

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2021

Samu Aflecht

AUTON MOOTTORINOHJAUKSEN PÄIVITYS

– Toyota MR-2

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Huhtikuu 2021 | 44 sivua ja 1 liitesivu

Samu Aflecht

AUTON MOOTTORINOHJAUksen PÄIVITYS

- Toyota MR-2

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on päivittää 36 vuotta vanha auton moottorinohjaus uudempaa suunnittelua edustavaan Haltech Platinum Sprint 500 -moottorinohjaimeen. Työssä käsitellään polttomoottorin ohjaamiseen tarvittavaa tekniikkaa ja laitteistoa, sekä itse ajoneuvon sähköjärjestelmän vaatimia muutoksia.

Tavoitteeksi työlle asetettiin luotettavampi moottorin toiminta, pienentyneet pakokaasupäästöt ja parempi varaosien saatavuus. Asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin ja samalla saavutettiin moottorin paremmat säätömahdollisuudet verrattuna alkuperäiseen moottorinohjaukseen.

ASIASANAT:

autotekniikka, bensiinimoottori, moottorinohjaus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

April 2021 | 44 pages, 1 page in appendices

Samu Aflecht

ENGINE CONTROLLER UNIT UPDATE

- Toyota MR-2

The purpose of this thesis is to update 36 years old engine control unit (ECU) to newer design Haltech Platinum 500 ECU. This thesis will cover the basic principles of the fuel injection system and the function of the required components. Thesis covers modification of the project car's electrical system, which is required to install new ECU.

The objectives of this work was to lower emissions, improve the availability of spare parts and ensure reliable operation of the engine. These objectives were well achieved, and the engine turned to be fully tunable.

KEYWORDS:

Gasoline engines, Automotive engineering, Ignition devices, Engine control unit

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 MOOTTORINOHJAUS	9
2.1 Moottorin kampiakselin asentotunnistus	11
2.2 Kaasuläppäkotelo	11
2.3 Lämpötilan tunnistus	12
3 POLTTOAINE- JA SYTYTYSJÄRJESTELMÄ	14
3.1 Polttoainejärjestelmä	14
3.1.1 Polttoainepumppu	14
3.1.2 Polttoainesuuttimet	14
3.1.3 Polttoaineen paineensäädin ja polttoainesuodatin	14
3.2 Sytytysjärjestelmä	16
4 MOOTTORINOHJAUKSEN VAATIMAT MUUTOKSET	17
4.1 Muutokset moottorin kampiakselin asentotunnistukseen	17
4.2 Muutokset kaasuläppäkoteloon	18
4.3 Muutokset lämpötila-antureihin	19
4.4 Muutokset imusarjan paineanturiin	20
4.5 Muutokset lambda-anturiin	20
5 POLTTOAINE- JA SYTYTYSJÄRJESTELMÄN VAATIMAT MUUTOKSET	23
5.1 Muutokset polttoainepumppuun	23
5.2 Muutokset polttoainesuuttimiin	23
5.3 Muutokset polttoaineen paineensäätimeen ja polttoainesuodattimeen	24
5.4 Muutokset sytytysjärjestelmään	24
6 MITTARISTON JA JOHTOSARJAN MUUTOKSET	27
6.1 Kierroslukumittarin muokkaus	27
6.2 Nopeusmittarin muokkaus	28
6.2.1 Liittimet ja sähköliitokset	30
6.2.2 Sähköjohtimet ja sulakkeet	30
6.2.3 Releet	33
6.2.4 Käynnistysakun uudelleensijoitus tavaratilaan	33

7 MOOTTORINOHJAIMEN SÄÄTÖ	35
7.1 Asetukset ennen moottorin käynnistämistä	35
7.2 Polttoainekartan säätötyö	37
7.3 Sytytysennakon säätötyö	37
7.4 Sytytysennakon säätämiseen käytetty laitteisto	38
8 TYÖN TULOKSISTA	40
9 LOPUKSI	41
LÄHTEET	43

LIITTEET

Liite 1. Haltech kytkentäkaavio.

KAAVAT

Kaava 1. Ideaalikaasulaki (Tammertekniikka 2005,107).	9
Kaava 2. Moottoriin virranneen ilman massan laskukaava (MathWorks 2020).	10
Kaava 3. Kaasumäärä (Tammertekniikka 2005,107).	10
Kaava 4. Johtimen pinta-alan laskeminen.	31

KUVAT

Kuva 1. Auton on toimittava vaihtelevissa olosuhteissa.	7
Kuva 2. Jännitteenjakajan kaaviokuva (Sparkfun 2021).	12
Kuva 3. Wheatstonen silta (Electronic Tutorials 2020).	13
Kuva 4. Polttoainepaineensäätimen kaaviokuva (Nuke 2021).	15
Kuva 5. Modifioitu virranjakaja uusilla induktiivisilla antureilla.	18
Kuva 6. Modifioitu kaasuläppäkotelo uudella asennontunnistimella.	19
Kuva 7. AEM UEGO AFR -mittari tarvikkeineen (AEM 2020).	21
Kuva 8. Kuvassa uudet suuttimet ja niiden vaatimat soviteosat.	23
Kuva 9. Sytytyspuolat asennettuna vanhaan kiinnityslevyyn.	25
Kuva 10. Kierroslukumittarin vaatima lisäpiiri.	28
Kuva 11. Mittaristot purettuna muutoksia varten.	29
Kuva 12. Naaraspuolinen Jetronic-liitin.	30
Kuva 14. Johtosarja teipattuna.	32
Kuva 13. Auton oikealla sijaitseva sulakepesä ja rivi mikroreleitä.	33
Kuva 15. Esimerkki sytytyksenajoituksen kolmiulotteisesta säätökäyrästä.	38

1 JOHDANTO

Tässä työssä käsitellään auton alkuperäisen moottorinohjauksen päivittämistä uudempaa suunnittelua olevaan vastaavaan tekniikkaan. Työn kohteena on vuoden 1985 Toyota MR-2 (AW11), joka edustaa aikansa kohtalaisen kehittyntä tekniikkaa. Kyseinen auto on varustettu nelisylinterisellä bensiinimoottorilla, jonka iskutilavuus on 1587 cm³. Moottori on varustettu kahdella sylinterikannen yläpuolisella nokka-akselilla ja muuttuva-geometrisella imusarjalla. Polttoaineensyöttö on toteutettu elektronisella moottorinohjaimella, joka myös säätelee sytytysennakon suuruutta.

Aiheen valinta tuli ajankohtaiseksi johtuen ajoneuvon komponenttien korkeasta iästä, joka tuo mukanaan valitettavia toimintahäiriöitä. Toimintahäiriöt ilmenevät huonona ajoneuvon luotettavuutena sekä kasvaneina pakokaasupäästöinä.



Kuva 1. Auton on toimittava vaihtelevissa olosuhteissa.

Tavoitteeksi työlle asetettiin ajoneuvon varma toiminta, hyvä ajettavuus, alentuneet pakokaasupäästöt, varaosien parempi saatavuus sekä mahdollisuus tehdä suorituskykyä parantavia muutoksia. Lähteinä tässä työssä käytettiin autoalan kirjallisuutta sekä internetiä. Automallikohtaista tietoa oli kovin niukasti saatavilla johtuen ajoneuvon iästä ja harvinaisuudesta.

Työn tarkoituksena on selvittää, voiko moottorinohjainta päivittämällä saavuttaa konkreettista hyötyä. Ero kaasutinmoottorista polttoaineenruikutuksella olevaan on merkittävä, mutta saavutetaanko moottorinohjainta päivittämällä samanlaista hyötyä?

2 MOOTTORINOHJAUS

Moottorinohjauksen tehtävä on huolehtia bensiinillä toimivan ottomoottorin polttoaineenruiskutuksesta ja sytytyskipinästä. Jotta moottorinohjaus pystyisi laskemaan tarvittavan polttoaineenmäärän ja oikean sytytyshetken, tulee sen saada vähintään seuraavat tiedot: kampiakselin asentotunnistus, imusarjanpaine, kaasuläpän asento, jäähdytysnesteenlämpötila ja imuilmanlämpötila. Näiden tietojen perustella moottorinohjain ”katsoo” oikean arvon valmiiksi ohjelmoiduista taulukoista. Kun arvo on katsottu taulukosta, voidaan sitä tilanteen mukaan korjata erilaisilla korjauskertoimilla, jotta saavutetaan mahdollisimman hyvin olosuhteisiin sopiva polttoaineseos tai sytytyksen ajoitus.

Koska auton alkuperäinen moottorinohjainyksikkö edustaa vanhentunutta tekniikkaa, päätettiin se korvata säädettävissä olevalla Haltech Platinum Sprint 500 -moottorinohjaimella. Alkuperäisen ja jälkiasennettavan moottorinohjaimen ohjaus perustuu imusarjan paineenmittaustietoon. Vallitseva paine mitataan paineanturilla (*Manifold Absolute Pressure, MAP*). Toinen vaihtoehto olisi ilmamassamittaria hyödyntävä moottorinohjain, mutta ne eivät ole kovin yleisiä jälkimarkkinoilla. Uudempien autojen moottorinohjaimet käyttävät melkein poikkeuksetta ilmamassamittaria tai molempien antureiden yhdistelmää. Näin saavutetaan parempi tarkkuus verrattuna MAP-anturia hyödyntäviin järjestelmiin. MAP-anturia käytettäessä ohjainlaite toimii niin kutsutulla *Speed Density* -periaatteella. Yksinkertaistettuna tämä toimintatapa perustuu ideaalikaasulakiin, joka on:

$$pV = nRT$$

, jossa

- $p = \text{Kaasunpaine [Pa]}$
- $V = \text{Kaasun tilavuus [m}^3\text{]}$
- $n = \text{Kaasumäärä [mol]}$
- $R = \text{Moolinen kaasuvakio } [\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}]$
- $T = \text{Termodynaaminen lämpötila [K]}$

Kaava 1. Ideaalikaasulaki (Tammertekniikka 2005,107).

Muokkaamalla yllä mainittua yhtälöä saamme seuraavan käyttökelpoisen yhtälön määrittämään moottoriin virranneen ilman massa.

$$m_{port} = \frac{MAP * Vd * N * \eta_v}{Cps * R_{air} * MAT}$$

, jossa

$$m_{port} = \text{moottoriin virrannut ilmamassa} \left[\frac{\text{mol}}{\text{s}} \right]$$

$$MAP = \text{Imusarjan paine} [\text{Pa}]$$

$$V_d = \text{Moottorin tilavuus} [\text{m}^3]$$

$$N = \text{Moottorin pyörintänopeus} \left[\frac{1}{\text{s}} \right]$$

$$\eta_v = \text{Volumetric Efficiency} [\%]$$

$$Cps = \text{Moottorin kampiakselin pyörähdysten määrä per yksi työkierto} [2]$$

$$R_{air} = \text{Ilman moolinen kaasuvakio} \left[\frac{\text{J}}{\text{molK}} \right]$$

$$MAT = \text{Imuilman keskimääräinen lämpötila} [K]$$

Kaava 2. Moottoriin virranneen ilman massan laskukaava (MathWorks 2020).

