



Moottorinohjausjärjestelmän käyttöönoton suunnittelu kilpa- autoon

Jussi Salo

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2021

Ajoneuvotekniikka
Auto- ja korjaamotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Auto- ja korjaamotekniikka

SALO, Jussi:

Moottorinohjausjärjestelmän käyttöönoton suunnittelu kilpa-autoon

Opinnäytetyö 68 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Marraskuu 2021

Opinnäytetyössä suunniteltiin moottorinohjausjärjestelmän käyttöönotto kilpa-autoon. Työn lopputulosta hyödynnetään todellisessa projektissa. Työssä perehdytään yleisellä tasolla siihen, miten moottorinohjainlaite toimii ja mitä tunnistimia ja toimilaitteita kohdeauton moottorinohjausjärjestelmä vaatii sekä minkälaisia sisään tulevien signaalien eri tunnistimilta tulee olla. Opinnäytetyön teoriaosuus pohjautuu kirjallisuuskatselmukseen. Työn tavoitteena on myös, että sitä voi hyödyntää muutkin, joilla on tarkoitus asentaa ajoneuvoon uusi moottorinohjainjärjestelmä.

Työssä esitetään järjestelmään suunniteltu kytkentäkaavio sekä tunnistimien ja keskeisten toimilaitteiden sijoittelu. Lopuksi suoritettiin oskilloskooppimittaukset MaxxECU Mtune -ohjelmistolla ja selvitettiin, minkälaisia signaaleja ohjainlaitteelle meni todellisuudessa ja verrattiin niitä teoriassa mainittuihin signaaleihin. Vertailussa huomattiin, että signaalit vastasivat teoriassa käsiteltyihin signaaleihin.

Mittaustulosten perustella voidaan todeta, että järjestelmä toimii halutulla tavalla ja moottori on valmis säätöön tehodynamometrille. Työn lopussa havaittiin, että järjestelmään pitää asentaa öljypainetunnistimen lisäksi myös mekaanisesti toimiva öljynpainemittari, jotta voidaan varmistua siitä, että ohjainlaitteelle tuleva öljynpainetieto on oikea. Työ voitiin todeta onnistuneeksi, koska suunniteltu kokoonpano saatiin toimimaan. Lopputulosta voidaan kuitenkin arvioida paremmin vasta, kun auto on säädetty tehodynamometrillä ja suoritettu kattavat testit kilpailuja vastaavissa olosuhteissa.

Asiasanat: moottorinohjausjärjestelmä, moottorinohjainlaite, tunnistin, toimilaite

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Vehicle technology
Garage engineering

SALO, Jussi:
Designing an Engine Management System implementation for a race car

Bachelor's thesis 68 pages, appendices 2 pages

November 2021

The purpose of this thesis was to design an engine management system implementation for a racecar. The thesis investigated at a general level how the electronic engine control unit works and what sensors, actuators, and incoming signals the engine control unit requires. Theory was collected from literature and different kinds of websites.

The thesis included the planned wiring diagram and the placement of the sensors and key actuators. Finally, oscilloscope measurements were performed using the MaxxECu Mtune -software and it was worked out what types of signals went to the control unit and those were compared to the theory. Signals were found to be similar with the theory.

Based on the measurement results, it can be said that the system worked as planned and the engine is ready for tuning in the power dynamometer. This showed that the thesis was successful, because the engine of race car worked without any problems with this new engine management system.

Key words: engine management system, electronic control unit, sensor, actuator

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KOHDEAUTO JA MOOTTORI.....	8
3	ELEKTRONINEN MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄ	9
	3.1 Moottorinohjainlaite	9
	3.2 Oheisjärjestelmät ja päätoiminnot	10
	3.2.1 Vääntömomenttitoiveet.....	10
	3.2.2 Vääntömomenttiohjaus.....	12
	3.2.3 Sylinteritäytöksen säätöjärjestelmä	13
	3.2.4 Polttoainejärjestelmä	14
	3.2.5 Sytytysjärjestelmä.....	17
	3.2.6 Toimintotiedot.....	19
	3.3 Sisääntulevat signaalit	20
	3.3.1 Kampiakselin asentotunnistin	22
	3.3.2 Nokka-akselin asentotunnistin.....	23
	3.3.3 Imuilman painetunnistin.....	25
	3.3.4 Kaasuläpänasentotunnistin	27
	3.3.5 Öljyn- ja polttoainepainetunnistin.....	29
	3.3.6 Nakutustunnistin.....	30
	3.3.7 Lambdatunnistin	32
	3.3.8 Jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin	34
	3.3.9 Imuilman lämpötilatunnistin	35
	3.4 Ulostulosignaalit.....	36
	3.4.1 Polttoaineen suihkutussuutin.....	38
	3.4.2 Sytytyspuola	41
4	KYTKENTÄKAAVIO.....	44
5	KOMONENTTIEN VALINTA JA SIOITTELU.....	45
	5.1 Valitut komponentit.....	45
	5.2 Komponenttien sijoittelu	46
6	MITTAUSMENETELMÄT.....	54
	6.1 Mittausvälineet	54
	6.2 Mittaukset.....	54
7	TULOKSET	58
	7.1 Kampi- ja nokka-akselin asentotunnistin	58
	7.2 Kaasuläpän asentotunnistin	59
	7.3 Öljyn- ja polttoaineenpainetunnistin	59
	7.4 Nakutustunnistin.....	60

7.5 Lambdatunnistin.....	61
7.6 Imuilman, öljyn ja jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin	62
8 PÄÄTELMÄT	63
LÄHTEET	65
LIITTEET	67
Liite 1. MaxxECU kytkentäkaavio	67

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK op	Tampereen ammattikorkeakoulu opintopiste
HC	Palamaton hiilivety -yhdiste
CO	Hiilimonoksidi
NO _x	Typenoksidi

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan Maxxecu Race- moottorinohjainlaitteen käyttöönotto rallin F -ryhmään luokitellun OPEL Astra F ralliauton GSi 2.0 16V moottorille. Tavoitteena on selvittää teoriassa, miten moottorinohjainlaite ohjaa moottorin toimintaa pää- ja oheistoiminnoilla sekä mitä tunnistimia ohjainlaite vaatii, jotta se voi suorittaa tarvittavat toimilaitteiden ohjaukset. Suunnitellulle kokonaisuudelle suoritetaan oskilloskooppimittaukset, minkä perusteella arvioidaan tunnistimien toimintaa. Lopuksi pohditaan, kuinka kokoonpano on onnistunut ja kuinka sitä voisi vielä kehittää.

Työn aihe valikoitu, koska nähtiin tarpeelliseksi ymmärtää uuden kilpamoottorin rakentamisen ohessa, kuinka moottorinohjausjärjestelmä toimii. Tämä työ toimii myös hyvänä oppaana niille, jotka suunnittelevat toteuttavansa samanlaisen projektin.

Moottorinohjauksen perusteita on myös käsitelty moottoritekniikan kurssilla, mutta siinä käytiin läpi perusteita. Tämän työn avulla perehdytään syvällisemmin ohjainlaitteen toimintaan sekä siihen liitettävien tunnistimien ja toimilaitteiden rakenteeseen sekä toimintaperiaatteisiin.

2 KOHDEAUTO JA MOOTTORI

Opinnäytetyön kohdeautona toimii kilpailukäyttöön rakennettu Opel Astra F ralli-auto, joka on luokiteltu kansalliseen F-ryhmään. Kilpa-auton moottorina toimii Opel Astran oma GSI 2.0 16V moottori mallinumeroltaan C20XE. Kyseinen moottori on rakennettu täysin uudestaan tämän projektin yhteydessä, eikä siitä ole vakiona muuta kuin moottorin sylinterilohko. Kaikki muut komponentit on uusittu ja vaihdettu paremmin kilpailukäyttöön soveltuvimmiksi.

Moottori sijaitsee auton etupuolella ja on asennettu siihen poikittain. Kyseessä on nelisylinterinen vapaasti hengittävä rivimoottori, jonka iskutilavuus on 1998 cm³. Jokaiselle sylinterille on neljä eri venttiiliä, joista kaksi on pakoverventtiilejä ja toiset kaksi imuventtiilejä. Näin ollen venttiilejä on yhteensä kuusitoista kappaletta. Kaasunjakelumekanismina toimii DOHC (Double Over Head Camshaft) eli kaasunvaihdosta vastaavat kaksi erillistä nokka-akselia, joista toinen vastaa pakoverventtiilien toiminnasta ja toinen imuventtiilien toiminnasta. Männän iskunpituus on 86 mm ja sylinterin halkaisija D on 86 mm, näin ollen iskusuhte S/D on tasan yksi. Moottorin puristussuhde e on 12,6. Vakiomoottorissa puristussuhde on 10,5 eli 2,1 pienempi kuin työn kohdemoottorissa. Vakiomoottorin teho on 150hv ja vääntö 196Nm, mutta työn kohdemoottorissa tehoa on 173,9kW/ 7606RPM eli 236hv ja vääntöä 230Nm/ 5859RPM. (Taulukko 1, Auto-data 2021.)

TAULUKKO 1. C20XE moottorin perustiedot (Autodata 2021)

Teho	150 hv @ 6000 kierrosta/min
Teho työtilavuuslitraa kohden	75.1 hv/l
Vääntömomentti	196 Nm @ 4600 kierrosta/min 144.56 lb.-ft. @ 4600 kierrosta/min
Moottorin sijainti	Edessä, poikittain
Moottorin malli	C20XE
Moottorin tilavuus	1998 sm ³ 121.93 cu. in.
Sylinterien lukumäärä	4
Sylinterien sijainti	Rivimoottori
Sylinterien halkaisija	86 mm 3.39 in.
Männän liike	86 mm 3.39 in.
Puristussuhde	10.5
Venttiilien lukumäärä/sylinteri	4
Polttoainejärjestelmä	Monipisteruiskutus
Moottorin toive	Vapaasti hengittävä moottori
Kaasunjakelumekanismi	DOHC

3 ELEKTRONINEN MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄ

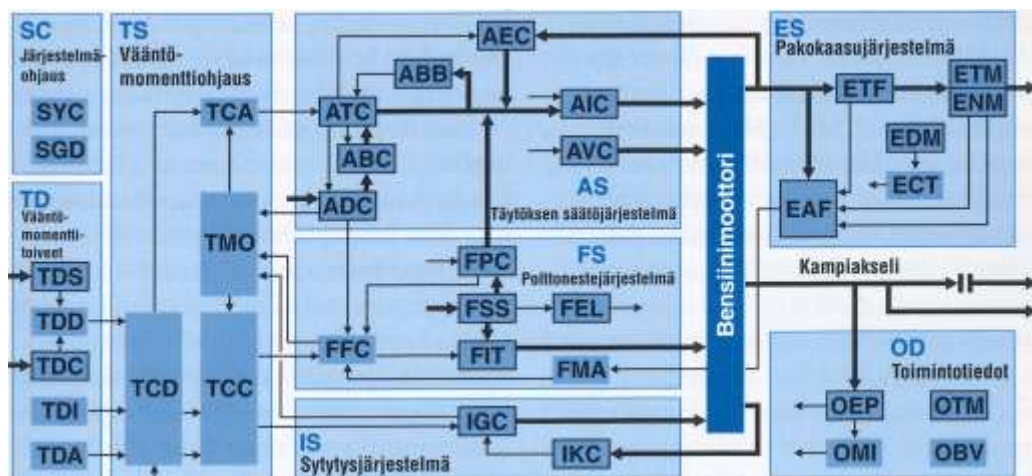
3.1 Moottorinohjainlaite

Nyky moottoreissa on käytössä elektroninen moottorinohjausjärjestelmä, johon sisältyy elektroninen polttoaineensyöttö sekä sytytysjärjestelmä. Näitä toimintoja ohjaa moottorinohjainlaite, jolloin polttoaineensuihkutus ja -sytytys tapahtuvat oikea-aikaisesti. Näin moottorin toiminnasta saadaan mahdollisimman toimintavarma. (Mauno 2004, 49 – 50.) Moottorinohjauslaite hyväksikäyttää useilta eri antureilta tulevaa sähköistä tietoa ja laskee matemaattisesti niiden arvojen perusteella toimilaitteidensa ohjaussignaalit, joita käytetään niiden toimintaan (Robert Bosch GmbH 2006, 32). Näillä ohjaussignaaleilla voidaan säätää mm. polttoaineen suihkutuksen määrä, jotta saadaan aikaiseksi oikea seossuhde moottorin sylinterin täytöksessä imutahdin aikana kussakin tilanteessa. Ohjaussignaaleilla säädetään myös sytytysennakkoa, jotta sylinterissä oleva polttoaine-ilmaseos saadaan syttymään oikea aikaisesti. (Mauno 2004, 49 – 50.)

Ohjainlaitteen sisällä on tietokone, jonka sisällä puolestaan emolevyyn on kiinnitetty mikroprosessori, jota kansan kielellä kutsutaan lastuksi (Mauno 2004, 51). Mikroprosessoriin on tallennettu ohjelmisto (software). Jotta ohjelmisto voidaan suorittaa, tarvitaan mikroprosessori, joka ohjaa moottorinohjaimen toimintopiirejä ja on näin ohjainlaitteen keskeisin komponentti. Ohjelmisto on binäärisessä numeromuodossa tallennettuna ohjelmamuistiin, jota keskusyksikkö lukee ja käsittelee ne käskyiksi ja saattaa ne eteenpäin. Ohjainlaitteita ja sen muita komponentteja kutsutaan laitteistoksi (hardware). Mikroprosessoriin on tallennettu kaikki toimilaitteiden ohjaamiseen tarvittavat algoritmit. Antureilta tulevista sisääntulosignaaleista tietokone saa laskentamateriaalia, jonka perusteella ohjainlaite ohjaa toimilaitteitaan. Mikäli ajoneuvossa olisi muita elektronisia järjestelmiä kuten ESP, voisi niille tietoa välittää CAN-väylän välityksellä, jolloin moottorin ohjainjärjestelmä olisi osa ajoneuvon kokonaisohjausjärjestelmää. (Robert Bosch GmbH 2006, 32 – 38.)

3.2 Oheisjärjestelmät ja päätoiminnot

Moottorinohjausjärjestelmä on jaettu erilaisiin oheisjärjestelmiin ja päätoimintoihin, joiden perusteella ohjain suorittaa lopulliset toimensa. Työssä käsitellään näitä toimintoja käyttäen avuksi Bosch Motronic- järjestelmästä saatuja tietoja, joita voidaan hyödyntää muihinkin käytössä oleviin ohjainlaitteisiin. Oheistoiminnot ovat ikään kuin suurempia kokonaisuuksia, joita moottorinohjainlaite pitää sisällään. Näiden kokonaisuuksien sisällä laskentaa ja signaalin siirtoa suorittaa kuitenkin päätoiminnot, jotka voidaan jakaa pienempiin palasiin oheistoimintojen sisällä. (Robert Bosch GmbH 2006, 39 – 40.). Käsiteltävissä päätoiminnoissa on myös sellaisia toimintoja, joita ei tulla käyttämään kilpa-autossa hyödyksi, vaan ne ovat siviililiikenteeseen suunnattuja toimintoja. Oheistoiminnoista käsitellään tässä yhteydessä vääntömomenttitoiveet (TD), vääntömomenttiohjaus (TS), täytöksen säätöjärjestelmä (AS), polttonestejärjestelmä (FS) ja sytytysjärjestelmä (IS) ja toimintotiedot (OD). (Kuvio 1.)

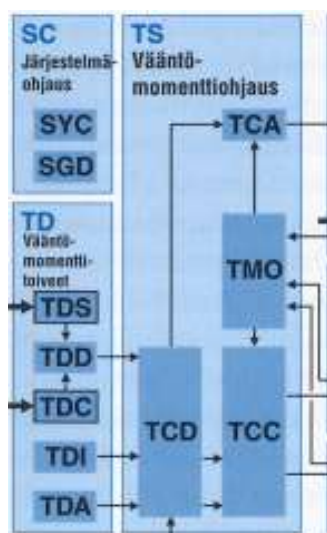


KUVIO 1. Motronic-järjestelmän oheis- ja päätoiminnot (Robert Bosch GmbH 2006,39)

3.2.1 Vääntömomenttitoiveet

Moottorinohjainlaite tunnistaa kaasupolkimen tai läpän tietojen perusteella, millainen vääntömomentti moottorilta halutaan käyttöön. Siinä oheisjärjestelmän vääntömomenttiohjaus (TS) saa tietoonsa oheisjärjestelmä vääntömomenttitoiveen (TD) keräämät vääntömomentti toiveet (Kuvio 2). Vääntömomenttitoiveen

signaalin käsittely (TDS) päätoiminto tunnistaa kaasupolkimen asennon kahdesta eri kulmatunnistimesta ja niiden tietojen mukaan saa selville, mikä on polkimen todellinen kulma. Tätä tietoa käyttää hyväkseen päätoiminto kuljettajan vääntömomenttitoive (TDD), joka kaasupolkimelta saatujen arvojen perusteella laskee moottorilta halutun vääntömomentin ohjearvoja. (Robert Bosch GmbH 2006, 40.) Kaasupolkimen asentotiedon voi korvata kaasuläpänasentotiedolla.



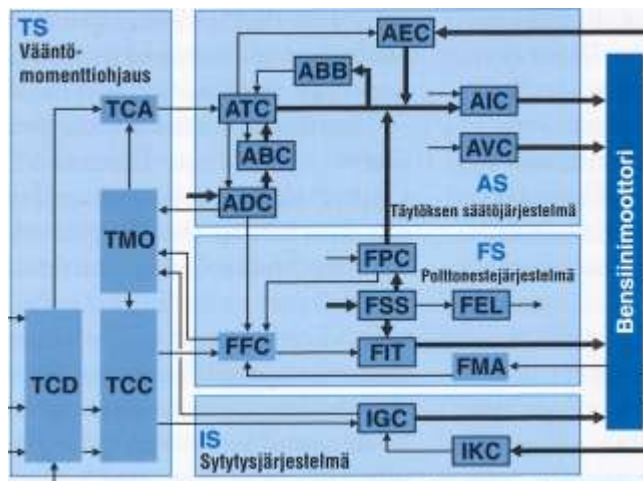
KUVIO 2. Vääntömomenttitoiveen ja -ohjauksen yhteys (Robert Bosch GmbH 2006,39)

Joutokäynnin momenttitoiveella (TDI) saadaan säädettyä moottorin joutokäynti rauhalliseksi säatelemällä moottorin pyörintänopeutta, vaikka kaasupoljinta ei painettaisi. Joutokäynnin pyörintänopeutta voidaan esimerkiksi kasvattaa, mikäli on tarvetta vaikuttaa kylmissä olosuhteissa moottorin lämmittämiseen tai jos esimerkiksi apulaitteet tarvitsevat enemmän virtaa. (Robert Bosch GmbH 2006, 40.)

