

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2023

Rene Tommila

**MOTEC M130**

**MOOTTORINOHJAUSYKSIKÖN**

**ASENTAMINEN**

**MOOTTORIPYÖRÄÄN**



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2023 | 86 sivua

Rene Tommila

## Motec M130 moottorinohjausyksikön asentaminen moottoripyörään

Moottorinohjauslaitteiden säätöperusteet ja käytännön esimerkki Motec M130 -ohjainlaitteen asennuksesta Suzuki GSX-R 750 moottoripyörään.

Asiasanat:

moottorinohjaus, motec, moottoritekniikka, moottoripyörä

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Automotive and Transportation Engineering

2023 | 86 pages

Rene Tommila

## Installation of Motec M130 engine control unit to motorcycle

This thesis contains basic information about engine control units, typical sensors and calculations. This information is used for the installation of a Motec M130 engine control unit to a Suzuki GSX-R 750 motorcycle, which is used at the car laboratory dynamometer at Turku University of Applied Sciences to teach new students about engine control systems.

Keywords:

engine management system, engine control system, Motec M130, motorcycle,

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet tai sanasto</b>	<b>7</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>9</b>
<b>2 Nelitahtimoottorin säätämiseen liittyvät olennaiset peruseriaatteen</b>	<b>10</b>
2.1 Moottoritekniikan perusteet	10
2.2 Venttiilien ajoitus	13
2.3 Otto-prosessi	14
2.4 Volumetrinen hyötysuhde	16
2.5 Absoluuttisen ja suhteellisen paineen ero	19
<b>3 Ilman ja polttoaineen suhde</b>	<b>20</b>
3.1 Polttoaineen ominaiskulutus	21
3.2 Sopivan ilma-polttoainesuhteen valintaperiaate	22
3.3 Laiha polttoaineseos	26
<b>4 Moottorielektronikan peruseriaatteen</b>	<b>28</b>
<b>5 Moottorinohjausjärjestelmän komponentit</b>	<b>32</b>
5.1 Nokka- ja kampiakselin asentotieto	32
5.2 Kuorman laskenta	33
5.3 Imuilman lämpötilatunnistin	34
5.4 Jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin	35
5.5 Kaasuläpän asentotunnistin	35
5.6 Happitunnistin	36
5.7 Nakutustunnistin	37
5.8 Sytytyksen ohjaus	38
5.9 Suuttimien ohjaus ja impedanssi	40
5.10 Ulostulot	42
<b>6 Polttoaine- ja sytytyskartat</b>	<b>44</b>
6.1 Polttoaineen syöttötavat	44
6.2 Polttoainekartan resoluutio	46

6.3 Kompensaatiokartat	47
6.4 Kiihdytysrikastus	48
6.5 Muuttuva venttiilienajoitus	49
<b>7 Polttoaineensyöttöjärjestelmä</b>	<b>50</b>
7.1 Suuttimien latenssi	50
7.2 Kaksi- ja kolmiulotteinen latenssin kompensaatiokartta	51
7.3 Suuttimien virtaus	51
7.4 Suuttimien koon valitseminen	52
<b>8 Moottorinohjausjärjestelmän toiminta ja diagnostiikka</b>	<b>53</b>
<b>9 Säättämisen peruseriaatteet</b>	<b>55</b>
9.1 Sytytyksen ajoituksen säättäminen	55
9.2 Polttoaineen määrän säättäminen	58
9.3 Nakutus ja detonaatio	61
<b>10 Käytännön esimerkkityö: Suzuki GSX-R 750 (K3/2003) Motec M130 - moottorinohjausjärjestelmällä</b>	<b>63</b>
10.1 Moottorinohjausjärjestelmän valinta	63
Kuva 14. Motec M130 -ohjainlaite.	64
10.2 Katteiden purkaminen ja johtosarjan irrotus	64
10.3 Johtosarja-adapteri	67
10.4 Imusarjan toisioläppien poisto	68
10.5 Lisälaitteet ja lisäykset johtosarjaan	70
10.6 Ohjelmiston käyttöönotto ja asetukset	72
10.7 Koekäyttö	75
<b>11 Yhteenveto</b>	<b>79</b>
<b>Lähteet</b>	<b>81</b>

## **Liitteet**

Liite 1. KytKentäkaavio Liitin A

## Liite 2. Kytkenäkaavio Liitin B

Kuva 1. Työkierron neljä tahtia. (Bell A. 2007) .....	11
Kuva 2. Nokka-akselien toimintaperiaate (Bosch 2018).....	13
Kuva 3. Otto-prosessin pV-kaavio. (X-engineer.org).....	15
Kuva 4. Puristussuhteen vaikutus sylinteripaineeseen. (ResearchGate 2004) .	16
Kuva 5. Ilman tiheys eri lämpötiloissa sekä kosteusprosentissa. (Emad 2020) .....	17
Kuva 6. Seossuhteen vaikutus moottorin toimintaan (Bosch 2018) .....	24
Kuva 7. Seossuhdevaihtelut eri käyttötilanteissa .....	25
Kuva 8. Magneettisen anturin jännitteen muutos. ....	30
Kuva 9. Hall-tyyppinen jännitekäyrä.....	30
Kuva 10. 3-ulotteinen säätökartta. ....	56
Kuva 11. Sytytyksen ajoituksen vaikutus sylinteripaineeseen.....	57
Kuva 12. Polttoainekartta 3-ulotteisessa esitysmuodossa. ....	60
Kuva 13. Säätökartan sivuprofiili.....	61
Kuva 14. Motec M130 -ohjainlaite.....	64
Kuva 15. Moottoripyörä riisuttuna. ....	64
Kuva 16. Johtosarja liittimiseen. (Suzuki 2004) .....	66
Kuva 17. Adapteri kokonaisuudessaan.....	68
Kuva 18. Motec M130 asennuspaikka. ....	70
Kuva 19. Ethernet -liitäntä. (Motec 2023).....	70
Kuva 20. Motec IGN4 asennuskaavio. (Motec 2023).....	71
Kuva 21. LTC 4.9 kytkentä. (Motec 2023).....	72
Kuva 22. Lämpötila-antureiden mittaukset.....	74
Kuva 23. Suzuki käyttövalmiina. ....	77

## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
AE	Acceleration Enrichment
AFR	Air / Fuel Ratio
ASE	After Start Enrichment
BTDC	Before Top Dead Center
CAM	Camshaft (trigger)
CAS	Cam Angle Sensor (tyypillisesti japanilainen ajoneuvo)
CRANK	Crankshaft (trigger)
CLT	Coolant Temperature
DBW	Drive by Wire
ECU	Engine Control Unit
EGT	Exhaust Gas Temperature
IAC	Idle Air Control
IAT	Intake Air Temperature
IGN	Ignition
IO	Input / Output
LTT	Long Term Trim
MAP	Manifold Absolute Pressure
MBT	Minimum Best Torque / Timing (alin sytytyksen ajoitus, joka tuottaa suurimman vääntömomentin)
NB	Narrow band
PW	Pulse Width
PWM	Pulse Width Modulation
RPM	Revolutions Per Minute

TDC	Top Dead Center
TPS	Throttle Position Sensor
VE	Volumetric Efficiency
VSS	Vehicle Speed Sensor
VVT	Variable Valve Timing
WB	Wide Band
WBO2	Wide Band O2 Sensor
WOT	Wide Open Throttle



# 1 Johdanto

Työn tarkoituksena on hankkia ja muokata moottoripyörä Turun Ammatti-  
korkeakoulun auto- ja kuljetusalan oppilaiden tehodynamometrikäyttöön.  
Moottoripyörällä on tulevaisuudessa tarkoitus havainnollistaa oppilaille  
moottorinohjausyksikön toimintaa sekä eri parametrien vaikutusta esimerkiksi  
moottorin tuottamaan vääntöön ja tehoon käytännössä.

Työn teoriaosuudessa esitellään bensiinikäyttöisen vapaasti hengittävän  
nelisylinterisen moottorin toiminta- ja säätöperiaatteisiin, jotka antavat  
perustiedot ja vähimmäisvalmiudet moottorinohjainlaitteiden toiminnan  
ymmärtämiseen ja säätämiseen. Työssä käydään läpi yleisimpiä käytössä  
olevia tunnistimia sekä niiden toimintaperiaatteita. Opinnäytetyö on suunnattu  
pohjatietopaketyksi moottorinohjausyksikön toiminnasta kiinnostuneille  
harrastajille.

Työosuudessa on dokumentoitu moottoripyörän moottorinohjauksen  
vaihtamistyötä Motec M130 -moottorinohjausyksikköön, johtosarja-adapterin  
valmistusta sekä perussäätöjen asetuksia uuteen moottorinohjausyksikköön  
dynamometrikäyttöä varten.

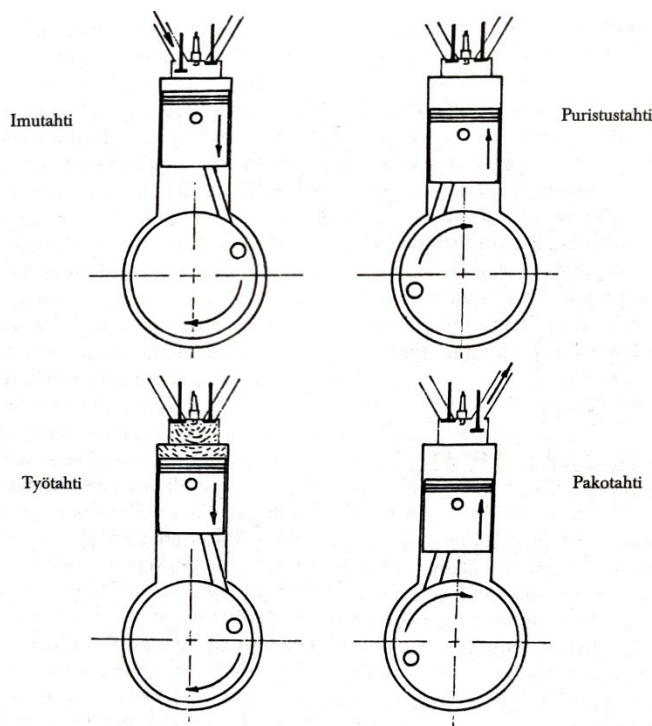
## 2 Nelitahtimoottorin säätämiseen liittyvät olennaiset peruseriaatteen

Seuraavissa osioissa on käsitelty lähinnä nelisylinterisiä vapaasti hengittäviä bensiinikäyttöisiä nelitahtimoottoreita, sillä ne ovat yleisimpiä ajoneuvoissa vastaan tulevia voimanlähteitä. Vaikka monet peruseriaatteen sekä laskukaavat soveltuvat myös sylinterimäärältään, polttoainetyypiltään tai esimerkiksi toteutukseltaan erilaisiin (mm. wankel) moottoreihin, on niiden kohdalla otettava huomioon erilaiset ominaisuudet sekä erityispiirteet.

### 2.1 Moottoritekniikan perusteet

Ottomoottorilla viitataan yleensä kaksi- tai nelitahtiseen bensiiniä käyttävään polttomoottoriin. Peruseriaatteenä näissä moottoreissa pidetään polttoaineseoksen muodostamista sylinterin ulkopuolella ja tämän seoksen sytyttämistä sylinterissä sähköisen kipinän avulla. Nykyisissä suorasuihkutuksella varustetuissa moottoreissa polttoaine voidaan suihkuttaa myös suoraan palotilaan. Moottorin tuottamaa vääntöä säädellään oikeassa suhteessa suihkutetun ilma-polttoaineseokseen määrää säätämällä.

Moottorin toiminta perustuu neljään tahtiin, joista käytetään termejä imutahti, puristustahti, työtahti ja pakotahti. Kuitenkin ennen näiden tarkempaa tarkastelua, on hyvä ymmärtää termien yläkuolokohta (TDC) sekä alakuolokohta (BTDC) merkitys. Yläkuolokohta on kampiakselin kierron vaiheessa, jossa mäntä on korkeimmillaan sylinterissä. Vastaavasti alakuolokohta vastaa tilannetta, jossa mäntä on alimmillaan sylinterissä. (Bosch 2018, 482)



Kuva 1. Työkierron neljä tahtia. (Bell A. 2007)

Imutahdin pituus on kampiakselilta mitattuna 180 astetta. Se alkaa yläkuolokohdasta, jolloin männän liike sylinterissä alaspäin pyörittää kampiakselia aiheuttaen samalla alipaineen sylinteriin. Männän liikkua alas imuventtiili avautuu, jolloin ulkoisen sekä sylinterin sisäisen ilmanpaine-eron vuoksi ilman -ja polttoaineen seos imeytyy palotilaan. Imutahdin lopussa imuventtiili sulkeutuu, jolloin ilma-polttoaineseos ei pääse karkaamaan sylinteristä. (Bell 2007, 1:10–11)

Mitä suurempi paine-ero saadaan imukanavan ja palotilan välille, sitä enemmän ilman ja polttoaineen seosta virtaa palotilaan mahdollistaen potentiaalisesti suuremman tehon. Vapaastihengittävässä moottoreissa paine-ero rajoittuu yleensä ilmanpaineeseen, mutta paine-eroa voidaan moottoreissa yleisesti kasvattaa keinotekoisesti erilaisten ahtimien avulla. (Bell 2007, 1)

Puristustahdin alussa mäntä on sylinterissä alakuolokohdassa ja kampiakselin kaula on päätynt alimpaan asentoon. Imutahdin aikana aiemmin sylinteriin virrannut ilma-polttoaineseos puristetaan kasaan, jolloin paineen ja sen

aiheuttaman lämmön vaikutuksesta polttoainepisarat höyrystyvät sekoittuen ilman kanssa. Puristustahdin päättyessä kampiakseli on kulkenut 360 astetta.

Työtahdin alkaessa kampiakseli on taas palannut yläkuolokohtaan. Puristettu polttoaineseos sytytetään sytytystulpan tuottaman kipinän avulla, jolloin seos syttyy räjähtäen palamaan aiheuttaen suuren paineaallon sekä palorintaman työntäen mäntää alaspäin. Mäntään kohdistunut paine siirretään kiertokankea pitkin takaisin kampiakselille tuottaen vääntöä pyörimisliikkeen avulla. (Bell 2007, 10–11)

On kuitenkin huomioitava, että sylinterissä tapahtuva palotapahtuma ei ole välitön ja tästä syystä todellisuudessa kipinä joudutaan antamaan keskimäärin noin 20–30 astetta ennen yläkuolokohtaa. Sytytyksen ajoituksesta käytetään termiä BTDC, jonka tunteminen on tarpeellista moottorinohjauksen säätöohjelmistoa käyttäessä.