Koska $\left[\frac{\text{mol}}{\text{s}} \right]$ ei ole yleisesti käytössä oleva yksikkö ohjainlaitteissa, voidaan se muuttaa muotoon:

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = \frac{n}{M} \Rightarrow \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

, jossa

$$n = \text{kaasumäärä} [\text{mol}]$$

$$m = \text{kaasun massa} [\text{kg}]$$

$$M = \text{moolimassa} \left[\frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

Kaava 3. Kaasumäärä (Tammertekniikka 2005,107).

Kun moottoriin virtaava ilmamassa on tiedossa, pystyy moottorinohjain laskemaan tarvittavan polttoainemäärän, jotta saavutetaan haluttu seossuhde. Käytännössä imusarjan paine, pyörintänopeus ja lämpötila ovat helposti anturoitavissa ja mitattavissa olevia suu-reita. Moottorin iskutilavuus on myös tietysti mitattavissa ja/tai laskettavissa.

Moolinen kaasuvakio on nimensä mukaisesti vakio. Moottoriin virranneen ilmamassan määrittäminen ei kuitenkaan ole yksinkertainen tehtävä johtuen siitä, että moottori toimii usealla eri täytösasteella riippuen toimintapisteestä. Tätä täytösasteen määrää varten käytetään arvoa, joka on nimetty VE (*Volumetric Efficiency*) -arvoksi. VE-arvolla kuvataan moottoriin kulkeutunutta ilmamassaa verrattuna laskennalliseen maksimiarvoon (X-engineer 2020). VE-arvo ilmaistaan prosentteina ja sen ohjelmointi ohjainlaitteeseen vaatii paljon aikaa sekä testausta. Koska kyseistä arvoa ei voi mitata, perustuu arvio moottoriin

virranneesta ilmamassasta puhtaasti teoreettiseen laskentakaavaan. VE-taulukko kuvataan ohjainlaitteissa yleensä pyörintänopeuden ja imusarjan paineen funktiona.

2.1 Moottorin kampiakselin asentotunnistus

Moottorin asennontunnistukseen käytetään yleisesti ottaen kahta erilaista anturityyppiä, induktiivista anturia tai Hall-anturia. Induktiivisen anturin toiminta perustuu Faradayn lakiin eli se muodostaa jännitteen kaksinapaisen kelan päähän, johtuen magneettivuon muutoksista. Kyseisen anturityypin hyvinä puolina voidaan pitää korkeaa lämpötilan kestoa, edullisia valmistuskustannuksia ja epäherkkyyttä elektromagneettisille häiriöille. Huonoina puolina voidaan pitää signaalin vaihtosähkön ominaista luonnetta, pyörintänopeuden vaikutusta jännitteeseen ja ilmavälin vaikutusta signaalin jännitetasoihin. Huonoksi puoleksi voidaan myös lukea se, että anturi ei tunnista tarkasti pieniä pyörintänopeuksia.

2.2 Kaasuläppäkotelo

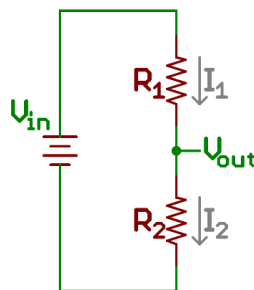
Kaasuläpän asentoanturin tehtävänä on tunnistaa kaasuläpän asento. Yleisesti ottaen kaasuläpän anturia ei käytetä kuormituksen päätunnistimena vaan varajärjestelmänä, mikäli pääjärjestelmään (esim. MAP) tulee vika. Osassa järjestelmistä voidaan kyseistä anturia käyttää tunnistamaan esimerkiksi osa-kaasualueita tai kaasupolkimen nolla-asento. Kyseiset oletukset eivät kata uudempia *Drive By Wire* -tyyppisiä ratkaisuja. Anturin toiminta perustuu yksinkertaistettuna säätövastukseen eli potentiometriin, joka toimii jännitteenjakajana. Anturille syötetään 5 V ja signaalin antojännite vaihtelee 0-5 V välillä riippuen kaasuläpän asennosta.

Korkeavirtteisissä kilpamoottoreissa voidaan käyttää niin kutsuttua *Alpha N* -järjestelmää, jossa mitataan ainoastaan kaasupolkimen asentoa ja moottorin pyörintänopeutta (Bell A. 2007, 7.7–7.9). Kyseisen järjestelmän käyttö ei ole suositeltua siviililiikenteessä johtuen sen aiheuttamasta ”karkeasta” ajettavuudesta. Kilpa-autojen moottoria käytetään yleensä joko kaasuläppä kokonaan auki tai kiinni. Välissä olevilla toiminta-alueilla ei suurta merkitystä käytettävyyden kannalta, joten kyseisen järjestelmän käyttö on mahdollista.

2.3 Lämpötilan tunnistus

Imuilman ja jäähdytysnesteen lämpötilan tunnistus tapahtuu käyttäen NTC-vastusta. Tämä tarkoittaa, että vastuksen resistanssi pienenee lämpötilan noustessa. Moottorinohjaus ei suoraan voi hyödyntää resistanssin muutosta, mutta rakentamalla ohjainlaitteen sisään jännitteenjakajan saadaan resistanssiarvosta muunnettua jännitearvo. (Schneehage G. 2013, 58–61.)

Jännitteenjakaja koostuu kiinteästä ylösvetovastuksesta R_1 ja muuttuvasta vastuksesta R_2 eli tässä tapauksessa lämpötila-anturista. Mittaamalla jännite näiden kahden vastuksen välistä, saadaan selville anturissa vaikuttava jännitehäviö.



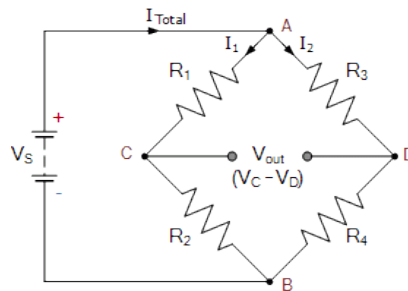
Kuva 2. Jännitteenjakajan kaaviokuva (Sparkfun 2021).

Tämä jännitearvo muunnetaan analogisesta digitaaliseksi A/D-muuntimessa ja lähetetään mikroprosessorille. Yleisesti kyseiset piirit toimivat 5 V jännitteellä. (Robert Bosch GmbH 2004, 465.) Kun käytössä on edellä mainittu rakenne, on siihen helppo toteuttaa yksinkertainen vikadiagnostiikka. Mikäli piiri on avonainen, lukee ohjainlaite 5 V ja mikäli piiri on oikosulussa, ohjainlaite lukee 0 V. Kyseinen jännitteenjakaja on valmiiksi sisäänrakennettu ohjainlaitteisiin. Yleisesti jälkimarkkinoilla olevista moottorinohjaimista löytyvän ylösvetovastuksen R_1 suuruus on 1 k Ω . Tämä on oleellinen tieto, kun antureita kalibroidaan ohjainlaitteeseen.

Lämpötila-anturien kalibrointi tapahtuu yksinkertaisimmillaan katsomalla anturin valmistajan toimittamasta tietolomakkeesta resistanssi tietyssä lämpötilassa ja siitä edelleen laskemalla se piirin vastaavaksi jännitteeksi.

Imusarjan paineanturi

Imusarjan paineanturin tehtävänä on mitata imusarjassa vaikuttava paine. Sen toiminta perustuu pii-siruun, johon on liitetty ohut kalvo. Kalvoon on liitetty muodonmuutosta mittaavia vastuksia, joiden resistanssi muuttuu, kun kalvoon kohdistetaan voima. Anturin sisällä käytetään vertailupaineena täydellistä tyhjiötä, jonka avulla voidaan määrittää erotus absoluuttisen ja mitatun paineen välillä. Vastukset ovat kytketty pareittain. Kun toisen parin resistanssi kasvaa niin toisen parin resistanssi pienenee. Kytkemällä ne Wheatstonen siltaan (Kuva 3), saadaan aikaiseksi jännite-ero. Mitattu jännite-ero lähetetään signaalivahvistimelle, joka on integroitu pii-siruun. Sen tehtävänä on vahvistaa, kompensoida lämpötilan aiheuttamat muutokset ja linearisoida signaali. Ulostulojännite on nollan ja viiden voltin välillä. (Robert Bosch GmbH 2018, 428–430.)



Kuva 3. Wheatstonen silta (Electronic Tutorials 2020).

Lambda-anturi

Lambda-anturin tehtävänä on mitata pakokaasuissa olevan jäännöshapen määrää. Tämä tieto lähetetään moottorinohjaimelle, jotta se pystyy tekemään tarvittavat korjaukset seossuhteeseen. Anturit voidaan karkeasti jakaa kahteen tyyppiin, laajakaistaiseen ja kapeakaistaiseen tyyppiin. Seossuhteen mittausalue kapeakaistaisella anturilla on noin 0,99-1,01 lambda-arvoa. Laajakaistalla se on noin 0,70-∞ lambda-arvoa (Haltech 2020). Tässä työssä keskitymme ainoastaan laajakaista-anturiin.

3 POLTTOAINE- JA SYTYTYSJÄRJESTELMÄ

3.1 Polttoainejärjestelmä

Polttoainejärjestelmän pääkomponentteja ovat polttoainepumppu, polttoainesuuttimet, paineensäädin, polttoainejakoputki, suodatin ja letkut. Järjestelmän tehtävänä on huolehtia polttoaineen siirtämisestä polttoainetankista moottorin palotilaan.

3.1.1 Polttoainepumppu

Polttoainepumpun tehtävänä on tuottaa polttoainejärjestelmään riittävä paine ja siirtää polttoaine tankista suuttimille. Yksinkertaistettuna pumppu koostuu moottorista, siipipyörästä ja rungosta. Sähkömoottori pyörittää rungon sisällä olevaa siipipyörää, joka saa aikaan paineen. Siipipyörä sijaitsee rungon alaosassa ja ohjaa polttoaineen suoraan sähkömoottorin läpi, viilentäen sitä. Pumpun yläpäässä on yleensä takaiskuventtiili, joka estää polttoaineen takaisinvirtauksen.

3.1.2 Polttoainesuuttimet

Polttoainesuuttimen tehtävänä on suihkuttaa polttoaine mahdollisimman homogeenisenä sumuna imusarjaan, jossa se sekoittuu ilman kanssa. Polttoainesuutin koostuu yksinkertaistettuna rungosta, neulaventtiilistä, jousesta ja solenoidiventtiilistä. Jousen tehtävänä on pitää neulaventtiili suljettuna, kun solenoidille ei ole ohjattu virtaa. Neulaventtiilin ollessa suljettuna, ei moottoriin pääse virtaamaan polttoainetta. Kun solenoidille ohjataan virtaa, se vetää neulaventtiilin auki ja päästää polttoaineen virtaamaan moottoriin.