Moottorin toimintaa täytyy myös tietyissä tilanteissa rajoittaa, jolloin päätoiminnolla sisäiset vääntömomenttitoiveet (TDD) voidaan luoda vääntömomentille rajoituksia ja vaatimuksia. Näitä toimia ovat esimerkiksi pyörintänopeuden rajoitus. Eräänlaista rajoittavaa toimintaa suorittaa myös ajoneuvoissa nykyään lähes aina vakiovarusteena löytyvää vakionopeuden säädin, jonka toimintaa ohjaa sen momenttitoive (TDC). Tämän avulla saadaan pidettyä ajoneuvon nopeus vakiona ilman, että koskettaa kaasupoljinta. (Robert Bosch GmbH 2006, 40 – 41.)

3.2.2 Vääntömomenttiohjaus

Vääntömomenttiohjaus toiminnolla säädetään sylinteritäytöstä, sytytys- ja polttoainejärjestelmiä, jotta saadaan toteutettua aikaisemmin luotu vääntömomenttitoive (Kuvio 3). Päätoiminto vääntömomenttikoordinointi (TCD) vastaanottaa kaikki vääntömomenttitoiveet ja järjestää ne tärkeysjärjestykseen ja laskee vääntömomenttiohjearvot. Näitä ohjearvoja voidaan myös muuttaa suhteellisen ilmassan perusteella. Tällöin puhutaan vääntömomentinmuunnostäytöksen säädöstä (TCA). Tämä laskee ilmaohjementin arvon tietyillä sytytyshetkillä ja lambda-arvoilla. Tämä on suorassa yhteydessä taas täytöksen säätöoheisjärjestelmään. (Robert Bosch GmbH 2006, 41.)



KUVIO 3. Vääntömomenttiohjauksen yhteys täytöksen säätö-, polttoaine- ja sytytysjärjestelmään. (Robert Bosch GmbH 2006,39)

Sytytysjärjestelmään (IS) ja polttoainejärjestelmään on suorassa yhteydessä päätoiminto vääntömomentinmuunnos palamiseen (TCC). S laskelmoi polttoainensuihkutusmäärälle, sytytyshetkelle ja lambda-arvolle ohjearvot ja lähettää ne edellä mainituille järjestelmille. Vääntömomenttimallinnus (TMO) sen sijaan saa todellista informaatioita sytytysjärjestelmästä ja polttoainejärjestelmästä moottorin pyörintänopeudesta polttoaineen suihkutuksesta, lambda-arvosta, sytytyshetkestä ja sylinterin täytöksestä. Näiden tietojen perusteella vääntömomenttimallinnus laskee indikoidun moottorin vääntömomentin, joka määritellään lambda, sytytyksen ajoituksen ja suihkutushyötysuhteen perusteella. Kyseinen vääntömomentti mallinnus lähettää tämän indikoidun vääntömomentin tiedon eteenpäin sekä TCC:lle että TCA:lle, jotka puolestaan ovat yhteydessä aiemmin mainittujen

väyliensä kautta täytöksensäätö-, polttoaine- ja sytytysjärjestelmään. (Robert Bosch GmbH 2006, 41.)

3.2.3 Sylinteritäytöksen säätöjärjestelmä

Sylinteritäytös tapahtuu moottorin imutahdin aikana, eli silloin kun mäntä liikkuu yläkuolokohdasta alas kohti alakuolokohtaa. Tällöin imuventtiili on auki, jolloin sylinteriin imeytyy ilman ja polttoaineen seosta (Kainulainen 1988, 9). Imuventtiili sulkeutuu hieman männän alakuolokohdan jälkeen, jolloin saadaan aikaseksi niin sanottu jälkitäytös (Eerola 1976, 25). Imusarjasuihkutteisissa järjestelmissä tuon imuventtiilin kautta tulee ilma-polttoaineseos, koska polttoaine suihkutetaan niimensä mukaan imusarjaan, jossa se sekoittuu kaasuläpällä säädellyn ilman kanssa. Suorasuihkutteisissa järjestelmissä polttoaine suihkutetaan suoraan sylinteriin, joten imuventtiilin kautta virtaa vain ilmaa. Sylinteritäytös määrä sen kuinka paljon moottorilta saadaan tehoa. Siihen vaikuttaa poltetun polttoaineen määrä yhden työkierron aikana (Eerola 1976, 23). Mitä paremmin sylinteriin saadaan ilmaa, sitä enemmän tulee suihkuttaa polttoainetta sylinteriin, jotta saavutetaan oikea ilma-polttoaineseos. Näin ollen moottorilta saatu teho kasvaa.

Sylinteritäytöksen säätöjärjestelmä ohjaa vääntömomentin ohjausjärjestelmän tietojen perusteella halutulle vääntömomentille oikean sylinterin ilmatäytöksen (Kuvio 3). Täytöstä ohjaavat useammat eri päätoiminnot kuten muissakin oheisjärjestelmissä. Täytöksen säätö kaasuläpällä (ATC) päätoiminto laskee kaasuläpän kulmalle sellaisen arvon, jotta voidaan saavuttaa haluttu vääntömomentti. Erilaiset kuormitusta mittaavat tunnistimien arvojen perusteella lasketaan Ilmatäytös (ADC), joka koostuu tuoreilmasta ja inertiakaasusta. (Robert Bosch GmbH 2006, 42.)

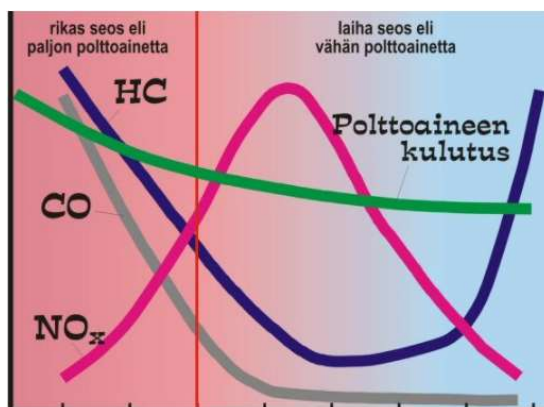
Mikäli ajoneuvossa olisi pakokaasujen kierrätysjärjestelmä (EGR), pakokaasutoiminen turboahdin ja ajoitusta muuttavat nokka-akselit, säätäisi näitä toimintoja vielä eri päätoiminnot. Imusarjaohjauksella (AIC) saadaan laskettua oikeat asennot imusarjanvaihtoläpälle ja pyörteytysläpälle, jotka mahdollistavat pakokaasujen takaisinkierrätyksen (AEC). Muuttuva-ajoituksisia imu- ja pakoventtiilejä ohjaavat muuttuva ajoitukselliset nokka-akselit, joiden ajoituksen ohjevot laskee

venttiilien ohjausjärjestelmä (AVC). Ahtopaineen säädöllä (ABC) varmistetaan oikea ahdetun ilman määrä kuhunkin tilanteeseen. (Robert Bosch GmbH 2006, 42.)

Täytöksen säätöjärjestelmä vaikuttaa myös turvallisuus näkökulmaan, koska sillä on suora yhteys myös jarrutehostimen toimintaan bensiini moottorien suorasuihkutusjärjestelmässä. Ohjaamalla kaasuläpän asentoa voidaan turvata tarvittava imusarjan alipaine ohjaustehostimen käyttöön. Mikäli kaasuläppä on täysin auki, on tällöin imusarjassa sama ilmanpaine kuin ulkoilmassa. Kuristamalla imusarjaa kaasuläpällä saadaan imusarjaan aikaseksi alipaine. Tätä säätötyötä tekee jarrutehostimen ohjaus (ABB). (Robert Bosch GmbH 2006, 42.)

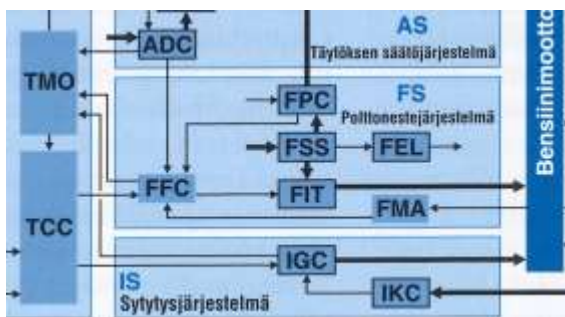
3.2.4 Polttoainejärjestelmä

Säätämällä polttoaineen suihkutusaikaa vaikutetaan polttoaineen määrään sylinterin täytöksessä. Tuota polttoaineen määrää tarkastellaan stokiometrisellä ilma-polttoainesuhteella AFR (air-fuelratio), jossa teoriassa bensiinimoottorissa 1 kg polttoainetta tarvitsee 14,7 kg tuoretta ilmaa. Tällöin seossuhde on 14,7:1, jota kuvataan myös lambda-arvona 1. Mikäli polttoaineen osuus on suurempi, on lambda-arvo $\lambda < 1$, jolloin puhutaan rikkaasta seoksesta. Kun polttoaineen osuus on pienempi kuin tuo seossuhde 14,7:1, on $\lambda > 1$. Yleensä ottaen seossuhde pyritään pitämään läpi moottorin käyttöalueen arvossa $\lambda = 1$, riippuen ajotilanteesta ja moottorin käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi kylmäkäynnistyksen ja kiihdytyksen yhteydessä seosta rikastetaan. Ilma-polttoaineseosta mittaa lambda-tunnistin, joka on suorassa yhteydessä moottorinohjainlaitteelle, joka tekee lambdasäätöä. Lambda-arvossa 1 pakokaasujen HC, CO ja NO_x arvot ovat parhaalla mahdollisella tasolla alhaiset (Robert Bosch GmbH 2018, 695). (Kuvio 4.)



KUVIO 4. Lambda-arvon vaikutus pakokaasupäästöihin 98-oktaanisella polttoaineella (Motomatti 2011)

Polttoainejärjestelmä (FS) laskee oikean suihkutettavan polttoainemäärän ja suihkutuksen ajoituksen kampiakselin asennon perusteella, jotta palotapahtuma saadaan optimoitua sekä oikea polttoaine-ilmaseos aikaiseksi (Kuvio 5). Polttoaineen esiohjaus (FFC) laskee oikean polttoaineen määrän lambda-anturin arvon ja ilmatäytöksen perusteella. Esiohjauksen korjauksia tehdään lambdasäädöllä ja polttoainetankin tuuletuksella. Säättötoimia tehdään myös olosuhteiden mukaan kuten esimerkiksi käynnistyksen, uudelleen käynnistyksen tai moottorin toimintalämpötilan saavuttamiseksi. (Robert Bosch GmbH 2006, 43.)



KUVIO 5. Polttonestejärjestelmän yhteys vääntömomenttiohjaukseen, täytöksen-säätöjärjestelmään ja bensiinimoottoriin. (Bosch 2006, 39)

Polttoainetankin tuuleutusta ohjaa polttonestehöyryjen talteenottojärjestelmä (FPC), jonka laskennan perusteella ohjataan höyrystyneen ja aktiivihiihiäsiiliöön keräytyneen polttoaineen regenerointia. Tältä järjestelmältä saatua tietoa käytetään kaasuläpän ohjauspiirissä. Ennen katalysaattoria sijaitseva lambda-anturin signaalin perusteella suoritetaan lambdasäätö, jolla voidaan varmistaa, että

vääntömomentin huojuminen saadaan minimoitua ja pidettyä seossuhde juuri laihanseosarvon yläpuolella. Katalyysaattorin jälkeisen lambda-arvon perusteella toteutettavalla lambdasäädöllä vaikutetaan vain pakokaasupäästöihin. (Robert Bosch GmbH 2006, 43-45.)

Kun on laskettu oikea polttoainemäärä, voidaan laskea polttonesteen suihkutuksen ajoitus ja aika (FIT). Suihkutusajalla säädetään polttoainemäärää. Tällä laskennalla varmistetaan suihkutuksen oikea ajoitus sekä suihkutusmäärä tietyllä kampiakselin asennolla. Suihkutettavan polttoaineen paine määräytyy polttoaineen tuottojärjestelmässä (FSS). Mikäli käytössä on täytössäätöinen järjestelmä, voidaan polttoaineen painetta jakoputkessa säätää. Suorasuihkutusjärjestelmissä vaaditaan suurempaa polttoaineen suihkutuspainetta kuin imusarjasuihkutteisissa järjestelmissä. Sen vuoksi suorasuihkutusjärjestelmiin asennetaan korkeapainepumput, joiden tuottamaa painetta säädellään paineensäätöventtiilillä tai täytössäätöventtiilillä. Painetta säädetään sen mukaan, mikä on sen hetkinen käyttötila. (Robert Bosch GmbH 2006, 43.)

Suihkutettavan polttoaineen määrää määritellään polttoainekartan perusteella, (Taulukko 2). Kartta on koordinaatisto, jossa x-akselilla on imuilmanpaine MAP-yksikkönä kPa ja x-akselilla moottorin kierrosluku RPM-yksikkönä (rounds per minute). Imuilmanpaineella seurataan moottorin kuormitusta. Mitä suurempi imuilmanpaine sitä suurempi kuormitus kohdistuu moottoriin. Moottorin kierrosluku ei vaikuta vallitsevaan kuormitukseen. Vapaasti hengittävissä moottoreissa imuilmanpaine voi olla maksimissaan ulkoilmanpaineen verran eli noin 100 kPa. Turboahdetuissa moottoreissa on sitten mahdollista saada suurempia ilmanpaineita imusarjaan ahtimesta riippuen. Polttoainekartalla saadaan säädettyä oikea polttoainemäärä kullekin kuormitustilanteelle. Koordinaatiston soluissa olevat luvut (VE %) kertovat tilavuushyötysuhteesta (Volumetric efficiency), jolla määritetään ilmakehänpaineessa sylinteriin imetyn ilma-polttoaineseoksen massatiheys imutahdin aikana, eli mitä suurempi lukema on, sitä enemmän polttoainetta suihkutetaan. Taulukossa 2 näkyvä punainen pallo kuvaa moottorin sen hetkistä kuormituksen tilaa ja ohessa näkyy sen hetkinen lambda-arvo.

Mikäli ei ole saatavilla MAP- tietoa, voidaan y-akselilla ottaa käyttöön kaasuläpänasentotunnistimen (TPS) tieto. Kaasuläpän avautumiskulman ja moottorinpyörintänopeuden perusteella ohjainlaite pystyy laskemaan teoreettisesti sisään imetyn ilmamäärän (Schneehage 2019, 32). Sillä tiedolla ohjainlaite pystyy säännöstelemään syötettävän polttoaineen määrän. Tosin tämä tapa ei ole niin tarkka, kuin että tiedon saisi suoraan ilmamassa- tai ilmanpainemittarilta. Tuloksen tarkkuuteen voivat vaikuttaa mm. likainen ilmansuodatin, likainen kaasuläppä, imujärjestelmässä oleva vuoto tai alentunut puristusaine (Schneehage 2019, 32). Lambdasäätökartta on muuten samanlainen polttoainekartan kanssa, mutta suihkutuspaine- ja suihkutuskulmamerkkien tilalla ovat määritetyt lambda-arvot.

TAULUKKO 2. Polttoainekartta (Maxxecu Mtune 2020)

VE Table 1		VE (%)															
MAP (kPa)	RPM (rpm)																
	200	800	1000	1200	1600	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	
199.9	88.0	93.2	95.0	96.7	100.2	103.7	108.0	114.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0
179.9	84.0	90.3	92.3	94.4	98.6	102.8	108.0	110.0	112.0	114.0	114.0	114.0	114.0	114.0	114.0	114.0	114.0
159.9	80.0	87.3	89.7	92.2	97.0	101.9	108.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0
139.9	76.0	82.3	84.3	86.4	90.6	94.8	100.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0
119.9	72.0	76.7	78.3	79.8	83.0	86.1	90.0	90.0	90.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
99.9	68.0	76.0	76.0	76.0	76.0	80.0	80.0	80.0	80.0	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0
80.0	64.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	73.0	76.0	76.0	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0
60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	66.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0
50.3	46.0	46.0	46.0	48.0	54.0	54.0	56.0	60.0	62.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0
40.0	40.0	40.0	40.0	42.0	48.0	48.0	48.0	48.0	54.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0
20.0	28.0	28.0	28.0	28.0	30.0	30.0	30.0	30.0	32.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0

3.2.5 Sytytysjärjestelmä

Sytytysjärjestelmä (IS) ohjaa sytytyspuolien toimintaa. Päätöiminto sytytyksenohjaus (IGC) laskelmoi oikean sytytysennakon vääntömomenttitarpeen perusteella (Kuvio 5). Sytytysennakkoon vaikuttavat myös perussytytysennakko ja sytytyksenajoituksen korjaukset, jotka määräytyvät moottorin kuormitustilojen perusteella. Perussytytysennakko määritetään moottorin kuormituksen ja moottorinpyörintänopeuden perusteella. Sytytysennakon määrittämiseen vaikuttavat myös imusarjaläpän asento, muuttuvan nokka-akselin ajoituksen muutos, polttoaineen suorasuihkutuksen toimintatilat ja moottorin sylinteriryhmäajottelu. (Robert Bosch GmbH 2006, 44.)

Sytytysennakolla tarkoitetaan kampiakselin astelukua ennen männän yläkuolo-kohtaa, jolloin sytytystulppa antaa kipinän, jolla polttoaine-ilmaseos sytytetään.

Oikealla sytytysennakolla saadaan aikaiseksi mahdollisimman suuri lämpötilan ja paineen nousu moottorin sylinterissä optimaalisella hetkellä, joka on yleisesti ottaen määritetty 10-15 ° yläkuolokohdan jälkeen. Näin ollen suuremmilla moottorin pyörintänopeuksilla tulee sytytysennakko säätää aikaisemmaksi, jotta paineen kasvu ajoittuisi juuri tuolle hetkelle eikä jäisi liian myöhäiselle. Liian aikainen sytytysennakko aiheuttaa kuitenkin nakutusta, joka voi vaurioittaa moottoria. Nakutuksella tarkoitetaan liian aikaista polttoaine-ilmaseoksen syttymistä itsestään esimerkiksi puristuspaineen vuoksi tai liian aikaisen sytytysennakon vuoksi. Nakutuksessa syttynyt seos aiheuttaa suuren paineaallon sylinterinseinämää ja mäntää vasten. Tämä saa aikaan nakutukselle ominaisen kilahtavan tai kovan iskumaisen äänen. Nakutus aiheuttaa moottorin tehon laskua, mutta myös vaurioita kampikoneistolle, moottorin laakereille ja männille ylikuormituksen sekä -kuumenemisen muodossa. Nämä saattavat aiheuttaa moottorin vaurioitumisen kuten kiinnileikkaamista, murtumista tai puhki palamista. (Eerola 1976, 55–58.)

