.4	37.7	37.1
13.4	17.7	23.6	29.8	35.7	35.8	36.7	37.6	38.5	38.5	38.5	38.2	37.9	37.6
12.7	17.0	21.0	28.0	33.7	31.9	33.2	34.6	36.0	36.5	38.0	38.0	38.0	38.0
12.7	16.7	20.8	28.0	30.5	31.5	32.7	34.0	35.2	35.7	37.2	37.5	37.8	38.0
12.5	16.3	20.7	28.0	30.0	33.1	32.2	33.3	34.4	35.0	36.5	37.0	37.5	38.0
12.2	16.0	20.5	28.0	29.8	30.8	31.7	32.7	33.7	34.2	35.7	36.5	37.3	38.0
11.9	15.7	20.3	28.0	29.5	30.4	31.2	32.0	32.9	33.4	34.9	35.9	37.0	38.0
11.5	15.3	20.2	28.0	29.3	30.0	30.7	31.4	32.1	32.7	34.2	35.4	36.8	38.0
11.5	15.0	20.0	28.0	29.0	29.6	30.2	30.7	31.3	31.9	33.4	34.9	36.5	38.0
1000	1200	1650	2100	2550	2800	3050	3300	3550	3800	4475	5150	5825	6500

2D

KUVA 44. Sytytyskartta

6 Mittaukset

6.1 Kiihdytysmittaus

Auton suorituskyvyn muutosta mitattiin kiihdyttämällä nopeus nolosta sataan kilometriin tunnissa, josta mitattiin siihen kulunut aika. Testin suorittaminen tapahtui tekemällä molemmilla tekniikoilla viisi kiihdytystä. Tutkittavaksi otettiin parhaat kiihdytystulokset, jolla pienennettiin kuljettajan toiminnasta aiheutuvaa virhettä. Molemmat mittaukset suoritettiin samalla tieosuudella, jossa oli 100km/h nopeusrajoitus. Molemmilla mittauskerroilla pyrittiin huomioimaan, että vallitsevat sääolosuhteet olisivat mahdollisimman samanlaiset. Mittaushetkellä ilman lämpötila oli neljä astetta ja tienpinta oli kuiva.

Kiihdytykseen kuluvaa aikaa mitattiin älypuhelimeen ladattavalla Drag Racer sovelluksella. Sovellus mittaa GPS:n avulla kiihdyttävän ajoneuvon nopeutta. Mittaus käynnistyy, kun ohjelma havaitsee ajoneuvon liikkuvan. Mittaaminen loppuu, kun asetettu tavoitenopeus on saavutettu. Ohjelman keräämän tiedon perusteella pystyttiin laskemaan autolle keskikiihtyvyys arvot eri nopeuksille. Kiihtyvyydet laskettiin keskikiihtyvyyden kaavaa 3 käyttäen, nopeudesta 10km/h alkaen ja päättyen sataan kilometriin tunnissa.

$$\text{kiihtyvyys} = \frac{\text{nopeudenmuutos}}{\text{muutokseen kulunut aika}} = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3)$$

6.2 Moottoritehon laskeminen

Kiihtyvyyksmittauksen tulosten perusteella voitiin laskea arvio ajoneuvon moottorin tuottamasta tehosta. Laskeminen aloitetaan selvittämällä autoon kiihdytyksen aikana vaikuttavat vastusvoimat. Kokonaisajovastus koostuu ilmanvastusvoimasta, vierintävastusvoimasta ja nousuvastuksesta. Kokonaisvastus lasketaan kaavalla 4.

$$F_{\text{kok}} = F_{\text{ilma}} + F_{\text{nousu}} + F_{\text{vierintä}} \quad (4)$$

Ilmanvastusvoiman ratkaisemiseen tarvitaan seuraavat tiedot. Ajoneuvon ilmanvastuskerroin, ajoneuvon otsapinta-ala, ilmantiheys ja ajonopeus. Ilmanvastuskerroin on ajoneuvokohtainen, yleensä valmistajan ilmoittama luku, joka kuvaa ajoneuvon aerodynaamisia ominaisuuksia.