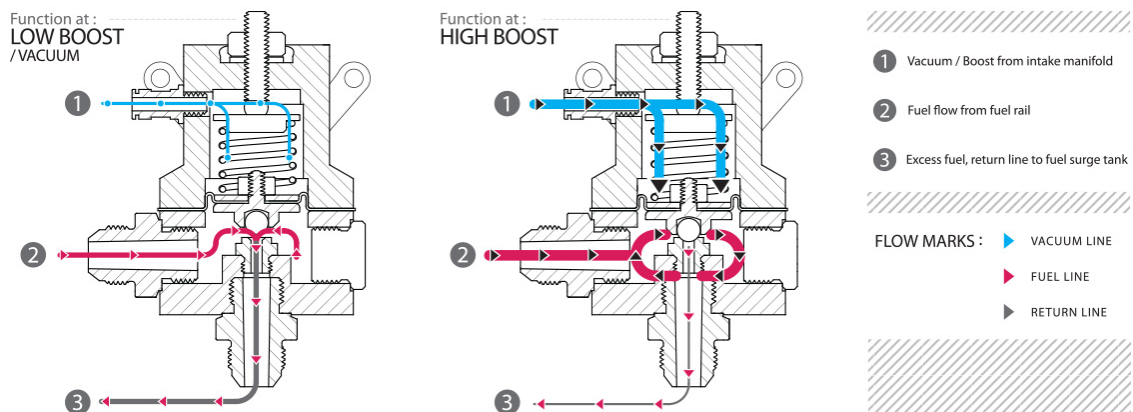
3.1.3 Polttoaineen paineensäädin ja polttoainesuodatin

Polttoaineen paineensäätimen tehtävänä on pitää polttoainejakoputkessa olevan polttoaineen ja imusarjassa olevan ilman välinen paine-ero vakiona. Autoissa käytetään kahden tyylistä järjestelmää, paluukierrolla olevaa ja ilman paluukiertoa olevaa. Paluukierrolla olevassa järjestelmässä polttoaine ohjataan tulolinjan kautta polttoainejakoputkeen.

Polttoainejakoputken päässä on paineensäädin, joka rajaa paineen ja palauttaa ylimääräisen polttoaineen takaisin tankkiin paluulinjaa pitkin. Ilman paluukiertoa olevassa järjestelmässä on ainoastaan yksi polttoainelinja polttoainejakoputkelle. Kyseisessä järjestelmässä polttoaineen paineensäädin sijaitsee polttoainetankissa integroituna polttoaineen syöttömoduuliin. Ylimääräinen polttoaine palautuu suoraan tankkiin.

Paineensäädin koostuu rungosta, jousesta, kalvosta ja venttiilistä. Runko on jaettu kahteen osaan kalvolla. Toisella puolella kalvoa vaikuttaa imusarjan paine ja toisella puolella vaikuttaa polttoaineen paine. Imusarjan paineeseen vaikuttavalla puolella on jousi, joka painaa kalvoa, johon on kiinnitetty venttiili. Jousen kalvoon välittämä voima määrää polttoainepaineen. Kun polttoaineen paine nousee suuremmaksi kuin jousivoima, avautuu venttiili ja vapauttaa painetta. Jousen puolella oleva imusarjan paine kompensoi imusarjassa tapahtuvat paine-erot. Mikäli imusarjassa on alipaine, niin sen kalvoon aiheuttama voima vetää kalvon välityksellä venttiiliä auki ja vapauttaa painetta polttoainejakoputkesta.

Kuvassa 4 esitetty imusarjan paineen vaikutus polttoaineen virtaukseen.



Kuva 4. Polttoainepaineensäätimen kaaviokuva (Nuke 2021).

Polttoainesuodattimen tehtävänä on suodattaa polttoaineesta epäpuhtaudet, jotka voisivat aiheuttaa toimintahäiriöitä. Suodatin koostuu kotelosta ja itse suodatinmateriaalista, jonka läpi polttoaine virtaa. Suodatinmateriaali sitoo itseensä irralliset partikkelit ja näin estää niiden pääsyn esimerkiksi polttoainesuuttimelle. Suodatinmateriaali on yleensä valmistettu selluloosakuidusta.

3.2 Sytytysjärjestelmä

Sytytysjärjestelmän tehtävänä on sytyttää sylinterissä oleva polttoaineen ja ilman seos oikealla hetkellä. Tässä työssä keskitytään pääasiassa uudempaa suunnittelua edustavaan yksittäiskipinäjärjestelmään, joissa sytytyspuola on moottorinohjaimen ohjaama ja sijaitsee sytytystulpan yhteydessä. Tätä järjestelmää kutsutaan nimellä *Coil On Plug* (COP).

Sytytyspuola koostuu kahdesta erillisestä kelasta, joiden nimet ovat ensiö- ja toisiokäämi. Kyseiset käämit ovat kierretty rautasydämen ympärille. Ensiökäämin kierrosten lukumäärä on yleensä 100-250 välillä. Toisiokäämin kierrosten lukumäärä on 10000-25000 välillä. Ensiökäämiin virtaa johtamalla saadaan aikaiseksi magneettikenttä. Kun virta katkaistaan äkillisesti, indusoituu toisiokäämiin jännite, jonka suuruus on luokkaa 25000-45000 V. Tämä jännite on niin suuri, että se saa sytytystulpan kärkien välissä olevan ilman ionisoitumaan, mikä tekee siitä johtavan.

Kun johtavuus on saavutettu, pääsee sähkövirta kulkemaan sytytystulpan kärkien välillä ja aikaansaa kipinän. Tämä jatkuu niin kauan kuin toisiokäämiin varautunut energia on purkautunut. Energian suuruus on imusarjasuihkutteisissa moottoreissa 10-60 mJ luokkaa. Suorasuihkutusmoottoreissa vaaditaan suurempaa energiaa, jotta polttoaineen ja ilman seos saadaan syttymään, joten niissä energiamäärä voi olla jopa 120 mJ. (Beru 2020.)

4 MOOTTORINOHJAUksen VAATIMAT MUUTOKSET

4.1 Muutokset moottorin kampiakselin asentotunnistukseen

Toyotan alkuperäinen järjestelmä käyttää kahta virranjakajan sisään rakennettua induktiivista anturia. Induktiivisia antureita varten on virranjakajan sisällä kaksi tunnistinlevyä, joissa toisessa on 24-hammasta ja toisessa 4-hammasta. Molemmat levyt ovat sijoitettu saman akselin varteen, johon käyttövoima otetaan pakopuolen nokka-akselilta. Alkuperäinen moottorinohjain määrittää pyörintänopeuden 24-hampaisten tunnistimen avulla ja oikean sytytysketken 4-hampaisten tunnistimen avulla. Kyseisen järjestelmän käyttö on mahdollista, koska varsinaisen sytytyskipinän jakaminen tapahtuu käyttämällä perinteistä virranjakajaa. Virranjakaja pitää huolen siitä, että kipinä ohjautuu oikealle sylinterille eikä täten moottorinohjaimen ole tarpeellista tietää sitä, missä sylinterissä on työtahti.

Uutta järjestelmää suunnitellessa tuli selväksi, että alkuperäistä 24-hampaista tunnistinlevyä pystyttäisiin hyödyntämään sellaisenaan. Sen sijaan 4-hampaisten tunnistinlevyn hyödyntäminen ilman modifioimista ei olisi mahdollista. Tämä johtuu siitä, että uusi järjestelmä tarvitsee tarkan tiedon siitä, missä sylinterissä on työtahti alkamassa. Tämän ongelman ratkaisuksi löytyi kuitenkin helppo keino. 4-hampaista tunnistinkiekosta poistettiin kolme hammasta hiomalla, näin jäljelle jää ainoastaan yksi hammas, jonka avulla moottorinohjain pystyy määrittämään työtahdin alkamisen. Näin toimimalla vältettiin erillisen tunnistinkiekon hankinnalta ja asennustyöltä.

Tunnistinantureiden osalta päädyttiin käyttämään kahta induktiivista anturia, kuten alkuperäisessäkin järjestelmässä on käytetty. Valinta kohdistui induktiivisiin antureihin johtuen niiden edullisesta hankintahinnasta ja paremmasta lämpötilankestosta verrattuna Hall-anturiin. Lämpötilankesto on tärkeä seikka, koska anturit sijaitsevat virranjakajassa, joka on sijoitettu suoraan pakosarjan yläpuolelle. Sopiviksi antureiksi valikoitui lopulta Rotax-moottorissa käytetyt, jotka olivat erittäin edulliset ja helposti saatavilla.

Kuvassa 5 on nähtävissä uusien induktiivisten antureiden sijoittelu sekä kiinnitys.



Kuva 5. Modifioitu virranjakaja uusilla induktiivisilla antureilla.

Antureiden asennusta varten jouduttiin alkuperäistä virranjakajaa modifioimaan muun muassa työstämällä siihen antureille paikat ja asentamalla ylimääräinen alumiinilevy, jotta antureiden oikea ilmaväli saatiin säädettyä. Ilmavälin säätäminen tapahtui viilamalla levyä, kunnes oikea ilmaväli saavutettiin. Toinen toteutusvaihtoehto kampiakselin asentotunnistukseen olisi ollut moottoriin asennettu uusi kampiakselin hihnapyörä, jossa olisi ollut tunnistinkehä valmiina. Näin toimimalla välttäisi jakohihnan aiheuttamalta ajoituksen muutokselta suurilla pyörintänopeuksilla. Koska muutostyön kohteena olevaa moottoria tullaan käyttämään vain normaalissa tieliikenteessä, ei tämän ajateltu olevan aivan välttämätöntä.

4.2 Muutokset kaasuläppäkoteloon

Kaasuläppäkotelon osalta ei suuria muutoksia vaadittu uuden järjestelmän asentamiseksi. Alkuperäisen asentoanturin käyttö olisi ollut täysin mahdollista, mutta johtuen sen vanhasta iästä ja osittain puutteellisesta toiminnasta, päädyttiin käyttämään toisesta autosta peräisin olevaa anturia. Vanhaa asentoanturia tutkiessa selvisi myös, miksi alkuperäinen järjestelmä ei suostunut menemään ns. säätötilaan. Syyksi paljastui satunnaisesti toimiva tyhjäkäynnin tunnistava asento. Tämä aiheutti sen, että sytytysennakon säätäminen oikeaksi ei ollut mahdollista. Toisena puoltavana tekijänä anturin vaihdolle oli alkuperäisen anturin suuri hinta ja huono saatavuus. Alkuperäinen anturi päätettiin korvata BMW E36/E46 -mallisiin autoihin tarkoitettulla anturilla, joka on Hellan valmistama. Näin toimimalla saavutettiin parempi varaosien saatavuus ja varmempi toiminta.

BMW:n asentoanturia varten tehtiin adapterilevy ja alkuperäistä kaasuläpän akselia muokattiin siihen sopivaksi, kuten kuvassa 6 on esitetty.



Kuva 6. Modifioitu kaasuläppäkotelo uudella asennontunnistimella.