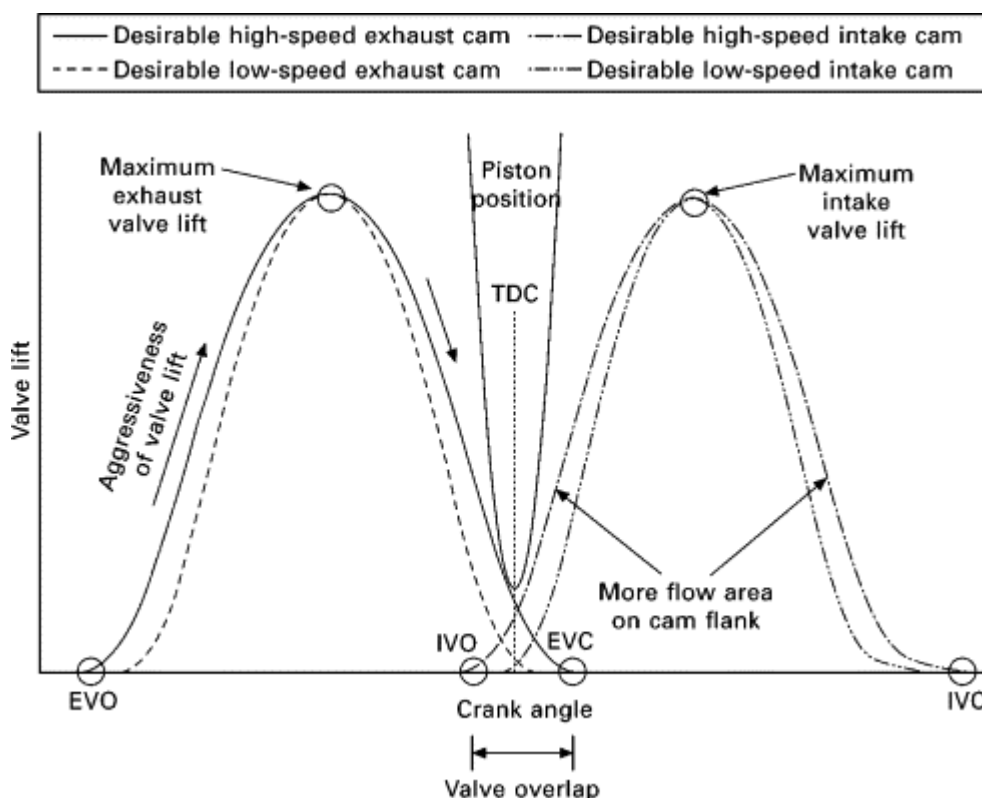
Pakotahdin alkaessa kampiakseli on pyörinyt 480 astetta ja moottori on palannut alakuolokohtaan. Palotapahtuman vuoksi sylinteri on täynnä palokaasuja, jotka on saatava pois palotilasta. Pakotahdin aikana männän kulkiessa sylinterissä ylöspäin mahdollistaa avautuneena oleva pakoventtiili pakokaasujen poistumisen sylinteristä ulkoilmaan.

Kaikki neljä tahtia eli yksi työkierto on käyty loppuun männän palatessa yläkuolokohtaan, jolloin kampiakseli on pyörähtänyt 2 kierrosta eli 720 astetta. Moottori tuottaa vääntömomenttia ainoastaan työtahdilla. Sama työkierto kuitenkin tapahtuu moottorin jokaisessa sylinterissä moottorin sylinterimäärästä huolimatta eri aikaan, jonka avulla voidaan taata jatkuvaa tasaista voimaa kampiakselille. Apuna tässä on myös pyörivän massan tuottama inertia, jota lisätään esimerkiksi vauhtipyörän avulla. Vauhtipyörä pitää kampiakselin liikkeessä sekä vähentää värähtelyvaikutuksia (Bosch 2018, 511).

## 2.2 Venttiilien ajoitus

Yksinkertaistettuna voidaan sanoa, että imuventtiili aukeaa yläkuolokohdassa ja sulkeutuu alakuolokohdassa. Todellisuudessa kuitenkin imuventtiili alkaa avautumaan jo hieman ennen kuin mäntä on saavuttanut yläkuolokohdan ja sulkeutuu vasta sen jälkeen, kun imutahti on jo päättynyt ja mäntä on saavuttanut alakuolokohdan.

Termit EVO ja EVC kuvaavat pakoventtiilin ja IVO ja IVC imuventtiilin avautumista ja sulkeutumista ja näiden väliin jäävä tilanne, jossa molemmat venttiilit ovat hetken auki tunnetaan termillä 'overlap'. Termistön ymmärtäminen on tarpeellista siinä kohtaa, kun moottorissa on säädettävät nokkapyörät tai säätävä venttiilinajoitus. (Bell 2007, 5:4–6)

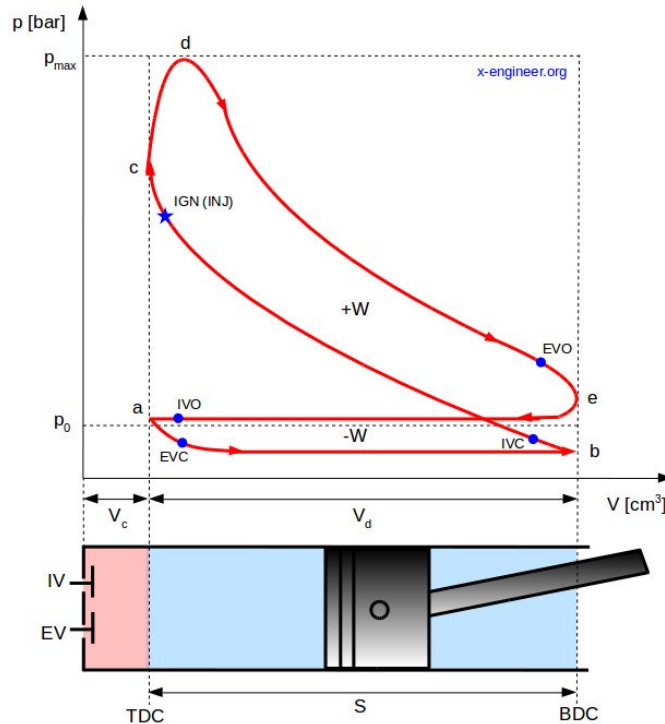


Kuva 2. Nokka-akselien toimintaperiaate (Bosch 2018)

### 2.3 Otto-prosessi

Otto-prosessia voidaan kuvata pV-piirroksella (kuva 3), joka auttaa hahmottamaan paineen muutokset sylinterissä eri tahtien aikana sekä kuvaa venttiilien toiminnan. Pitää kuitenkin muistaa, että kyseinen piirros kuvaa vain vapaasti hengittävää bensiinimoottoria.

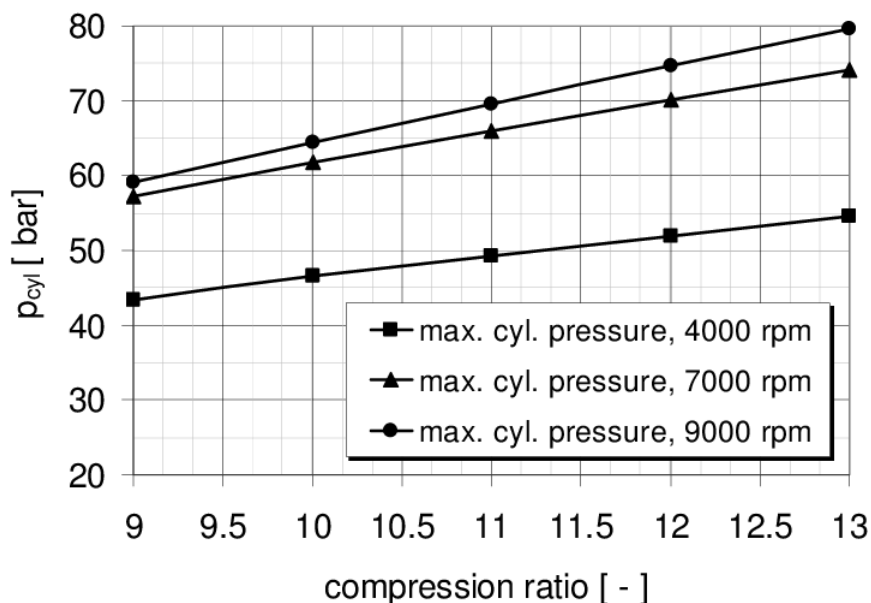
Imutahdin (IO) alkaessa, ovat niin imuventtiili kuin pakuventtiili hieman avoinna eli kyseessä on aikaisemmin kuvattu overlap -ilmiö. Imutahdilla pakuventtiilin sulkeutuessa ja männän kulkiessa kohti alakuolokohtaa, vetää alipaine polttoaineseoksen sylinteriin samalla kun tilavuus kasvaa. Männän saavuttaessa alakuolokohdan (BDC), alkaa puristustahti (IC), jolloin tilavuuden laskiessa paine nousee huomattavasti. Hieman ennen yläkuolokohtaa, polttoaineseos sytytetään ja paine nousee räjähdysmäisesti työtahdin (c) myötä saavuttaen maksimipaineen. Palotapahtuma työntää mäntää kohti alakuolokohtaa, jolloin paine lähtee laskemaan ja tilavuus nousee. Lopuksi pakuventtiili avautuu (EO) ja pakotahti alkaa, tiputtaen paineen ja poistaen pakokaasun sylinteristä ilmakehään. (Bell 2005, 5:2)



Kuva 3. Otto-prosessin pV-kaavio. (X-engineer.org)

Kuvaajan maksimipaine ( $P_{max}$ , p) määrittää sen, kuinka paljon tehoa pystytään tuottamaan ja tätä kautta siirtämään väännöksi kampiakselille. Tähän yksi suurimpia vaikuttavia tekijöitä on moottorin puristussuhde, eli iskutilavuuden ja puristustilavuuden summa jaettuna puristustilavuudella.

Puristussuhdetta nostamalla saavutetaan yleensä korkeampi sylinterin maksimipaine, mutta tämän lisäksi tilavuuden muutoksen nopeus kasvaa työtahdin aikana verrattuna matalapuristeiseen moottoriin. Paineen nopeamman laskemisen takia palokaasuilla on enemmän tilaa laajentua, joka omalta osaltansa vähentää palokaasujen lämpötilaa. Tämän lisäksi työtahdin saavuttaessa alakulokohdan, on korkeapuristeisen moottorin jäljellä oleva paine yleensä alhaisempi ennen pakoventtiilin avautumista, jolloin suurempi osa polttoaineen energiasta saadaan valjastettua käyttöön. (Bosch 2018, 482–84)



Kuva 4. Puristussuhteen vaikutus sylinteripaineeseen. (ResearchGate 2004)

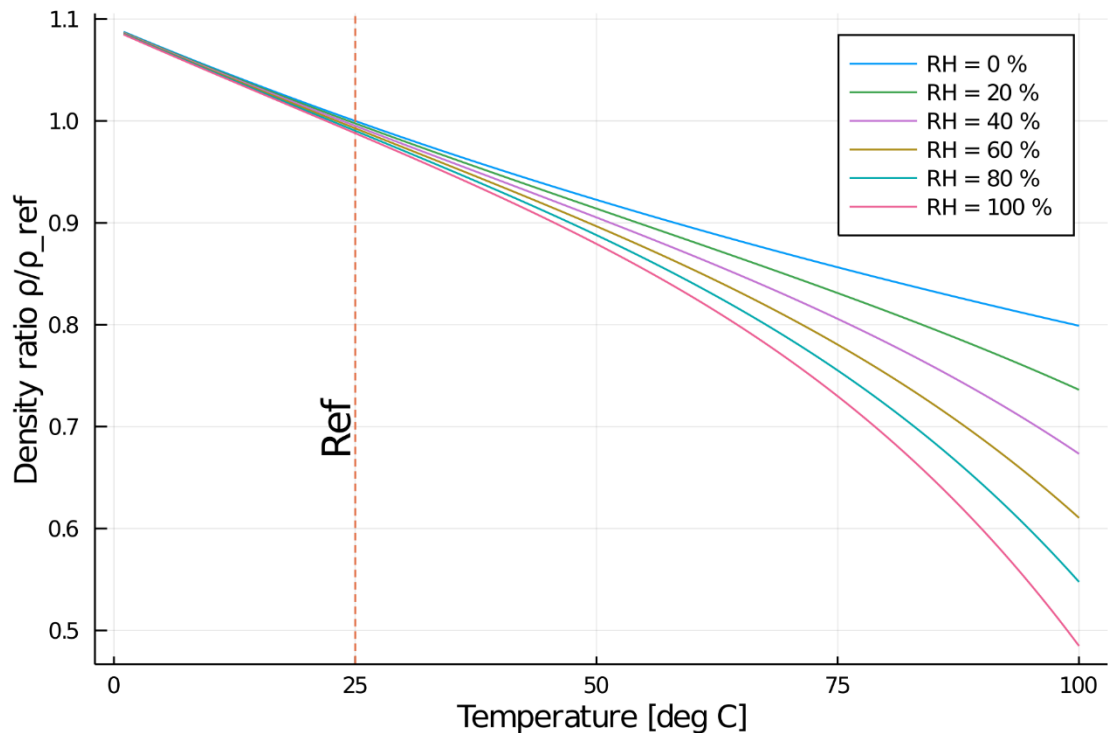
Puristussuhdetta ei voida kuitenkaan nostaa loputtomasti, koska tällöin ongelmaksi muodostuu polttoaineen puristuskestävyys kipinäsytytteisessä moottorissa. Paineen noustessa sylinterissä liian korkeaksi puristustahdin aikana, polttoaineen lämpötilan nousu voi aiheuttaa ennenaikaisen syttymisen ennen sytytystapahtumaa. Pahimmassa tapauksessa syttynyt polttoaine kohtaa sytytystulpan kipinän sytyttämän liekkirintaman aiheuttaen paineiskun, joka rasittaa huomattavasti moottoria tai aiheuttaa mekaanisia vaurioita. (Bell 2007, 4:6–8)

#### 2.4 Volumetrinen hyötysuhde

Moottoritekniikka on kehittynyt vuosien varrella huomattavasti ja moottorin hyötysuhdetta on saatu nostettua erinäisin keinoin. Yleistäen moottorin vääntömomenttiin suurin vaikuttava tekijä on kuitenkin imutahdin aikana moottoriin tuotu ilmamassa. Sylinteriin virrannut ilmamassa määrittää paljonko polttoainetta voidaan moottoriin suihkuttaa, kun tiedetään että näiden välillä on olemassa optimaalinen suhde. Ilman tilavuudesta happea on noin 23 % ja se on ilman kaasuista ainoa, jolla on merkitystä polttoaineen palamisen suhteen.



Kuitenkin ilman tiheys ja tilavuus voivat muuttua olosuhteiden mukaan, jolloin moottoriin virtaava happimäärä voi vaihdella suuresti. Yleisesti perusolettamuksena voidaan käyttää ajoneuvojen käyttölämpötiloissa, että 10 asteen lämpötilan muutos ylöspäin vähentää ilman tiheyttä 3 % ja vastaavasti lämpötilan laskiessa laskee saman verran. (Bell 2007, 1:1–3, 7:1) (Kuva 5.)