Otsapinta-ala saadaan kertomalla keskenään ajoneuvon leveys sekä korkeus ja lopuksi saatu tulos kerrotaan 0,9:llä.

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_v \quad (5)$$

Tien nousukulman aiheuttama ajovastus saadaan laskemalla ajoneuvon tiehen kohdistama voima, joka kerrotaan $\sin(\text{nousukulmalla})$.

$$F = m \times g \times \sin(\alpha) \quad (6)$$

Vierintävastus saadaan laskettua kertomalla ajoneuvon tienpintaan kohdistama voima vierintävastuskertoimella. Vierintävastuskertoimena käytettiin arvoa 0,03, joka on kuivan asfaltin vierintävastuskerroin.

$$F = m \times g \times f \quad (7)$$

Seuraavaksi laskettiin ajoneuvon kiihdyttämiseen tarvittava voima. Se saadaan, kun kerrotaan auton ja kuljettajan yhteismassa kiihtyvyydellä.

$$F = m \times a \quad (8)$$

Saatuun tulokseen lisätään ajovastuksista tulevat voimat. Kiihdytykseen tarvittava teho saadaan kertomalla kokonaisvoima nopeudella

$$P = F \times \left(\frac{v}{2}\right) \quad (9)$$

Saatu tulos on watteja. Tulos voidaan muuttaa vielä hevosvoimiksi seuraavalla kaavalla 10.

$$Hp = P \times \frac{1}{746} \quad (10)$$

Laskennan tuloksena saatiin selville paljonko tehoa ajoneuvon takapyörän pitäisi välittää tiehen, jotta kiihdytys onnistuisi mitatussa ajassa. Moottoritehon selvittämiseksi täytyisi tietää voimansiirron hyötysuhde. Hyötysuhde arvioitiin tässä tehtävässä olevan 75 prosenttia eli voimansiirtoon hukkuu 25 prosenttia moottorin tehosta. Alla olevassa taulukossa 2 on listattuna kaavoissa käytetyt suureet ja niiden yksiköt.

TAULUKKO 2. Laskuissa käytetyt suureet

Suure	Tunnus	Yksikkö
voima	F	newton
massa	m	kg
kiihtyvyys	a	m/s ²
teho	P	watti
nopeus	v	m/s
pinta-ala	A	kg/ m/s ²
ilman tiheys	ρ	kg/m ³
ilmanvastuskerroin	cv	-
vierintävastuskerroin	f	-

6.3 Kulutuksen mittaaminen

Ajoneuvon kulutusmittaus suoritettiin ajamalla sama reitti molemmilla tekniikoilla. Reittiin sisältyi maantie- ja kaupunkiajoa. Ajomatka oli pituudeltaan 70 kilometriä. Mittaus aloitettiin huoltoasemalta, jossa auton tankki tankattiin täyteen. Reitti ajettiin läpi, jonka jälkeen palattiin huoltoasemalle tankkaamaan tankki uudelleen täyteen. Tankkiin toisella tankkauksella menevä polttoaineen määrä on ajoneuvon ajon aikana kuluttama polttoaine määrä.

Ajoneuvon kulutus saadaan selville seuraavalla kaavalla. Kulutettu Polttoaine =
 B (litraa) / Ajettumatka = s (km) x 100

$$\left(\frac{B}{s}\right) \times 100 \quad (11)$$

6.4 Päästömittaus

Ajoneuvolle suoritettiin päästömittaus molemmilla moottorinohjaustekniikoilla. Mittaus suoritettiin katalysaattorittoman henkilöauton päästömittausohjeistuksen mukaisesti. Moottori ajettiin lämpimäksi ja päästömittaus otettiin moottorin käytössä joutokäyntikiirroksilla.

Mittalaitteena käytettiin Technotest stargas 898 one merkistä pakokaasumittaria. Mittalaitteen mittaustarkkuudet pakokaasusta mitattaville arvoille olivat taulukon 3 mukaiset.