Samalla kun anturimuutoksia tehtiin, poistettiin käytöstä kaasuläppäkotelossa sijaitseva jäähdytysnesteen lämpötilaan perustuva tyhjäkäynnin säätöventtiili. Tämä järjestelmä korvattiin Volkswagenista peräisin olevalla polttoainetankin huohotusta hoitavalla solenoidilla. Tarkoituksena tällä solenoidilla oli ohjata lisäilmaa moottorille esimerkiksi kylmäkäynnistystilanteessa. Valitettavasti myöhemmin selvisi, että ilman virtaus ei ollut aivan riittävä kylmälle moottorille, jotta tyhjäkäynti pysyisi halutussa käyntinopeudessa. Käyntinopeus pysyi kylläkin paremmin hallinnassa kuin ilman solenoidia, joten tätä voisi kutsua osittaiseksi onnistumiseksi. Kyseistä rakennetta päädyttiin käyttämään sen takia, koska asennettavassa Haltech-moottorinohjaimessa ei ole takaisinkytkettyä tyhjäkäynninsäätöä. Kun kaasuläppäkotelon muutokset olivat valmiit, kalibroitiin uusi asentoanturi moottorinohjaimen kanssa.

4.3 Muutokset lämpötila-antureihin

Jäähdytysnesteen lämpötila-anturiksi valikoitui Bosch Motorsport:n lämpötila-anturi sen hyvän saatavuuden vuoksi. Imuilma-anturiksi valikoitui mm. Toyota Corollassa käytetty anturi. Kyseisen anturin resistanssista ei ollut saatavilla valmista valmistajan spesifikaatiota, joten anturia lämmitettiin vedellä täytetyssä astiassa ja samalla mitattiin resistanssin muutosta verrattuna lämpötilaan. Veden lämpötilaa tarkkailtiin tarkalla lämpömittarilla

koko mittauksen ajan. Jotta anturin resistanssi tiedettäisiin myös pakkasasteiden puolella, laitettiin anturi pakastimeen upotettuna glykoliin ja mitattiin resistanssin muutosta. Kun molempien antureiden lämpötilaa vastaavat laskennalliset jännitteet olivat selvillä, voitiin arvot syöttää moottorinohjaimen kalibrointitietoihin.

Antureiden valinnassa painotettiin laajaa saatavuutta, edullista hintaa ja sopivia fyysisiä mittoja.

4.4 Muutokset imusarjan paineanturiin

Imusarjan paineanturiksi projektiin valikoitui Toyota Corollan anturi. Anturin valintaan vaikutti ainoastaan se, että sellainen sattui löytymään valmiina varaosahyllystä. Mikäli kyseistä anturia ei olisi ollut valmiina hyllyssä, olisi anturiksi valikoitunut joko General Motorsin tai Fordin varaosavalikoimasta löytyvä malli. Näitä kahta edellä mainittua käytetään yleisesti jälkiasennettavien moottorinohjaimien kanssa.

Anturi asennettiin alipaineletkun välityksellä imusarjaan ja kiinnitettiin pultilla imusarjan kylkeen. Kun asennustyö oli suoritettu, kalibroitiin anturi käyttämällä tarkkaa alipainemittaria ja yleismittaria. Alipainetta kasvatettiin ja samalla kirjattiin anturin signaalin jännite sekä alipaineen suuruus. Näin toimimalla saatiin muodostettua alipainetta vastaava jännite, joka voitiin syöttää moottorinohjaimen kalibrointitietoihin.

4.5 Muutokset lambda-anturiin

Toyotan alkuperäisessä moottorinohjaimessa ei ole lambda-anturia ollenkaan, mutta uuteen järjestelmään kyseisen anturin asennus on käytännössä pakollinen. Ilman laajakaista-anturia moottorin seossuhteen säätäminen oikeisiin arvoihin on melkein mahdotonta.

Seossuhteen ilmaisevaksi mittariksi valittiin AEM UEGO AFR (Kuva 7).



Kuva 7. AEM UEGO AFR -mittari tarvikkeineen (AEM 2020).

Kyseinen mittari sisältää sisäänrakennetun ohjaimen lambda-anturille ja analogisen ulostulon moottorinohjaimelle. Kyseinen mittari käyttää Boschin LSU 4.9 -anturia, jonka luvataan takaavan nopean reagoinnin seossuhteen muutoksiin (AEM 2020). Laajakaista-anturi tarvitsee aina erillisen ohjaimen, eikä sitä voi suoraan kytkeä moottorinohjaimeseen. Mikäli autoon ei olisi haluttu asentaa seossuhdemittaria, olisi täytynyt käyttää erillistä ohjainyksikköä mihin lambda-anturi kytketään. Seossuhdemittari asennettiin keskikonsoliin radion paikalle, josta tarvittavat johdotukset vietiin moottorinohjaimelle.

Lambda-anturin asennus pakoputkeen hoidettiin poraamalla pakoputkeen reikä ja hitaamalla siihen kierreholkki. Kun asennustyöt olivat suoritettu, kalibroitiin lambda-anturi käyttämällä ns. vapaan ilman kalibrointia. Tämä tarkoittaa sitä, että anturi pidetään irrotettuna pakoputkesta ja altistetaan ilmalle. Kun mittari on suorittanut kalibroinnin, voidaan anturi asentaa paikalleen pakoputkeen. Tällä toimenpiteellä varmistetaan mittarin ilmoittamien lukemien paikkansapitävyys. Tämän jälkeen voitiin suorittaa lambda-anturin kalibroiminen itse ohjainlaitteeseen. Tämä tapahtui syöttämällä mittarin mukana tulleesta tietolomakkeesta kutakin seossuhdetta vastaavat jännitteet moottorinohjaimelle.

Kun käytössä on laajakaista lambda-anturi, voidaan uuden moottorinohjaimen kahta erittäin tärkeää ominaisuutta hyödyntää. Ensimmäinen näistä ominaisuuksista on ajonaikainen anturidatan tallennus. Kun data saadaan tallennettua tietokoneen muistiin, voidaan ajon jälkeen tarkastella tietoja ja tehdä tarvittavia muutoksia esimerkiksi seossuhteeseen. Toisena tärkeänä ominaisuutena on ns. *Closed Loop* -toiminto. Tämä tarkoittaa, että tiettyjen moottorinohjaimen syötettyjen arvojen täytyessä moottorinohjain siirtyy

käyttämään lambda-anturilta saamaa tietoa seossuhteen automaattiseen korjaamiseen. Kyseistä toimintoa käyttämällä voidaan varmistaa, että seossuhde pysyy halutun laisena vaihtelevissa olosuhteissa. Tämä myös osaltaan pienentää pakokaasupäästöjä auton ollessa tyhjäkäynnillä tai osakaasulla ajettaessa, mikäli tavoitteelliset seossuhteet ovat oikein asetettu. Täyskaasu- ja kiihdytysrikastuksen aikana kyseinen toiminto ei ole käytössä.

5 POLTTOAINE- JA SYTYTYSJÄRJESTELMÄN VAATIMAT MUUTOKSET

5.1 Muutokset polttoainepumppuun

Auton alkuperäinen pumppu olisi ollut virtaukseltaan ja ominaisuuksiltaan sopiva, mutta se oli alkuperäinen eli 35 vuotta vanha. Se päätettiin vaihtaa uuteen muiden muutoksien ohessa. Uudeksi pumpuksi valikoitui yleismallinen Deatschwerks DW200. Kyseisen pumpun virtaukseksi on ilmoitettu 240 l/h @ 50 psi (Deatschwerks 2020). Virrantarve kyseisellä paineella on 9,7 A, joka oli yllättäen vastaavan luokan kilpailijoita vähemmän. Uusi pumppu asennettiin puhdistettuun alkuperäiseen polttoainetankkiin ja liitettiin kokonaan uusittuun polttoainelinjaan.

5.2 Muutokset polttoainesuuttimiin

Toyotan alkuperäiset, resistanssiltaan 2 Ω olevat suuttimet eivät tulisi toimimaan uuden moottorinohjaimen kanssa. Tämä johtuu siitä, että moottorinohjain vaatii vähintään 8 Ω resistanssilla olevat. Uusiksi suuttimiksi valikoitui Bosch EV14. Niiden virtaukseksi on ilmoitettu 237 g/min @ 3 bar, medium n-heptaanilla ja ne ovat varustettu Jetronic-tyylillä pistokkeella. Koska kyseiset suuttimet ovat tarkoitettu BMW-merkkisiin moottori-pyöriin, ne vaativat soviteosat molempiin päihin. Soviteosien avulla muutetaan suuttimen fyysisiä mittoja, jotta polttoainetukkiin ei tarvitse tehdä muutoksia. Kyseiset soviteosat tilattiin Finjector Oy:ltä.



Kuva 8. Kuvassa uudet suuttimet ja niiden vaatimat soviteosat.

Suuttimien karkea virtausmäärän mitoitus tehtiin ennen tilaamista käyttämällä Deatschwerks:n sivuilla olevaa laskuria. Tulokseksi saatiin, että 43,5 psi paineella, bensiinillä ja 80 % pulssisuhteella, tulisi niiden virtausmäärä riittämään noin 230 hv saakka. Tehdas on ilmoittanut kyseisen moottorin tuottavan 125 hv, joten virtauksen voi katsoa olevan varmasti riittävä nykyiseen tarpeeseen. Moottoria myöhemmin säätäessä tuli suurimmaksi pulssisuhteeksi noin 45 %, joten virtauskapasiteetti on riittävä kyseiseen moottoriin.

5.3 Muutokset polttoaineen paineensäätimeen ja polttoainesuodattimeen

Auton alkuperäinen paineensäädin korvattiin yleismallisella Turbosmart FPR800 -mallisella säätimellä. Polttoaineen paineensäätö voidaan toteuttaa portaattomasti väliltä 30–90 psi. Sen venttiilit ovat tehty ruostumattomasta teräksestä ja runko on anodisoitua alumiinia. Sen paineensäätö tapahtuu 1:1 eli imusarjan paine vaikuttaa samassa suhteessa polttoaineen paineeseen (Turbosmart 2020). Kyseinen paineensäädin valittiin projektiin sen laadun ja ominaisuuksien takia. Alkuperäisen paineensäätimen käyttö olisi ollut mahdollista, mutta se päädyttiin vaihtamaan sen uuteen johtuen korkeasta iästä. Tämä oli yksi keino varmistaa helpompi säätäminen ja varmempi toiminta jatkossa. Paineensäätimen asennuksen yhteydessä asennettiin myös painemittari paineensäätimen yhteyteen, jotta oikean polttoainepaineen löytäminen helpottuisi.

Polttoainesuodattimen valintaan vaikutti sen helppo saatavuus, liitäntätyyppi, suuri virtauskapasiteetti ja edullinen hinta. Suodattimeksi valikoitui Mann Filter WK725. Kyseistä suodatinta on käytetty mm. Audin 4,2 litraisella V8-moottorilla varustetussa autossa. Tästä voi olettaa sen olevan virtaukseltaan riittävä projektiautossa olevaan vapaasti hengittävään 1,6-litraiseen moottoriin. Kyseinen suodatin on varustettu M14x1,5 sisäänmenokierteellä ja M12x1,5:n ulostulokierteellä. Nämä helpottavat asennusta. Suodattimen kannatin valikoitui myös Audin varaosaluettelosta.