Nakutuksen estämiseksi moottorinohjainlaitteissa on päätoiminto nakutuksen esto (IKC), joka tarkkailee nimensä mukaisesti, mikä on paras mahdollinen sytytysennakko ilman, että tapahtuu haitallista nakutusta. Nakutusta valvotaan nakutustunnistimilla, jotka lähettävät kustakin sylinterin palotapahtumasta tietoa moottorin ohjaimelle, joka vertailee anturitietoa edelliseen saatuun tietoon ja määritettyyn referenssitason. Referenssitaso on taustamelun arvo, jossa ei vielä ole havaittavissa nakutusta. Moottorinohjain havaitsee nakutuksen, kun tietty melun taso saavutetaan. Nakutuksen ja sen vertailutason määrittämiseen vaikuttavat luonnollisesti se, millainen on sen hetkinen moottorin käyttötila, eli se muuttuu vallitsevan tilanteen mukaan. Kun nakutusta havaitaan, säädetään kunkin sylinterin sytytystä erikseen. Nakutusta estetään myöhäistämällä sytytysennakkoa. Myöhäistämisen jälkeen sytytysennakkoa lähdetään aikaistamaan hiljalleen kuitenkin niin, että nakutusta ei pääse tapahtumaan. (Robert Bosch GmbH 2006, 44)

Vaadittava sytytysennakko eri kuormitustilanteissa määritetään säätämällä sytytysennakkokarttaa (Taulukko 3). Kartta on koordinaatisto, jonka y-akselilla ovat imuilmanpaineen arvot ja x-akselilla on moottorinkierrosluku. Näillä arvoilla seurataan moottorin kuormitusta. Kartassa on monia eri soluja, joissa lukema kuvaa

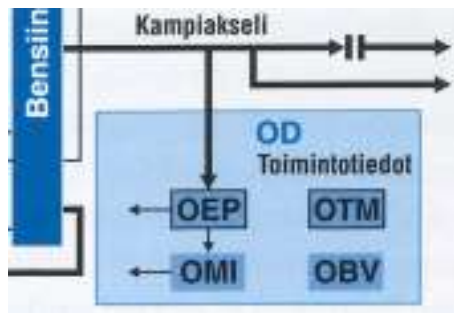
kampiakselin astelukua ennen, kuin sylinterissä oleva mäntä saavuttaa yläkuolokohdan. Muuttamalla näitä arvoja saadaan sytytysennakko määritettyä siten, että moottorilta on saatavilla paras mahdollinen vääntömomentti kussakin kuormitus-tilanteessa. Mitä suurempi lukema on, sitä aikaisempi on sytytyshetki. Kuten polttoainekartan kohdalla, niin myös sytytysennakkokartassa voidaan korvata MAP-tieto tarvittaessa TPS-tiedolla.

TAULUKKO 3. Sytytysennakkokartta. (Maxxecu Mtune 2020)

Ignition angle table 1		degrees BTDC													
MAP [kPa]															
	800	1000	1200	1600	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
219.9	10.0	10.0	10.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.2	12.5	12.8	13.0	13.2	13.5	13.8	14.0
199.9	10.0	10.0	10.0	12.0	13.0	13.4	14.4	14.6	14.9	15.2	15.4	15.6	15.9	16.2	16.4
179.9	10.0	10.0	10.0	12.0	14.0	14.8	16.8	17.0	17.3	17.6	17.8	18.0	18.3	18.6	18.8
159.9	10.0	10.0	10.0	12.0	15.0	16.2	19.2	19.5	19.7	20.0	20.2	20.5	20.7	21.0	21.2
139.9	10.0	10.0	10.0	12.0	16.0	17.6	21.6	21.8	22.1	22.4	22.6	22.8	23.1	23.4	23.6
119.9	10.0	10.0	10.0	12.0	17.0	19.0	24.0	24.2	24.5	24.8	25.0	25.2	25.5	25.8	26.0
99.9	10.0	10.0	10.0	12.0	18.0	20.4	26.4	26.6	26.9	27.2	27.4	27.6	27.9	28.2	28.4
80.0	10.0	10.0	10.0	12.0	19.0	21.8	28.8	29.0	29.3	29.6	29.8	30.0	30.3	30.6	30.8
60.0	10.0	10.0	10.0	12.0	20.0	23.2	31.2	31.4	31.7	32.0	32.2	32.4	32.7	33.0	33.2
40.0	10.0	10.0	10.0	12.0	20.0	24.6	33.6	33.8	34.1	34.4	34.6	34.8	35.1	35.4	35.6
20.0	10.0	10.0	10.0	12.0	20.0	26.0	36.0	36.2	36.5	36.8	37.0	37.2	37.5	37.8	38.0

3.2.6 Toimintotiedot

Toimintotiedot (OD) tarkastelee moottoriparametrien loogisuutta ja tekee tarvittaessa korjauksia asema- ja pyörintänopeustunnistuksen (OEP), lämpötilatunnistuksen (OTM), akunjännitetunnistuksen (OBV) ja palamiskatkostunnistuksen (OMI) perusteella (Kuvio 6). Asema ja pyörintänopeustunnistus laskee kampiakselin ja nokka-akseli asentotunnistimien lähettämien tietojen perusteella akselien asennon. Niiden tietojen perusteella synkronoidaan ohjainlaite ja moottori sekä valvotaan synkronointia, kun moottori on käynnissä. Kun tiedetään tarkkaan nokka-akselin ja kampiakselin asennot, saadaan moottoria käynnistäessä nopeasti synkronoitua järjestelmä, jolloin käynnistymisaika voidaan minimoida. (Robert Bosch GmbH 2006, 46.)



KUVIO 6. Toimintotietojen yhteys bensiinimoottoriin (Bosch 2006, 39)

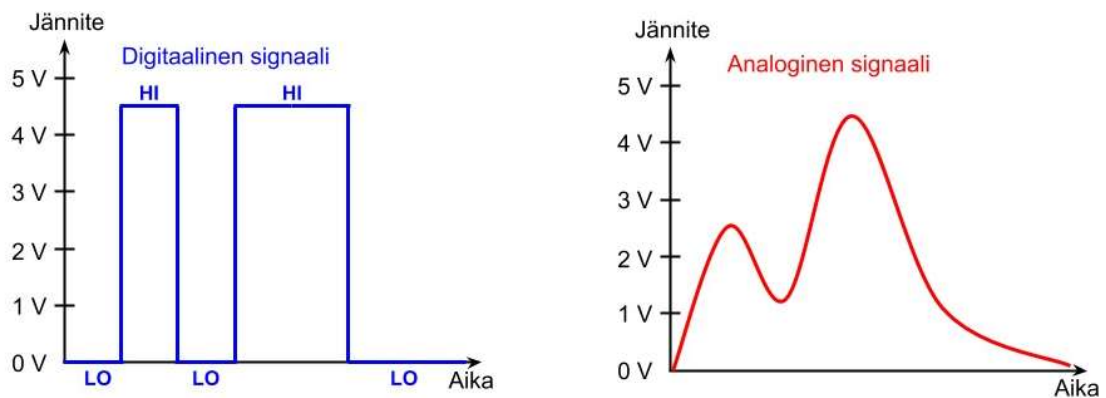
Lämpötilatunnistus tarkkailee lämpötilatunnistimilta tulevia signaaleja ja tekee niihin loogisuustarkkailua sekä tarpeen tullen tekee korjauksia säätökäyrästöihin. Akkujännitteen tunnistus hoitaa jännitteen syöttösignaaleja ja valvoo niitä. Palamiskatkostunnistus valvoo moottoria sytytys- ja palamishäiriöiden osalta. (Robert Bosch GmbH 2006, 46.)

3.3 Sisääntulevat signaalit

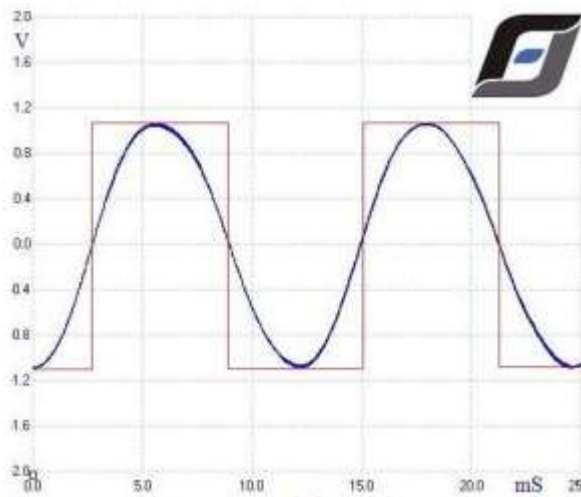
Tässä työssä käsitellään sisääntulosignaaleja luovia tunnistimia, joita tullaan käyttämään todellisessa kokoonpanossa kilpaviritteiseen Opel Astra GSI 2.0 V16 moottoriin, jotta tarvittavat pää- ja oheistoiminnot voidaan suorittaa. Huomioitavaa on, että kaikkia edellä mainittuja toimintoja ei kilpailu käyttöön suunniteltuun moottoriin tarvita, vaan kokoonpano tullaan pitämään yksinkertaisena.

Moottorinohjainlaite saa eri tunnistimilta jatkuvasti informaatioita moottorin toiminnasta ja siihen vaikuttavista olosuhteista johtimia pitkin. Informaation muotoja on kolme erilaista: Analogista, digitaalista ja pulssimuotoista (Kuvio 7). Analogisia tietoja ovat mm. lämpötilat, ilmanpaineet ja akun varaus eli sellaiset tiedot, joita voidaan ilmoittaa suureina. Tämä tieto siirtyy tunnistimelta jännitteenä suoraan ohjainlaitteelle. Jännitteen arvo on välillä 0-5 V, jonka tarkkuus on 5mV ja se muunnetaan ohjainlaitteen mikroprosessorin analogi-digitaalimuuntimessa digitaaliseen muotoon (Kuvio 8), joka puolestaan osataan laskea mikroprosessorin keskuslaskenta yksikössä tietyksi suureeksi jännitteen perusteella (Robert Bosch 2006 GmbH, 32).

Digitaalisilla sisääntulosignaaleilla kuvataan usein kytkimien asentosignaaleja tai pyörintänopeusimpulsseja. Kaikessa yksinkertaisuudessaan signaali on joko korkea, joka tulkitaan loogiseksi numeroksi 1 tai matalaa, joka puolestaan tulkitaan loogiseksi numeroksi 0 (Robert Bosch GmbH 2006, 33). Signaali digitaalisessa muodossa mitataan jännitteenä ja se piirtää oskilloskooppikuvaan kantikasta muotoa. Kanttiaaltosignaalia saadaan myös pulssimuotoisesta sisääntulosignaalista kuten induktiivisilta pyörintänopeustunnistimilta. Kun niistä suodatetaan ohjainlaitteen erityispiireissä häiriösignaalit, saadaan aikaan puhdas kanttiaaltosignaali (Robert Bosch GmbH 2006, 33).



KUVIO 7. Digitaalinen ja analoginensignaali (Peda)



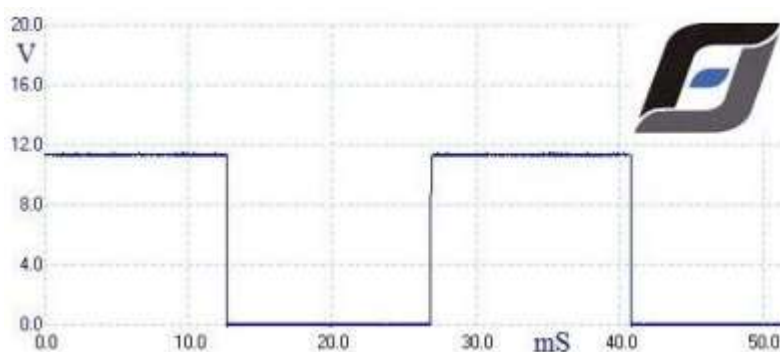
KUVIO 8. Induktiiviselta tunnistimelta tullut signaali muutetaan kanttiaalloksi (Full function engineerin 2012)

Tunnistimilta tulleet signaalit esikäsitellään turvapiireissä, jossa signaalin jännitettä rajoitetaan ja siitä poistetaan häiriöt. Tarpeen tullen signaalia voidaan vah-

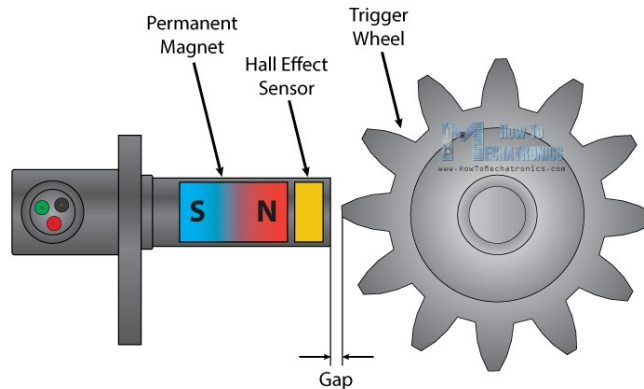
vistaa, jotta siitä saadaan informaatio esille. Ohjainlaitteen saamat sisääntulosignaalit tarkistetaan ja sen luomat ohjausalgoritmit luodaan mikroprosessorissa. Näillä ohjausalgoritmeilla luodaan ulostulosignaalit, joilla ohjataan moottorin toimilaitteita kuten polttoaine- ja sytytysjärjestelmän komponentteja. (Robert Bosch GmbH 2006, 33.)

3.3.1 Kampiakselin asentotunnistin

Kampiakselin asentokulmaa ja moottorinpyörintänopeutta mitataan hall- tai induktiivisella pyörintänopeustunnistimella. Tässä työssä käytämme hall-tunnistinta, jonka toiminta perustuu hall-ilmiöön. Hall-ilmiössä huomataan, kuinka elektronien kulkusuunta muuttuu, kun sähkövirtaan kytketty johdin tuodaan kohtisuorassa magneettikenttään. Hall jännite U_h syntyy kohtisuoraan virransuunnalle ja magneettikentälle. (Robert Bosch GmbH 2018, 113.) Tämä virran suunnan muuttuminen näkyy oskilloskooppikuvassa kanttiaaltona (Kuvio 9). Kanttiaalto syntyy, kun kestopagneettiin johdetaan virtaa ja hammastettu virtaa johtava triggeripyörä pyörii hyvin lähellä magneettikentän edessä (How to mechatronics 2021), (Kuvio 10). Virran suunta muuttuu aina sen mukaan, onko triggeripyörän hammas vai hampaiden väli magneettikentän edessä. Triggeripyörässä on myös niin sanottu hammasväli, josta puuttuu hammas tai hampaita. Tuo ylimääräinen hammasväli paljastuu hall-tunnistimelta tulevassa signaalissa puuttuvana kanttiaaltona. Tämä triggeripyörä on kiinni kampiakselissa ja tuon ylimääräisen hammasvälin perusteella saadaan selville kampiakselin asento koko kampiakselin kierroksen ajan. Triggeripyörän hammastus voidaan myös korvata muuttuvana-paisella pyörällä, jossa nimensä mukaan muuttuu magneettiennapaisuus samalla tavalla kuin mitä hampaatkin.



KUVIO 9. Hall- tunnistimen signaali (Ful function engineer 2012)



KUVIO 10. Hall-anturi havainnekuva (How to mechatronics 2021)

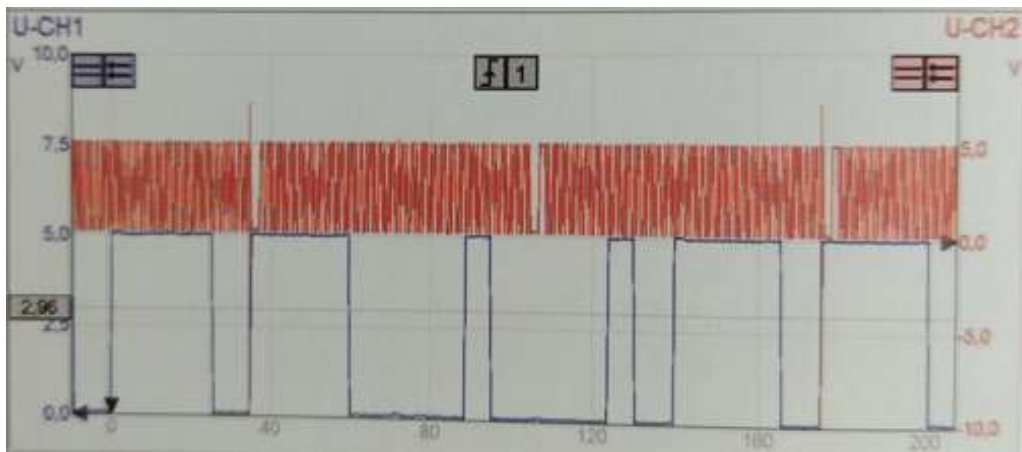
Hall-anturi koostuu siis puolijohdekerroksesta, kestmagneetista ja vertailupiiristä, jota myös kutsutaan vahvistinpiiriksi. Muodostuneella hall-jännitteellä saadaan kytkettyä vahvistinpiirissä transistori, jolla katkotaan moottorinohjainlaitteelle tulevaa signaalijännitettä. Tunnistimeen on kytkettynä kolme eri johtoa virta, maa ja signaali, jotka saavat virtaa noin 20 mA joko 5 V tai 24 V järjestelmästä (Full function engineering, 2). ”Tyypillisiä virran arvoja alemmalla tasolla on 7 mA ja ylempällä tasolla 14 mA” (Bosch 2018, 1519). (Schneehage 2019,27.)

Hall-anturin etuna verrattuna induktiiviseen pyörintänopeustunnistimeen on sen tarkkuus. Se toimii todella nopeissa ja hitaissa pyörimisnopeuksissa. Tuo tarkkuus hitaissa nopeuksissa edesauttaa hitaasti käyvissä moottoreissa ja myös laitteissa, jossa on käytettävissä luistonestotoiminto. Monissa antureissa lukukyky riittää jopa kierroslukuun 15000 RPM asti, minkä vuoksi se on suosittu kilpailuviritteisissä moottoreissa. Hall-anturin tunnistinosan ja triggeripyörän väliin jäävällä välillä on 5 mm toleranssi, koska anturilla on vain muisti niin sanotusti hampaalta hampaalle. Tämä helpottaa anturin uudelleen asentamista tarpeen vaatiessa. (Full function engineering 2012, 2.)

3.3.2 Nokka-akselin asentotunnistin

Nokka-akselin asentotunnistimet toimivat samalla periaatteella kuin kampiakselin asentotunnistimetkin. Vaihtoehtoina on hall-anturi tai sitten induktiivinen anturi.

Tässä työssä käytetään hall-anturia sen tarkkuuden vuoksi. Triggeripyörä on tässä tapauksessa asemoitu nokka-akselin hammaspyörän päähän. Tunnistimelta saatava signaali tulisi olla selkeää kanttiaaltoa kuten kampiakselin tietokin. Tosin nokka-akseli tekee yhden kierroksen siinä, missä kampiakseli tekee kaksi (Robert Bosch GmbH 2018, 1522). Näin ollen suhde on 1:2. Kanttiaallon paksuus ei välttämättä ole koko kierroksen ajan sama, vaan se saattaa olla eri riippuen siitä mikä tahti on käynnissä, eli triggeri pyörässä voi olla eri levyisiä hampaita. Tämä näkyy esimerkiksi kuviossa 11, jossa punainen signaali tulee kampiakselilta ja sininen on nokka-akselin asentotieto. Nokka-akselin asentotunnistimen tehtävän on tunnistaa yhdessä kampiakselin asentotunnistimen kanssa sylinterit ja niissä olevien mäntien sijainti (Schneehage 2019, 111). Nokka-akselin asentotunnistin kertoo, milloin sylinterin mäntä on liikkumassa kohti yläkuoloa sekä paine- että poistotahdissa (Robert Bosch GmbH 2018, 1522). Näitä tietoja käytetään bensiinimoottoreissa polttoaineensuihkutusventtiilien sekä yksittäissytytyspuolien ohjaukseen (Schneehage 2019, 111). Mikäli signaali häiriintyy, voidaan hyödyntää pelkästään kampiakselinasentotietoa, tosin tällöin ei saada tarkkaa sylinterikohtaista tietoa (Schneehage 2019, 111). Nokka-akselin asentotunnistimen tietoa käytetään ajoitusta säätävissä järjestelmissä, joissa muuttuva-ajoituksellisia nokka-akseleita. Tässä työssä sellaista ei käytetä.