TAULUKKO 3. Mittalaitteen tarkkuus

Mitattava suure	Mittausalue	Yksikkö	tarkkuus
CO	0 – 15,000	% tilavuusvirrasta	0,001
CO ²	0 – 20,00	% tilavuusvirrasta	0,01
HC	0 - 30000	ppm tilavuusvirrasta	1
NO _x	0 - 5000		0,01
O ₂	0 – 25,00		1
Lambda	0,5 – 2,00		0,001

7 Mittaustulokset

7.1 Kulutusmittaus

Polttoaineen kulutusmittauksessa havaittiin polttoaineen kulutuksen laskeneen moottorin ohjausjärjestelmän asentamisen jälkeen 1,7 litralla. Tarkemman ruis-kutuksen ja sytytyksen ansiosta polttoaine saadaan poltetuksi tehokkaammin, mikä pienentää kulutusta.

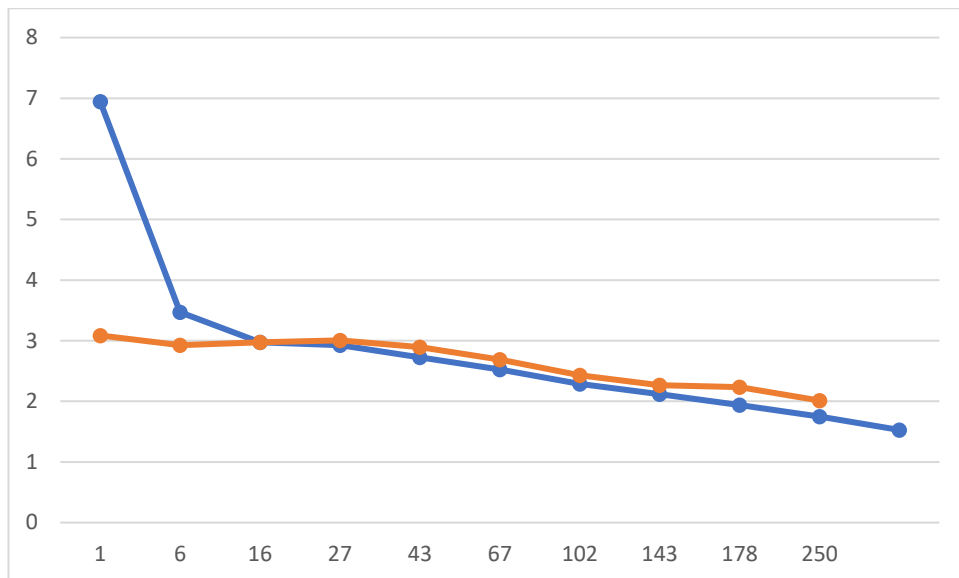
TAULUKKO 4. Kulutusmittauksen tulokset

Kaasutintekniikalla l/100km	Polttoaineensuihkutus tekniikalla l/100km
10,7 l	9.0 l

7.2 Kiihtyvyydsmittaus ja moottorin tehon laskenta

Kiihtyvyyden mittauksessa huomattiin kiihtyvyyden selvästi parantuneen moottorinohjauksen asentamisen jälkeen. Ajoneuvon nopeuden kiihdyttämiseen nol-lasta sataan kilometriin tunnissa meni vanhalla tekniikalla 15.9 sekuntia ja uudella tekniikalla 13.8 sekuntia. Parannusta saatiin 2.1 sekuntia. Tehtaan antama aika täysin vakioautolla tehtävälle kiihdytykselle on 18.9 sekuntia. Siihen verrattuna parannusta on 5.1 sekuntia.

Mittauksista kerättyjen aika- ja nopeustietojen avulla laskettiin ajoneuvon keski-kiihtyvyyttä. Saatujen tuloksien pohjalta piirrettiin kaavio, jossa näkyy molempien mittauksien tulokset.