5.4 Muutokset sytytysjärjestelmään

Projektiauto on alkuperäisesti varustettu yhdellä sytytyspuolalla, jonka kipinän ajoitusta moottorinohjain säätelee. Sytytyspuolalta kipinä siirretään puolanjohdon avulla virranja-

kajalle, jossa se jaetaan oikealle sylinterille käyttämällä perinteistä pyörijää ja virranjaka-
jan kantta. Kyseisen järjestelmä ohjaaminen uudella moottorinohjaimella olisi täysin
mahdollista, mutta paremmaksi vaihtoehdoksi pohdittiin COP-tyyppisiä sytytyspuolia.

Suosittuja sytytyspuolavaihtoehtoja jälkiasennukseen ovat mm. Audi R8, GM LS2, To-
yota 1ZZ/2ZZ tai Nissan R35 peräsin olevat sytytyspuolat. Toyotan 1ZZ/2ZZ sytytyspuo-
lan kipinäenergiaksi on mitattu 25,6 mJ, joka on edellä mainitun joukon pienin, mutta
projektin tarpeisiin riittävä (Motive Video 2020). Harkintalistalla olivat myös BMW:n suo-
rasuihkutusmoottorin puolat, mutta niiden käyttö olisi vaatinut kokonaan uudenlaisen
kiinnitysjärjestelmän rakentamista, joten tästä syystä ajatus päätettiin hylätä.

Suurin haaste eri autoista peräisin olevien sytytyspuolien käyttämiselle on sytytyspuolan
kiinnitys itse moottoriin. Parhaaksi vaihtoehdoksi lopulta valikoitui Toyota 1ZZ/2ZZ:n sy-
tytyspuola. Valintaa puolsi sen sopiva pituus mitattuna sytytystulpasta varsinaiseen sy-
tytyspuolan kiinnityspintaan ja kiinnityksen toteutus pultilla. Toisena puoltavana tekijänä
päätökselle voidaan pitää kyseisten sytytyspuolien varmaa saatavuutta ja suorituskykyä
suhteessa hintaan.

Kyseisen malliset sytytyspuolat hankittiin käytettynä vähän ajetusta purkuautosta ja nii-
den kokonaishinnaksi tuli vaivaiset 20 € pistokkeineen. Koska sytytyspuolan mitat olivat
lähellä alkuperäisen tulpanhatun mittoja, voitiin alkuperäistä tulpanhattujen kiinnityslevyä
hyödyntää uusien sytytyspuolien kiinnitykseen. Kiinnityslevyyn asennettiin niittimutterit
jokaisen sytytyspuolan kiinnittämistä varten ja sytytyspuolan oikea etäisyys sytytystul-
pasta hoidettiin hitsaamalla muutama aluslevy kiinnityslevyyn.



Kuva 9. Sytytyspuolat asennettuna vanhaan kiinnityslevyyn.

Uuden järjestelmän rakentaminen oli kohtalaisen yksinkertainen tehtävä, kun varsinainen päätös käytettävästä sytytyspuolan mallista oli selvillä. Vanhaan järjestelmään verrattuna parannus oli jopa korvakuulolla huomattava. Moottori käy huomattavasti tasaisemmin ja samalla päästiin eroon kuluvista sytytyksen osista, kuten virranjakajan kannesta ja pyörijästä.

6 MITTARISTON JA JOHTOSARJAN MUUTOKSET

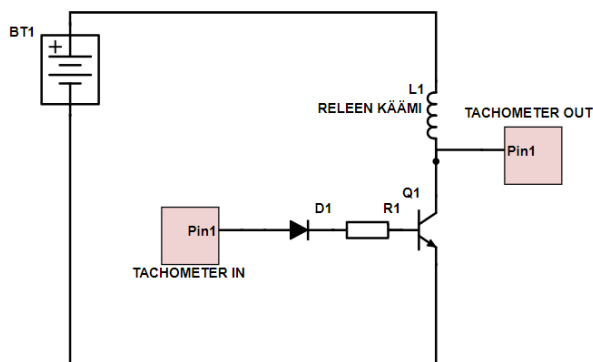
Mittaristo on tärkeä osa auton informaatiojärjestelmää. Osa mittariston toiminnoista on laissa määrättyjä. Osa on muuten oleellisia kertoakseen kuljettajalle informaatiota. Katsastusvarustukseen kuuluvat toimintakuntoiset varoitusvalot ja nopeusmittari (TrafiCom 2020). Käytännössä varoitusvaloilla tarkoitetaan esimerkiksi vilkkujen, kaukovalojen ja jarrujärjestelmän merkkivalojen toimintaa.

Matkamittarin toiminta ei ole pakollista (TrafiCom 2020). Johtosarjan osalta jouduttiin tekemään suuria muutoksia, jotta kaikki tarvittavat uudet moottorinohjaimen ominaisuudet saatiin käyttöön.

6.1 Kierroslukumittarin muokkaus

Kuten edellisessä luvussa on kerrottu, projektautoon vaihdettiin COP-sytytyspuolat alkuperäisen järjestelmän tilalle. Tämä aiheuttaa ongelman, koska alkuperäinen kierroslukumittari tunnistaa kierrosluvun puolan ensiöpuolella tapahtuvasta jännitepiikistä. Uudessa järjestelmässä sellaisen käyttäminen ei valitettavasti ole mahdollista. Moottorinohjaimessa on ulostulo tuottaa ns. suorakaidepulssia, jonka jännitteeksi on valittavissa 5 V, 8 V tai 12 V Tämä kyseinen jännitteen aaltomuoto ei suoranaisesti pysty ohjaamaan alkuperäistä kierroslukumittaria, koska jännitepiikin suuruus ei ole riittävä ja pulssin muoto on väärä.

Ulostulon avuksi täytyi siis rakentaa erillinen jännitepiikkien tuottaja. Tämä toteutettiin käyttämällä diodia, vastusta, transistoria ja relettä, josta on koskettimet poistettu. Releen käämi toimii kuten sytytyspuolassa ja sen virtaa katkomalla saadaan aikeiseksi jännitepiikkejä. Transistorilla ohjataan releen kytkeytymistä ja diodi on estämässä jännitepiikkien suuntautumista väärään paikkaan (Kuva 10).



Kuva 10. Kierroslukumittarin vaatima lisäpiiri.

Kyseisen järjestelmän avulla saatiin alkuperäinen kierroslukumittari toimimaan oletetulla tavalla, ilman nykimistä tai osoitinneulan omituista käytöstä. Käyttämällä edellä mainittua itserakennettua piiriä, säästettiin osien hankintakuluissa melkoisesti. Itse rakennettuna kyseisen järjestelmän hinnaksi tuli noin 5 €. Valmiit ratkaisut ongelmaan esimerkiksi Holley Performance Products Inc:ltä kustantaisivat noin 70 €.

6.2 Nopeusmittarin muokkaus

Uuden moottorinohjaimen vaatimien mittaristomuutosten ohessa oli hyvä korjata myös aikaisemmin havaittu vika mittariston toiminnassa eli nopeusmittarin toimimattomuus. Nopeusmittarin toiminta perustuu vanhoissa autoissa vaijeriin, joka pyörittää nopeusmittaria. Uudemmissa autoissa on vaijeri korvattu sähköisillä järjestelmillä, jotka käyttävät joko vaihteistoon sijoitettua Hall-anturia tai ottavat tiedon suoraan ABS-järjestelmästä.

Projektiauto oli alkuperäisesti varustettu vaijerikäyttöisellä nopeusmittarilla. Nopeusmittari käyttää vaihteistosta tulevaa ulostuloa, josta lähtee noin 3,8 m pitkä vaijeri mittaristolle. Vaijerin huimaa pituutta selittää ajoneuvon keskimoottorisuus. Kyseinen ratkaisu ei ole paras mahdollinen, mutta on hyvä huomata, että ajoneuvo on 80-luvulta eikä silloin parempia tai mahdollisesti edullisempia ratkaisuja ole ollut tarjolla. Ongelmaksi pitkästä vaijerista aiheutuu sen taipumus takerrella ja lopulta katketa. Näin on myös kyseisen projektiauton tapauksessa tapahtunut. Tämähän ei varsinaisesti olisi ongelma, mikäli uusia osia olisi edelleen saatavilla, mutta näin asia ei valitettavasti ole.

Ratkaisuna tähän ongelmaan päätettiin autoon rakentaa sähköisesti toimiva nopeusmittari. Ensimmäiseksi pohdittiin alkuperäisen mekaanisen mittariston muuntamista sähköiseksi, käyttämällä apuna mikrokontrolleri Arduinoa. Arduinon oli tarkoitus ohjata sähkömoottoria, joka olisi pyörittänyt alkuperäistä nopeusmittaria. Tämä idea hylättiin, koska sopivaa sähkömoottoria ei ollut helposti saatavilla. Toisena vaihtoehtona pohdittiin paljon kilpa-autoissa käytettyä digitaalista näyttöä. Hinnat alkavat noin 700 €:sta. Tämä idea jouduttiin toistaiseksi hylkäämään, johtuen niiden korkeasta hankintahinnasta.

Lopulta päädyttiin 90-luvun Toyota Corollassa käytettyyn mittaristoon ja sen käyttämään Hall-nopeusanturiin. Nopeusanturin mekaaninen asennus oli helppoa, koska molemmissa autoissa on samaan perusrakenteeseen pohjautuvat vaihteistot, täten osien vaihto ristiin oli mahdollista. Sähköisen nopeusanturin käyttö mahdollisti nopeustiedon tallentamisen myös moottorinohjaimeen, mikäli sille olisi tarvetta. Alkuperäinen mittaristo vaati kohtalaisen paljon mekaanisia muutoksia, jotta Corollan nopeusmittari saatiin sopimaan paikalleen. Kuvassa mittaristot osittain purettuna tarvittavia muutoksia varten. Kuvassa 11 ylhäällä Corollan mittaristo ja alhaalla auton alkuperäinen.



Kuva 11. Mittaristot purettuna muutoksia varten.

Muutokset koostuivat lähinnä alkuperäisen mittaristokotelon leikkaamisesta sopivan tilan luomiseksi. Tulevaisuudessa mittaristo olisi tarkoitus korvata edellä mainitulla digitaalisella näytöllä, joten tämänhetkisenä tavoitteena oli saada nopeusmittari toimimaan vuosikatsastusta varten.

6.2.1 Liittimet ja sähköliitokset

Koska projektiauton koko moottorinohjaukseen liittyvä sähköjärjestelmä rakennettiin kokonaan uudelleen, on selvää, että myös kaikki sähköliitokset tulisi tehdä uudelleen. Alustavasti tarkoituksena oli hyödyntää alkuperäisiä sähköliittimiä ja -johtimia, joihin olisi juotettu uuden moottorinohjaimen tarvitsemat liitokset. Tämä idea kuitenkin hylättiin, koska työn edetessä päädyttiin kaikki anturit vaihtamaan toisista ajoneuvoista oleviin. Antureita valittaessa pidettiin yhtenä kriteerinä Boschin käyttämää Jetronic-liitintä.



Kuva 12. Naaraspuolinen Jetronic-liitin.