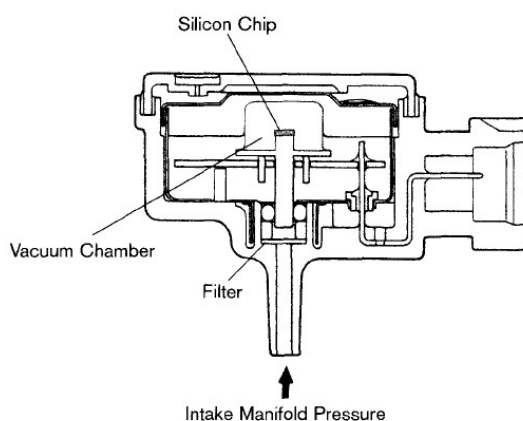


KUVIO 11. Nokka-akselin ja kampiakselin asentotunnistimien signaalit (Schneehage 2019, 114)

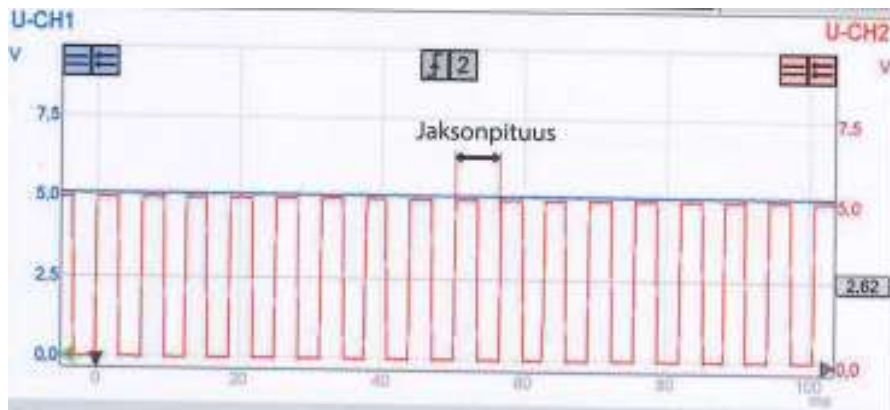
3.3.3 Imuilman painetunnistin

Moottorinkuormituksen tilaa seurataan imuilmanpaineen perusteella, minkä vuoksi sille on oma tunnistimensa. Moottorikuormitusta voitaisiin mitata myös ilmamassa tai -määrämittareilla. Mutta tässä työssä käsitellään ilmanpainemittaria, joka tullaan ottamaan tässä projektissa käyttöön. Ilmanpainetunnistin on integroituna MaxxEcu Race- moottorinohjainlaitteeseen.

Imuilmanpainetunnistimessa on piikristallikalvo ja venymävastus, jotka mittaavat ulko- ja imusarjan sisällä vallitsevan ilmanpaineen erotusta. Mittaaminen perustuu siihen, että toisella puolella piikristallikalvoa vallitsee ulkoilmapaine ja toisella puolella imuilmanpaine, jonka arvoon vaikuttavat kaasuläpän asema sekä moottorin pyörintänopeus (Kuvio 12). Paine-ero saa aikaan kalvon asemanmuutoksen, joka vaikuttaa kalvoon yhteydessä olevaan venymävastuksen resistanssiin (Lehtinen & Rantanen 2012, 154). Näin ollen signaalijännite muuttuu resistanssin muuttumisen mukaisesti. Jännitteen muutos käsitellään tunnistimen vertailupii-rissä ja lähetetään eteenpäin ohjainlaitteelle, joko analogisena tai digitaalisena jännitearvona. Enemmän käytetty Analoginen signaali voidaan muuttaa suoraan suureeksi jännitteen arvon perusteella. Digitaalisena signaalina saatava tieto sen sijaan määritetään sen taajuuden perusteella eli tarkastellaan jaksonpituutta (Kuvio 13). (Schneehage 2019, 35–36.)

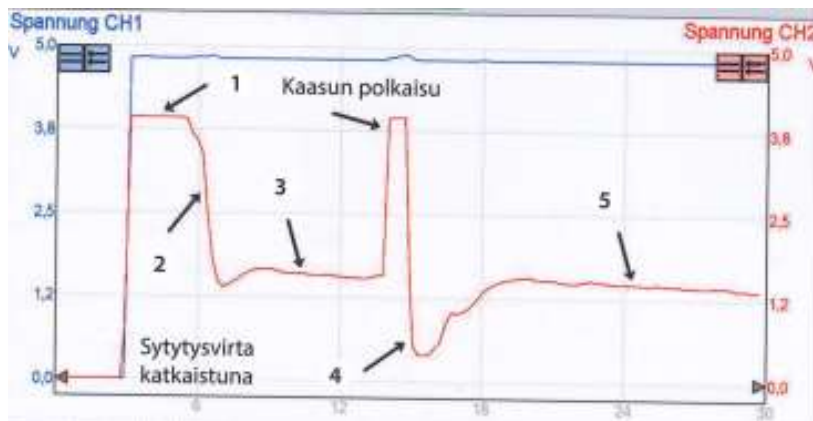


KUVIO 12. Imuilmanpainemittarin periaatekuva.



KUVIO 13. Imusarjanpainetunnistimen digitaalinen signaali (Schneehage 2019, 38)

Analogisesta signaalista voidaan hahmottaa hyvinkin helposti vallitseva moottorin kuormitustila (Kuvio 14). Kuvassa oleva sininen signaali CH1 kuvaa sytytysvirtaa ja punainen signaali CH2 ilmanpainemittarin arvoa. Sytytysvirran kytkeytyessä päälle anturi saa virtaa, jolloin sen näyttää vallitsevan ulkoilmanpaineen jännitearvolla noin 4 V (kohta 1). Kun moottori käynnistetään, syntyy imusarjaan alipaine (kohta 2). Käynnistyksen jälkeen moottori käy tyhjäkäynnillä, jolloin imusarjanpaine pysyy tasaisesti alhaalla arvossa 1,5 V, joka vastaisi ilmanpainetta 500 mbar. Kuvaaja tekee jyrkän nousun, jolloin paine kasvaa samaksi kuin ulkoilmanpaine, tämä kuvaa vapaasti hengittävässä moottorissa kaasuläpän olevan täysin auki hetken aikaa. Kaasunpolkaisun jälkeen ilmanpaine sukeltaa syvälle, joka kuvaa kaasuläpän kiinni olemista ja kohonnutta moottorin pyörimisnopeutta (kohta 4). Ilmanpaine jälleen nousee joutokäyntiä vastaavalle tasolle moottorin kierrosluvun laskiessa (kohta 5).



KUVIO 14. Imusarjanpainetunnistimen analoginen signaali (Schneehage 2019, 38)

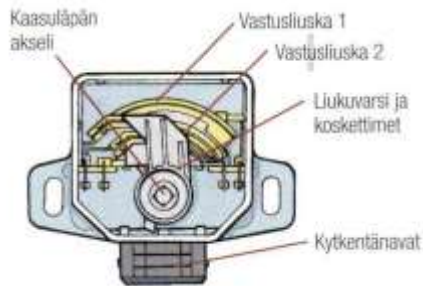
Tunnistimelta tulevan signaalin loogisuutta arvioidaan kaasuläpänasento- ja moottorinpyörintänopeustunnistimen tietojen pohjalta. Tarvittaessa niitä tietoja voidaan käyttää ilmanpainemittarin tilalla, mikäli tunnistin ei toimi tai imusarjanpaine tunnistinta ei ole asennettu. (Shneehage 2019, 36.)

3.3.4 Kaasuläpänasentotunnistin

Kaasuläpänasentotunnistin TPS tunnistaa nimensä mukaisesti kaasuläpän avautumiskulman α ja sen käyttönopeuden imusarjassa. Kaasuläpänasentotiedon ja moottorinpyörintänopeustiedon n perusteella ohjainlaite pystyy laskemaan sen hetkisen moottorin kuormitustilan ja teoreettisen sisään imetyn ilmamäärän. (Shneehage 2019, 36.) Kun käytetään näitä kahta edellä mainittua tietoa polttoaineen suihkutuspainemäärän, - ajan ja sytytysennakon määrittämisessä puhutaan α / n - ohjauksesta. Kuten aiemmin mainittiin, α / n - ohjausta käytetään imusarjanpainetunnistimen loogisuustarkasteluun sekä varajärjestelmänä, jos imusarjanpainetunnistimen toiminnassa on häiriötä. ”Osakuormatunnistus toteutetaan moottorin pyörintänopeuden ja sisään imetyn ilmamassa/- määrän perusteella ja täyskuormatilanteessa deaktivoidaan lambdasäätö ja seosta voidaan säätää rikkaammalle” (Schneehage 2019, 101). Täyskuormatilanteessa kaasuläppä on täysin auki.

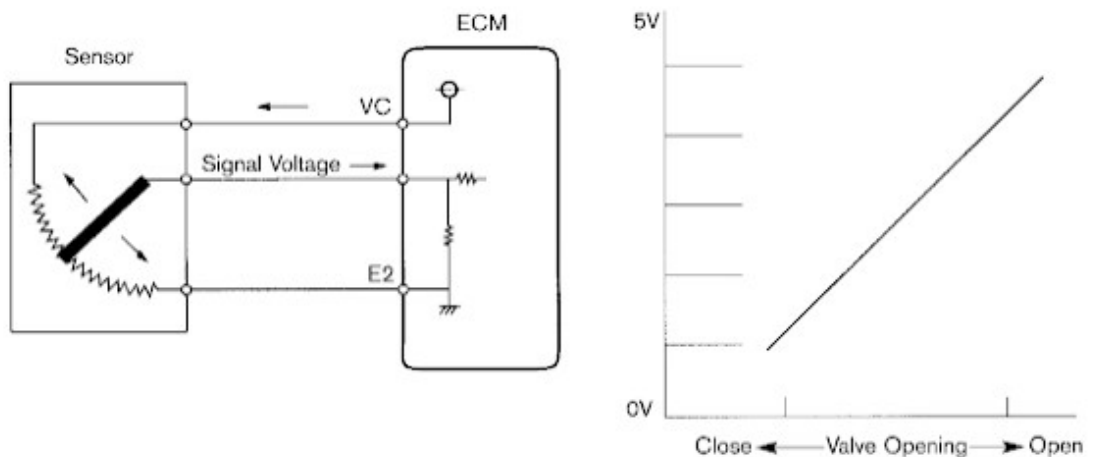
Kaasuläpänasentotunnistimia on mekaanisesti tai sähköisesti toimivia. Tässä työssä käytetään mekaanisesti ohjattua tunnistinta, joka on suorassa yhteydessä kaasuvaijeriin, jota ohjataan kaasupolkimella. Tunnistin on kaasuläpän akselin päässä kiinni, jolloin kaasuläpän kääntyessä kääntyy myös tunnistimen sisällä oleva liukuvarsi ja koskettimet. Mekaanisesti toimivia tunnistimia on kahdenlaisia, joista toisesta saadaan digitaalista ja toisesta analogista signaalia (Shepard 2011). On kytkimillä toimivia tunnistimia, jotka antavat vain tiedon digitaalisena siitä, että onko kaasuläppä auki tai kiinni, jolloin oikea osakaasutilanne jää tunnistamatta. Toinen vaihtoehto on potentiometrillä toimiva tunnistin, joka tunnistaa myös osakaasutilanteen ja antaa signaalin analogisena. Tätä tunnistinta tullaan käyttämään tässä työssä. Lehtisen ja Rantalan (2012, 155) mukaan sen toiminta perustuu siihen, että kaasuläpän kääntyessä liukuvarsi ja koskettimet liikkuvat

vastusliuskoja pitkin, jolloin tunnistimen vastusarvo muuttuu kaasuläpän asennon muuttuessa (Kuvio 15).



KUVIO 15. Kaasuläpän asentotunnistin (Nieminen 2005, 119)

Asentotunnistimen vastusarvon muuttuminen näkyy tunnistimelta ohjainlaitteelle tulevan signaalin jännitteen muuttumisena. Signaalin jännite vaihtelee usein 0,5–4,5V välillä riippuen siitä mille arvoille tunnistin on kalibroitu (Kuvio 16). Jännite on maksimiarvossaan, kun kaasuläppä on täysin auki ja puolestaan minimiarvossaan kaasuläpän ollessa kiinni. Kun kaasuläppä on kiinni, saa moottori imuilmansa joutokäyntisäätimen kautta.



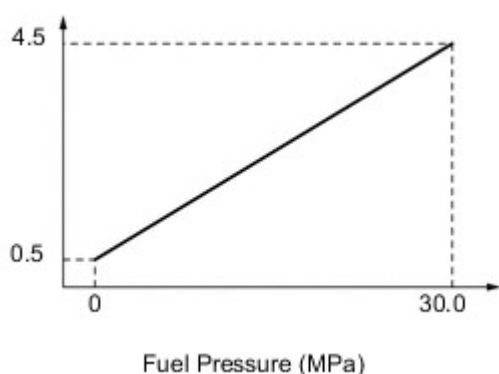
KUVIO 16. Kaasuläpän asentotunnistimen ja sen signaalin havainnekuva (Separd 2011)

3.3.5 Öljyn- ja polttoainepainetunnistin

Öljynpainetunnistimen tehtävänä on seurata öljynpainetasoa, jotta moottorinvoitelu järjestelmä voi toimia moitteetta. Liian alhaisen öljynpaineen johdosta voitelujärjestelmä ei saa tarpeeksi öljyä, mikä aiheuttaa moottorin tuhoutumisen. Öljynpaine voi olla myös liian korkea, mikä voi indikoida esimerkiksi voitelujärjestelmän tukosta. Öljynpaineen normaaliarvoja ovat 3-5bar, riippuen käyttötilanteesta. Öljynpainetunnistin on tärkeä osa moottorinohjausjärjestelmää, minkä vuoksi on asennettuna aina jokaisessa moottorissa.

Polttoainetunnistimien tehtävä riippuu siitä, onko kyseessä matala- vai korkeapainepolttoaine järjestelmä. Tässä työssä tullaan käyttämään imusarjasuihkuteista polttoainejärjestelmää, joten kyseessä on matalapaineinen järjestelmä, jossa järjestelmän paine on noin 3bar. Polttoaineen painetunnistimen tiedon perusteella ohjainlaite pystyy ohjaamaan polttoainepumpun toimintaa, jotta saadaan aikaiseksi tarvittava paine polttoainejärjestelmään. Korkeapainejärjestelmissä kuten suorasuihkutus ja Common Rail- dieselruiskutusjärjestelmissä käytetään sekä polttoaineen matalapainetunnistinta että korkeapainetunnistinta. Matalapainetunnistin ohjaa polttoaineen esisiirtopumpun toimintaa ja korkeapainetunnistin ohjaa syöttöpumpun ja paineensäätöventtiiliä. (Schneehage 2019, 77–79.)

Öljyn- ja polttoainepaineentunnistimien toiminta periaatteet ovat keskenään samanlaiset. Nesteiden painetieto johdetaan moottorinohjainlaitteelle jännitesignaalinä analogisena tietona. Mitä suurempi jännitearvo on, sen suurempi saavutettu paine on (Kuvio 17). Kuten imuilmamanpainetunnistimessa, niin myös tässä nesteiden painetunnistimen toiminta perustuu tunnistimessa olevan kalvon muodonmuutoksen aiheuttamana vastusarvon muutokseen. Vastusarvon muutos muuttaa jännitearvoa. Muuttunut jännitearvo vahvistetaan vertailupiirissä ja lähetetään eteenpäin moottorinohjainlaitteelle. (Schneehage 2019, 77.)



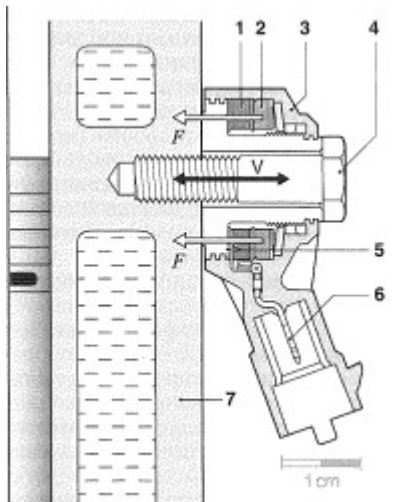
KUVIO 17. Polttoaineen painetunnistimen signaali (Zatonevcredit)

Tässä työssä hyödynnetään kahta erillistä polttoaine pumppua joista toinen siirtää polttoainetankista polttoainetta noin 1 litran kokoiseen säiliöön, josta syöttöpumppu pumppaa polttoaineen jakotukkiin. Näin mahdollisesta, että polttoaineen syötössä ei tapahdu missään vaiheessa katkosta. Polttoainepumput toimivat koko ajan samalla teholla ja polttoaineen painetta tullaan säätämään mekaanisesti toimivalla polttoainepaineensäätimellä.

3.3.6 Nakutustunnistin

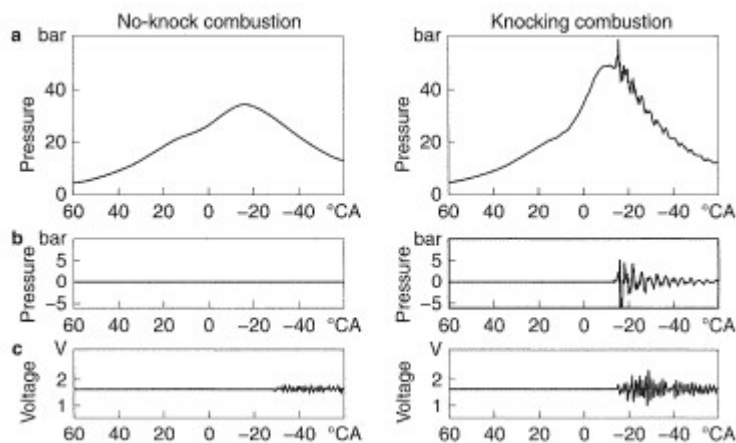
Nakutustunnistin on värinän tunnistin, joka tarkkailee moottorinlohkon värinää. ”Tunnistimen tehtävä on palotapahtuman alkamisen ja tämän informoiminen moottorinohjainlaitteelle jännitesignaalina” (Schbeehage 2019, 137). Tunnistimelta saadun informaation perusteella arvioidaan, onko palotapahtumassa ollut oikeanlainen ilmapolttoaineseoksen palaminen vai onko palaminen tapahtunut hallitsemattomasti liian aikaisin. Nakutusilmiön tapahtuessa moottorinohjain säättää sytytysennakkoa myöhäisemmälle.