Kuvio 1. Kiihdytyskuvaaja

Kaaviossa keltainen viiva kuvaa Moottorinohjauslaitteiston asentamisen jälkeen tehtyä kiihdytystä ja sininen viiva kuvaa vanhalla tekniikalla tehtyä kiihdytystä. Kaavion pystyakselilla on kiihtyvyyden arvot ja vaakakselilla ajettu matka metreinä. Kaasutintekniikalla saavutettiin tavoitenopeus 299 metrin matkalla ja ruis-kutekniikalla sama nopeus saavutettiin 250 metrin matkalla. Taulukossa 5 on lisätty mittaustulokset numeerisina arvoina.

TAULUKKO 5. Kiihtyvyyden arvot numeroina

Kiihtyvyys kaasutin m/s ²	Kiihtyvyys ruisku m/s ²	Nopeus km/h
6,94	3,09	10
3,47	2,92	20
2,98	2,98	30
2,92	3,00	40
2,72	2,89	50
2,53	2,69	60
2,29	2,43	70
2,12	2,27	80
1,94	2,23	90
1,75	2,01	100

Vanhalla tekniikalla tehdyn mittauksen alussa kiihtyvyyssä näkyy jyrkkä pudotus, joka on sovelluksen aiheuttama virhe. 30 kilometrin tuntinopeudesta eteenpäin kiihtyvyys laskee hitaammin moottorinohjauksen asentamisen jälkeen

tehdyssä mittauksessa. Tavoitenopeus saavutettiin 50 metriä aiemmin, kuin vanhalla tekniikalla tehdyssä mittauksessa.

Ilmanvastusvoiman aiheuttama ajovastus kasvaa nopeuden kasvaessa. Ajoneuvon kiihdyttämiseksi on vastusvoimat ensin voitettava ja loppu teho voidaan käyttää kiihdytykseen. Kaaviosta nähdään, että moottorinohjauksen asentamisen jälkeen tehdyssä mittauksessa ajoneuvon kiihtyvyys pysyy korkeampana nopeuden kasvaessa, eli moottoritehon on täytynyt kasvaa.

Mittauksessa käytettiin älypuhelimien saatavilla olevaa sovellusta, jonka mittatarkkuus ei vastaa ammattikäyttöön tehtyjen laitteiden tarkkuutta. Molemmat mittaukset tehtiin kuitenkin samalla tekniikalla, joten niiden keskinäinen vertailu on mahdollista.

Kiihtyvyyssmittauksen tulosten perusteella voitiin laskea keskimääräinen teho, jolla tehty kiihdytys on mahdollista toteuttaa. Laskujen perusteella moottoriteho kasvoi kuusi hevosvoimaa tekniikan päivittämisen myötä. Laskelma tosin on suuntaa antava, koska mittausmenetelmät aiheuttavat tuloksiin epätarkkuutta. Osa laskuissa tarvittavista arvoista ei pystytty mittaamaan, joten ne piti arvioida tai käyttää taulukkotietoja. Tällaisia arvoja olivat vierintävastuskerroin ja vaihteiston hyötysuhde.

TAULUKKO 6. Moottoritehon laskennan tulokset

Tekniikka	Kilowatit pyöräteho	Hevosvoimat pyöräteho	Kilowatit Moottori- teho	Hevosvoimat Moottori- teho
Poltto-aineen suihkutus	37,8 kW	51 HV	50,4 kW	68.5 HV
Kaasuttaja	34,5 kW	46 HV	46 kW	62,5 HV

7.3 Päästömittaus

Moottorinohjausjärjestelmä mahdollistaa tarkemman polttoaineensyötön ja sytytyksen ajoituksen. Tämä voidaan todeta verratessa toisiinsa päästömittauksien tuloksia. Moottorinohjauksen asentamisen jälkeen tehdyssä mittauksessa hiili-monoksidin ja palamattomien hiilivetyjen arvot ovat selvästi pienemmät verrattuna kaasutintekniikalla tehtyyn mittaukseen. Pienentyneet arvot ovat merkki polttoaineen paremmasta palamisesta. Mittaustuloksia verrattiin katsastuksessa käytettyihin päästömittauksen raja-arvo taulukoihin. Ajoneuvo läpäisisi molemmilla tekniikoilla lokakuun 1986 jälkeen käyttöönotetuille, ei vähäpäästöisille ajoneuvoille asetetut päästörajat.