Kuva 5. Ilman tiheys eri lämpötiloissa sekä kosteusprosentteissa. (Emad 2020)

Jotta moottorinohjausyksikkö pystyy laskemaan sekä ylläpitämään sopivan ilma-polttoaineseossuhteen, on tiedettävä moottoriin virtaavan ilman massa. Kun on tiedossa virtaavan ilman määrä sekä ilman tiheys, voimme laskea seuraavalla kaavalla virtaavan ilman massan grammoina sekunnissa.

$$\rho_a = p_a / (R_a \cdot T_a)$$

jossa:

$p_a$  [kg/m<sup>3</sup>] – imuilman tiheys

$p_a$  [Pa] – imuilman paine

Ta [K] – imuilman lämpötila (Kelvin)

Ra [J/kgK] – kaasuvakio kuivalle ilmalle (= 286.9 J/kgK)

Volumetrinen hyötysuhde (volumetric efficiency, VE) tarjoaa kohtuullisen tarkan teoreettisen arvion moottorin läpi virtaavan ilman määrästä suhteessa iskutilavuuteen. Käytännössä moottorin tekninen toteutus esimerkiksi imusarjan toteutuksesta säätyviin nokka-akseleihin ja pakopuolen virtaukseen vaikuttavat todelliseen volumetriseen hyötysuhteeseen lukuisien muiden tekijöiden lisäksi. Arvio tästä voidaan laskea seuraavan kaavan mukaisesti:

*Iskutilavuus*  $cm^3$

$$= \pi \times \left( \frac{\text{synterinin halkaisija (cm)}}{2} \right)^2 \times \text{iskunpituus (cm)} \times \text{syntereiden lukumäärä}$$

$$\text{Teoreettinen ilmamäärä } cm^3/min = \text{Iskutilavuus } cm^3 \times \left( \frac{\text{kierrosluku}}{2} \right)$$

$$\text{Volumetrinen hyötysuhde \%} = \frac{\text{Teoreettinen hyötysuhde}}{\text{Mitattu hyötysuhde}}$$

Volumetrinen hyötysuhde vaihtelee jonkin verran moottorityypin mukaan ja se arvio siitä voidaan laskea yllä olevan kaavan mukaan. Moderni 4-venttiilinen moottori voi saavuttaa 95–100 %, 2 venttiiliset 85–95 % ja viritetyt kilpamoottorit vapaasti hengittävänä jopa 105–110 % hyötysuhteen. Ahdetuissa ajoneuvoissa hyötysuhde voi nousta huomattavasti näitäkin korkeammalle ilman tiheyden kasvaessa. Korkein hyötysuhde saavutetaan yleensä vääntöhuipun kohdalla suurilla kierrosalueilla. Saavutettavaan hyötysuhteeseen vaikuttavat esimerkiksi imusarjan geometria, virtaavan ilman paine sekä lämpötila ja ilmamassa, joka riippuu pitkälti kierrosluvusta. (Haltech 2022: Tuning with VE (Volumetric Efficiency))

Moottorinohjauksen säätämisessä on otettava huomioon ulkoisten tekijöiden aiheuttamat vaikutukset: suuret ulkolämpötilan muutokset, auton rakenteesta johtuva imuilman lämpötilan nousu tai vaikkapa siirtyminen meren tasolta vuoristoon. Nykyaikaisissa ajoneuvoissa näistä aiheutuvat ongelmat ovat huomattavasti vähäisempiä suuren tunnistinmäärän takia, mutta ongelmaksi voi

muodostua vaikkapa talvikelissä hieman liian laihalle seokselle säädetty polttoaineensyöttö. Kesän helteellä sama moottori voi samoilla säädöillä toimia vaarallisen rikkaalla, etenkin jos VE-karttaa ei kompensoida imuilman lämpötilatunnistimen antaman tiedon mukaan.

Vaikka moottoriin virtaava ilmamäärän tilavuus olisi sama, on ilmassa olevien palotapahtumaan tarvittavien happimolekyylien määrä huomattavasti alhaisempi korkeammalle noustessa tai lämpötilan kasvaessa. Vastaavasti lähemmäs merentasoa mentäessä ja lämpötilan laskiessa, happimolekyylien määrä kasvaa.

## 2.5 Absoluuttisen ja suhteellisen paineen ero

Paine voidaan eri yhteyksissä ilmoittaa joko absoluuttisena paineena tai suhteellisenä paineena, joka tunnetaan myös kutsumanimellä mittaripaine. Esimerkiksi vallitseva ilmanpaine, ISO 2533:1975 mukainen standardipaine, on absoluuttisena paineena ilmoitettuna noin 103.25 kPa / 1.013 bar / 14.7 PSI. Suhteellinen paine taas kertoo, kuinka paljon mitattava paine eroaa vallitsevasta ilmanpaineesta.

Ilmanpaineen esitystavalla on suuri merkitys, koska eri moottorinohjausjärjestelmien valmistajat käyttävät vaihtelevasti absoluuttista ja suhteellista painetta ohjelmistoissaan erilaisissa säätökartoissa sekä antureiden asetuksissa. Virheelliset asetukset voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa suuria ongelmia ja moottorin rikkoutumisvaaran, jos esimerkiksi ahtopaineen säädössä tehdään virhe eikä tarvittavia suoja mekanismeja ole asetettu.

### 3 Ilman ja polttoaineen suhde

Moottorinohjauksen yhtenä päätehtävänä on olla vastuussa polttoaineen suihkutuksen määrän säätämisestä moottorin sisään virtaavaan ilmamassaan verrattuna. Tätä seossuhdetta kuvataan termillä lyhenteellä AFR tai A/FR (Air Fuel Ratio), joka tarkoittaa ilman molekyylien massaa suhteessa polttoaineen molekyylien massa.

Bensiinin osalta teoreettisesti oikea seossuhde on 14,7:1 ja tätä kutsutaan stoikiometriseksi seossuhteeksi. Tämä tarkoittaa, että seoksessa on 14,7 kiloa ilmaa 1 kiloa polttoainetta kohden. Stoikiometrinen seossuhde on riippuvainen käytettävästä polttoaineesta.

Moottoria käytettäessä tasaisella pyörimisnopeudella ja kaasuläpän asennon pysyessä samassa asennossa virtaa moottoriin koko ajan saman verran ilmaa. Polttoaineseoksen ollessa yli stoikiometrinen seossuhteen, pidetään seosta laihana eli ilman määrä on yli 14.7 suhteessa 1 bensiiniä. Vastaavasti alle stoikiometrinen seossuhde osoittaa moottorin käyvän rikkaalla, jolloin ilmaa virtaa vähemmän kuin 14.7 osaa suhteessa 1 bensiiniä. (Bell 2007, 7:1–2)

Yleisesti on suositeltavaa käyttää lambda-arvoa esitystapana, jos moottorinohjausyksikön ohjelmisto sen vain sallii. Tällöin ei ole tarvetta laskea muutoksia polttoaineen määrittelystä stoikiometrisestä arvosta esimerkiksi eri polttoaineeseen vaihtaessa, vaan voi olla jopa mahdollista valita suoraan valikosta käytettävä polttoaine. Lambda-arvo on laskettavissa kaavalla

$$\text{Lambda} = \frac{\text{Mitattu AFR}}{\text{Stoikiometrinen AFR}}$$

jolloin saatava arvo on välillä 0–2, arvon 1 ollessa stoikiometrinen seossuhde. Alle yhden lukemat tarkoittavat rikasta seosta ja vastaavasti yli yhden lukemat laihaa seosta. Täten on mahdollista todeta, että esimerkiksi 0.85 lambda-arvo kertoo suoraan seoksen olevan 15 % rikkaalla välittämättä polttoaineen ominaisuuksista tai AFR-arvoista. On huomattavasti helpompaa hahmottaa

prosentuaalista eroa, verrattuna vaikka 12.5:1 ja 14.7:1 seossuhteen eroon verrattuna. (X-Engineer 2023)

### 3.1 Polttoaineen ominaiskulutus

Polttomoottorin hyötysuhde ei ole yleisesti kovin hyvä vaan suuri osa polttoaineen energiasta muuttuu lämmöksi sekä ääneksi ja loppujen lopuksi suhteellisen pieni osuus energiasta tuottaa vääntöä kampiakselille.

Moottoreiden suunnitteluperiaatteissa on kuitenkin eroja, jonka vuoksi kaksi yhtä paljon vääntöä tuottavaa moottoria voivat kuluttaa huomattavan erilaisen määrän polttoainetta. Samoin on mahdollista, että kaksi saman yhtä paljon polttoainetta kuluttavaa moottoria voivat tuottaa huomattavasti eri tavalla vääntöä kierrosalueella.

Moottorin hyötysuhdetta tarkastellessa voidaan laskea polttoaineen ominaiskulutus (BSFC, Brake Specific Fuel Consumption), joka mittaa kuinka paljon polttoainetta tarvitaan tuottamaan 1 hevosvoima yhden tunnin aikana. Jotta laskenta on mahdollista, lähtötiedoiksi tarvitaan paljonko moottori käyttää polttoainetta ja paljonko tehoa se tuottaa.

$$BSFC = \frac{r}{P}$$

Jossa:

$r$  on polttoaineenkulutus grammoina sekunnissa (g/s)

$P$  on teho watteina, joka muodostuu lausekkeesta  $P = T\omega$ , (W) jossa

$\omega$  on moottorin kierrosluku radiaaneina (rad/s)

$T$  on moottorin vääntömomentti (nm)

Yleisesti lopputulos ilmoitetaan grammoina kilowattituntia kohden (g/kWh) seuraavan kaavan avulla:

$$BSFC [g/(kW \cdot h)] = BSFC [g/J] \times (3.6 \times 10^6)$$

Polttoaineen ominaiskulutukseen vaikuttavat useat eri asiat, kuten muun muassa sylinterikannen ja nokka-akselien suunnittelu, moottorin jäähdytys ja puristussuhde. Ahdetuissa ajoneuvoissa voidaan käyttää suurempaa polttoainemäärää palotapahtuman lämpötilan hallinnassa, jolloin tämä ylimääräinen polttoaine menee hukkaan lämpönä. Samaa periaatetta käytetään myös ilmajäähdytteisten moottoreiden kanssa, jolloin rikas seossuhde mahdollistaa lämpötilanhallinnan.

Yleisimpien moottorityyppien BSFC arvot liikkuvat yleensä seuraavilla väleillä:

- Vapaasti hengittävä kaasutinmoottori 0.48–0.55
- Vapaasti hengittävä moottori polttoaineen suihkutuksella 0.45–0.50
- Ahdettu kaasutinmoottori 0.58–0.65
- Ahdettu moottori polttoaineen suihkutuksella 0.55–0.60

Vaikka arvot ovat yleisiä ohjearvoja, voivat jotkut ajoneuvot erota näistä huomattavasti. Esimerkiksi turboahdetun ilmajäähdytteisen Porsche 911 -mallin BSFC-arvo on jopa yli 0.70, kun taas moderni Honda K20A -moottori saavuttaa jopa arvon 0.30. Mitä korkeampi BSFC-arvo on, sitä enemmän energiaa menee hukkaan muuhun kuin vääntömomentin tuottamiseen.

Yleisesti polttoaineen ominaiskulutus on tärkeä tekijä moottorivalmistajille kun yritetään optimoida polttoainetaloudellisuus. Jos taas tarkoituksena on rakentaa viritetty harraste- tai kilpa-ajoneuvo, voidaan kyseisiä laskelmia käyttää suuttimien ja polttoainepumpun tuoton mitoituksen arvioimiseen. Koska polttoaineenkulutuksesta ei välttämättä ole absoluuttista faktatietoa, on hyvä käyttää hieman suurempia BSFC-arvoja laskelmissa, jotta varmistetaan riittävä vara ylöspäin.

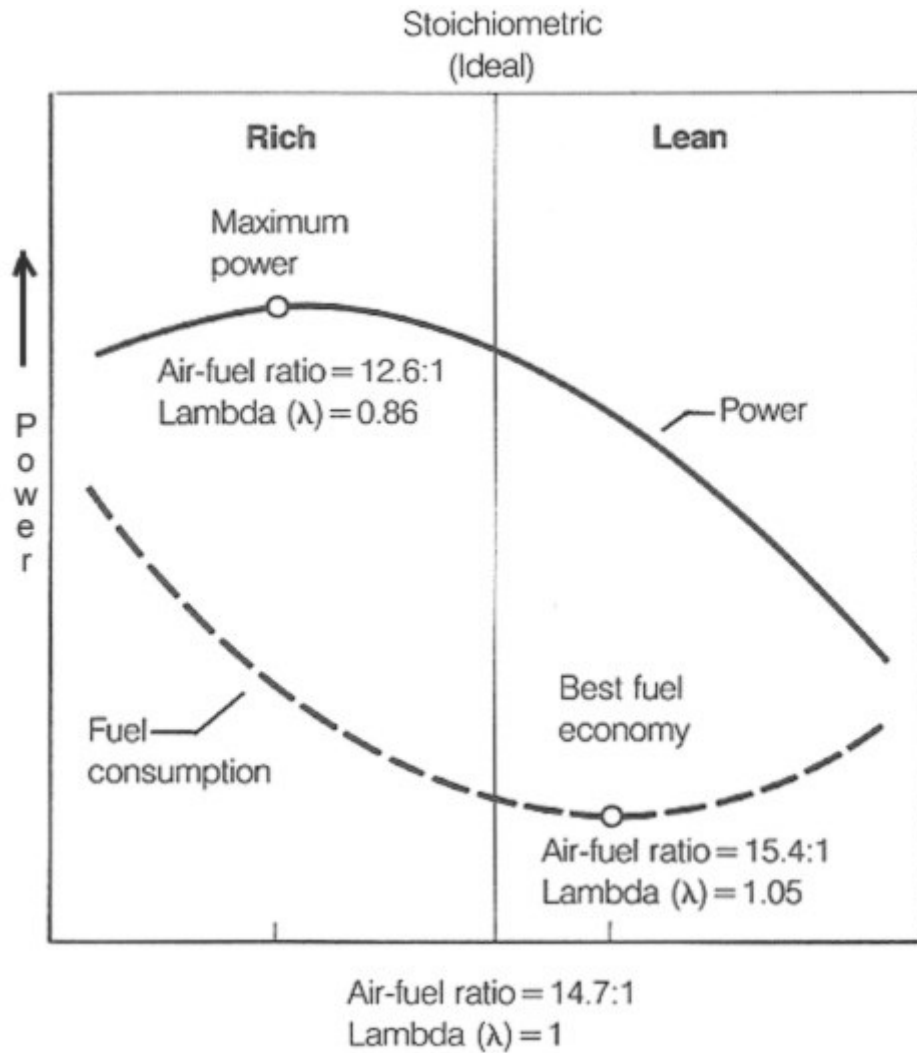
### 3.2 Sopivan ilma-polttoainesuhteen valintaperiaate

Polttoaineseossuhteen valinnalle ei ole yhtä ainoaa ohjetta, vaan erilaiset moottorit saattavat vaatia hyvin erilaisia säätöjä. Yhtenä syynä on tyypillisesti moottorien erilaiset suunnitteluperiaatteet. Huomioitavaa on, että yksi ainoa

polttoainesuhde ei toimi kaikissa tilanteissa kierrosluvun tai kuorman muuttuessa. Asiaa kuitenkin helpottaa se, että arvio ilmassa määräästä on suoraan verrannollinen moottorin iskutilavuuden, kierrosluvun ja volumetrisen hyötysuhteen suhteen, kun huomioon ei oteta esimerkiksi säätyviä nokka-akseleita.