Nakutustunnistin on kiinnitetty suoraan moottorinlohkoon sille tarkoitettuun paikkaan. Moottorin värinä siirtyy anturiin kiinnityspultin välityksellä. Anturin sisällä on seisminen massa, joka värinän johdosta painaa pietsokristallia. Niiden kosketus saa aikaan tunnistimeen johdetun virran johtumisen eteenpäin kohti moottorin ohjainlaitetta. Signaali on analoginen ja näkyy jännitearvona, jonka vahvuus riippuu sen hetkisestä pietsokristallin ja seismisen massan kontaktista. (Robert Bosch GmbH 2018,1535.) (Kuvio 18)



KUVIO 18. Havainnekuva nakutusanturista, jossa 1 pietsokristalli, 2 seisminen massa, 3 tunnistimen kuori, 4 kiinnityspultti, 5 kontakti, 6 liitinyhteys 7 moottorinlohko (Robert Bosch GmbH 2018, 1535)

Nakutustunnistimelta saapuvassa signaalissa on havaittavissa koko ajan värinää, koska moottorissa tapahtuu koko ajan palamista, mutta nakutus näyttäytyy signaalissa suurempana signaalin arvona (Kuvio 19). Signaalin värinän taajuus normaalisti on alueella 5 Hz- 25 Hz. Nakutusta kuvaa hyvin myös painekuvaaja kuvion 19 kohdat a ja b, jossa nähdään, kuinka normaalissa palotapahtumassa on selvät linjat, mutta nakutuksen ilmentyessä painekuvaajaan ilmestyy ylimääräistä paineen heittelyä. (Robert Bosch GmbH 2018, 1535.)



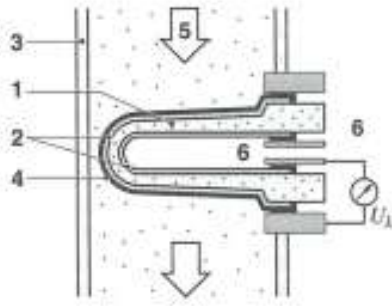
KUVIO 19. Nakutustunnistimen sisääntulosignaali, jossa kuvaajat a sekä b kuvaavat painearvoja ja c jännitearvoja (Robert Bosch GmbH 2018, 1535)

3.3.7 Lambdatunnistin

Yksi moottorinohjausjärjestelmän tärkeimmistä korjaussuureista on pakokaasun jäännöshappimäärää, jota mittaa lambdatunnistin. Sen lähettämän signaalin perusteella moottorinohjainlaite laskee oikean polttoaineen suihkutusajan eli määrän, jotta moottori voi toimia oikealla lambda- alueella. Kuten aiemmin mainittiin, niin usein lambda arvo pyritään pitämään arvossa 1, riippuen ajotilanteesta. Lambdatiedon perusteella voidaan optimoida moottorin toimintaa ja siviiliautoissa pienentää pakokaasupäästöjä.

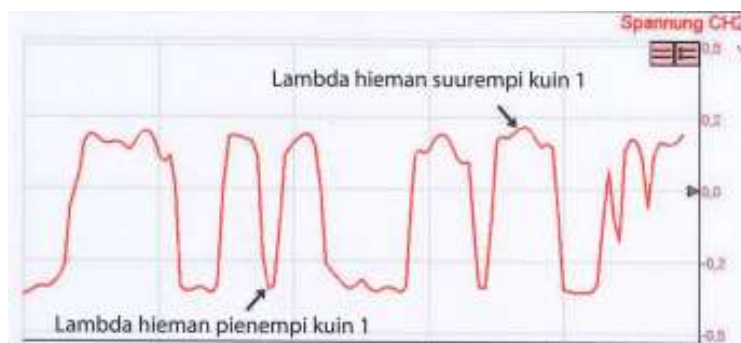
Lambdatunnistimia on useampia erilaisia kuten Zirkoniumdioksidi- lambdatunnistin eli ns. hyppäystunnistin, titaanidioksidi lambdatunnistin ja laajakaistatunnistin, joka näistä on kaikista tarkin (Schneehage 2019, 120). Tarkkuutensa vuoksi esimerkiksi suorasuihkutteisissa laihaseos moottoreissa ja kilpa-autoissa laajakaista lambda on paras vaihtoehto. Sen vuoksi sellainen valikoituu tähän työhön. Laajakaistalambdalle ominaista on aaltomainen signaali, joka viittaa jatkuvaan lambda säätön.

Laajakaistatunnistin sisältää kaksi eri kammiota, mittakammio ja pumppukammio, jotka toimivat periaatteeltaan samantapaisesti kuin zirkoniumdioksiditunnistimet (Schneehage 2019, 132). Sen vuoksi katsotaan mikä on zirkoniumdioksidi tunnistimen toimintaperiaate. Tunnistin sisältää zirkoniumdioksidikeramiikka osasta, jossa elementtien molemmat puolet on päällystetty platinaelektrodilla. Tunnistimen käyttölämpötila on noin 350 C°, jolloin happi- ionit kulkevat elementin läpi ja saavat aikaan varauksen platinaelektrodille, tällöin saadaan aikaan jännitesignaali. Tunnistimen keramiikan ulkopuolella vaikuttaa pakokaasut ja sisäpuolella vertailuilmana ulkoilma (Schneehage 2019, 122). Mikäli seossuhde on rikas, elektrodien läpi syntyy korkea signaalijännite elementin molempien puolien happipitoisuuden eron vuoksi. Sen sijaan laihalla seossuhteella signaalijännite on matala, koska pakokaasujen ja vertailuilman happipitoisuuden ero on pieni. (Nkg Spark Plug Australia 2020.), (Kuvio 20)

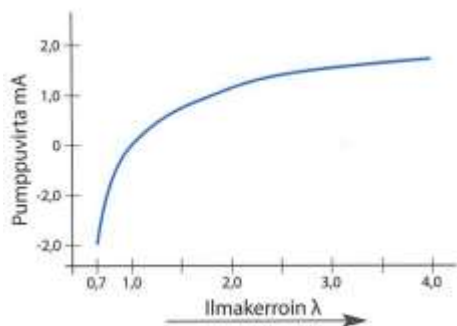


KUVIO 20. Zirkoniumdioksiditunnistimen rakenne (Robert Bosch GmbH 2018, 163)

Laajakaistatunnistimen mittakammiossa mitataan happipitoisuus, joka muunnetaan jännitesignaaliksi, jossa arvo 0V viittaa lambda-arvoon 1, yli 0V laihaan seokseen ja alle 0V rikkaaseen seokseen (Kuvio 21) (Schneehage 2019, 133). Mikäli mitta-arvo ei vastaa lambda-arvoa 1, pumppaa pumppukammio happioneja mittauskammioon, jotta sen happipitoisuus saataisiin takaisin vastaamaan lambda-arvoa 1. Pumppukammioon pumppaamiseen käytettyä virtaa ja se polarisuutta mitataan, minkä perusteella voidaan määrittää sen hetkinen tarkka lambda-arvo. Pumppuvirta mitataan milliampeereissa, minkä vuoksi polarisuutta tarkastelemalla voidaan selvittää sen hetkinen oikea lambda-arvo. Kun pumppuvirran polarisuus on 0 on kyseessä lambda- arvo 1. Kun polarisuus eli pumppausvirran arvon on positiivinen, kertoo se laihasta ilma-polttoaineseoksesta, kun taas negatiivinen arvo vastaa rikasta seosta (Kuvio 22). (Nkg Spark Plug Europe GmbH, 1–5.)



KUVIO 21. Laajakaista lambda-tunnistimen signaali (Schneehage 2019, 134)



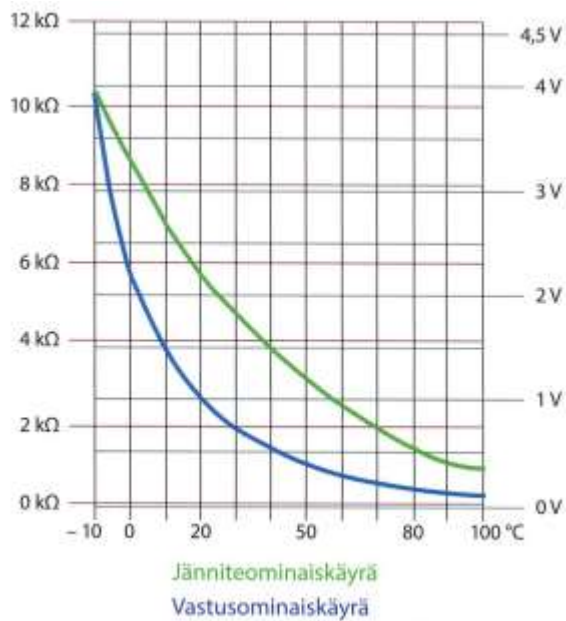
KUVIO 22. Pumppuvirran riippuvuus lambda-arvosta (Schnehage 2019, 133)

3.3.8 Jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin

Jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin (Kuva 1) mittaa jäähdytysnesteen lämpötilaa ja siirtää tiedon moottorinohjainlaitteelle, joka tekee tarvittaessa korjauksia sytytysennakon ja polttoaineensuihkutuksen säätöön sekä ohjaa jäähdyttimen tuuletinta. Jäähdytysnesteen lämpötilatieto on siis yksi korjaussuureista. Tunnistin mittaa kuinka paljon moottori luovuttaa lämpöä jäähdytysnesteelle eli se on käytännössä myös moottorinlämpötilatunnistin. Tunnistin on puolijohde ja toimii NTC- vastuksella, mikä tarkoittaa sitä, että lämpötilan kasvaessa vastus pienenee, jolloin johtavuus kasvaa ja lämpötilan laskiessa vastus kasvaa, jolloin johtavuus pienenee (Schneehage 2019, 62). Öljynlämpötilatunnistimen toiminta perustuu samaan periaatteeseen kuin jäähdytysnesteen lämpötilatunnistimen toiminta. Resistanssin ja jännitteen muutos suhteessa jäähdytysnesteenlämpötilaan voidaan havaita jännite- ja vastusominaiskäyrässä, joista havaitaan jännitesignaalin tippuvan moottorin käyntilämpötilan saavuttamiseen asti (Kuvio 23). (Autodoc club 2021.)



KUVA 1. Jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin (Autodoc club 2021)



KUVIO 23. Jäähdytysnestetunnistimen jännite- ja vastusominaiskäyrä (Schneehage 2019, 63)

Kuten aiemmin mainittiin, niin jäähdytysnesteen lämpötila vaikuttaa suihkutus- ja sytytyskäyrästään. Suihkutettavan polttoaineen määrää kasvatetaan mitä kylmempi moottori on kyseessä, koska kaikki suihkutettava polttoaine ei pala sylinterissä vaan kondensoituu sylinteriseinämille. Polttoaineen määrää kasvattamalla varmistetaan, että moottori saa syttymiskelpoisen ilma-polttoaineseoksen. Sytytyskäyrän korjaus kylmälle moottorille tehdään sytytyshetkeä myöhäistämällä, koska sytytyshetken ollessa lähempänä männän yläkuolokohtaa palamislämpötila vaikuttaa vahvemmin sylinterinseinämiin. Näitä kahta korjaustapaa toteuttamalla saavutetaan moottorin käyntilämpötila nopeimmin, jolloin polttoainekulutus ja pakokaasupäästöt saadaan kylmäkäynnistyksen jälkeen alas. Moottorin jäähdyttimen puhaltimen käynnistyminen automaattisesti voidaan säätää halutulle moottorinlämpötilalle. (Schneehage 2019, 62–63.)

3.3.9 Imuilman lämpötilatunnistin

Imuilmanlämpötilatunnistin mittaa moottoriin imettävän ilman lämpötilaa imusarjassa. Sen toimintaperiaate nojautuu myös negatiiviseen lämpötilakertoimeen eli NCT-vastukseen kuten jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin. Eli mitä lämpimämpää imetty ilma on sitä pienempi resistanssi, ja mitä kylmempää imetty ilma on,

niin sitä suurempi resistanssi. Tämä näkyy jännitesignaalisia siten, että kylmän ilman signaalijännite on korkea ja lämpimän ilman matala. Kaasunpolkaisun voi havaita signaalissa hetkellisenä nousuna, koska tällöin ilman läpivirtamäärän kasvaessa imuilman lämpötilakin jäähtyy. Moottorin sammuttamisen jälkeen toisin päin jännitesignaali saattaa tippua, koska kuuma moottori lämmittää imukanaavaa. Signaalijännite on välillä 0–5 V. (Schneehage 2019, 68.)

Imuilmalämpötila on myös korjaussuure, jolla korjataan bensiinimoottorin ohjausjärjestelmässä polttoaineen suihkutussuure ja sytytysennakkoa. Suihkutusmäärää korjataan suuremmaksi, kun imetty ilma on kylmää, koska kylmyys aiheuttaa polttonesteen kondensoitumista imusarjanseläisiin imusarjasuihkutteissa moottoreissa. Säättämällä suihkutussuure suuremmaksi on mahdollista saada palamiskelpoinen ilma-polttoaineseos siirrettyä sylintereihin. Tällöin myös säädetään sytytysennakkoa myöhemmälle eli lähemmäksi männän yläkuolokohdalle. (Schneehage 2019, 68–69.)

Imuilmalämpötilatunnistimia on niin sanottuja suljettukärkisiä kuten jäähdytysnesteen lämpötilatunnistimet tai avoinkärkisiä (Kuva 2). Tunnistin voi olla asennettu suoraan imusarjaan tai siten se voi olla integroituna imuilmalämpö-, imuilmamäärä tai imuilmamassatunnistimen yhteyteen. Tässä työssä se tullaan asentamaan avoinkärkinen tunnistin yksinään imutorvien läheisyyteen.



KUVA 2. Avion kärkinen imuilmalämpötilatunnistin (TT-Speed 2021)

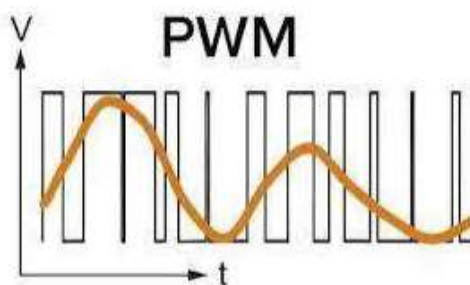
3.4 Ulostulosignaalit

Sisääntulosignaalien perusteella ohjainlaite laskee toimilaitteiden ohjaamiseen vaadittavat ulostulosignaalit, joiden perusteella ohjainlaitteen mikroprosessori

ohjaa pääteasteita, jotka ovat kylliksi tehokaita käyttämään suoraan toimilaitteita. Näitä toimilaitteita ovat muun muassa polttoaineen suihkutussuutin ja sytytyspuola, joihin tässä työssä tutustutaan tarkemmin. Suuria virtoja käyttäviä toimilaitteita ohjataan usein releiden kautta. Tällainen toimilaitte on esimerkiksi jäädyttimen puhallin. (Robert Bosch GmbH 2006, 36.)

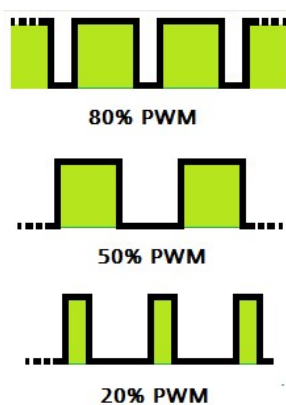
Ulostulosignaaleja on kahta erilaista, on Digitaalista- ja impulssisuhdesignaalia (PWM, Pulse Width Modulation). Digitaalinen signaali on kaikessa yksinkertaisuudessa ikään kuin kytkin signaali eli kertoo, milloin toimilaitteen tulee olla päällä ja pois päältä. Sillä kuitenkin voidaan ohjata muu muassa sytytyspuolaa ja polttoaineen suihkutussuuttimia. Digitaalisen signaalin ollessa 1, tarkoittaa se, että sytytyspuolalle ja suuttimelle menee käsky sytytykselle ja suihkutukselle. Kuten aiemmin jo on mainittu, matala signaalijännite tunnustetaan loogiseksi numeroksi 0 ja korkea jännitesignaali numero 1.

PWM- signaalilla ohjataan esimerkiksi sähkömoottoreita, LED- valoja sekä erilaisten venttiilien kuten pakokaasujen takaisinkierätyksen venttiiliä ja ahtopaineensäädintä. Sillä saadaan säädettyä toimilaitteiden toimintaa portaattomasti. Toiminta perustuu digitaalisen signaalin tiheyteen, eli mitä tiheämmin signaali on maksimiarvossaan, sitä suurempi signaalijännite toimilaitteelle tulee (Kuvio 24). Tässä työssä ei tulla hyödyntämään PWM- signaalia, koska sitä vaativia toimilaitteita ei ole käytössä moottorinohjausjärjestelmässä.



KUVIO 24. PWM- signaali (Hussaini 2020)

PWM- signaalin arvoa usein kuvataan prosentuaalisesti, joka on helpompi mieltää. Tällöin puhutaan pulssisuhteesta (Kuvio 25). Pulssisuhde tarkoittaa kuinka kauan signaali "1" on päällä suhteessa, kantiaallon jakson aikaan (Hutasu).

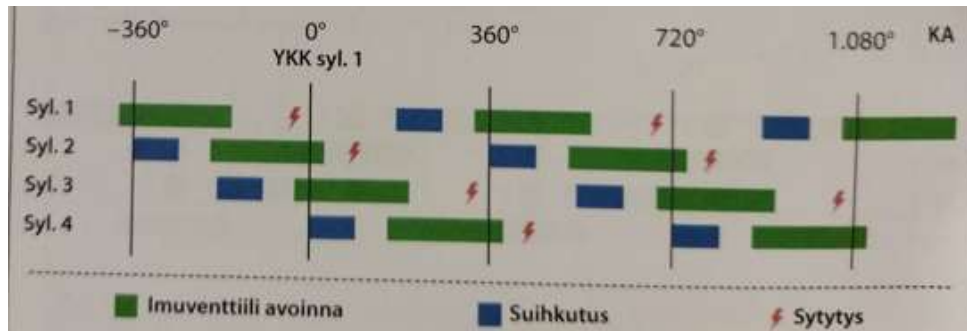


KUVIO 25. PWM-signaalin kuvaaminen pulssisuhteena (Hutasu 2017)

3.4.1 Polttoaineen suihkutussuutin

Polttoaineen suihkutussuutin suihkuttaa polttoainetta joko imusarjaan (imusarja-suihkutus) tai suoraan sylinteriin (suorasuihkutus), jolloin imetty ilma sekoittuu polttoaineeseen synnyttäen ilma- polttoaineseoksen. Tässä työssä suihkutussuuttimet ovat imusarjassa läppärungossa kiinni, joten tarkastellaan imusarja-suihkutussuuttimia. Imusarjasuihkutteisia suuttimia on kolme erilaista tyyppiä, jotka on jaoteltu suihkutustavan mukaisesti. Niitä ovat yhteissuihkutus-, ryhmäsuihkutus- ja yksittäissuihkutussuuttimet, jotka ovat nykyään yleisin tapa toteuttaa imusarjasuihkutus, jota myös monipistesuihkutukseksi kutsutaan (Schneehage 2018, 25). Näistä vaihtoehtoista tähän työhön valikoitui yksittäissuihkutussuuttimet.