TAULUKKO 7. Päästömittauksen tulokset

	r/min	CO Hiili- monok- sidi	CO ₂ Hii- lidiok- sidi	HC Pala- maton hiilivety	O ₂ Happi	Lambda Arvo
Kaasut- taja	850	2,10	11,65	284	3,16	0,97
Ruisku- tus	850	0,71	14,35	123	1,42	1,025
Raja-ar- vot		3,50		600	5,00	

8 POHDINTA

Idea työn tekemiseen lähti ammattikorkeakoulun moottoritekniikan kurssilta. Yhtenä kurssitehtävänä oli suunnitella moottorinohjaus johonkin omavalintaisen ajoneuvon moottoriin. Aihe oli mielenkiintoinen ja halusin nähdä käytännössä, miten tehty suunnitelma toimisi ja minkälaisia muutoksia se toisi ajoneuvon ominaisuuksiin. Moottoritekniikan kurssilla tehdyn suunnitelman pohjalta, aloin keräämään tarvittavia osia projektia varten. Toteutus onnistui hyvin ja järjestelmä saatiin toimintakuntoon.

Tehtyjen mittauksien toteuttamisen osalta työhön tuli reilusti muutoksia verrattuna alkuperäiseen suunnitelmaan. Mittaukset oli tarkoitus tehdä oppilaitoksen ajoneuvolaboratoriossa olevalla dynamometrillä. Dynamometriä ei kuitenkaan voitu hyödyntää, koska tutkittavan ajoneuvon pyörien pulttijako ei ollut soveltuva kyseiseen mittalaitteeseen. Projektin budjetti ei ollut tarpeeksi suuri ulkopuolisen dynamometrimittauspalvelun käyttämiseen.

Mittaukset tehtiin vaihtoehtoisilla menetelmillä ja laskemalla. Dynamometrillä tehdyt mittaukset olisivat olleet mittaustarkkuudeltaan parempia, mutta näillä vaihtoehtoisilla menetelmillä saatiin, myös riittävän tarkkoja tuloksia. Mittausmenetelmät pysyivät tekniikoiden välillä samanlaisina, joten ne ovat vertailukelpoisia keskenään.

Mielestäni työssä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Toimiva moottorinohjausjärjestelmä saatiin suunniteltua ja asennettua. Tehdyt mittaukset toteennäyttivät alkuoletukset moottoritehon kasvusta, kulutuksen laskusta ja päästöjen pienentymisestä.

Työ oli kaikkiaan hyvin opettavainen. Siinä pääsi suunnittelemaan ja toteuttamaan käytännössä oman suunnitelmansa. Työssä pääsi hyödyntämään koulusta saatuja oppeja. Lisäksi työ opetti paljon uutta moottorinohjauksen toiminnasta, kun mitoitti ja valitsi oikeanlaiset komponentit.

LÄHTEET

Eerola, O.1970. Polttomoottorit 1.Helsinki: Sininen kirja Oy

Graham Bell, A. 2007. Nelitahtimoottorin virittäminen. Suom. Mauno, E. Helsinki: Alfamer Oy

Halme, J. 2012 Megasquirt Projekti. Luettu 20.10.2019.
<http://www.veewee.net/Megasquirt/MegasquirtBanneri.htm>

Lakkala, V. 2015.Tiedonkeruun ja tehodynamometrin hyödyntäminen siviiliauton vianhaussa. Kone - ja tuotantotekniikan koulutusohjelma.
Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94126/Lakkala_Vesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lehtinen, A., & Rantala, J. 2012. Autotekniikka 4 / Moottori. Painos. 1. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Milejko, M. 2019. Drag Racer - car performance 0-60 mph 1/4 mile GPS. Kiihtyvyyden mittauksessa käytetty sovellus. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.milejko.dragracer&hl=fi>

Motron Oy. Päästömittauslaitteen tekniset tiedot. Luettu 18.11.2019.
http://www.motron.fi/tuotteet/tecnotest/TECNOTEST_898_ONE.pdf

Newtonnet. Kaasuläpän asentoanturin havainnekuva.
<http://www.newtonnet.co.uk/coupe/service/webtech/iindex.asp?id=12125>

Ojanen, O.1998. Autot Suomessa Osa 1, Volkswagen – Kuplan aikakausi. Painos. 1. Helsinki: Hakapaino Oy.