Käyttämällä kaikkiin antureihin samanlaista liitintä, yksinkertaistettiin järjestelmään huomattavasti alkuperäisestä. Toisena syynä Jetronic-liittimien käytölle oli niiden laaja saatavuus ja edullinen hinta.

6.2.2 Sähköjohtimet ja sulakkeet

Autokäytössä kaksi yleisintä sähköjohdon tyyppiä ovat FLY ja FLRY. Molemmat niistä ovat monisäikeisiä ja PVC-muovieristeisiä. Erottavana tekijänä on, että FLRY on ohuemmalla PVC-muovieristeellä kuin FLY. (Robert Bosch GmbH 2004, 21–22). Kun sähköjohtimen tyyppi on valittu, voidaan siirtyä johtojen pinta-alan määrittämiseen. Johtimien pinta-alan määrittämiseen tarvitaan muutama tieto, jotta oikea johdin pystytään valitsemaan. Ensimmäinen tieto on laitteen vaatima virran suuruus. Esimerkiksi voi ottaa vaikka polttoainepumpun, jonka ilmoitettu virran suuruus on 9,7 A. Tämä pyöristetään 10 A:in. Yleisesti virtapiirin jännitehäviön halutaan olevan 1–4 % luokkaa. Elektronisten laitteiden kanssa tulisi käyttää pienempää jännitehäviötä kuin esimerkiksi polttimolla. (Robert Bosch GmbH 2004, 20–21.)

Esimerkkiin valitaan jännitehäviöksi 3 %, joka on $12,6 \text{ V} * 0,03 = 0,38 \text{ V}$. Lasketaan tarvittava johtimen pinta-ala kaavalla 4.

$$A = \frac{Iql}{U_{vl}}$$

, jossa $A = \text{johdon pinta-ala} [\text{mm}^2]$

$I = \text{virta} [\text{A}]$

$q = \text{johdinmateriaalin ominaisresistanssi} \left[\Omega * \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \right]$

(kuparilla $0,0185 \Omega * \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$)

$l = \text{johtimen pituus} [\text{m}]$

$U_{vl} = \text{jännitehäviö johtimessa} [\text{V}]$

Kaava 4. Johtimen pinta-alan laskeminen.

Arvioidaan polttoainepumpun positiivisen johtimen pituudeksi 5 m. Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan tulokseksi 2,43~2,5 mm². Käytännössä koko virtapiirin muodostamaan jännitehäviöön vaikuttaa mm. matkalla olevat katkaisijat, liittimet, korin käyttäminen johtimena ja maadoituspisteiden valinta. Johtimia mitoittaessa on turvallista hieman ylimitoittaa, ellei tavoitteena ole kustannusten tai auton kokonaismassan optimointi.

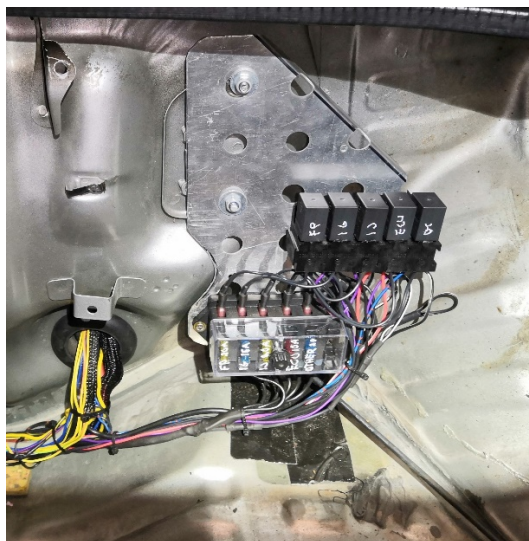
Sähköjohtimien pinta-alaksi projektiautoon valikoitui 1,5 mm², 2,5 mm² ja 6 mm². Näistä valittiin kuhunkin tarkoitukseen sopiva johdin. Johtimien tyyppiä valittiin FRLY, jotta johdinnipuista saadaan mahdollisimman kompaktin kokoisia. Johtimien niputtamiseen käytettiin nylonsukkaa ja teippaukset hoidettiin käyttämällä kangasteippiä (Kuva 14).



Kuva 13. Johtosarja teipattuna.

Sulakkeiden tehtävänä on suojata virtapiiriä liian suurelta virralta. Sulake mitoitetaan aina piirin heikoimmaksi osaksi, jotta vältetään esimerkiksi johtimien ja muiden laitteiden vaurioituminen. Sulakkeiden koko valitaan sähköjohtimien pinta-alan perusteella. Yleisenä sääntönä voidaan pitää seuraavaa: 1,5 mm² johtimelle valitaan 20 A:n sulake, 2,5 mm² johtimelle valitaan 30 A:n sulake ja 6 mm² johtimelle valitaan 50 A:n sulake. Kyseiset virtamäärät eivät ole piirin sallittu jatkuva virran suuruus vaan hetkellisen virran suuruus. Jatkuvan virran suuruutena voidaan pitää noin 4/5 edellä mainituista. (Robert Bosch GmbH 2004, 21–22.)

Projektiauton kohdalla sulakkeiden ja sulakerasioiden suunnittelussa lähdettiin liikkeelle moottorihjaimen mukana tulleesta kaaviokuvasta (Liite1). Siinä on määritetty moottorihjaimen virransyötön vaatimat sulakekoot ja määrä. Sulakerasiaksi valikoitui kaksi erillistä pohjaa, joissa molemmissa on paikat neljälle sulakkeelle. Sulakerasiat päätettiin sijoittaa kahteen erilliseen levyyn, jotka ovat asennettu tavaratilan vasempaan ja oikeaan reunaan.



Kuva 14. Auton oikealla sijaitseva sulakepesä ja rivi mikroreleitä.

Näin toimimalla saatiin molemmat yksiköt piiloon alkuperäisen verhoilun taakse. Moottorinohjain tarvitsee neljä sulaketta ja loput neljä on varattu auton muille sähkölaitteille.

6.2.3 Releet

Uutta sähköjärjestelmää suunnitellessa päädyttiin käyttämään kahta erilaista reletyyppiä. Moottorinohjaukseen liittyvät releet olivat Boschin valmistamia 30 A:n mikroreleitä, jotka on varustettu sisäisellä vastuksella. Vastuksen tehtävänä on tasoittaa käämin virran katkaisusta aiheutuvia virtapiikkejä. Ohjaamoon liittyviä virtapiirejä varten käytettiin Boschin valmistamia 30 A:n minireleitä. Niiden käyttö oli mahdollista suuremman käytettävissä olevan tilan ansiosta.

6.2.4 Käynnistysakun uudelleensijoitus tavaratilaan

Auton käynnistysakku sijaitsee alun perin moottoritilassa. Koska kaikki moottoriin liittyvät johdotukset tehtiin uusiksi, päädyttiin samalla siirtämään akku tavaratilaan. Tämän siirtämisen ideana oli vapauttaa tilaa moottoritilasta, koska moottoritila on kohtalaisen ahdas. Tavaratilassa akku on myös paremmassa suojassa lämpötilan vaihteluilta ja tärinältä. Alkuun akuksi valikoitu 45 Ah ja 330 A kylmäkäynnistysvirran omaava akku, joka vastasi arvoiltaan alkuperäisasennuksena olevaa mallia. Akulle tehtiin kiinnitysraudat ja

se kiinnitettiin tulevasti paikalleen. Maadoitusjohto koriin sekä positiivinen johdin starttimoottorille tehtiin monisäikeisestä 25 mm² autokäyttöön tarkoitettua kaapelista.

Kun varsinaista moottorin säätämistä alettiin suorittaa, havaittiin moottorinohjaimen ilmoittavan käynnistyshetkellä vääriä tietoja lämpötila-antureilta. Pitkällisen ja turhauttavan vianetsinnän lopputulokseksi ilmeni lopulta riittämätön akun koko. Riittämätön akun koko aiheutti liiallisen jännitteen aleneman käynnistyshetkellä, joka johti edellä mainittuihin antureiden vääriin arvoihin. Virtapihtimittarilla mitattuna hetkellinen virran suuruus käynnistyshetkellä oli noin 170 A. Tämä ei välttämättä kerro koko totuutta virran suuruudesta, johtuen käytetyn virtapihtimittarin reagoinnin hitaudesta. Näin suuri äkillinen virtapiikki aiheutti akun jännitteen laskemisen hetkellisesti alle 10 V. Tämä jännitearvo näytti olevan rajana vian ilmenemiselle. Vika saatiin lopulta korjattua asentamalla 62 Ah ja 620 A arvoilla oleva akku, joka poisti havaitun vian.

7 MOOTTORINOHJAIMEN SÄÄTÖ

Moottorinohjaimen säätämisen tarkoituksena on ohjelmoida ohjainyksikkö täyttämään kyseisen moottorin tarpeet mahdollisimman hyvin. Mikäli säätötyö on onnistunut hyvin, moottori toimii aina optimaalisesti, riippumatta olosuhteista tai käyttäjästä. Säätötyö aloitetaan säätämällä polttoaineenpaine oikeaksi, jonka jälkeen voidaan siirtyä itse moottorinohjaimen säätämiseen. Seuraavaksi esiteltävät vaiheet ovat suoritettu käyttämällä Haltech ECU Manager 1.14 -ohjelmistoa, jota käytetään vanhempien Haltech-moottorinohjaimien säätämiseen. Huolimatta eri valmistajien ohjelmien erilaisuuksista, löytyvät nämä vaiheet jokaisesta moottorinohjaimen ohjelmistosta.

7.1 Asetukset ennen moottorin käynnistämistä

Säätötyö on hyvä aloittaa syöttämällä ohjainlaitteelle ”peruskartta” (*Basemap*), mikäli sellainen on saatavilla. Tällä tarkoitetaan valmista ohjelmistokarttaa, joka sisältää perustiedot kyseiselle moottorille, jotta se saadaan käynnistymään. Valitettavasti projektiauton tapauksessa sellaista ei ollut valmiiksi saatavilla, joten kaikki tiedot oli syötettävä manuaalisesti. Näihin syötettäviin perustietoihin kuuluivat mm. moottorin iskutilavuus, sytytysjärjestys, polttoaineenpaine, polttoainesuuttimien virtaus, moottorityyppi (kiertomäntä- tai mäntämoottori) ja haluttu säätömenetelmä (VE tai Alpha-N).

Seuraavana on hyvä suorittaa kaikkien antureiden kalibrointi. Kalibrointi suoritetaan kunkin anturin osalta, kuten aikaisemmissa luvuissa on selostettu. Ilman oikeanlaista kalibrointia ei moottorilla ole edellytyksiä toimia. Kun anturit ovat kalibroitu on hyvä varmistaa, että anturit ilmoittavat ”järkeviä” arvoja. Mikäli moottorinohjain ilmoittaa huoneenlämmössä olleen auton jäädytysnesteen lämpötilaksi esimerkiksi 60 °C tiedetään, että jokin on pielessä ja se vaatii korjaamista ennen jatkamista seuraaviin vaiheisiin.