Polttoaineen määrää saatetaan joutua lisäämään optimaaliseen stoikiometriseen seossuhteeseen verrattuna. Esimerkiksi palotapahtuman lämpötilaa voidaan alentaa lisäämällä polttoainetta, joka taas omalta osaltaan vähentää esimerkiksi nakutuksen mahdollisuutta. Toisaalta on otettava myös huomioon päästöt sekä polttoaineenkulutus, jotka vaikuttavat suuresti seossuhteen valintaan.

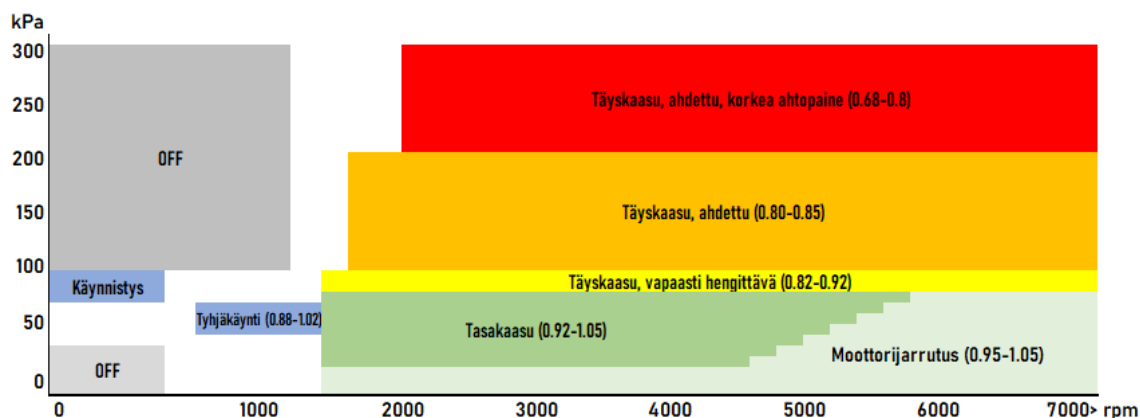
Yleisesti suurin vääntömomentti saadaan tuotettua moottorista aavistuksen rikkaalla seoksella. Toisaalta huomataan myös, että niin liian rikas kuin laiha seos aiheuttaa tehohäviötä. Yleissääntönä voidaan pitää, että tasakaasulla matkanopeudella ajettava kierrosalue on hyvä säätää etenkin katuautossa hieman laihalle paremman polttoainetaloudellisuuden vuoksi. Kierrosluvun sekä kuormituksen kasvaessa on taas hyvä rikastaa seosta parhaan tehon sekä moottorin luotettavuuden saavuttamiseksi. (Kuva 6.)



Kuva 6. Seossuhteen vaikutus moottorin toimintaan (Bosch 2018)

Koska moottorin vääntömomentin määrittää pitkälti sisään virtaavan ilman massa ja tätä kautta määriteltävä polttoaineen seossuhde, on hyvä varmistaa ilma-polttoaineseoksen kunnollinen sekoittuminen ennen palotapahtumaa. Kaasuläpän ollessa avoinna moottorin imusarjassa ilmenee turbulensseja, jolloin hieman rikkaalla seoksella pystytään helpottamaan ilma-polttoaineseoksen sekoittumista. Koska ilmaa ja polttoainetta menee enemmän moottoriin, nousee tällöin myös palotapahtuman lämpötila energiamäärän kasvaessa, joka saattaa aiheuttaa nakutusherkkyttä tai aiheuttaa moottorin lämmönsietokyvyn ylittymisen.





Kuva 7. Seossuhdevaihtelut eri käyttötilanteissa

Yleisesti tyhjäkäynti toimii hyvin stoikiometrisellä tai hieman rikkaalla seossuhteella ( $\lambda$  0.97–1), mutta esimerkiksi jyrkällä nostolla olevien nokka-akseleiden kanssa voidaan joutua rikastamaan seosta jopa  $\lambda$ -arvon 0.9–0.95 alueelle hyvän tyhjäkäynnin saavuttamiseksi. Tähän syynä on ns. overlap eli venttiilien samanaikainen aukiolo, jolloin palamatonta polttoainetta voi päästä pakoverntiilien kautta pakoputkistoon, joka vääristää  $\lambda$ -anturin arvoa hieman.

Polttoaineseoksen rikastamisessa on myös rajansa ja tällöin ensimmäisinä oireina voi ilmetä tulppien kastuminen ja esimerkiksi sylinterin voitelukalvon pois peseytyminen. Erittäin rikkaalla seoksella ongelma voi kasvaa jopa niin suureksi, että palamatonta polttoainetta pääsee männänrenkaiden ohi öljytilaan heikentäen öljyn voiteluominaisuuksia ja aiheuttaen täten moottorin kulumista öljyn viskositeetin laskiessa liikaa.

Tieliikennekäytössä oleva auto viettää suurimman osan ajastaan graafissa (Kuva 7.) esitetyn tasakaasun alueella, jolloin kaasupoljinta pidetään vain hieman painettuna ja ajoneuvon nopeus pysyy suhteellisen vakiona. Tällöin seossuhde pysyy noin 0.95–1.05 alueella riippuen moottorin teknisistä ominaisuuksista kuten nokka-akseleiden noston määrästä.

Täyskaasun alueelle noustessa lähennytään ympäröivää ilmanpainetta ja palotapahtuman lämpötila nousee huomattavasti ilmassan noustessa. Polttoaineseosta rikastetaan ja seossuhde säädetään yleensä välille 0.85–0.92,

joka yleisesti tarjoaa parhaimman vääntömomentin vapaastihengittävässä moottorissa.

Vapaastihengittävässä moottorissa tämä tarkoittaa, että kaasuläppä on avattu täysin, ahdetussa moottorissa taas nousua ylipaineen puolelle verrattuna ympäröivään ilmaan. Mitä enemmän ilmamassaa puristetaan moottoriin, sitä enemmän pitää lisätä polttoainetta ilman suhteen estämään palotapahtuman lämpötilannousua ja mahdollista nakutusta. Alle 2 bar ahtopaineella olevien moottoreiden seossuhteet ovat yleensä luokkaa 0.82–0.85 joka tarjoaa parhaan vääntömomentin. Ahtopaineen noustessa tätä ylemmäs joudutaan rikastamaan seosta jopa 0.7 paikkeille aiemmin mainittujen syiden vuoksi.

### 3.3 Laiha polttoaineseos

Yleisesti laihaa polttoaineseosta pidetään vaarallisena asiana ja sen aiheuttamat vaarat kuten detonaatio tai moottorin vaurioituminen ovat todellisia riskejä. Kuitenkin normaali vakionopeudella kuljettu ajo vaatii yleisesti vain noin 20–30 % ajoneuvon tarjolla olevasta maksimaalisesta vääntömomentista. Tällaisessa tilanteessa moottorin rasitus tai lämmöntuotto ei yleisesti nouse niin korkeaksi, että rikkaasta seoksesta olisi mitään suurta hyötyä, jonka vuoksi seossuhdetta voidaan laihentaa polttoainetaloudellisuuden nimissä jopa yli stoikiometrisen arvon ( $\lambda=1.0-1.05$ ) vaikka se aiheuttaisi lievää tehohäviötä.

Laihan polttoaineseoksen tuomaa lämpökuormaa ja nopeampaa palotapahtumaa voidaan taasen kompensoida vähentämällä sytytysennakkoa, joka osaltaan auttaa alentamaan pakolämpötilaa. Tällöin on kuitenkin pidettävä huoli, että seossuhde rikastuu riittävästi moottorin kuormittumisen lisääntyessä ja ettei lämpökuorma nouse liian suureksi pidemmällä aikavälillä. Tällä saavutetaan suurin polttoaineseostästä alhaisessa rasituksessa, mutta toisaalta liian laiha seoksella voidaan joutua tilanteeseen, että nopeuden ylläpitämiseksi joudutaan painamaan kaasupoljinta enemmän ja tätä kautta avaamaan kaasuläppää sekä rikastamaan seosta, joka estää hyötyjen

saavuttamisen. Liian laiha polttoaineseos voi myös lisätä haitallisten typen oksidien (NO<sub>x</sub>) ja hiilivetyjen (HC) päästöjä.

## 4 Moottorielektronikan peruseriaatteen

Aikaisemmin esimerkiksi kaasutinkäyttöisten autojen säätäminen vaati huomattavan paljon mekaanista työtä. Tämä yleensä tarkoitti moottoritulassa tehtäviä töitä, jolloin ajoneuvon mekaaniseen ja sähköiseen puoleen kanssa oli pakollisesti enemmän tekemisissä, jonka vuoksi mahdolliset vikakohteet saattoivat tulla vastaan helpommin. Nykypäivänä säätäminen voi keskittyä lähes pelkästään kannettavan tietokoneen ja ohjelmiston käyttöön ja vianetsintä voi jäädä tästä syystä vähäiseksi ja ongelmia yritetään ratkoa enemmänkin ohjelmallisesti. Toisaalta nykypäivän diagnostiikkamahdollisuudet ovat huomattavasti paremmat vaikka tunnistimien ja toimilaitteiden määrät ovat kasvaneet huomattavasti.

Ongelmaksi saattaa muodostua mukavuudenhalu, jolloin käytetään turhaa aikaa moottoriohjauksjärjestelmän säätämiseen sekä asetusten muuttamiseen eikä oteta huomioon esimerkiksi antureiden ja johtosarjan vikaantumisia tai kytkentävirheitä. Eri lähteiden mukaan suurin osa tehodynamometrissä ilmenneistä vioista johtuu juuri näistä syistä. Tämän takia olisi hyvä ymmärtää ainakin hieman sähkötekniikan perusteista sekä olla kohtuulliset valmiudet mitata erilaisia tunnistimia ja toimilaitteita sekä niiden liitäntöjä.

Sähkötekniikan perusteet on hyvä tuntea ja ymmärtää termit jännite, sähkövirta ja resistanssi ja näiden välinen suhde toisiinsa. Näiden ymmärtäminen helpottaa vianetsintää tilanteissa, joissa viat aiheutuvat esimerkiksi johtosarjan fyysisistä vioista.

Jännitteen yksikkö on SI-järjestelmässä voltti (V) ja tästä käytetään lyhenteenä symbolia U. Jännite kertoo virtapiirin kahden pisteen välillä vallitsevan potentiaalienergiaeron. Jännite voidaan kuvitella esimerkiksi paineena virtapiirissä kahden pisteen välillä, jolloin jännitteen noustessa varaus siirtyy helpommin piirissä.

Virta mitataan ampeereissa (A), jolle on annettu symboli I, joka kertoo virtapiirin läpi kulkevan varauksen määrän aikayksikössä. Virtapiirin läpi kulkevan

varauksen määrä on riippuvainen jännitteestä sekä resistanssista, joka ilmoitetaan SI-järjestelmän mukaan tunnuksella ohmi ( $\Omega$ ). Resistanssi on virtapiirin sähkövirtaa vastustava voima, joten vastuksen noustessa piirin virta laskee.

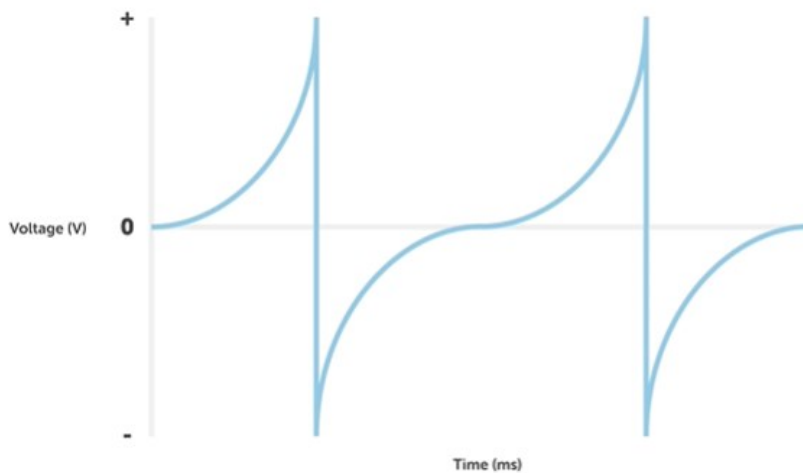
Kyseinen tapahtuma tunnetaan sähköopissa Ohmin lakina, eli tarkemmin kaavana

$$\text{Virta } (I) = \text{Jännite } (U) * \text{Resistanssi } (R)$$

On tärkeää muistaa, että virtapiirissä virran kasvu lisää lämmöntuottoa, joka on otettava huomioon esimerkiksi johtimia mitoittaessa. Johtimien pituuksien kasvaessa on tärkeää varmistaa niiden riittävä poikkipinta-ala, etenkin jos kyseessä ovat enemmän virtaa vievät toimilaitteet kuten sytytyspuolat tai polttoainepumppu.

Yleensä moottorinohjausjärjestelmät eivät perustu pelkkään tasavirtaan, joten ulostuloille ei riitä pelkästään päälle-pois tyyliset ohjaukset. Esimerkiksi induktiiviset anturit tuottavat siniaaltoista jännitteenvaihtelua ja Hall-anturi kantiaaltoista jännitteenvaihtelua ja ulostuloissa hyödynnetään esimerkiksi PWM-modulaatiota eli pulssisuhteen muutoksella tehtävää ohjausta. Näistä erityisen tekee se, etteivät ne ole yleensä tarkasti mitattavissa pelkän yleismittarin avulla vaan tarkempaan tarkasteluun vaaditaan oskilloskooppi.

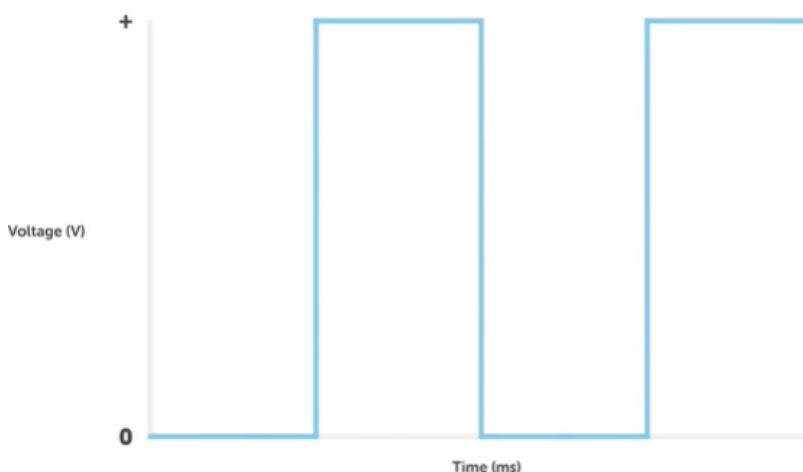
Vaihtovirta on sähkövirtaa, jonka suunta vaihtelee jatkuvasti ajan funktiona (+/-). Täten on myös muistettava, että virran suunnan vaihtuessa myös jännite vaihtuu positiivisen ja negatiivisen välillä. Alla oleva esimerkki pätee esimerkiksi kampiakselin magneettisen tunnistimeen, antaen moottorinohjausyksikölle tiedon moottorin kierrosnopeudesta.



Kuva 8. Magneettisen anturin jännitteen muutos.