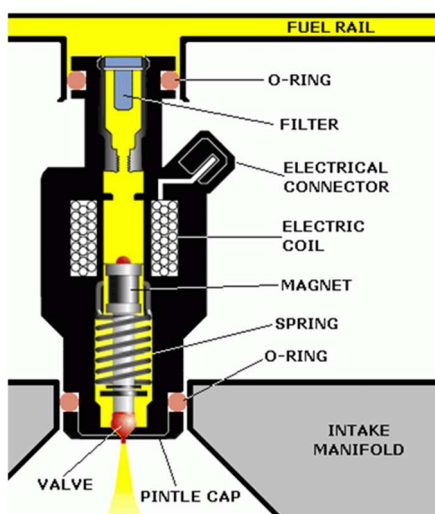
Yksittäissuihkutussuuttimia ohjataan yksitellen aina kutakin kerran yhden työkierron aikana. Polttoaineen suihkutusta tapahtuu ennen kuin imuventtiili aukeaa (Kuvio 26). Tällöin suihkutetaan koko laskelmoitu polttoainemäärä kerralla. Jotta venttiiliä voidaan ohjata täsmällisesti, vaatii ohjainlaite tietoonsa moottorinpyörintänopeuden sekä kampiakselin- että nokka-akselin asentotiedon. (Schneehage 2018, 26.)



KUVIO 26. Yksitäsuihkutussuuttimien ohjaus työkierron aikana (Schneehage 2018, 26)

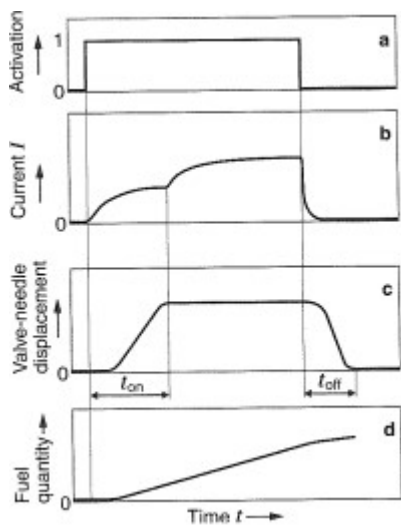
Sähköisesti toimiva polttoainepumppu saa aikaan polttoainelinjaan tarvittavan paineen 3-4Bar. Polttoainelinja tulee moottorille jakotukkiin, josta polttoaine ohjautuu suihkutussuuttimille. Jakotukin päässä on paineensäädin, joka päästää polttoainetta pois takasin polttoainesäiliöön, mikäli paine kasvaa liian suureksi. Jakotukin ja imusarjan väliin on kiinnitettyä suihkutussuuttimet.

Suihkutussuuttimessa on pieni solenoidiventtiili, jota moottorinohjainlaite ohjaa elektronisesti. Kun solenoidiventtiiliin ohjataan sähkövirtaa, syntyy magneettikenttä, joka avaa suuttimessa olevan neulan, jolloin polttoaine pääsee virtaamaan imusarjaan polttoainelinjassa vallitsevalla paineella (Kuvio 27). Kun ohjausvirta sammutetaan, sulkeutuu neula ja polttoaineen suihkutusta loppuu. (Robert Bosch GmbH 2018, 663–664.)



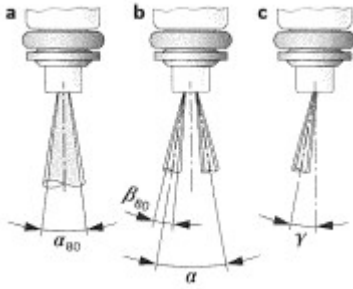
KUVIO 27. Imusarjasuihkutteisen polttoainesuihkutussuuttimen rakenne. (Waynes garage)

Polttoaineensuihkutusmäärä on suoraan verrannollinen venttiilin aukioloaikaan (Kuvio 28). Kuvaajasta nähdään kuinka ohjaussignaali "1" (kohta a) saa aikaan suuttimella sähkövirrannousun (kohta b), jolloin suuttimen neula aukeaa magneettikentän ansiosta (kohta c). Kun ohjaussignaali muuttuu nolllaksi, loppuu magneettikentän luova virta, jolloin venttiilin neula aloittaa sulkeutumisen. Kun suuttimia valittaessa puhutaan suuttimien aukiololla, niin sillä tarkoitetaan prosentuaalista osaa siitä, kuinka kauan suutin suihkuttaa, ohjaussignaalin päällä olon aikana (Waynesgarage 2021). (Robert Bosch GmbH 2018, 663 – 666.)



KUVIO 28. Suihkutussuuttimen ohjauksen vaikutus polttoaineen suihkutusmäärään (Robert Bosch GmbH 2018, 666)

Suuttimissa on erilaisia suihkutustuotoja, -kulmia ja -pisarakokoja, minkä vuoksi suuttimet tulee valita moottorikohtaisesti, jotta saadaan aikaseksi optimaalinen ilma-polttoaineseos imusarjaan. Seoksen muodostumiseen vaikuttaa sylinterikannen ja imusarjanmuoto. Suihkutusmuotoja on kolme erilaista, on keila-, kaksois- ja gamma-kulmasuihkutus (Kuvio 29). Keilasuihkutusta käytetään tyypillisesti moottoreissa, jossa on vain yksi imuventtiili yhtä sylinteriä kohden. kaksois-suihkutusta käytetään sen sijaan moottoreissa, jossa on kaksi imuventtiiliä sylinteriä kohden. Kummankin suihkun sisällä useampia eri suihkutusreikiä, jotka saavat aikaan homogeenisen suihkun suoraan imuventtiilien lautasille tai sitten niiden väliin. Gamma- kulmasuihkutusta joudutaan käyttämään, mikäli sylinterikannen ja imusarjan muoto on sellainen, että suutin ei pääse suoraan suihkuttamaan haluttuun paikkaan, vaan suihkun täytyy lähteä tietyssä kulmassa, jotta se saadaan kohdistettua oikeaan paikkaan. (Robert Bosch GmbH 2018, 663–664.)



KUVIO 29. Erilaisia suihkutussuotoja (Robert Bosch GmbH 2018, 663)

3.4.2 Sytytyspuola

Sytytyspuola on suorassa yhteydessä sytytystulppiin ja luo suuren sytytysjännitteen, jotta sytytystulpat voivat saada aikaan kipinän, jolla sylinterissä oleva ilma-polttoaineseos sytytetään. Sytytyspuolassa on ensiö- sekä toisiokäämi. Moottorinohjainlaite on yhteydessä ensiökäämiin ja toisiokäämi on suorassa yhteydessä sytytystulpille. Ennen sytytyshetkeä puolan ensiökäämiin johdetaan moottorinohjainlaitteen toimesta virtaa, jolloin siihen muodostuu magneettikenttä (Robert Bosch GmbH 2018, 676). Kun sytytyspuolassa sijaitseva transistori katkaisee moottorinohjaimen ohjaamana virransyötön ensiökäämiin, häviää siitä magneettikenttä, jolloin toisiokäämiin indusoituu korkeajännite. Tämä toisiojännite jatkaa kasvuaan, kunnes on saavuttanut tason, jolla sytytystulppa aikaan saa kipinän. Tätä saavutettua jännitettä kutsutaan sytytysjännitteeksi, joka tarkoittaa sytytystulpan keski- ja maaelektrodin välisen kipinävälin ionisoitumiseen tarvittavaa jännitettä. Sytytysjännite laskee vastuksen pienentyessä, mutta jännite jää hetkeksi aikaa normaalia korkeammalle tasolle, jota kutsutaan palojännitteeksi, joka pysyy ylläpitämään sytytystulpassa kipinän. Sytytysjännitteen alkamisajankohdan ja palojännitteen loppumisajankohdan välinen ajanjakso on valokaaren eli kipinän palamisaika (Kuvio 30). Tarvittavaan sytytysjännitteeseen vaikuttaa moni seikka kuten esimerkiksi sytytystulppien kärkiväli ja niiden kuluneisuus, sylinterissä vallitsevan ilma-polttoaineseos, puristusaineella sekä sytytyshetkellä. (Schneehage 2018, 110-115.)

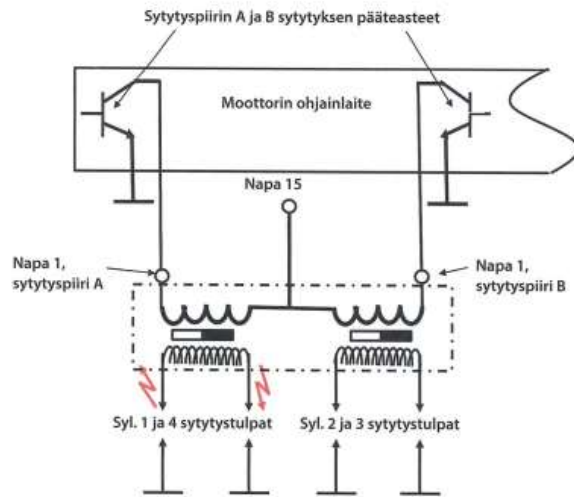


KUVIO 30. Sytytyspuolan toisiojännitteen signaalikuvaaja (Schneehage 2018, 114)

Ensiökäämissä on kieputettuna noin 100-500 johdinkierrosta ja johtimet ovat varsin paksuja noin 0,4-1,2mm, joten niiden vastusarvo on melko pieni 0,3-2,5ohm. Sen sijaan toisiokäämiin on kieputettuna ohutta 0,05-0,1mm vahvuista johdinta noin 15000- 30000 kierrosta, joten toisiovastus kasvaa jopa 5-20kohm:iin. Tämän suuren vastusten muuntosuhteen ansiosta toisiojännite voi nousta jopa 40kV: iin. Joutokäynnillä sytytysjännite on usein alueella 7000- 10000V. Jokaisen sylinterin sytytystulpan tulisi saavuttaa lähes sama sytytysjännite, mikäli moottorin mekaniikka ja ilma-polttoaineseoksen muodostuminen toimii moitteetta (Schneehage 2018, 110)

Sytytyspuolia on käytännössä kolme erilaista tyyppiä, niin sanottu tavallinen, kaksoiskipinä- ja yksitääskipinäpuola. Tässä työssä tullaan hyödyntämään kaksoiskipinäkipinäpuolaa, jota myös hukkipinäpuolaksi kutsutaan. Se valikoitui, koska sen toiminta varmuus on todettu hyväksi ja se on melko edullinen verrattuna yksitääskipinä puoliin. Jotta kaksoiskipinäpuola saadaan toimimaan, moottorinohjainlaitteelta lähtevä ohjaussignaali ohjataan ensin sytytysyksikköön (sytytyksen vahvistimelle), joka muuttaa noin 5 V ohjaussignaalin vaadittavaksi 12 V ohjausjännitteeksi. Tämä 12 V ohjaussignaali suunnataan sytytyspuolalle.

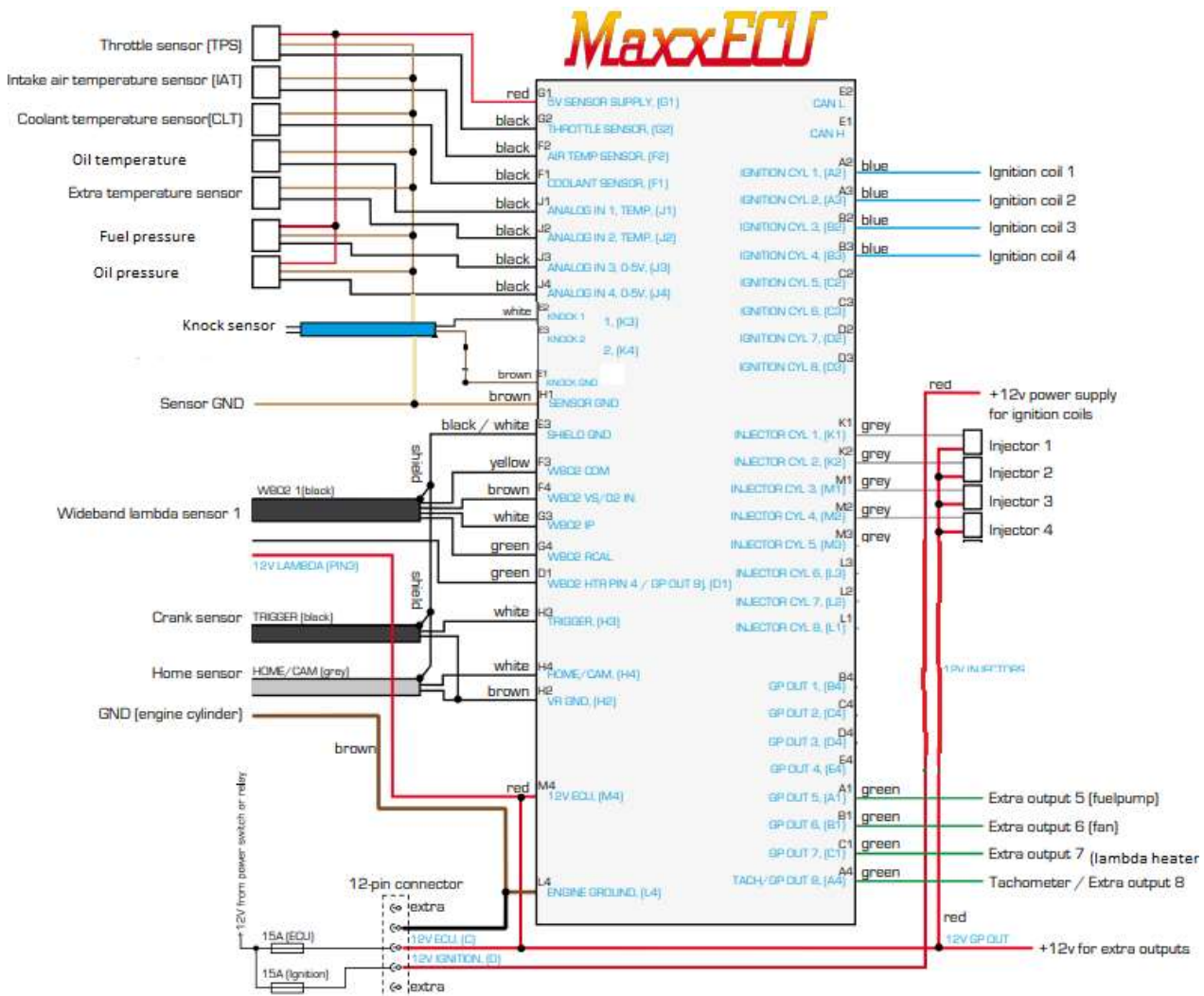
Kaksoiskipinäpuolalla on kaksi erillistä sytytyspiiriä, joista sytytyspiiri A suorittaa sytytyksen 1. ja 4. sylinterin sytytystulpille ja sytytyspiiri B sylintereille 2 ja 3 (Kuvio 31). Näihin sytytyspiireihin ohjaus tulee ohjainlaitteelta sytytysyksikön kautta. Sytytys tapahtuu siis samanaikaisesti sytytyspiireittäin eli esimerkiksi 1. ja 4. sylintereille kipinä tulee samaan aikaan. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi 1. sylinteriin saadaan kipinä työtahdin aikaansaamiseksi ja toiselle sylinterille menee niin sanotusti hukkaan pakotahdin aikana.



KUVIO 31. Kaksoiskipinäpuolan kytkentäkaavio (Schneehage 2018, 116)

4 KYTKENTÄKAAVIO

Kyt kentäkaavio kertoo, kuinka käytössä olevat komponentit yhdistetään moottorinohjainlaitteeseen. Kaavion vasemmassa reunassa on sisääntulo liitännät, johon kaikki aiemmin mainitut tunnistimet liitetään ja oikealla puolella on ulosmeno liitännät toimilaitteille, joita ovat sytytyspuola, polttoainesuuttimet, polttoainepumppu, jäähdyttimen puhallin, lambda tunnistimen lämmitys ja liitäntä kierroslukumittarille. Uloslähtevä signaali hukkakipinäpuolalle menee sytytysyksikön kautta, mutta selvyuden vuoksi kaaviossa näkyy vain sytytyspuola. Kyt kentäkaaviota on muokattu alkuperäisestä mallista (Liite 1) siten, että ylimääräisiä liitäntöjä on poistettu ja kaaviota on selvennetty nimeämällä kytkettävät komponentit. (Kuvio 32)



KUVIO 32. Kyt kentäkaavio (Maxxecu 2020)

5 KOMONENTTIEN VALINTA JA SIIJOITTELU

5.1 Valitut komponentit

Komponentit valittiin niiden vaatimusten mukaisesti. Taulukkoon 2 on koottu järjestelmään asennettavat tunnistimet ja toimilaitteet, joita moottorinohjainlaitteeseen tullaan liittämään. Maxxecu Race- ohjainlaite määrittää tarkasti mitä laajakaista lambdatunnistimia siihen voidaan kytkeä. Ohjainlaite tukee Bosch LSU 4.2 ja LSU 4.9 tunnistimia. Tähän työhön valikoitui LSU 4.2. Polttoaineen suihkutus-suutimiksi valikoitui BoschEV6, jossa polttoaine suihkutetaan neljästä eri reiästä 3 bar paineella maksimivirtauksen ollessa 443 cc. Muiden valittujen komponenttien perustelut on käsitelty teoriaosuudessa, jossa selviää, minkälaisia vaatimuksia kullekin komponentille on. Moottorinohjausjärjestelmän kokoonpanoon ei ollut mahdollista käyttää moottorin alkuperäisiä tunnistimia niiden kunnon ja soveltuvuuden vuoksi. Näin ollen jokainen tunnistin uusittiin, jotta moottorista saataisiin toimintavarma.

TAULUKKO 2. Valitut komponentit

Tunnistin/ toimilaite	Merkki	Tuote nro
Kampi-akseli asentotunnistin, Hall	Cherry	GS100502
Nokka-akselin asentotunnistin, Hall	Bosch	0232103002
Kaasuläpän asentotunnistin	Euro Sensor	XPD-2832-812-214-911-00-CS
Öljyn ja polttoaineenpaine tunnistimet	MKS	MKS-10-X
Nakutustunnistin	Bosch	261231006
Lambdatunnistin	Bosch LSU 4.2	258007351
Jäähdytysnesteen ja öljyn lämpötilatunnistimet	Bosch	0281002170
Imuilman lämpötilatunnistin	Bosch	0280130085
Polttoaineen suihkutusuutin	Bosch EV6	0280155968
Polttoaineen painesäädin	AEM	AEM 25-305BK
Sytytysyksikkö	Bosch	0227100200
Kaksoiskipinäpuola	Bosch	0221503407

5.2 Komponenttien sijoittelu

Kampiakselin asentotunnistin kiinnitettiin sille tarkoitettulle paikalle moottorin lohkon eteen vasemmalle puolelle, josta se pystyy lukemaan kampiakselin päässä olevaa triggeri- pyörää (KUVA 3). Nokka-akselin asentotunnistin sopi niin ikään alkuperäiselle paikalle suoraan ylös moottorin kannen vasemmalle sivulle (Kuva 4).