Kun kalibroinnin vaatimat tiedot on syötetty, voidaan siirtyä yksityiskohtaisempiin tietoihin liittyen pyörimisnopeuden ja asennontunnistukseen (*Trigger*), polttoaineenruiskutukseen ja sytytysjärjestelmään. ”*Trigger*”-osiossa ohjelmaan syötetään tiedot koskien pyörimisen tunnistavaa laitteistoa. Niihin kuuluvat mm. anturityyppi (*Variable Reluctance* tai *Hall*), liipaisutyyppi, liipaisukulma ja tunnistinkehien hammasluku sekä hampaidenasettelu. Projektiauton kohdalla tämä tarkoitti esimerkiksi *Variable Reluctance* -perusteella toimivia antureita ja 24+1 tyylistä tunnistinkehää.

Tämän jälkeen syötettiin haluttu polttoaineen syöttötapa. Vaihtoehtoja on yleensä pareittain suuttimet laukaiseva (*Batch*), kaikki suuttimet samanaikaisesti laukaiseva (*Multi-point*), kaksi kertaa työkierron aikana ruiskuttava (*Semi-Sequential*) ja jokaiselle sylinterille erikseen imutahdin aikana ruiskuttava (*Sequential*). Näistä vaihtoehtoista kolme ensimmäistä ei vaadi nokka-akselin asentotietoa (*Home*), mutta koska sellainen on tässä projektissa rakennetussa virranjakajassa, valittiin "*Sequential*"-vaihtoehto. Etuna tästä vaihtoehdosta on polttoaineen ruiskutus ainoastaan imutahdin aikana ja mahdollisuus säätää polttoaineen ruiskutuksen ajoitusta suhteessa imuventtiilin aukeamiseen.

Sytytysjärjestelmä-osiossa valitaan käytettävissä oleva sytytysjärjestelmä ja säädetään sytytyspuolan latausaika (*Dwell Time*). Sytytyspuolan latausaika on tärkeä asettaa oikeaksi, jotta vältetään sytytyspuolan ylikuumenemiselta ja varmistetaan mahdollisimman tehokas kipinä.

Kun nämä tiedot on syötetty, voidaan siirtyä asettamaan liipaisukulma (*Trigger Angle*), joka on yksi tärkeimpiä tietoja liittyen moottorinpyörimisen tunnistukseen. Tämän kulman avulla synkronoidaan moottorin pyörimisen mekaaninen asema suhteessa moottorinohjaimen oletettavaan asemaan. Ilman kyseisiä tietoja moottorinohjain ei pysty laskemaan oikeaa sytytyshetkeä ja polttoaineenruiskutushetkeä. Kulman asetus aloitetaan kytke-mällä polttoainepumppu tai polttoainesuuttimet pois toiminnasta, jotta vältetään moottorin tulvimiselta. Tämän jälkeen "lukitaan" moottorinohjaimesta sytytysennakko johonkin tiettyyn kulmaan, joka voidaan varmentaa esimerkiksi kampiakselin hihnapyörän merkeistä. Lukitsemisella tarkoitetaan sitä, että moottorinohjain pitää valitun sytytysennakon riippumatta pyörimisnopeudesta tai imusarjan paineesta.

Projekti-auton tapauksessa sytytysennakko lukittiin 10 °:en kampiakselilta mitattuna. Seuraavaksi moottoria pyöritettiin starttimoottorilla ja ajoituslampun avulla verrattiin tavoiteltua sekä toteutunutta sytytysennakkoa. Mikäli tavoiteltu 10 ° sytytysennakko ja toteutunut ennakko eivät olleet samat, säädettiin liipaisukulmaa. Kun kulma on saatu riittävän lähelle, voidaan polttoainepumppu ja suuttimet kytkeä toimimaan normaalisti ja yrittää käynnistää moottoria. Mikäli moottori ei käynnisty, on asetettu ennakko todennäköisesti 360 ° pielessä. Kun moottori on käynnistynyt ja pysyy tyhjäkäynnillä, on tärkeä säätää liipaisukulma oikeaksi.

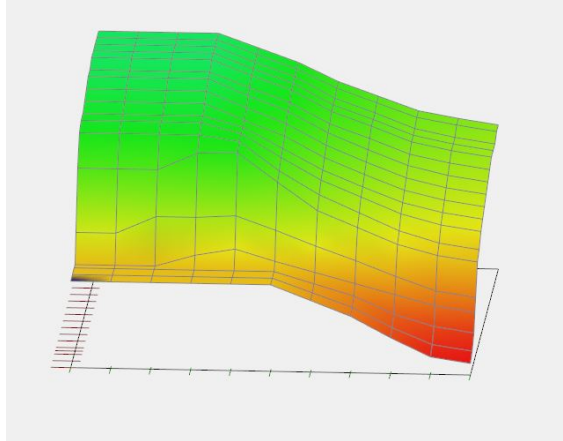
7.2 Polttoainekartan säätötyö

Polttoaineainekartalla tarkoitetaan tässä yhteydessä tiedostoa, johon on tallennettu tarvittava polttoaineen määrä kuhunkin moottorin toimintapisteeseen. Toimintapiste muodostuu imusarjan hetkellisen paineen ja moottorin käyntinopeuden funktiona. Oikean seossuhteen saavuttamisen avuksi käytettiin laajakaista lambda-anturia ja siihen liitettyä seossuhdemittaria. Mikäli saavutettu seossuhde ei vastannut tavoiteltua, säädettiin polttoainekartastoa siten, että saavutettu ja tavoiteltu vastaavat toisiaan mahdollisimman hyvin. Polttoainekarttaa säädettäessä pyrittiin alle kolmen prosentin eroon kahden edellä mainitun arvon osalta. Kyseisen arvon saa säätöohjelmasta näkyviin, joka helpottaa säätämistä huomattavasti.

Ensimmäisenä kartastosta säädettiin alueet, jotka pystyttiin säätämään auton ollessa paikallaan. Kun kyseiset alueet saatiin säädettyä, voitiin siirtyä säätämään kartaston alueita, jotka ovat käytössä autolla ajettaessa. Autoa ajettiin suljetulla alueella ja samalla suoritettiin tarvittavia muutoksia kartastoon. Polttoainekartaston osalta säätämisen apuna oli myös moottorinohjaimen tallennusominaisuus. Tätä ominaisuutta hyödyntämällä autoa pystyttiin ajamaan tietoa tallentaen ja myöhemmin tarkistamaan sekä korjaamaan havaittuja puutteita säädöissä.

7.3 Sytytysennakon säätötyö

Sytytysennakon oikeaksi säätäminen oli huomattavasti haastavampaa. Säätämistyö aloitettiin tiedossa olevasta vakiomoottorin sytytysennakosta, joka oli 16° ennen yläkääntökohtaa kierrosluvulla 800 rpm. Koska valmista sytytyskarttaa ei ollut saavavilla, hyödynnettiin pohjana Mazda MX-5 1,6-litraisen vapaasti hengittävän moottorin sytytyskarttaa. Tätä karttaa muokattiin vähitellen parempaan suuntaan käyttäen muutamaa oletusta, jotka olivat seuraavat: Kierrosten kasvaessa sytytysennakon tulee suurentua, kevyen kuormituksen alueella sytytysennakko voi olla suurempi kuin suuren kuormituksen alueella ilman nakutuksen vaaraa ja bensiiniä käyttävä moottori tuottaa suurimman mahdollisen vääntömomentin lähellä nakutusrajaa (Kuva 15).

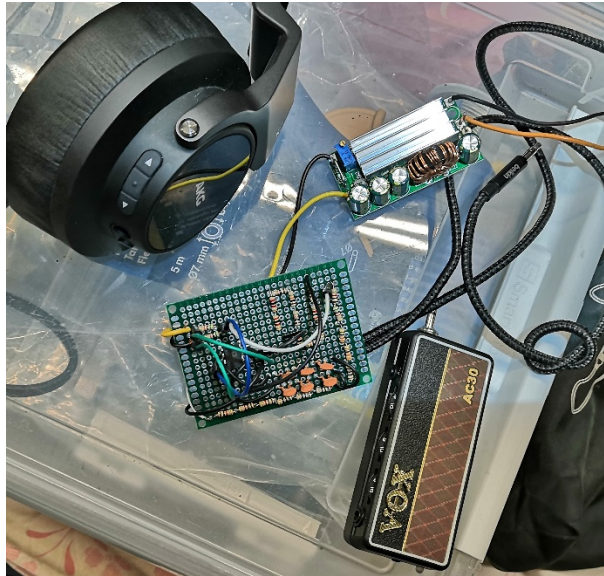


Kuva 15. Esimerkki sytytyksenajoituksen kolmiulotteisesta säätökäyrästä.

Kuvassa 15 vaaka-akselilla on moottorin kuormitus, joka suurenee siirryttäessä oikealle. Pystyakselilla on moottorin pyörintänopeus, joka kasvaa ylöspäin mentäessä.

7.4 Sytytysennakon säätämiseen käytetty laitteisto

Nakutuksella tarkoitetaan hallitsematonta palotapahtumaa palotilassa. Tämä luo suuria paineaaltoja, jotka aiheuttavat ylimääräistä rasitusta komponenteille ja voi lopulta johtaa komponenttien tuhoutumiseen. Paineaallot ovat niin voimakkaita, että ne ovat kuultavissa moottorin ulkopuolelle nakuttavana äänenä. Nakutusrajalla tarkoitetaan kohtaa, jossa nakutusta aletaan havaita. Nakutusrajan löytämiseksi rakennettiin moottoria varten alkeellinen nakutuksen kuunteluun tarkoitettu laitteisto (Kuva 16).



Kuva 16. Nakutuksen kuunteluun käytetty laitteisto.

Tämä laitteisto koostui nakutusanturista ja kaistanpäästösuodattimesta, jonka keskitajuus on laskennallisen nakutustaajuuden kohdalla. Lisäksi tarvittiin sähkökitaraan tarkoitettu minivahvistin, jotta nakutusanturilta tulevaa signaalia saatiin vahvistettua. Tämän laitteiston avulla pystyttiin kuuntelemaan moottorin tuottamaa ääntä ja karkeasti määrittämään, mikäli moottorista kuului nakutusta. Mikäli nakutusta esiintyi, säädettiin sytytysennakkoa myöhäisemmälle. Säättäminen suoritettiin ensimmäiseksi auton ollessa paikalla, jonka jälkeen autoa ajettiin suljetulla alueella, samalla sytytyskarttaan muutoksia tehden.

8 TYÖN TULOKSISTA

Vuosikatsastuksen yhteydessä moottorista mitatut pakokaasupäästöt olivat pienemmät kuin edellisissä katsastuksissa mitatut. Raja-arvoina katsastuksessa tämän ikäisessä autossa on häkäkaasun osalta 4,5 % tilavuusyksikköä kohden ja palamattomien hiilivetyjen osalta 1000 ppm (Finlex 2021). Ennen moottoriohjaimen muutoksia pakokaasumittausten keskiarvo edellisissä katsastuksissa oli ollut häkäkaasun osalta 2,34 % tilavuusyksikköä kohden ja palamattomien hiilivetyjen osalta arvo oli 839 ppm. Muutoksien jälkeen palamattomien hiilivetyjen osuus oli laskenut 110 ppm. Tätä muutosta voi selittää uudempaa suunnittelua olevat polttoainesuuttimet, järjestelmän oikea toiminta ja ohjainlaitteen takaisinkytketty lambda-säätö.