Kuvaajasta voidaan nähdä jännitteen nousu, kun kampiakselin triggeripyörän hammas saavuttaa tunnistimen kohdan sekä jännitteen tippumisen negatiiviseksi, kun magneettikenttä heikkenee hampaan ohittaessa tunnistimen.

Toisaalta toteutus voidaan tehdä myös erilaisilla digitaalisilla tai optisilla tunnistimilla, kuten Hall-anturilla. Tällöin jännitetieto tulee kanttiaallon muodossa, eli anturin ulostulo vaihtelee matalan ja korkean jännitteen välillä alla olevan kuvan mukaisesti.



Kuva 9. Hall-tyyppinen jännitekäyrä.

PWM-ohjausta taasen käytetään monien toimilaitteiden ohjaamiseen, kuten esimerkiksi polttoainesuuttimien, nokka-akseleiden ajoituksen säätöön tai ahtopainesolenoidin ohjaukseen. Samalla tekniikalla voidaan säätää myös vaikkapa sähköisen vesipumpun kierrosnopeutta.

Käytännössä PWM-ohjaus toimii yllä olevan kanttiaallon mukaisesti, mutta tämän lisäksi voidaan määritellä aikamääre, kuinka kauan jännite on päällä tai pois. Sitä voidaan verrata perinteiseen valojen himmentimeen, jonka avulla pystytään määrittelemään valon voimakkuus aina sammuksissa olevasta kirkkaasti loistavaan portaattomasti. Valon voimakkuus perustuu siihen, kuinka kauan valo on jännitteellisessä ja jännitteettömässä tilassa aikamääreeseen verrattuna.

## 5 Moottorinohjausjärjestelmän komponentit

Moottorinohjauksen keskeisenä tehtävänä on ottomoottorissa ohjata polttoaineensyöttöä sekä sytytyksen ajoitusta. Nykyaikaiset tunnistimet kuitenkin antavat huomattavasti suuremmat mahdollisuudet erilaisiin toimintoihin, aina nokkien ohjauksesta sähköiseen kaasuläppään, luistonestoon, eri tilanteisiin säätyvään ahtopaineeseen tai vaikkapa imutorven pituuden säätämiseen sähköisesti.

Ainoastaan mielikuvitus alkaa olemaan rajana, kunhan hyödynnettävät tunnistintiedot saadaan yhdistettyä moottorinohjausyksikköön. Osiossa on lueteltuna yleisimmät tunnistintyytit, joita tarvitaan moottorin optimaaliseen toimintaan. Näistäkään kaikkia ei ole pakko olla, mutta tällöin joudutaan varmasti tekemään kompromisseja eri toimintaolosuhteissa toimivuuden kannalta.

### 5.1 Nokka- ja kampiakselin asentotieto

Moottorinohjauksen keskeisenä tehtävänä on ohjata polttoaineensyöttöä sekä sytytyksen ajoitusta ja näiden toteutumiseen on tiedettävä vähintään moottorin pyörimisnopeus. Tämä toteutetaan kampiakselin asentotunnistimella (ohjelmistoissa esim. Reference Sensor / Ref. / Crank), joka pääasiallisesti sijaitsee kampiakselin hihnapyörän läheisyydessä tai joissakin tapauksissa esimerkiksi vauhtipyörän läheisyydessä. Nokka-akselin asentotunnistimen (Cam sensor) avulla saadaan tietoon missä kohtaa kiertoa moottori on ja esimerkiksi säätyvien nokka-akseleiden asentotiedot.

Pääasiallisesti mittaamiseen käytetään magneettisia tunnistimia, jotka mittaavat pyörimisnopeutta induktion avulla tai Hall-tyylisiä antureita, joiden toimintaperiaate perustuu magneettikentän muutokseen.



## 5.2 Kuorman laskenta

Sopivan polttoaineseoksen mahdollistamiseksi on moottorinohjausyksikön saatava tietoa ajoneuvon kuormituksesta, jonka avulla polttoaineen seossuhdetta on mahdollista laskea ja määrittää suhteessa moottorin kierrosnopeuteen. Kuorman laskenta voidaan toteuttaa monin eri tavoin riippuen moottorinohjausjärjestelmästä, imupuolen toteutuksesta ja moottorin antureista. Yleisesti käytössä on seuraavia tapoja tai näiden yhdistelmiä laskentaan, jotka kaikki tarvitsevat samalla myös tiedon moottorin kierrosnopeudesta sekä yleisesti tiedon kaasuläpän asennosta:

Imuilman paineentunnistin (Manifold Absolute Pressure, MAP), jonka avulla voidaan mitata imusarjan sisäistä absoluuttista painetta ja käyttää laskennan tarkentamiseen esimerkiksi imuilman lämpötilatunnistimen tarjoamaa tietoa. Laskennan kautta saadaan tietoon moottorin imemä ilmamäärä ja tämän avulla voidaan määrittää tarvittava polttoainemäärä.

Ilmamassamittari (Mass Air Flow, MAF), joka mittaa ennen imusarjaa moottoriin menevän ilman määrää. Laskennassa käytetään ilman määrää, jonka avulla saadaan tietoon ilmanvirtausnopeus minuutissa. Tämän lisäksi tarvitaan ilman tiheyttä ja lämpötilaa, joista kahdesta jälkimmäisestä riittää tasaisissa olosuhteissa vakioarvot, joskaan se ei ole suositeltavaa.

Kaasuläpän asentotunnistimen (Throttle Position Sensor, TPS) käyttäminen kuormituksen laskemiseen on nykyään vähemmän käytetty siviiliautoissa mutta edelleen hyvinkin yleinen vapaastihengittämissä kilpamoottoreissa. Tällöin kaasuläpän asentotunnistimen tarjoamalla tiedolla määritellään moottorin kuorma MAP- tai MAF-tunnistimen sijasta. Yleensä tarve tämän mukaiselle kuormituksenmittaustavalle tulee esimerkiksi esille läppärungoilla varustetussa moottorissa, jonka lyhyen imusarjan aiheuttamat painepulssit tuottavat imukanavassa nopeaa paineenvaihtelua. Tällöin painepulssit saattavat aiheuttaa ongelmia mittauksiin muilla mittaustavoilla etenkin alhaisemmillä pyörintänopeuksilla.

### 5.3 Imuilman lämpötilatunnistin

Imuilman lämpötilatunnistin on yleisesti sijoitettu bensiinimoottoreissa imusarjaan. Yleisesti tunnistimen toiminta perustuu kaksijohtoiseen avoimeen NTC-vastukseen ja se voidaan myös sisällyttää toiseen komponenttiin, esimerkiksi paineentunnistimeen tai ilmamäärän- tai ilmamassanmittariin.

Tunnistimen toiminta perustuu lämpötilan vaihtelun aiheuttamaan resistanssin muutokseen, jonka tieto syötetään moottorinohjausjärjestelmään. Monesti moottorinohjausjärjestelmän säätöohjelmiston asetuksista voidaan valita yleisimpiä lämpötila-antureita suoraan valikosta tai luoda säätökartta, jonka avulla määritellään vastusarvojen ja lämpötilan suhde toisiinsa.

Yleensä tiedot löytyvät anturin valmistajan tietolomakkeesta tai ajoneuvon valmistajan korjaamo-oppaasta. Arvot ovat myös helposti itse mitattavissa altistamalla tunnistin eri lämpötiloihin. Lämpötilan muuttuessa vastusarvot muuttuvat, ja kirjaamalla molemmat tiedot voidaan näistä muodostaa lämpötilan ja vastuksen välinen kuvaaja.

Imuilman lämpötilatunnistimen tarjoama tieto on yleensä hyvin tarkkaa oikein sijoitettuna ja kalibroituna. Ongelmia saattaa aiheuttaa esimerkiksi suuri ilman virtausnopeuden muutos, joka viilentää anturia äkillisesti tai vastaavasti ympäröivän materiaalin lämpösäteily ajoneuvon sammuttamisen jälkeen vääristäen lämpötilatietoa ylöspäin. Näissä tilanteissa moottorinohjausyksikkö saattaa laskea tarvittavan polttoaineen suihkutuspainetta tai sytytysennakon väärin, joka voi heikentää mm. käynnistyvyyttä hetkellisesti. Lämpötunnistimen toiminnallisuus on voitu myös yhdistää ilmamassamittariin, jolloin kuitenkin lämpötilatieto saadaan suhteellisen kaukaa itse imusarjasta. Tällä ei ole kovinkaan suurta merkitystä vapaasti hengittävissä moottorissa, mutta ahdetuissa ajoneuvoissa on otettava huomioon ahtimen tuottama imuilman lämmön nousu sekä välijäähdyttimen jäähdytysvaikutus. Tämä on voitu ottaa huomioon autonvalmistajan osalta esimerkiksi sijoittamalla toinen lämpötilatunnistin imusarjaan tai lähelle kaasuläppää.

#### 5.4 Jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin

Jäähdytysnesteen mittauksen periaate vastaa pitkälti kohdan 5.3 imuilman lämpötilatunnistimen toimintaa. Yleisesti toteutustapa on suojattu NTC-vastus, jonka avulla mitataan moottorin jäähdytysjärjestelmän nesteen lämpötilaa.

Vaikka toimintaperiaate on sama, ovat tunnistimet selkeästi fyysiseltä olemukselta valmistettu eri mittauksia varten. Imuilman osalta anturin nopea reagointi on tärkeää, kun taas jäähdytysjärjestelmässä tunnistimen pitää kestää jatkuvaa kosketusta nesteeseen. Tämän takia jäähdytysnesteen lämpötilatunnistimet reagoivat hitaammin muutoksiin, mutta tällä ei ole konkreettista vaikutusta moottorinohjausjärjestelmän toimintaan.

Tunnistimen avulla moottorinohjausyksikkö saa tiedon moottorin lämpötilasta, jonka avulla säädetään esimerkiksi kylmäkäynnistysrikastusta, polttoaineen suihkutusta sekä sytytystä kompensatiokarttojen avulla. Tunnistintietoa käytetään nykyään yleisesti myös jäähdyttimen tuulettimen ohjaamiseen ohjelmallisesti sekä sitä voidaan hyödyntää erilaisissa turvakäytännöissä esimerkiksi lämpötilan noustessa yli määrätyn rajan.

#### 5.5 Kaasuläpän asentotunnistin

Kaasuläpän asentotunnistimen (TPS, throttle position sensor) tehtävänä on yleisesti antaa moottorinohjausjärjestelmälle tietoa kaasuläpän asennosta sekä asennon muutoksista. Tämän anturitiedon avulla pystytään säätämään kiihdytysrikastuksen määrää, jolloin moottorinohjauksen on mahdollista kompensoida seoksen muutosta, kun kaasuläppä avataan tai suljetaan äkillisesti.

Moottorinohjaus saa myös tiedon asentoanturilta tiedon kaasuläpän sulkeutumisesta ja tätä tietoa käytetään esimerkiksi tyhjäkäyntimoottorin kytkemiseen tai sytytyksen säätämiseen tasaisemman tyhjäkäynnin saavuttamiseksi.

## 5.6 Happitunnistin

Happitunnistimen tehtävä on mitata palaneen polttoaineseoksen jäännöshapen määrää, jonka avulla moottorinohjausyksikkö pystyy säätämään polttoaineen suihkutusta ennalta määrätyissä rajoissa. Happitunnistintyyppinä on käytössä kahta erilaista, kapeakaista- ja laajakaistalambda. Näiden pääasiallisena erona on mittaustarkkuus ja tätä kautta seoksen säätämisen tarkkuus.

Kapeakaistalambda antaa tiedon siitä, onko seos suurin piirtein stoikiometrinen ja toimii yleisesti 0-1V jännitevälillä. Pääosin kapeakaistalambdaa käytetään OEM-sovelluksissa, jolloin moottorinohjaus on niin pitkälle säädetty, että lambdatiedon avulla tehdään vain pieniä hienosäätöjä seossuhteeseen, jotka vaikuttavat pakokaasupäästöihin ja katalysaattorin toimintaan. Optimitilanteessa katalysaattoria ajatellen seoksen olisi hyvä vaihdella hieman laihan ja hieman rikkaan välillä stoikiometrisen seossuhteen ympärillä katalysaattorin optimaalisen toiminnan varmistamiseksi. Yleisesti happitunnistimet ovat joko 2- tai 4-johtoisia riippuen siitä, sisältääkö tunnistin lämmityselementtiä, jonka avustuksella anturi saadaan nopeammin käyttölämpötilaan.

Laajakaistalambdan avulla voidaan mitata tarkka seossuhde, jonka tietoa on mahdollista käyttää niin säätämässä kuin laajemmista seoksen muutoksista. Tällöin myöskään seoksessa ei ole tarvetta tähdätä stoikiometriseksi, vaan voidaan säätää eri käyttötilanteissa erilaiseksi. Laajakaistalambda on yleensä 6-johtoinen, toimien 0–5 V jännitevälillä ja käyttää ulkoista tai moottorinohjausyksikköön sisään rakennettua ohjainlaitetta. Yleisesti etenkin jälkiasenteisesta laajakaistaohjaimissa on myös ulostulo kapeakaistatiedolle, jolloin mittaria pystytään käyttämään myös alkuperäisen moottorinohjausyksikön kanssa.

Nykyään laajakaistatyyppiset anturit ovat yleisessä käytössä säätöantureina tehdasvalmisteisissa autoissa. Niiden lisänä voidaan käyttää kapeakaista-anturia, joka on yleensä sijoitettu katalysaattorin jälkeen. Sen tehtävänä on varmistaa pakokaasunpuhdistuslaitteiston toimivuus, mutta sen antamaa tietoa hyödynnetään joskus myös seoksen säätämässä.

## 5.7 Nakutustunnistin

Moottorille vaarallisimpia tilanteita säätämiseen ja säätöihin liittyen on polttoaineseoksen ennenaikainen syttyminen tai nakutus. Näitä voivat aiheuttaa esimerkiksi liian laiha seossuhde tai väärä sytytyksen ajoitus joko vian tai virheellisten säätöjen takia. Tällöin nakutustunnistimen tarjoaman tiedon avulla voidaan luoda erilaisia turvamekanismeja, joiden avulla voidaan välttyä mahdollisesti suuremmilta vaurioilta. Nakutustunnistin perustuu piezo-elementtiin, joka muuttaa moottorin värinät luettavaan jännitetietoon; suurempi värinä aiheuttaa korkeamman jännitteen ulostulon anturilta (Schneehage 2020).

Tämän jännitetiedon avulla voidaan tehdä erilaisia turvajärjestelyjä, kun nakutusta havaitaan; näitä ovat esimerkiksi ajoituksen myöhäistäminen, polttoaineen suihkutuksen lisääminen, ahtopaineen vähentäminen tai jokin näiden yhdistelmistä. (Haltech 2023)

Nakutus tapahtuu myös yleensä samanlaisella äänentaajuudella, joka vaihtelee jonkin verran sylinterin halkaisijan mukaan ja voidaan kohtuullisen tarkasti laskea seuraavalla kaavalla:

$$\text{Nakutuksen taajuus} = \frac{900000}{(\pi \times 0.5 \times \text{sylinterin halkaisija})}$$

Nykyaikaiset moottorinohjausjärjestelmät pystyvät prosessoimaan signaalia erittäin laadukkaasti ja tätä kautta osaa tunnistaa entistä paremmin oikean nakutuksen kaikista muista moottorin sivuäänistä, kunhan suodatettava taajuus on asetettu oikein.