KUVA 3. Kampiakselin asentotunnistin



KUVA 4. Nokka-akselin asentotunnistin

Kaasuläpän asentotunnistin asennettiin imusarjan läppärunkoon (Kuva 5). Sille täytyi tehdä erillinen kiinnitysalusta, jotta tunnistin saatiin kalibroituja oikeassa asennossa. Öljypainetunnistin asennettiin moottorin poikittaistukeen (Kuva 6). Tunnistin on kiinnitetty T-haaranpäähän ja ylös lähtevä haara menee ohjaamon mekaaniselle öljypainemittarille



KUVA 5. Kaasuläpänasentotunnistin.



KUVA 6- Öljypainetunnistin

Polttoaineenpainetunnistin on integroituna paineensäätimeen, joka on kiinnitettyä jarrujen pääsylinterille rakennettuun telineeseen (Kuva 7). Paineensäädin on sijoitettuna polttoaineen jakotukin päähän letkuliitoksella, jolloin se päästää järjestelmässä olevan ylimääräisen paineen polttoainesäiliöön yhteydessä olevaan paluuletkuun. Nakutusanturi on asennettu moottorinlohkon kylkeen sille tarkoitettuun paikkaan ensimmäisen sylinterin läheisyyteen (Kuva 8).



KUVA 7. Polttoaineenpainetunnistin ja -paineensäädin



KUVA 8. Nakutustunnistin

Lambdatunnistin on sijoitettuna pakosarjaan apurungon takapuolelle kohtaan, jossa pakosarjan neljä putkea yhdistyvät (Kuva 9). Jäähdytysnesteenlämpötilatunnistin asennettiin sille tarkoitettuun paikkaan lähelle jäähdyttimelle menevää letkua (Kuva 10).



KUVA 9. Lambdatunnistin



KUVA 10. Jäähdytysnesteenlämpötilatunnistin

Öljynlämpötilatunnistin asennettiin öljypohjaan kiinni siihen erikseen tehdyille kiinnitysalustalle (Kuva 11). Tunnistimen yläpuolelle on sijoitettu moottorihuohottimen säiliöltä tuleva paluuletkun liitos öljypohjaan. Imuilmanlämpötilatunnistin asennettiin imutorvien viereen (Kuva 12).



KUVA 11. Öljynlämpötilatunnistin



KUVA 12. Imuilmanlämpötilatunnistin

Polttoaineensuihkutussuuttimet sijoittuvat polttoainetukin ja imusarjan väliin, jolloin ne voivat suihkuttaa polttoaineen imusarjaan (Kuva 13). Ohjainlaitteelta tulevan sytytysignaalia vahvistava sytytysyksikkö, on sijoitettuna moottorintilan vasempaan reunaan pyöräkaareen kiinni (Kuva 14).



KUVA 13. Polttoaineensuihkutussuuttimet



KUVA 14. Sytytysyksikkö

Kaksoiskipinäpuola on asennettu sille rakennettuun telineeseen moottorin vasempaan yläreunaan nokka-akselin asentotunnistimen viereen (Kuva 15). Sytytyspuolasta lähtee jokaiselle sytytystulpalle oma virtajohtonsa.



KUVA 15. Kaksoiskipinäpuola

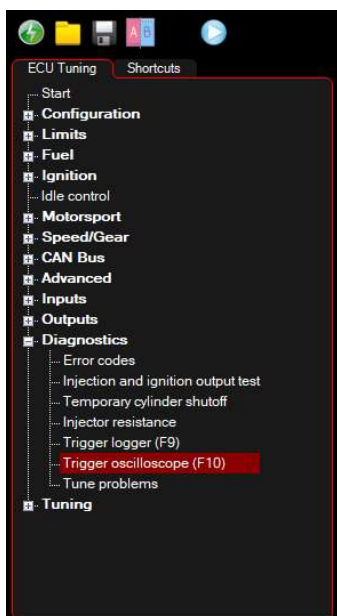
6 MITTAUSMENETELMÄT

6.1 Mittausvälineet

Tässä työssä mitattiin oskilloskoopilla asennettujen tunnistimien sisääntulosignaaleja. Mittaukset suoritettiin, kun auton moottori ja moottorinohjausjärjestelmä oli asennettuna kohdeautoon. Kohdeauton lisäksi mittauksiin tarvittiin tietokone, johon oli asennettu MaxxECU Mtune- ohjelma sekä USB- kaapeli, jotta moottorinohjain saadaan yhdistettyä tietokoneeseen.

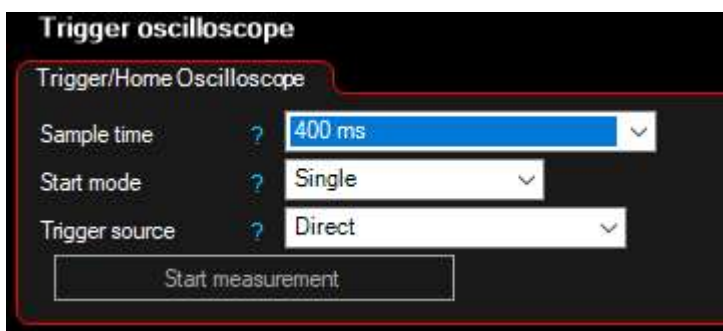
6.2 Mittaukset

Mittaukset aloitetaan aukaisemalla MaxxECU Mtune- ohjelma ja kytkemällä ohjainlaitteelta tuleva USB-kaapeli tietokoneeseen. Tämän jälkeen voidaan kytkeä autoon virrat päälle, jolloin tietokone näkymän vasempaan yläkulmaan syttyy vihreä valo, jossa lukee "ECU ONLINE". Tämä kertoo, että ohjainlaite on yhteydessä Mtuneen. Tämän jälkeen lisätään kohdasta "Inputs" (Kuva 3) kunkin tunnistimen tiedot järjestelmään ja kalibroidaan ne, jotta ohjainlaite osaa tulkita sisääntulevia signaaleja oikein. Seuraavaksi valitaan vasemmalla sivulla olevasta valikosta "Trigger oscilloscope", jolloin aukeaa näkymä, jossa on kaksi tyhjää koordinaatistoa. Toinen niistä on kampiakselin ja toinen nokka-akselin asentotunnistimen sisääntulosignaali- koordinaatisto. (Kuva 16)



KUVA 16. Valikko, josta pääsee valitsemaan "Trigger oscilloscope"

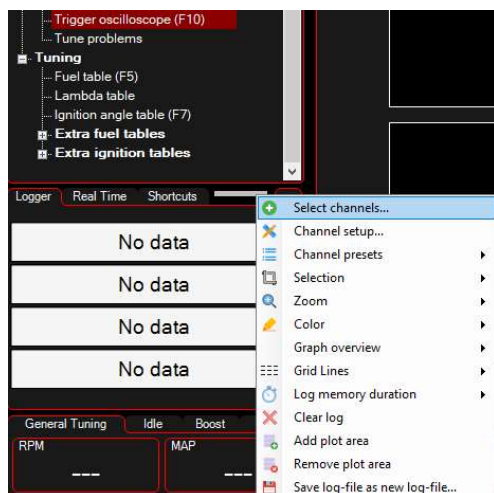
Seuraavaksi valitaan näkymän valikon (Kuva 17) kohdasta "Sample time" kuinka pitkältä ajanjaksolta halutaan oskilloskoopin piirtämää kuviota näytölle. Kohdasta "Start mode" valitaan, halutaanko kuvaa jatkuvana vai sitten yksittäisenä kuvana. Kampiakselin ja nokka-akselin signaalit mitattiin 400 ms ajanjaksolta ja yksittäisenä otoksena. Valikon kohdasta "Trigger source" valitaan "Direct", jolloin saadaan tunnistimilta tuleva suora tieto. Käynnistämällä auto ja painamalla "Start measurement" voidaan käynnistää mittaus.



KUVA 17. Trigger oscilloscope valikko

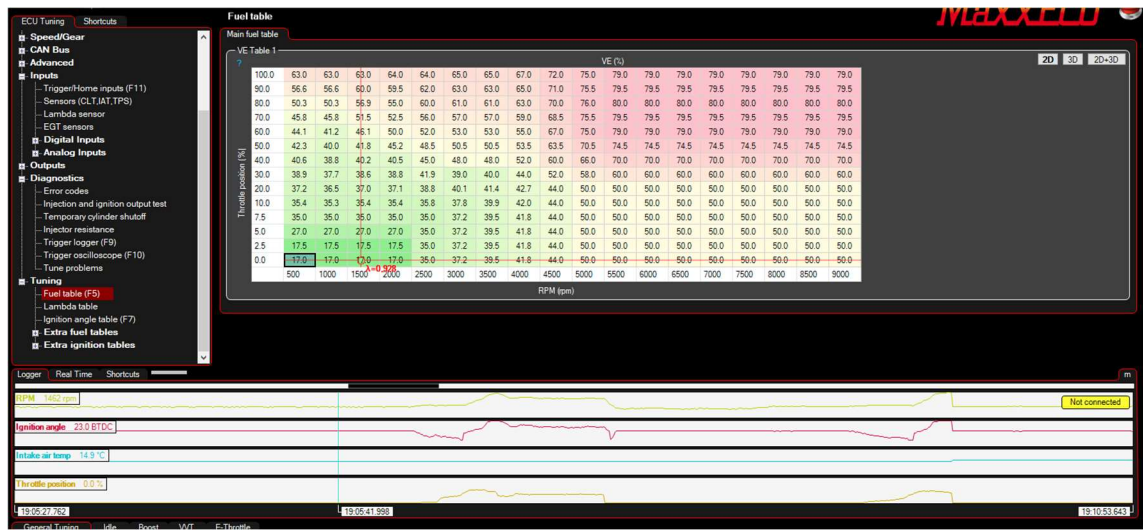
Muiden järjestelmään asennettujen tunnistimien sisääntulo signaaleja päästään tarkastelemaan painamalla hiiren oikealla painikkeella vasemman valikon alla olevaa mittauskenttää, jossa lukee "No data" (Kuva 18). Tällöin avautuu valikko, josta voidaan valita halutut kanavat "Select channels" tai halutessaan lisätä mit-

takenttiä "Add plot area". Kanava valikosta aukeaa pitkä lista eri tunnistintiedoista, joita voidaan mitata. Samaan mittakenttään saa useamman signaalin samaan aikaan näkyviin. Mittaukset voidaan myös tallentaa, jolloin mittaustapah-tumaan päästään käsiksi jälkikäteenkin painamalla "Save log-file as new log file".



KUVA 18. Mittauskentän valikko

Mittaukset suoritettiin tyhjäkäynnillä sekä simuloimalla rauhallista ajoa auton ollessa hallissa puukeilla. Tällä tavalla saatiin monipuolisempaa kuvaajaa aikaseksi. Moottori ei ollut vielä tässä vaiheessa käynyt tehodynamometrillä säädössä. Tällä mittauksella tarkasteltiin, onko mitään hälyttävää moottorin toiminnassa. Mittaus-ten ollessa käynnissä voi näytölle vaihtaa eri näkymiä kuten esimerkiksi poltto-aine-, sytytys- ja lambda- kartan vasemmalla puolella olevan valikon kohdasta "Tuning". Tällöin näytöllä on valittu kartta sekä valitut mittakentät mittakanavineen (Kuva 19). Tehdyt mittaukset tallennettiin ja mittaustuloksia tarkastellaan Mtune Log Viewerin avulla. Tunnistimien jännitesignaalin perusteella Mtune Log Viewer kertoo mittaustulokset suoraan mitattavana suureena.



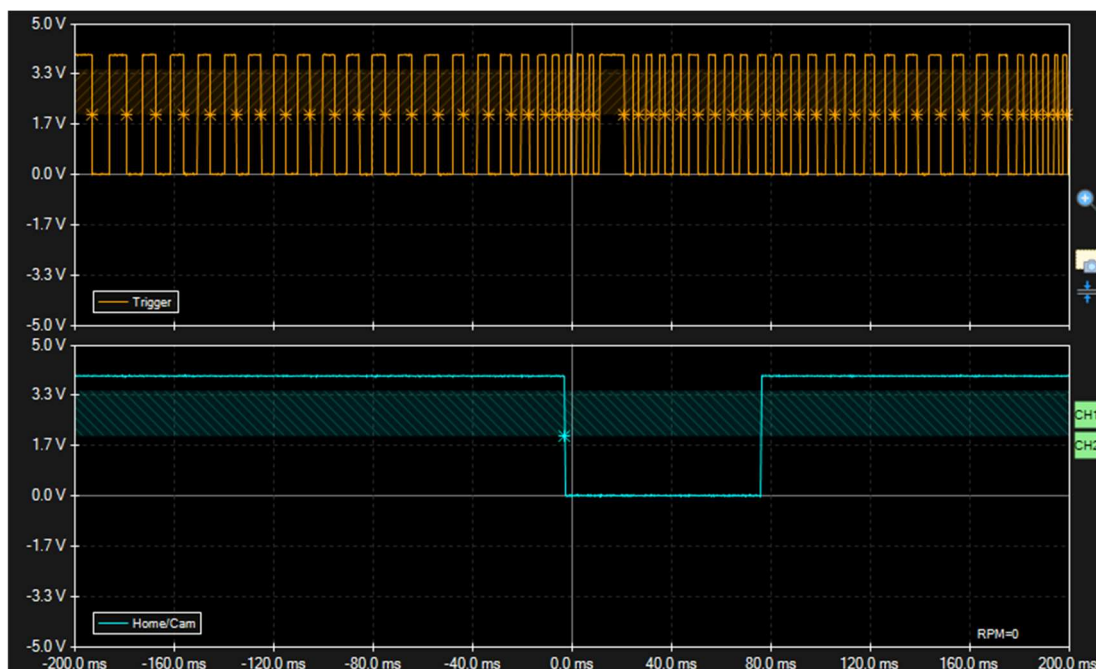
KUVA 19. Esimerkki Maxxecu Mtune:n näkymästä mittaustilanteessa

7 TULOKSET

7.1 Kampi- ja nokka-akselin asentotunnistin

Kampiakselin asentotunnistimen sisään tuleva signaali on hall- ilmiöön perustuvan hall-tunnistimen omainen kanttiaalto. Jännitesignaali vaihtelee 0 V ja 4 V välillä. Kuvaajan ylemmästä signaalista voidaan havaita triggeripyörässä puuttuvan hampaan paikka kanttiaallon ylimääräisenä välinä, jossa jännitesignaali 4 V tasossa kauemmin kuin muuten kampiakselin kierroksen aikana. Moottorin kierrosluvun epätasaisuus juuri mittaushetkellä näkyy kanttiaallon taajuuden muuttumisena. (Kuvio 33)

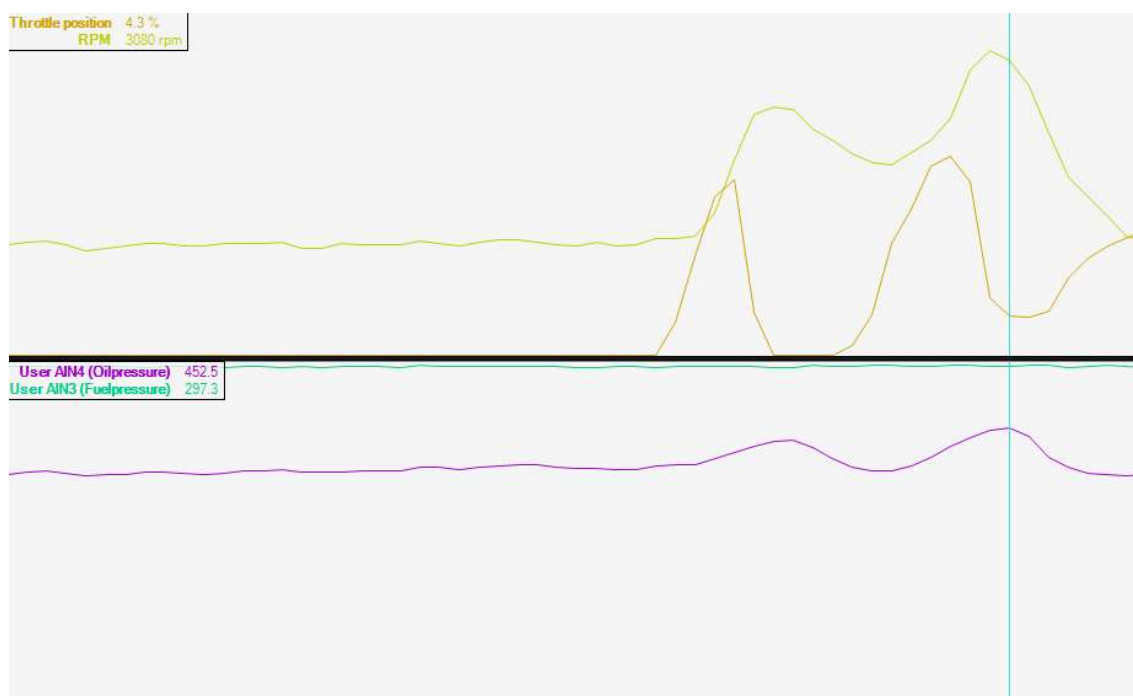
Nokka-akselin asentotunnistin on myös Hall-tunnistin ja sen lähettämä jännite signaali on niin ikään kanttiaalto, jossa signaali vaihtelee 0 V ja 4 V välillä. Nokka-akselissa on yksi hammas ja sen voi huomata jännitesignaalin arvona 0 V.



KUVIO 33. Kampi- ja nokka-akselinasentotunnistimien signaali

7.2 Kaasuläpän asentotunnistin

Kaasuläpänasentotunnistimelta saadaan jännitesignaalia 0-5V väliltä riippuen kaasuläpän asennosta. Kaasuläpän kiinni ollessa jännite on lähes 0 V ja auki ollessa lähes 5 V. Oskilloskooppikuvassa (Kuvio 34) kaasuläpän aukiolo kerrotaan prosentuaalisesti. Kaasuläpän asentotunnistimen signaali näkyy kuviossa vaalean keltaisena ja moottorin pyörintänopeus oranssina. Siitä voidaan havaita kuinka kaasuläpän auetessa 22,1%, kasvaa hetken kuluttua moottorin kierroslukukin tyhjäkäyntilukemasta 1090RPM arvoon 3080RPM ja päinvastoin kaasuläpän sulkeutuessa moottorinkierrosluku tippuu hetken kuluttua.



KUVIO 34. Kaasuläpänasento-, öljynpaine- ja polttoaineenpainetunnistimen signaalit.