Ajokäytöksen osalta merkittävimpana erona on moottorin kierrosherkempi olemus. Tämä etu saavutettiin käyttämällä suurempaa sytytysennakkoa kuin alkuperäinen järjestelmä. Näin voitiin toimia, koska moottorissa käytetään ainoastaan nykyaikaista yli 98 oktaanista polttoainetta. Alkuperäinen järjestelmä oli optimoitu matalaoktaaniselle lyijylliselle polttoaineelle suuremmilla ”turvarajoilla”, joilla varmistetaan moottorin toiminta vaihtelevissa olosuhteissa.

Luotettavuuden osalta moottorin toiminta on parantunut huomattavasti. Moottorin olemus on sivistyneempi eikä pakokaasujen tuoksussa ole havaittavissa ”rikkaalla käyvän” moottorin ominaisuutta. Moottori on käynnistynyt ensimmäisellä yrityksellä ja tyhjäkäynti on tasaantunut nopeasti, jopa kylmällä moottorilla. Luotettavuutta on myös omalta osaltaan parantanut edistyneempi vikadiagnosointi. Moottorista on saatavilla reaaliaikaista dataa, joka helpottaa mahdollisten vikojen paikantamista. Dataa keräämällä ja jälkikäteen analysoimalla, voi paikantaa mahdollisesti havaittuja puutteita tai vikoja. Uudet sähköjohtimet ja liitoksen tuovat myös omalta osaltaan varmuutta järjestelmän toimintaan. Sytytysjärjestelmän muutoksilla saavutettiin ilman virranjakajaa ja tulpanjohtoja oleva rakenne, joka poistaa tarpeen vaihtaa mekaanisia osia kulumisen takia.

Autoharrastajan näkökulmasta suurin etu on mahdollisuus säätää sytytys- ja polttoainekartastoa. Ilman tätä ominaisuutta jäisi moottoriohjaimen päivityksestä saatava hyöty kovin laihaksi. Ilman säätömahdollisuutta ei olisi saavutettu positiivia vaikutuksia pakokaasuihin ja moottorin kierrosherkkyyteen. Säädettävä moottoriohjain avaa mahdollisuudet tulevaisuudessa tehdä muutoksia, joilla voi saavuttaa suurempia moottoritehoja tai pienempiä pakokaasupäästöjä.

9 LOPUKSI

Työ aloitettiin kysymyksellä, voiko moottorinohjainta päivittämällä saavuttaa konkreettista hyötyä. Lyhyt vastaus tähän kysymykseen olisi kyllä. Moottorinohjaimen päivityksen jälkeen ero vanhaan oli merkittävä. Työn tekeminen aloitettiin omasta mielenkiinnosta kyseiseen aiheeseen ja se kantoi hyvin projektia eteenpäin. Työ tuntui rullaavan eteenpäin pitkälti omalla painollaan ja tahdilla. Mikäli projektilla olisi ollut esimerkiksi ulkopuolinen toimeksiantaja, olisi se saattanut aiheuttaa ongelmia esimerkiksi aikataulun suhteen.

Moottorinohjaimen asennus aloitettiin tutustumalla moottorinohjaimen toimintaperiaatteeseen. Taustatutkimusta ja työn suunnittelua tehtiin muiden asioiden yhteydessä. Kun toimintaperiaate ja mitattavien suureiden laatu olivat selvillä, voitiin siirtyä komponenttien rakenteen tutkimiseen, joilla mittaus toteutetaan. Teoriaosuuden haasteena oli eri lähteistä löytyvän tiedon vertailu ja kokoaminen.

Teoriaosuuden jälkeen siirryttiin käytännön toteutukseen, joka oli koko työn eniten aikaa vievä prosessi. Moottorinohjaimen ja uusien komponenttien vaatimat muutokset olivat varsin mittavia, joten muutoksien jakaminen erillisiin osiin oli välttämätöntä. Ensimmäiseksi toteutettiin moottorinohjaimen vaatimien komponenttien asennus, jotta pystyttiin hahmotamaan niihin liittyvien laitteiden vaatimat muutokset. Vastaavanlaista projektia kyseisillä osavalinnoilla, ei tietojeni mukaan kukaan ole toteuttanut. Tässä työvaiheessa ainoana apuna toimi omat kädentaidot ja kekseliäisyys. Nämä loivat työhön omat haasteensa, mutta niistä selvittiin hyvin.

Kun moottorinohjaimen vaatimat komponentit oli asennettu paikoilleen, voitiin siirtyä esimerkiksi mittariston vaatimiin muutoksiin. Mittariston muutokset koostuivat useammasta eri vaiheesta, jotta vuosikatsastuksen vaatimukset ajoneuvon tieliikennekelpoisuudesta täyttyivät. Tämän työvaiheen kohdalla jouduttiin menemään ikään kuin ”sieltä-missä-aita on-matalin”. Suurimpana syynä tälle oli budjetti. Mikäli käytössä olisi ollut suurempi budjetti, olisi alun perin suunnitelmissa ollut digitaalinäyttö pystytty hankkimaan, eikä olisi tarvinnut turvautua mittariston muutoksiin. Vuosikatsastuksen vaatimukset kuitenkin täytettiin nykyisellä laitteistolla, joten tätä voi pitää onnistumisena.

Näiden muutoksien jälkeen oli vuorossa johtimien mitoitus ja johtosarjan teko. Näihin työvaiheisiin kului paljon aikaa johtuen siitä, että muutoksia vaadittiin paljon. Haasteina

oli sekä vaadittavien komponenttien kuin työkalujen saatavuus, että hinta. Lopputuloksena saavutettiin kuitenkin toimiva johtosarja, jota on jatkossa helppo muokata, jos sellaiselle tulee tarvetta.

Moottorinohjaimen säätöjen tekeminen osoittautui aikaa vieväksi työksi ja vaati myös nakutuksen kuunteluun käytetyn laitteiston rakentamisen, mikä omalta osaltaan lisäsi projektin laajuutta. Moottorinohjaimen säätöjä tehdessä havaittiin, että luotettavan tiedon löytäminen aiheesta oli haastavaa. Aihetta tuntui ympäröivän ”tuo autosi meille säädettäväksi” tai ”aiheeseen on olemassa maksullinen kurssi” -ajattelutapa. Onneksi lopulta useasta lähteestä olevaa tietoa koostamalla saatiin peruseriaatteet hallintaan ja moottori säädettyä.

Toki aina jälkeenpäin katsottuna on asioita, joita voisi kehittää. Eniten projektia jäi varjostamaan se, että alustadynamometrin käyttö ei ollut mahdollista moottorin säätöjä tehdessä. Syynä tähän oli maailmalla riehuva COVID19-pandemia. Nämä tapahtumat myös osaltaan pidensivät varaosien toimitusaikaa ja siten myös koko projektin kestoja. Mikäli vastaavaa projektia lähdettäisiin toteuttamaan alusta, kohdistuisi moottorinohjaimen valinta toisen merkkiseen ja uudempaa suunnittelua olevaan. Suurimpana syynä tähän on se, että kyseinen Haltech-malli on tullut markkinoille yli 10 vuotta sitten, eikä täten edusta teknologian terävintä kärkeä.

Tulevaisuudessa olisi tarkoituksena sijoittaa kunnolliseen nakutuksen tunnistavaan laitteistoon, jotta moottorin säätäminen helpottuisi ja siten voisi varmistaa moottorin parhaan mahdollisen toiminnan. Harkinnassa on myös auton muuntaminen puhtaasti rataajoa varten, jolloin ei tarvitsisi ottaa jokaista muutosta tehdessä huomioon tieliikennekelpoisuutta. Tämä muun muassa mahdollistaisi moottorin vaihtamisen tehokkaampaan tai nykyisen moottorin viritystasoon nostamisen.

LÄHTEET

AEM 2020. X-Series Wideband UEGO AFR Sensor Controller Gauge, Viitattu:20.11.2020.
<https://www.aemelectronics.com/products/gauges/digital-gauges/x-series-wideband-uego-afr-sensor-controller-gauge>

Bell A. 2007. Nelitahtimootorin virittäminen. Suom. Esko Mauno Tallinna: Alfamer Oy

Beru 2020. All about ignition coils. Viitattu:6.10.2020.
<https://www.beruparts.eu/support/catalogues/brochures.html>

Deatschwerks 2020. Fuel Injector Calculator Viitattu:25.11.2020.
<https://www.deatschwerks.com/fuel-calculators/fuel-injector-calculator>

Electronic tutorials 2020. Wheatstone Bridge Viitattu:1.10.2020.
<https://www.electronics-tutorials.ws/blog/wheatstone-bridge.ht>

Finlex 2021. Valtioneuvoston asetusajoneuvojen katsastuksesta annetun asetuksen muuttamisesta. Viitattu 9.1.2021.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20020165>

Haltech 2020. Narrowband vs Wideband: Oxygen Sensors Explained. Viitattu 3.10.2020.
<https://www.haltech.com/how-ecus-work/>

MathWorks 2020. CI Engine Speed-Density Air Mass Flow Model. Viitattu 28.9.2020.
<https://se.mathworks.com/help/autoblks/ug/compression-ignition-engine-speed-density-breathing-model.html>

Motive Video 2020. Mega Coilpack Test and Comparison R35, LS1, LQ9, Audi R8 and more - Platinum Tech. Viitattu 12.10.2020.
<https://www.youtube.com/watch?v=4d3nrBZjYKA>

Nuke 2021. How does a Fuel Pressure Regulator work? Viitattu: 6.4.2021.
<https://www.nukeperformance.com/faq-fuelpressureregulator.html>

Robert Bosch GmbH 2004. Automotive Electrics Automotive Electronics. 4.Painos. Painettu Saksassa

Robert Bosch GmbH. 2018. Automotive Handbook. 10. painos Painettu Saksassa.

Schneehage, G. 2013. Moottorinohjaus Tunnistimet. Suom. J. Seppälä. 1.Painos. Painettu Suomessa.

Sparkfun 2021. Voltage dividers Viitattu: 7.1.2021.
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/voltage-dividers/all>

Tammertekniikka 2005.Tekniikan Kaavasto.16.Painos. Porvoo: Bookwell Oy

TrafiCom 2020. Ajoneuvojen määräaikaikatsastuksen arvosteluperusteet. Viitattu: 30.10.2020.
<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/FI%20Ajoneuvojen%20määräaikaikatsastuksen%20arvosteluperusteet.pdf>

Turbosmart 2020. FPR800 Fuel Pressure Regulator. Viitattu:5.10.2020.
<https://www.turbosmart.com/product/fpr800-1-8-npt-black/>

X-engineer 2020. How to calculate the volumetric efficiency of an internal combustion engine.
Viitattu 23.9.2020.
<https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/performance/calculate-volumetric-efficiency/>