Samaa tunnistinta voidaan käyttää hyödyksi myös nakutuskuulokkeiden kanssa, jolloin anturilta tuleva signaali vahvistetaan kuulokkeille ääneksi. Pienen harjoittelun jälkeen on mahdollista havaita suhteellisen helposti epänormaalit nakutusäänet koneen käyntiäänien seasta niiden muistuttaessa hieman metallista rapinaa.

## 5.8 Sytytyksen ohjaus

Moottorinohjauksen yksi päätehtävä on sytytyspuolien ohjaus, jolla varmistetaan oikea-aikainen polttoaineseoksen sytyttäminen palotilassa puolien ja tulppien avulla. Sytytysjärjestelmässä puolan tehtävänä on ladata huomattavan suuri jännite kipinä varten, jolloin 12 voltin sähköjärjestelmästä voidaan tuottaa jopa yli 20,000 voltin kipinä sytytystulpalta.

Jotta näin tehokas kipinä voidaan tuottaa, on puolalle annettava aikaa latautua. Ajoneuvon akku toimii sytytyspuolan jännitelähteenä ja sytytyspuola koostuu primääri- ja sekundääripuolen käämityksistä. Sytytyspuola saa signaalin ajoneuvon moottorinohjausyksiköltä tai sytytysyksiköltä, joka määrittää sytytyspuolan oikean hetken ja ajan puolan primäärikäämille syötettävälle virralle. Sytytysjärjestelmän salliessa virran kulun, pääsee virta primäärikäämille keräten energiaa magneettikenttään. Sytytyshetken lähestyessä sytytysjärjestelmä keskeyttää virran kulun primääripuolelle, joka puolestaan indusoi suuremman jännitteen sekundääripuolelle. Lopulta virta purkautuu sytytystulpan kautta sähkökipinä palotilaan.

Tärkeä yksityiskohta kokonaisuudessa on latausaika (dwell), joka määrittelee ajan, kuinka kauan puolaan varataan energiaa. Liian lyhyellä latausajalla puola ei ehdi tuottamaan tarpeeksi suurta jännitettä tulpalle, joka heikentää kipinää Toisaalta, koska puola pystyy varaamaan energiaa vain määritetyn ajan, myös liian pitkä varausaika voi aiheuttaa lämpöongelmia, vaurioittaa puola tai purkaa jännitteen itsestään väärään aikaan. Latausaikaa määriteltäessä on otettava aina huomioon puolan valmistajan määritykset sekä vallitseva jännite, sen vaikuttaessa puolan varautumisen nopeuteen. Varausaika määritellään yleensä millisekunteinä ja yleisesti 14-voltin jännitteellä puolien varausaika on 1–3 ms luokkaa. Tämä on kuitenkin aina hyvä tarkistaa valmistajan taulukoista tai mitata oskilloskoopilla, koska latausajoissa on suuria eroja puolatyyppien ja valmistajien välillä.

Moottorinohjausyksikköä valitessa on hyvä varmistaa sytytyksen ohjauksien määrä sekä puolien soveltuvuus. Joissain tilanteissa on tarvetta hankkia

erillinen sytytysyksikkö, jolla voidaan ohjata pääteasteettomia puolia. Vaihtoehtona on myös käyttää esimerkiksi coil-on-plug-tyylisiä pääteasteen sisältäviä puolia, jolloin lähes kaikki yleisimmät moottorinohjausyksiköt pystyvät ohjaamaan näitä suoraan. Yleisimmin nämä puolatyypit eroavat ulkoisesti toisistaan liittimen pinnien määrästä; yleisimmin pääteasteettomissa puolissa on vain kaksi pinniä, kun pääteasteellisissa on pinnejä kolme tai enemmän.

Sytytyksen ohjaus voidaan jakaa useampaan päätyyppiin. Aiemmin yleisessä virranjakajatyypisessä ohjauksessa käytetään yhtä puolaa, jonka tuottama jännite viedään oikealle tulpalle virranjakajan kautta ja ajoitus toteutetaan esimerkiksi alipaineen tai keskipakosäätimen avulla. Tämän tyypisessä sytytysjärjestelmässä ongelmia aiheutuu esimerkiksi virranjakajan osien kulumisesta, joka saattaa heikentää sytytystä tai aiheuttaa epätarkkuutta sytytyksen ajoitukseen. Yhden puolan käyttäminen luo myös rajoitteita puolan latausajalle etenkin korkeilla kierroksilla.

Näistä siirryttiin pääasiallisesti hukkakipinäsytytykseen (wasted spark), jolloin neljää sylinteriä varten käytetään kahta puolaa. Tällöin puola antaa kipinän tulpalle puristustahdissa olevaan sylinteriin, mutta koska puola on liitettyä kahteen sytytystulppaan, myös vastakkaisessa eli pakotahdissa oleva sylinteri saa kipinän. Tämä kipinä menee täysin hukkaan, josta nimikin juontuu. Yleisimmin tämän tyylinen järjestelmä riittää pitkälle tehokkaiiinkin ajoneuvoihin, mutta huomattavan korkeat kierrosluvut voivat rajoittaa puolan varausaikaa ja tätä kautta heikentää kipinää liiaksi.

Nykyaikaisilla moottorinohjausjärjestelmillä yleisin ja suositeltavin tapa on käyttää vuorottaista sytytystä (sequential- / direct spark), jolloin puolaa ladataan ja puretaan varaus vain oikea-aikaisesti. Tällöin oletuksena on, että moottorinohjaus saa kampi- ja nokka-akselin tunnistimilta laskettua tiedon, jonka avulla työsyklin vaihe on mahdollista määrittää ja ajoittaa sytytys oikea-aikaisesti oikeaan sylinteriin. Tällöin myös puolilla on riittävä aika latautua täyteen varaukseen ennen sytytyshetkeä.

## 5.9 Suuttimien ohjaus ja impedanssi

Toiseksi päätehtäväksi voidaan lukea polttoaineensyötön ohjaus, jonka avulla määritellään palotilaan syötettävän polttoaineen määrä. Moottorinohjausyksikön ominaisuudet määrittävät, kuinka montaa suutinta pystytään ohjaamaan ja millä tavalla polttoaineen suihkutusta toteutetaan.

Yksinkertaisin on samanaikainen polttoaineensuihkutus (batch / group fire), jolloin kaikkia suuttimia ohjataan samaan aikaan ja polttoainetta suihkutetaan jokaiseen sylinteriin jokaisella kampiakselin kierroksella eli kahdesti työkiertoa kohti. Tällöin suihkutustapahtuman aikaa ei voida määrittellä sylinterikohtaisesti, vaan osa suuttimista suihkuttaa polttoainetta vasten suljettuja imuventtiilejä. Tämä suihkutustapa oli aikaisemmin yleinen korkeatuottoisten suuttimien ollessa kalliita. Pienempien suuttimien valintaan autoteollisuudessa syynä olivat yleensä halvempi hinta sekä tarkkuus alhaisilla kierroksilla. Polttoaineen suihkutuksen pienempi määrä kuitenkin riitti, koska suihkutusta tapahtui kaksi kertaa työkierron aikana. Ongelmaksi voi kuitenkin muodostua esimerkiksi tyhjäkäynti ja hyvin alhaiset kierrokset, kun eri sylintereiden seossuhteissa voi olla suuria eroja johtuen työtahdin vaiheesta. (Bell 2007, 7:23)

Nykyään yleisin ja suositeltu tapa on vuorottainen polttoaineensuihkutus (sequential), jolloin jokaista suutinta ohjataan yksilönä. Tämän mahdollistamiseksi on moottorinohjauksessa oltava riittävästi suutinhjausten lähtöjä, eli vähintään yksi per sylinteri. Tällöin suuttimen suihkutusta tapahtuu ainoastaan silloin, kun työkierto on lähestymässä imutahtia. Tämän mahdollistamiseksi moottorinohjauksella on kuitenkin oltava tieto nokka-akselin asentotunnistimelta, jolta saadaan tieto missä kohtaa työkiertoa mikäkin sylinteri on. (Bell 2007, 7:24–25)

Säätöohjelmistoissa saattaa myös esiintyä sanat ”staged injection” eli kaksisuutinjärjestelmä, joka viittaa lisäsuuttimien käyttöön. Suuttimien kehitys on mennyt eteenpäin huomattavasti, joten nykyisillä suurituottoisillakin suuttimilla on mahdollista saada aikaiseksi hyvä tyhjäkäyntiseos, mutta näidenkään tuotto ei välttämättä riitä erittäin tehokkaissa tai wankel-moottorilla



varustetuissa ajoneuvoissa tai jos ajoneuvoa käytetään hyvin laajoilla kierrosalueilla. Yhtenä mahdollisuutena on tällöin asentaa esimerkiksi neljäsynteriseen moottoriin neljä lisäsuutinta, jotka voivat olla esimerkiksi suurituottoisia. Tällöin pienemmällä suuttimilla on mahdollista saavuttaa hyvä tyhjäkäynti ja tasainen seos alhaisilla kierroksilla, ja taasen riittävä polttoaineensuihkutus esimerkiksi suurilla ahtopaineilla yläkierroksilla käyttäen kaikkia suuttimia kerralla. (Bell 2007, 7:16–17)

Moottorinohjausjärjestelmää säätäessä etenkin käytettäessä alkuperäisiä suuttimia, on otettava selvää mikä on suutinten impedanssi eli ovatko ne puhekielessä matala- vai korkeaohmiset (peak and hold tai saturated). Yleensä helpoin tapa suuttimien tyyppin selvittämiseksi on mitata suuttimien pinneistä vastusarvo yleismittarilla. Vastusarvoltaan alle 5 ohmisia suuttimia pidetään matalaimpedanssisena, kun taas korkeaimpedanssisten vastusarvo on yleensä yli 8 ohmia.

Impedanssin ero määrittää myös suutinten ohjaustavan, joka asettaa erilaisia vaatimuksia moottorinohjaukselle. Näistä yksinkertaisempi ja nykyisin yleisesti käytetty on korkeaimpedanssinen suutin, joka ei tarvitse mitään erikoista älyä moottorinohjausyksiköltä. Suuttimien ohjaus tapahtuu maata kytkemällä ja suuttimen sisäinen vastus suojaa itsessään vikatilanteessa polttoaineensyötön ohjausta.

Vanhemmissa moottoreissa vastaan tuleva matalaimpedanssinen suutin vaatii erillisen tuen moottorinohjaukselta, koska 'peak and hold' -nimensä mukaisesti suutin avataan nopeasti korkealla jännitteellä ja pidetään auki pienemmällä jännitteellä. Yleisesti jännite-ero on luokkaa 4:1, tarkoittaen suutinten avaamista esimerkiksi 4 ampeerin jännitteellä ja auki pitämistä 1 ampeerin jännitteellä. Kyseinen suutintyyppi yleistyi joksikin aikaa 90-luvulla suuttimien tuotontarpeen kasvaessa. Sen myötä suuttimen sisäisen venttiilin koko ja massa kasvoivat, mikä hidasti silloisten korkeaimpedanssisten suuttimien avautumisaikaa liiaksi. Matalaimpedanssisten suuttimien hyötynä oli nopeampi avautumisaika, jolloin latenssi moottorinohjauksen antaman signaalin ja polttoaineen suihkutustapahtuman välillä väheni.

## 5.10 Ulostulot

Nykyaikaisissa moottorinohjausjärjestelmissä alkaa olemaan jo hyvin suuri määrä erilaisia ulostuloja, jotka mahdollistavat huomattavan määrän erilaisia käyttösovelluksia. Yleisimmät ulostulot ovat tyypiltään joko kytkettäviä tai pulssisuhdesäätöä (PWM) käyttäviä.

Kytettäviä ulostuloja voidaan käyttää ohjaamaan erilaisia laitteita tai toimintoja päällä-pois-tyylisesti. Käyttökohteita on huomattava määrä, alkaen perinteisistä merkkivaloista ja tuulettimien käynnistämisestä aina säätyvän moottorin nokka-akselin solenoidin ohjaamiseen. Yksinkertaisimmillaan ohjelmistossa voidaan määritellä että 7500 kierroslukeman kohdalla sytytetään vaihtovalo tai vaikkapa jäähdytysnesteen saavuttaessa 102 c käynnistetään toinen jäähdyttimen tuuletin.

Ulostuloja suunniteltaessa on kuitenkin otettava huomioon laitteiden virrankulutus. Esimerkkeinä vaikka jäähdyttimen tuuletin tai polttoainepumppu, jotka kuluttavat helposti yli 10 ampeeria virtaa eikä moottorinohjauslaitteen virtapiirejä ole suunniteltu näin suurelle virrankulutukselle. Tällöin ongelma kierretään yksinkertaisesti käyttämällä releitä, jonka ohjausvirta tai maadoitus toteutetaan moottorinohjausyksiköltä.

Määrättyjä laitteita, kuten tuulettimia ohjatessa, pitää myös määritellä hystereesi. Tämä tarkoittaa sitä, ettei esimerkiksi tuuletin kytkeydy päälle ja pois jatkuvasti vaihdelleessaan määritellyn 90 c lämpötilan molemmin puolin. Hystereesi voidaan esimerkiksi asettaa 3 c lämpötilaeroon, jolloin moottorin saavuttaessa 90 c lämpötilan tuuletin kytkeytyy päälle ja sammuu kun moottori on jäähtynyt alle 87 c lämpötilaan.

Pulssisuhdesäätöä käytetään yleensä toimilaitteiden kanssa, jotka tarvitsevat tarkempaa säätöä tai laajaa säätöaluetta. Tässä käytetään hyväksi ulostulon lähettämää kanttiaaltoa, joka määrittää kuinka kauan määrättyä toimilaitetta pidetään päällä tai pois aikamäärettä kohden. Lähetettävää taajuutta säätämällä pystytään esimerkiksi ohjaamaan tyhjäkäyntiventtiiliä, nokka-akselien

asentoa, ahtopainesolenoidia ja nykyaikana jopa polttoaine- tai jäähdytysjärjestelmän pumppua.

## 6 Polttoaine- ja sytytyskartat

Nykyaikana moottorinohjausjärjestelmien valmistajia on huikea määrä, mutta yleisesti jokaisen ohjelmiston periaatteet perustuvat samoihin laskutapoihin ja kaavoihin. Eri moottorinohjausjärjestelmien ohjelmistojen käytössä ja tietojen esittämistavoissa saattaa olla aluksi huomattavankin isolta näyttäviä eroja, mutta yleisesti nimeämiskäytännöt ovat hyvin yhteneväisiä. Pääasiassa moottorinohjausyksikön hinnan kasvaessa lisääntyvät ulostulot ja sisäänmenot, joiden avulla on mahdollista ohjata esimerkiksi 8–12 sylinterisiä moottoreita. Suuremman liitäntämäärän avulla voidaan toteuttaa laajempaa tiedonkeräystä suuremman tunnistinmäärän avulla, luoda luistonenestojärjestelmiä tai lisätä laajempia turvaominaisuuksia. Kuitenkin nykyään jopa halvimmat Arduinon perustuvat moottorinohjausyksiköt riittävät huomattavan pitkälle ja niillä voidaan ohjata luotettavasti monenlaisia moottoreita.