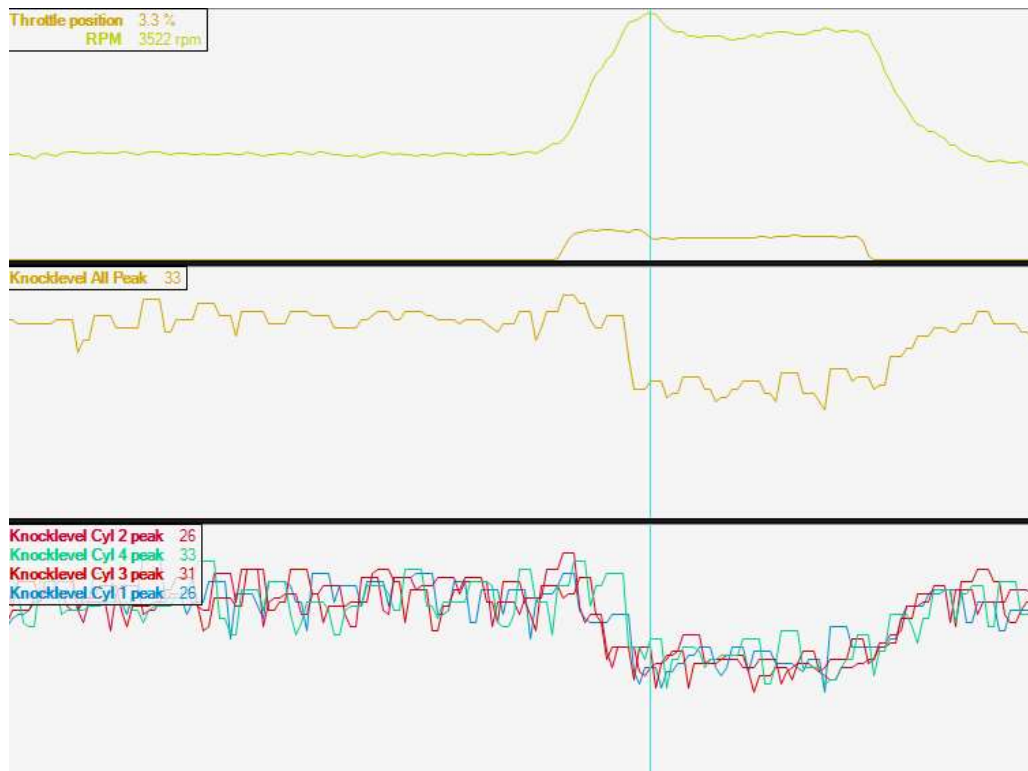
7.3 Öljyn- ja polttoaineenpainetunnistin

Öljyn- ja polttoaineenpaine jännitesignaalit voimistuvat paineen kasvaessa. Kuviossa 34 öljynpainesignaali näkyy violettina ja polttoaineenpaine turkoosina. Öljynpainetunnistimin jännitesignaalista voidaan huomata, kuinka paine nousee kierrosluvun kasvaessa. Tämä on seurausta siitä, että myös öljypumpunkierrosluku kasvaa moottorin kierrosluvun kasvaessa. Tyhjäkäynnillä 1200RPM öljy-

paine on noin 4bar ja kevyen 22,1% kaasunpolkaisun jälkeen paine nousee arvoon 4,5bar, kun moottorin kierrosluku on 3080 RPM. Polttoaineenpainetta kuviossa 34 kuvaa turkoosisignaali. Siitä huomataan, että polttoaineenpainepaine pysyy koko ajan samana noin 3bar arvossa. Tämä johtuu siitä, että polttoaineen painesäädin on säädetty juuri tuolle painealueelle eikä polttoainepumppuja ohjata kuormituksen mukaan, vaan ne koko ajan samalla teholla työtä.

7.4 Nakutustunnistin

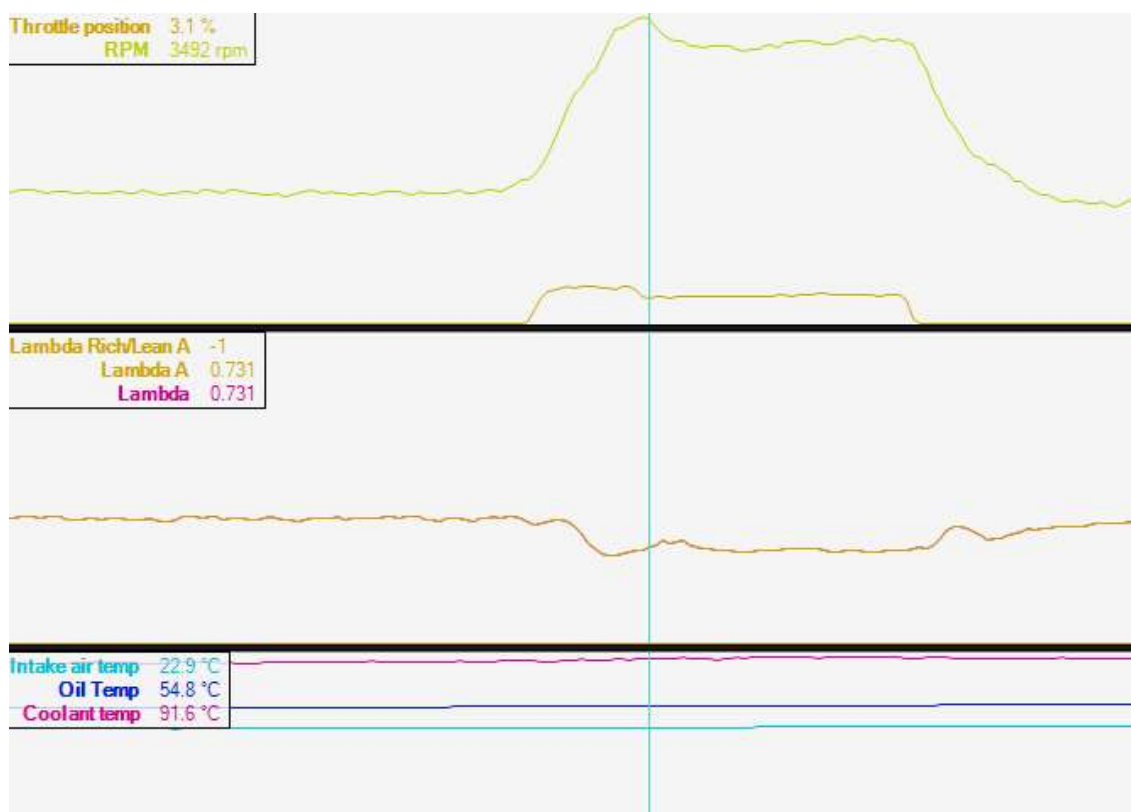
Nakutustunnistimen signaalissa näkyy kunkin sylinterin palotapahtuma, joka aiheuttaa värinää moottorinlohkossa (Kuvio 35). Kuvion keskimmaisessä mittakentässä näkyy yhteen koottuna jokaiselta sylinteriltä tullut tieto ja alimmassa mittakentässä on eriteltynä kullakin sylinteriltä tullut tieto. Mikäli signaaleissa tapahtuisi äkkinäisiä nousuja, niin silloin olisi kyseessä nakutusilmiö, mutta nyt mittaushetkellä nakutusta ei tapahdu, vaan nakutusarvot pysyvät tasaisesti noin 30 ympärillä kussakin sylinterissä. Kaasuläpän auetessa, nakutusarvot lähtivät pieneen laskuun. Kuvioista voidaan huomata, että keskimmaisessä on koottuna jokaisen sylinterin suurimmat arvot. Huomioitavaa on, että moottoriin on kytkettynä vain yksi nakutustunnistin, mutta moottorinohjaimeen integroitu nakutustunnistin, joka osaa laskea jokaiselle sylinterille nakutusarvon palotapahtuman aikana ilmenneistä värinöiden perusteella.



KUVIO 35. Nakutustunnistimen signaali

7.5 Lambdatunnistin

Lambdatunnistimen tiedon perusteella säädetään suihkutettavan polttoaineen määrää. Kuviossa 36 lambda-arvo on merkattu keskimmaisessä mittakentässä oranssin värisenä signaalina. Tässä mittauksessa saatiin vain selville varsinainen lambda- arvo eikä niinkään suoraa signaalia laajakaistatunnistimelta, jonka tulisi olla aaltomainen. Mutta mittauksesta voidaan nähdä, että kevyen kaasuttamisen yhteydessä lambda arvo laskee tyhjäkäynnin arvosta 0,980 hetkellisesti arvoon 0,730 eli ilma-polttoaineseos rikastuu reilusti. Lambda-arvo lähestyy takaisin luku 1, kun kevyt kaasun painallus loppuu.



KUVIO 36. Lambdatieto, imuilman-, öljyn- ja jäähdytysnesteen lämpötilasignaalit

7.6 Imuilman, öljyn ja jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin

Imuilman-, öljyn- ja jäähdytysnesteen lämpötilatunnistimet toimivat samalla periaatteella nostamalla jännitesignaalia lämpötilan laskiessa kuten teoria osuudessa havaittiin. Kuviossa 36 nähdään imuilmanlämpötilatieto turkoosina signaalina ja jäähdytysnesteen lämpötilasignaali pinkkinä. Kuvioista nähdään, että moottori on saavuttanut käyttölämpötilansa 92 C° ja imuilmanlämpötila pysyy myös stabiilina arvossa 22.9 C°. Öljynlämpötilaa kuvaa sininen signaali ja lämpötila mittaushetkellä oli 54,8 C°. Tässä ei havaita imuilman lämpötilan laskua kaasuläpän avautuessa, koska mittaustilanteessa ei vielä kuormitettu moottoria. Tämä sen vuoksi, koska moottori ei ole vielä säädöissään. Signaalijännitteet ovat muutettu kuvajaan suureiksi, jotta ne olisivat helpommin luettavissa.

8 PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön aihe valikoitui ralliharrastuksen innoittamana. Kilpa-auto vaati täysin uuden moottorin ja siinä samalla tuli vaihtaa kaasutinjärjestelmä sähköiseen moottorinohjausjärjestelmään. Tämä innoitti perehtymään aiheeseen ja loi motivaatioita oppia työn avulla moottorinohjausjärjestelmän toimintaa. Moottorinohjauksen perusteita opiskeltiin koulussa moottoritekniikan kurssilla. Silloin sen läpikäyminen jäi kuitenkin melko pintapuoliseksi silloin puhjenneen Covid-19 pandemian vuoksi, jolloin siirryttiin etäopetukseen. Tämä oli myös yksi syy aiheen valinnalle, koska kurssin yhteydessä olisi ollut tarpeen perehtyä aiheeseen paremmin.

Ohjausjärjestelmäksi valittiin Maxxecu Race monien muiden järjestelmien joukosta, koska sen toiminnot vastasivat siihen mitä vaadittiin. Yksi valintakriteereistä oli ohjelmiston selkeys ja sellaisena Maxxecu Mtune:a lopulta myös pidettiin. Opinnäytetyn tavoitteena oli selvittää mitä pää- ja oheistoimintoja kyseiset moottorinohjainlaitteet pitävät sisällään sekä mitä tunnistimia ja toimilaitteita ohjainlaitteen käyttöönottoon vaaditaan. Pää- ja oheistoimintoja tutkiessa hahmottui kuva siitä, kuinka tunnistimien tiedot liikkuvat ohjainlaitteen sisällä ja kuinka siellä suoritetaan laskentaa. Työssä käsiteltiin hieman ylimääräisiäkin toimintoja, joita ei tulla hyödyntämään käyttöönotossa. Monissa muissa aikaisemmissa opinnäytetöissä oli myös selvitetty eri tunnistimien ja toimilaitteiden toimintaa, mutta tässä työssä haluttiin perehtyä hieman tarkemmin niissä käytettyyn tekniikkaan ja erityisesti siihen, minkälaista signaalia tunnistimilta saadaan ohjainlaitteelle. Tällä tavalla tämä opinnäytetyö pystyi erottautumaan muista aiheesta tehdyistä töistä.

Tekemällä Mtune -ohjelman avulla oskilloskooppimittaukset jokaiselle tunnistimelle konkretisoitui työn tarkoitus siten, että ymmärsi mitä toimintoja ohjelmistossa on ja kuinka tunnistimien signaalia pystyy tulkitsemaan. Tunnistinsignaalit vastasivat siihen, mitä teoriaosuudessa oletettiin niiden olevan. Tosin ohjainlaitteelta ei saanut raakaa signaalia lambdatunnistimelta, vaan sen ohjainlaite muutti suoraan arvoksi. Tulosten esittämisessä olisi ollut hyvä, että signaalien arvoja olisi voinut kuvien perusteella tulkita paremmin. Siihen ei kuitenkaan ollut mahdollisuutta, koska kuviot eivät mahtuneet täysimääräisinä tulokset-osion sivulle.

Tutkimalla Mtune:n avulla tunnistinsignaaleja sai paremman käsityksen siitä, kuinka eri parametrit vaikuttavat mihinkin toimintaan. Tämän myötä käsitys ohjainlaitteen toiminnasta parani. Työn ansioista myös Mtune -ohjelma tuli tutummaksi, mikä helpottaa tulevaisuudessa, kun on tarvetta tehdä säätötoimenpiteitä ohjainlaitteelle.

Kokoonpanon lopussa huomattiin, ettei ohjainlaitteen sisälle integroitua imusarjan painetunnistinta pystytty nyt heti hyödyntämään, koska imusarjassa ei ollut sille erillistä liitäntä kohtaa, kuten oli koko ajan luultu. Tiukan aikataulun vuoksi tässä vaiheessa ei lähdetty enää purkamaan imusarjaa irti ja rakentamaan liitosta, vaan hyödynnettiin imuilmanlämpötila- ja kaasulämpöasentotunnistimien tietoja imusarjanpainetiedon tilalla. Työn ohessa havaittiin myös, että hyvin keskeisille tunnistimille kuten öljynpainetunnistimelle kannattaa asentaa myös mekaaninen mittari digitaalisen oheen, jotta varsinkin käyttöönottaessa järjestelmää voidaan varmentaa öljynpaineiden riittävyys. Järjestelmän kokoonpanon onnistui siinä määrin, että moottoria päästiin säätämään tehodynamometrille. Työn onnistumista voidaan arvioida kuitenkin tarkemmin vasta, kun säädöt tehodynamometrillä on suoritettu ja saatu suoritettua kattavat testit kilpailuja vastaavissa olosuhteissa.

LÄHTEET

Auto-Data. 2021. 1991 Opel Astra F GSi 2.0 16V (150hv). Luettu 3.9.2021. <https://www.auto-data.net/fi/opel-astra-f-gsi-2.0-16v-150hp-2510>

Autodoc club. 2021. Jäähdytysnesteen lämpötila-anturi: toiminta, testaus, oireet. Julkaistu 26.4.2021. Luettu 14.9.2021. <https://club.autodoc.fi/magazin/jaahdytysnesteen-lampotila-anturi-toiminta-testaus-ja-oireet>

Eerola, O. 1976. Polttomoottorit. 3. Painos. Jyväskylä: Gummerus.

Full function engineering. 2012. Hall vs. Variable Reluctance Sensors. Luettu 3.9.2021. <https://fullfunctioneng.com/info/Hall%20vs%20VR.pdf>

How to mechatronics. n.d. What is hall effect and how hall effect sensors work. Luettu 3.9.2021. <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/hall-effect-hall-effect-sensors-work/>

Hussaini, U. 2020. Arduino PWM output and its uses – The definitive guide. Päivitetty 14.1.2020 Luettu 14.9.2021. <https://technobyte.org/arduino-pwm-output-uses-generation-control/>

Hutasu. 2017. Pulse Width Modulation eli PWM-ohjaus. Päivitetty 9.12.2017. Luettu 17.9.2021. <https://www.hutasu.net/elektronikka/sulautettu-elektronikka/pulse-width-modulation-eli-pwm-ohjaus/>

Kainulainen, P. 1988. Polttomoottorit A. 1–2. Painos. Helsinki: Paavo Kainulainen ja ammattikasvatushallitus 1985.

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

Mauno, E. 2004. Tuning, moottorin viritys. 1. Painos. Helsinki: Alfamer Kustannus Oy.

Maxxecu. n.d. Maxxecu downloads. Wirings. MaxxECU RACE (REV 9+) wiring (English). PDF-tiedosto. Luettu 4.10.2021. [https://www.maxxecu.com/files/Documentation/Wirings/MaxxECU%20RACE%20\(REV9+\)%20-%20Wiring-en.pdf](https://www.maxxecu.com/files/Documentation/Wirings/MaxxECU%20RACE%20(REV9+)%20-%20Wiring-en.pdf)

Maxxecu Mtune. 2020. Maxxecu downloads. Maxxecu Mtune PC software. Lattau 17.9.2021. <https://www.maxxecu.com/downloads>

Motomatti. 2011. Ilma-polttoaineseoksen ja sytytysajoituksen vaikutus päästöihin. Blogikirjoitus. Julkaistu 29.12.2011. Luettu 6.9.2021. <http://www.motomatti.fi/2011/12/ilma-polttoaineseoksen-vaikutus.html>

Nieminen, S. 2005. Auton rakenne 1. Moottori ja tehonsiirto. 1. Painos. Porvoo: Werner Söderström Osakeyhtiö.

NKG Spark Plug Australia. 2020. Oxygen sensors. How does it works. Luettu 13.8.2021. https://www.ngk.com.au/technical_info/how-does-it-work/

NKG Spark Plug Europe GmbH. n.d. Leveähihnaiset lambdatunnistimet. PDF-tiedosto. Luettu 13.9.2021. https://www.tekniwiki.com/fileadmin/emea/how_to_check/fi_lambda.pdf

Peda. n.d. Nuoret värkkärit. Analoginen tulo. Luettu 16.9.2021. <https://peda.net/alajarvi/nuoret-v%C3%A4rkk%C3%A4rit/alakoulu/crumble-projektit/oma-laite/analoginen-tulo>

Robert Bosch GmbH. 2006. Bensiinimoottorin ohjaus, Motronic- järjestelmät. 1. Painos Helsinki: Autoalan koulutuskeskus.

Robert Bosch GmbH. 2018. 10th edition Automotive handbook. 10. Painos. Chichester: Wiley.

Scheehage, G. 2018. Moottorinohjaus toimilaitteet, Rakenne, toiminta ja vianmääritys. 1. Painos. Bad Wörishofen: Kraftland Medien GmbH.

Scheehage, G. 2019. Moottorinohjaus tunnistimet, Rakenne, toiminta ja testaus oskilloskoopilla. 5. Painos. Bad Wörishofen: Kraftland Medien GmbH.

Shepard, T. 2011. TTEC-4848 Sensors by Tung. Blogspot. TPS testing. Blogikirjoitus Julkaistu 22.9.2011. Luettu 8.9.2021. <http://ttec-4848sensorsby-tung.blogspot.com/2011/09/tps-testing.html>

TT-Speed. n.d. Imuilmanlämpötilatunnistin Bosch (pitkä avoin muovikärki). Luettu 15.9.2021. <https://ttspeed.fi/imuilman-lampotilatunnistin-1>

Waynes garage. n.d. How Fuel Injectors Works. Luettu 17.9.2021. <http://www.waynesgarage.com/tips/more-tip/gasoline/fuel-injectors>

Zatonevkredit. n.d. Repair manuals. Luettu 16.9. http://zatonevkredit.ru/repair-manuals/raw-content/AWH2kP3arzILPWuuO0_f

LIITTEET

Liite 1. MaxxECU kytkentäkaavio

1 (2)