Otostudy15. Imusarjan paineanturin rakennekuva.
<http://otostudy15.blogspot.com/2017/12/map-mass-air-preasure.html>

Robert Bosch GmbH. Lämpötila-anturin rakennekuva.
<https://emea.resource.bosch.com/AA/internet/enfinity/img/products/0280130026LICOWHCO0000.jpg>

Shoutern performance injectors. Suuttimen rakennekuva.
<https://southernperformanceinjectors.com/cleaning-process/>

speeduino.com. Polttoainekartan alueet kuva. https://speeduino.com/wiki/index.php?title=Tuning&mobileaction=toggle_view_mobile

thesamba. Paineensäätimen rakennekuva.

<https://www.thesamba.com/vw/gallery/pix/1695480.jpg>

LIITTEET

Liite 1. Työssä käytetyt osat

Osannimi	Tyyppi	Ostopaikka	Määrä
Kaasuläpäkotelo	Nissan primera 2.0 1996	Purkamolta	1
TPS-anturi	Nissan primera 2.0 1996	purkamolta	1
Map anturi	integroitu ohjaimen	tt-speed	1
ecu	Maxxecu street	tt-speed	1
Suutin 4 kpl kork ohminen	bosch ev14 audi a4 1.6 1997	Valto Koivula Oy	4
Polttoainepumppu	52-203	Biltema	1
polttoaineletku vahvistettu 9 metriä	8mm sisähalkaisija.	Korjakumi Oy	9m
PA-suodatin	Vw Bora (19-7301)	Motonet Oy	1
Suutintukki	2 suutinpaikkaa	Aircooled.fi	2
Imusarjan alkukäyrät suutinpaikoilla		Aircooled.fi	2
Paineensäädin	säädettävä	race.fi	1
Polttoainetankin lähtö	10mm halkaisija	Aircooled.fi	1
, triggereripyörä ja anturi	Pyörä 36-1 anturityyppi VR	Aircooled.fi	1
Sytytyspuola	VAG 032 905 106	R Aaltonen Oy	1
Laajakaista lambda-anturi	Bosch	Moottorinohjaimen mukana	1
Polttoaineen täyttöputki 44mm sis halk	Imusarjan yhdyskumi	Korjakumi Oy	20cm
letkunside 44-56mm aba(LSABA056)	imusarjankumien kiinnike	IKH	4
Kuparinen polttoaineputki		Motonet Oy	5m
Letkulähtö 1/4" NPT kierre	8mm:n letkulle	IKH	6
Letkulähtö 1/4" NPT kierre	10mm:n letkulle	IKH	2
Kumieristeinen letkunpidike	12,7mm LSFG12	IKH	8
ABA letkunside 13-16 mm (LSMIW116)	Polttoaineletkujen kiristin	IKH	16
Polttoaineletku vahvistettu	10mm sisähalkaisija	Korjakumi Oy	1,5m
Imuilman lämpötila-anturi	Ford sierra cosworth (37-3322)	Motonet Oy	1
Moottorin lämpötila-anturi	Renault Laguna (37-3128)	Motonet Oy	1
40A Päävirtarele		Biltema	1
Polttoainepumpun rele		Biltema	1
Kaasuvaijeri	Empi HD yleismalli	Aircooled.fi	1
kaasuvaijerin kuori	Avant 700 sarja	Avant techno Oy	1
Viemäriputken kannake 77mm	Pa-suodattimen kannake	Rautia toikkonen Oy	2
Viemäriputken kannake 56mm	Pa-pumpun kannake	Rautia toikkonen Oy	2

Liite 2. Polttoainelinjojen kaaviokuva