Erilaiset säätökartat ovat yleensä kolmiulotteisia. Polttoainekartassa (fuel map / VE-table) ja sytytyskartassa (ignition table) on tällöin toisessa akselissa yleensä kierrosluku ja toisessa akselissa kuormitustieto. Karttojen solut pitävät sisällään arvoja, yllä olevien esimerkkien kohdalla volumetrisen hyötysuhteen ja sytytysennakon. Nämä ovat yleisesti tärkeimmät ja eniten säätämässä aikaa vievät kartat, joiden arvoja säädetään suuntaan tai toiseen toimintaympäristön ja tunnistimien arvojen suhteen erilaisilla kompensatiokartoilla. Yleensä suurin osa muistakin säätökartoista perustuu kaksi- tai kolmiulotteisiin karttoihin, mutta säätökartan tarkkuus voi olla huomattavasti pienempi.

### 6.1 Polttoaineen syöttötavat

Yleisimmät polttoainekarttojen laskutavat perustuvat joko suoraan suuttimien aukioloaikojen ajalliseen määrittämiseen tai volumetriseen (VE) hyötysuhteeseen, joka määrittää suoraan moottoriin virtaavan ilmavirran määrän.

Suuttimien aukioloaikoihin perustuvat moottorinohjausjärjestelmät perustuvat karttaan, jossa suutinten aukioloajat asetetaan suoraan polttoainekarttaan millisekunteina. Kyseinen kartta toimii pohjana, jonka lukuja kompensoidaan eri käyttötilanteissa ja toimintaolosuhteissa muilla säätökartoilla.

On myös mahdollista, että samaan periaatteeseen nojaten voidaan määrittää suuttimen pulssi (master injector pulse), johon verrattuna karttaa säädetään prosentuaalisesti tämän arvon ympärillä. Jos pulssin kestoksi on esimerkiksi määritelty 12 millisekuntia ja kartassa on toisessa solussa arvo 50 %, suuttimen aukioloaika on tällöin 6 millisekuntia solun kohdalla. Tämän säätökartan esitystavan hyvänä puolena on se, että itse moottorinohjaus tekee taustalla laskutoimitukset prosentuaalisen muutoksen avulla. Ilman tiheys -osiossa on mainittu, että imusarjan paineen noustessa myös ilman tiheys nousee ja tätä kautta happimäärä nousee. Tästä voidaan johtaa, että paineen kaksinkertaistuesssa tarvitaan myös polttoainetta kaksinkertainen määrä. Tällöin suuttimien aukioloaikaa voidaan suoraan ohjata ja laskea imusarjan paineen tiedon perusteella.

Pulssiperustaisen esittämistavan hyvänä puolena on yleisesti tasaisempi polttoainekartta, kun solujen erot muuttuvat prosentuaalisesti vähemmän toisiinsa verrattuna ja täten ovat lähempänä realistista volumetristä hyötysuhdetta.

Toisena tapana on VE-kartta, eli kartan arvot kertovat solun kohdalla olevan volumetrinen hyötysuhteen kyseisessä käyttötilanteessa. Tällöin solun arvolla kerrotaan suoraan moottorinohjausyksikölle, kuinka täyteen sylinteri saadaan täytettyä ilmalla. Vaatimuksena on kuitenkin, että moottorinohjausyksikölle asetetaan tiedot moottorin sylinterimäärästä sekä -tilavuudesta, polttoaineriippuvaisen stoikiometrisen seosarvon ja suutinten virtausmäärät, joiden avulla tarvittavat laskutoimitukset voidaan tehdä. (Haltech 2023)

Tällöin taustalla on myös seossäätökartta, jolla määritetään eri käyttöalueille toivotut seossuhteet kierroslukuun ja kuormaan suhteutettuna. Kun moottorinohjausyksiköllä on tiedossa ilmamassan määrä, suuttimien koko ja

seossuhdekartan tavoitearvot, pystyy moottorinohjausjärjestelmä näiden perusteella laskemaan itsenäisesti tarvittavan suuttimen aukioloajan.

Seossuhteeseen perustuvan säätökartan hyvänä puolena voidaan pitää helppoa muokattavuutta, kun tarvittavat muutokset voidaan tehdä suoraan haettuun seossuhteeseen ilman suurta uudelleensäätämistä. Suuttimien koon vaihtuessa voidaan muokata pelkästään suuttimien kokoa ohjelmistosta, jonka jälkeen seossuhteen pitäisi yleisesti säätyä seoskartan mukaisesti ilman suurempaa uudelleensäätämistä.

## 6.2 Polttoainekartan resoluutio

Polttoainekartan solujen määrä, eli resoluutio ilmoitetaan yleensä x- ja y-akselin arvojen lukumäärän perusteella. Esimerkiksi 16x16 kokoisessa kartassa on tällöin 256 eri solua, joiden arvo voidaan määritellä. Yleisenä harhaluulona on, että säätökarttojen pitää olla mahdollisimman tarkat ja sisältävän mahdollisimman tiuhaan olevia arvoja. Todellisuudessa kuitenkin kaikki nykyaikaiset moottorinohjausyksiköt interpoloivat solujen välisiä arvoja, riippuen siitä missä kohtaa solua ajoneuvon käyttötilanne on. Tällöin kahden solun keskivälissä, moottorinohjaus käyttää tietona näiden keskiarvoa olettaen kuitenkin muutoksen olevan aina lineaarinen.

Yleensä tämä ei aiheuta ongelmia kuin ainoastaan tilanteissa, jolloin volumetrisen hyötysuhteen muutos on hyvin äkillinen pienen kierrosalueen sisällä. Esimerkkinä voidaan mainita esimerkiksi Hondan VTEC, jolloin nokka-akseleiden kytkeytyminen eri asentoon muuttaa ajoitusta sekä volumetristä hyötysuhdetta huomattavasti hyvin pienen kierrosluvun muutoksen aikana.

Riittävän tarkaksi kartan säätöväliksi kierrosluvun akselin suhteen voidaan pitää 500 kierrosta minuutissa, jolloin aivan tyhjäkäynnin alueelle voidaan lisätä esimerkiksi solu 750 kierrokselle minuutissa sekä tihentää väliä 250 kierrokseen kierrosalueille, joissa volumetrinen hyötysuhde muuttuu suuresti.

Kuorman kertovan akselin suhteen tilanne on hieman erilainen, riippuen hyvin paljon millä tunnistintiedoilla kuorma on laskettu. MAP-tunnistimen ollessa yleisin, hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää 20–25 kPa säätöväliä ja tihentää akselin arvoja esimerkiksi tyhjäkäynnin sekä tasakaasualueen alueella, jolloin saavutetaan parempi säätötarkkuus.

Yleisesti on parempi aloittaa isommilla arvoväleillä kuin lähteä tyhjästä toteuttamaan suoraan liian tarkkaa polttoainekarttaa. Rivejä on mahdollista lisätä myöhemmin ja interpoloida uuden akseliarvon solujen arvot viereisten solujen perusteella. Tällöin voidaan korjata tilanne, jossa kahden akseliarvon välissä seossuhde ei saavuta toivottua volumetrisen hyötysuhteen muuttuessa epälineaaraisesti.

Ajoneuvon toimivuudessa ajo-olosuhteissa tulevat polttoainekartan solujen suuret erot huomattavasti selkeämmin esiin kuin sytytyskartan vastaavat. Sytytyskartan arvot voivat olla useamman asteen virheelliset optimaalisesta ja vaikka tämä virhe silti aiheuttaisi vääntömomentin laskemista niin vaikutus moottorin peruskäytettävyyteen saattaa olla pieni. Tämän takia polttoainekartan resoluutio sekä asetettujen arvojen oikeellisuus on yleisesti moottorin peruskäytöksen osalta vaikuttavampi kuin sytytyskartan.

### 6.3 Kompensaatiokartat

Nykyaikaisten moottorinohjausjärjestelmien hyvänä puolena voidaan pitää polttoaineensuihkutuksen ja sytytyksen mukautumista vallitseviin olosuhteisiin. Tämän toteuttamiseksi moottorinohjausyksikkö käyttää useita erilaisia kompensaatiokarttoja, joiden arvojen avulla voidaan olosuhteiden muuttuessa määrittää erilaisia korjauskertoimia niin polttoaine- kuin sytytyskarttoihin.

Yleisiä karttoja ovat esimerkiksi imuilman lämpötilakompensaatiokartta, moottorin lämpötila tai kylmäkäynnistysrikastuskartta. Mahdollisuudet ovat yleisesti pitkälti lähes mielikuvituksen varassa, kunhan ohjelmisto vain näiden lisäämisen sallii.

Ilmuilman lämpötilakompensaatiota tarvitaan, jotta moottorinohjausyksikkö voi laskea lämpötilan ja ilman tiheyden välisen suhteen jonka muutos on keskimäärin noin 3 % 10 lämpöastetta kohden. Tämän lisäksi käyrän muutos eksponentiaalinen, mutta arvot voidaan määrittää kartastoon pitkälti myös lineaarisesti, koska moottorin käyttölämpötilojen välissä muutosta ei tällöin tule niin suuresti ja virhe jää alle 10 % luokkaan. Nämä hieman virheelliset kompensatiokartan arvot aiheuttavat VE-karttaan pieniä heittoja todellisiin hyötysuhteisiin verrattuna, mutta jos laitteisto ja kalibroinnit pysyvät samana ei tämä aiheuta suurta ongelmaa tulevaisuudessa.

Kehittyneemmästä kilpa-autoissa käytetyistä kompensatiokartoista voidaan ottaa esimerkiksi sytytyksen ja/tai polttoaineseoksen kompensointi auton saavuttaessa määrätyn nopeuden. Tällöin voidaan polttoaineseosta rikastaa tai sytytyksen ajoitusta vähentää, jolloin moottoria ei pidetä enää täysin ääri rajoilla esimerkiksi pitkällä suoralla, jossa välitykset eivät riitä. Samoin vaikkapa ahtopaineen säädössä voidaan ottaa huomioon moottorin lämpötila, tällöin lämpötilan noustessa tiputetaan ahtopainetta kompensatiokartan avulla ja parannetaan tätä kautta lämmönhallintaa.

#### 6.4 Kiihdytysrikastus

Moottoria käytettäessä tasakaasulla moottorinohjauksen on yleensä helppo ohjata polttoaineen määrää, mutta yleisesti kaasupolkimen asentoa muutetaan eri tavalla sekä nopeudella eri tilanteissa. Tämä aiheuttaa kaasupoljinta painaessa kaasuläpän avautuessa hetkellisen tilanteen, jossa seos käy hyvin laihana tai seoksen muuttumisen huomattavan rikkaaksi kaasuläpän sulkeutuessa äkillisesti, kun jalka nostetaan kaasupolkimelta.

Näitä tilapäistilanteita kutsutaan yleensä nimillä kiihdytysrikastus (accel enrichment), hidastuslaihennus (decel enrichment) ja rikastus kaasun avautuessa (tip in enrichment). Näiden tilanteiden varalta moottorinohjausyksiköissä on kalibrointimahdollisuuksia, jotka ottavat yleensä huomioon kaasuläpän asentotunnistimen tarjoaman tiedon.



## 6.5 Muuttuva venttiilienajoitus

Venttiilinajoituksella voidaan vaikuttaa suuresti vääntökäyrän muotoon, jonka vuoksi nykyaikaisissa moottoreissa on pitkään käytetty erilaisia tapoja muuttaa venttiilinajoitusta eri käyttöalueilla. Yleisesti halutaan aikaistaa venttiilien avautumista sekä sulkeutumista alhaisilla kierrosalueilla. Korkeammilla kierrosalueilla moottorin inertian sekä korkean ilman nopeuden vuoksi ajoitusta myöhäistetään, jolloin imuventtiilit avautuvat sekä sulkeutuvat myöhemmässä kohtaa työkiertoa.

Moottorissa ilman säätynyttä venttiilinajoitusta näiden käyttöalueiden vääntökäyrien suhteen on tehtävä kompromisseja alhaisen kierrosluvun ja korkean kierrosluvun väännön suhteen. Tällöin muuttuvalla venttiilinajoituksella on mahdollisuus vaikuttaa eri osa-alueisiin ja saada aikaan huomattavasti laajemman vääntöalueen.

Järjestelmiä on toteutettu erilaisilla tavoilla ja eri valmistajat käyttävät ominaisuudesta erilaisia nimikkeitä kuten vaikkapa VVT, VCT, VVT-i, VANOS ja Vario Cam, vaikka toiminnallisuus näissä on samankaltainen.

## 7 Polttoaineensyöttöjärjestelmä

### 7.1 Suuttimien latenssi

Suuttimiin liittyen esiin tulee usein käsite 'injector deadtime', jolla tarkoitetaan suuttimien avautumiseen liittyvää latenssia. Polttoainesuuttimien ollessa mekaanisia laitteita, on sisällä olevalla männällä massa, jonka inertian voittamiseen menee aikaa siitä, kun moottorinohjausyksikkö lähettää avautumissignaalin. Myös moottorinohjauksen signaalin päättyessä on samanlainen viive, eli polttoainesuutin päästää vielä pienen hetken polttoainetta ennen sulkeutumista. (Haltech 2022)

Normaalisti tämä on hyvin lyhyt aika, noin 1–3 millisekuntia, joka riippuu esimerkiksi suuttimien koosta, ajoneuvon virtapiirin jännitteestä ja polttoainejärjestelmän paineesta. Yleisesti suuttimien latenssit ilmoitetaan välille 8–16 volttia, tai jos arvoja ei tiedetä, ne voidaan mitata esimerkiksi ruiskutus-suuttimien testipenkissä eri jännitteillä ja polttoainepaineilla.

Polttoainepaineen vaikutus suuttimien latenssiin perustuu paine-eroon imusarjan ja polttoainekiskon välillä, jolloin suuttimet joutuvat tekemään enemmän työtä avautuessaan polttoainelinjaston painetta vastaan, joka aiheuttaa avautumisen hidastumista.

Oikein asetettu suuttimien latenssi on edellytys sille, että polttoainekartan suuttimien avautumisajat vastaavat sitä aikaa, jolloin polttoainetta oikeasti virtaa, vaikka jännite muuttuisi. Jos latenssia ei ole määritetty tai se on väärin, joudutaan tällöin pidentämään polttoainekartan kaikkien solujen arvoja, jotka eivät tällöin vastaa oikeaa polttoaineen suihkutusaikaa. Tämä vääristää suuttimien aukioloaikoja tai VE-kartan arvoja, jotka korostuvat etenkin alemmilla kierroksilla, kun suuttimien aukioloaika on muutenkin lyhyt. (Haltech 2022)

## 7.2 Kaksi- ja kolmiulotteinen latenssin kompensatiokartta

Polttoainejärjestelmät voidaan toteuttaa yleensä paluulinjalla tai ilman, jonka vuoksi suutinkiskolla vallitseva paine on näissä tapauksissa yleensä erilainen moottorista riippuen.

Paluulinjallisella polttoainejärjestelmällä paineensäädin voidaan tehdä rakenteellisesti sellaiseksi esimerkiksi ahdetussa autossa, että polttoaineen paine kasvaa linjastossa imusarjassa olevan paineen verran ja tällöin paine-ero pysyy samana koko ajan. Tällöin latenssin asettamiseksi riittää pelkkä kaksiulotteinen säätökartta.

Ilman paluulinjaa tilanne on hieman erilainen, tällöin imusarjan paineen noustessa paine-ero vähenee polttoainekiskon ja imusarjan välillä. Tämä aiheuttaa sen, että suuttimien latenssi vähenee ja avautumisnopeus kasvaa. Tämän vuoksi joissakin moottorinohjausjärjestelmissä käytetään kolmiulotteista säätökarttaa, jonka avulla myös polttoainepaineen vaihtelut voidaan ottaa huomioon. Jos tämän kaltaista mahdollisuutta ei ole, aiheutuu tästä pientä virhettä säätökarttoihin, joskin virheet jäävät vain parin prosentin luokkaan.

## 7.3 Suuttimien virtaus

Suuttimien virtaus ilmoitetaan yleisesti Suomessa kuutiosenttimetreinä minuutissa (cc), mutta maailmalla voi törmätä myös paunaa tunnissa (lbs/hr) yksikköön, joka viittaa polttoaineen massaan. Yleisesti eri laskukaavoissa tarvitaan molempia arvoja.

Suutinvalmistajat yleensä ilmoittavat suutinten virtauksen 3 bar (43.5 PSI) paineella, mutta tästä kannattaa varmistua ennen joko testaamalla suuttimet testipenkissä tai etsimällä tietoa kyseisistä suuttimista. Tämä on huomioitavaa, koska polttoaineen paineen laskiessa virtaus vähenee ja vastaavasti paineen noustessa myös virtausmäärä nousee. Muutos ei kuitenkaan ole lineaarinen, jolloin paineen kaksinkertaistaminen ei tuplaa virtausta kaksinkertaiseksi.

Tilanteessa, jossa suuttimien tuotto on hyvin rajoilla, voidaan pienellä polttoaineenpaineen korotuksella saada noin 10–15 % lisävirtaus.

Samalla polttoaineenpaineen nosto tai lasku vaikuttaa suoraan myös suuttimien latenssiin, jopa siinä määrin että liian korkealla paineella suutin ei pysty edes avautumaan. Yleensä maksimi käyttöpainne ilmoitetaan suutinvalmistajan puolelta.

#### 7.4 Suuttimien koon valitseminen

Suuttimien kohdalla on otettava huomioon suuttimien aukioloaika eli pulssisuhde, jota kutsutaan ohjelmistoissa termillä 'duty cycle'. Tämä määrittää kuinka pitkään prosentuaalisesti suutin on auki tai kiinni toimintajakson aikana. Yleisenä nyrkkisääntönä voidaan pitää, että käyttöaste olisi hyvä pitää alle 85–90 prosentissa. Jos suutinten käyttöaste nousee tästä, osa suutinmalleista saattaa ruveta toimimaan virheellisesti eivätkä enää avaudu ja sulkeudu oikein.

Korkealla käyttöasteella suutin voi joutua olemaan lähes koko ajan auki, jonka vuoksi pienessä vikatilanteessa, kuten polttoaineenpaineen laskiessa saattaa moottorin seossuhde mennä laihalle, kun polttoainetta ei pystytä tarjoamaan tarpeeksi. Vaikka polttoaineenpaineen korottamisella voidaan saada lisätuottoa, on yleensä turvallisempaa vaihtaa suuttimet korkeatuottoisempiin, jolloin pieni polttoaineenpaineen romahdus ei aiheuta heti niin suurta vaaraa seossuhteeseen.

Karkeasti tarvittava suutinkoko voidaan laskea seuraavalla kaavalla hyväksikäyttäen aikaisemmin käsiteltyä BSFC-arvoa, jossa esimerkkinä on opinnäytetyön 148 hevosvoimainen 4-sylinterinen vapaastihengittävä moottori:

$$\frac{\text{Teho (hv)} \times \text{BSFC}}{\text{Suutinten lkm} \times \text{käyttöaste (.70 - .90)}} = \frac{148 \times .50}{3.2} = 23.125 \text{ lbs/hr}$$

$$\text{lbs/hr muutos cc/min : } 23.125 \times 10.50 = 237,9 \text{ cc/min}$$

## 8 Moottorinohjausjärjestelmän toiminta ja diagnostiikka

Moottorinohjausjärjestelmän on tehtävä huomattava määrä laskutoimituksia ja käytettävä usean tunnistimen tietoja pystyäkseen laskemaan vaadittavan polttoainemäärän sekä oikea-aikaisen sytytystapahtuman. Tästä johtuen vaadittavia laskutoimituksia on suuri määrä, joita kompensoidaan jatkuvasti myös muilla säätöarvoilla jotta saavutetaan esimerkiksi tarvittavat päästötasot ja polttoaineenkulutus.

Jotta laskenta onnistuu, on otettava kaikki muuttujat, jotka vaikuttavat polttoaineen määrän laskentaan kuten esimerkiksi:

- Kuormitus
- Moottorin lämpötila
- Ilman lämpötila
- Polttoaineen lämpötila
- Polttoaineen laatu
- Suodattimien aiheuttama häviö
- Ilmanpaine

Uutena asiana voidaan nostaa esimerkiksi polttoainesuodattimien tukkeutumien pidemmällä aikavälillä, joka laskee polttoainemäärä tai painetta. Tällöin moottorinohjauksen apuna on erilaiset adaptiiviset kertoimet, jolloin määrättyjä arvoja tarkkaillaan myös pidemmällä aikavälillä ja tallennetaan näiden korjauskertoimien tieto moottorinohjausyksikön muistiin. Kun polttoaineen määrä laskee suodattimen tukkiutumisen vuoksi, osaa moottorinohjaus pitkäaikaisen korjauksen (LTT, Long Time Trim) avulla lisätä ajanollen hieman suuttimien aukioloaikaa, jonka avulla saavutetaan riittävä polttoainemäärä. Yleensä pidempiaikaisen korjauskertoimen ylittäessä ennalta määritetyn raja-arvon, voi moottorinohjausyksikkö sytyttää MIL-valon mittaristoon ja tallentaa vikakoodin tähän liittyen.

Moottorin kulumisen voi johtaa myös välyksien muuttumiseen hydraulisisissa järjestelmissä, jolloin pitkäaikaisen adaptaation avulla voidaan säätää

esimerkiksi nokka-akseleiden säädön solenoidin toimintaa. Tämä varmistaa ettei moottori käy aina samoilla asetuksilla kuin uutena tehtaalta tullessa vaan moottorinohjaus ottaa huomioon käytön tuomat kulumat. Näiden ominaisuuksien avulla paljonkin ajetusta moottorista voidaan saada hyvä vääntömomentti kulumista huolimatta ja saavutetaan vaadittu päästötaso.

Pakokaasupäästöjen osalta moottorinohjauksen laskutoimituksiin liittyviä toimilaitteita on huomattava määrä, mutta näitä ei yleensä tarvitse miettiä moottoriurheilussa eikä niitä käsitellä tarkemmin tässä kokonaisuudessa. Yhdeksi esimerkiksi nostan kuitenkin EGR-venttiilin, jonka toiminta vaikuttaa suoraan moottoriin virtaavan ilman määrään ja lämpötilaan. Tämän vuoksi EGR-venttiilin ohjauksella on oltava mahdollisuus vaikuttaa moottorinohjausyksikön polttoaineenruiskutuksen säätöihin.

Motec:in M130 moottorinohjausyksikön asetuksissa on mahdollista määrittää arvoille erilaisia hälytysarvoja, jolloin raja-arvon ylittyessä tai alittuessa siitä aiheutuu hälytys ohjelmistoon. Hälytystieto voidaan myös asettaa sytyttämään esimerkiksi valo ohjaamossa, jolloin kuljettaja saa visuaalisen merkin siitä ettei kaikki ole kunnossa. Tämä vastaa pitkälle tilannetta, jossa ajoneuvon MIL-valo syttyy kun jonkin tunnistimen kohdalla ei pysytä tehtaalla määritetyissä raja arvoissa.

Jälkiasenteisten moottorinohjauksien tapauksessa lokien nauhoittaminen on myös hyvä tapa saada tietoa moottorin toiminnasta reaaliaikaisten graafien lisäksi. Ajoneuvossa ilmenneet ongelmat voivat näkyä suoraan määrättyissä graafeissa, joihin perehtymällä voidaan löytää syy-yhteys nopeastikin.

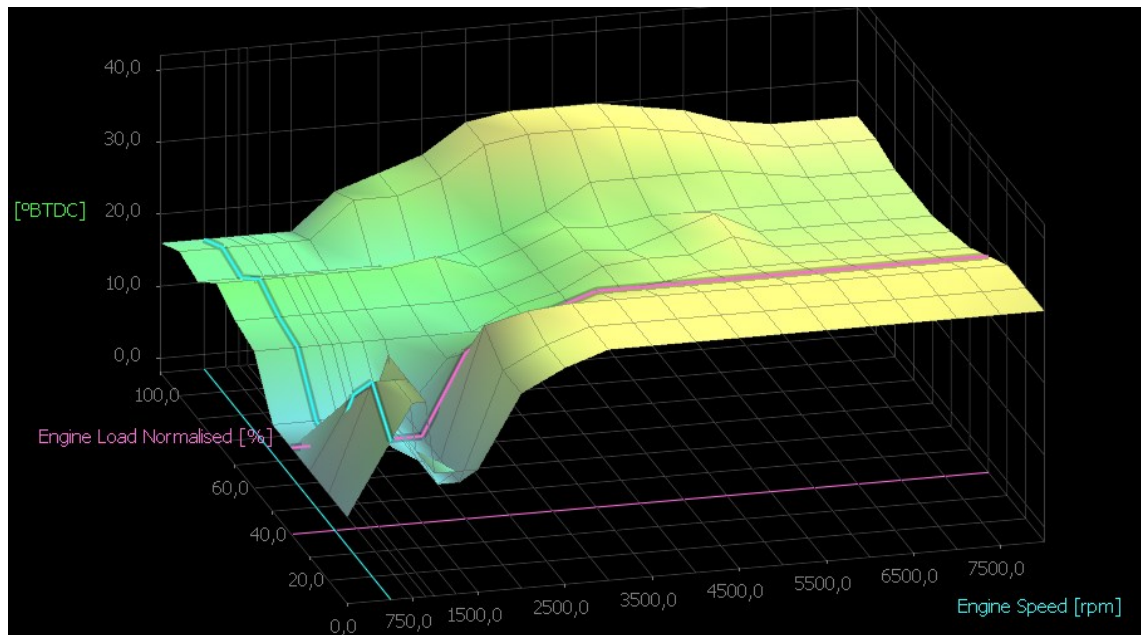
## 9 Säättämisen perusperiaatteet

Tunnistimien kalibrointien ja muiden tärkeiden yksityiskohtien asettamisen jälkeen voi ryhtyä tekemään ensimmäisiä säätöjä niin sytytyksen ajoitukseen kuin polttoaineen syöttöön. Ajoneuvon käynnistämiseen sopivat lähtöarvot löytyvät yleensä kohtalaisen nopeasti, kunhan moottorinohjausyksikkö saa kaikki tarvittavat tunnistintiedot ja pystyy laskemaan kampiakselin asentotunnistimelta kierrosluvun luotettavasti. Näiden toiminnan tarkistaminen lokitiedoista tai ohjelmiston reaaliaikaisen datan seurannalla. On kuitenkin huomioitava, että tekstissä käsitellään asioita lähinnä ei tieliikennekäyttöön tarkoitetun moottorin säätämisen suhteen. Tieliikennekäyttöön tarkoitetun ajoneuvon kanssa joudutaan aikaa käyttämään runsaasti lisää, jotta esimerkiksi polttoaineenkulutus ja päästöarvot saadaan sopivalle tasolle. Tämä aiheuttaa säätöihin väkisinikin kompromisseja ja tarvetta säätää osakuorma-alueita suuremmalla tarkkuudella ajettavuuden säilyttämiseksi kaikissa käyttötilanteissa.

### 9.1 Sytytyksen ajoituksen säätäminen

Sytytysennakkokartan tarkoituksena on määrittää sytytysennakko yläkuolokohtaan nähden yleensä 3-ulotteisessa kartassa, jossa toisessa akselissa on määriteltynä kuormatieto ja toisessa kierrosluku.

Sytytysennakkokartan numerot viittaavat asteisiin, jotka kertovat kuinka paljon ennen yläkuolokohtaa sytytys tapahtuu puristustahdilla. Yleisesti sytytys tapahtuu noin 8–15 astetta ennen yläkuolokohtaa tyhjäkäynnillä, kasvaen tästä kierrosnopeuden ja kuorman noustessa. Tämä johtuu siitä, että suuremmalla kuormalla ilma-polttoaineseosta on suurempi määrä sylinterissä ja kierrosluvun kasvaessa sylinterin huippupaineen saavuttamiseen on vähemmän aikaa. Moottorinohjausjärjestelmien ohjelmistojen kolmiulotteinen näyttötapa esittää sytytysennakon muutoksen visuaalisesti helposti ymmärrettävänä. (Kuva 10)

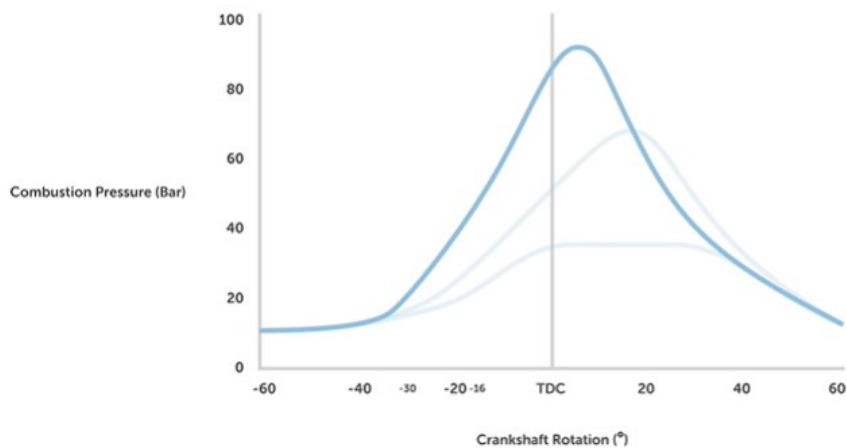


Kuva 10. 3-ulotteinen säätökartta.

Yleisesti harhaluulona on, että sytytystapahtuma tapahtuu heti sillä hetkellä, kun kipinä sytyttää polttoaineseoksen, mutta todellisuudessa tapahtuma etenee pienellä viiveellä. Kipinän sytyttäessä polttoaineseoksen, syttyy vain tulpan lähellä oleva ilma-polttoaineseos ja palotapahtuma jatkuu etenevänä liekkirintamana sylinteriä pitkin sytyttäen seoksen. Tämän avulla saavutetaan tasaisesti nouseva sylinteripaineen nousu. Tämän vuoksi sytytys yritetään ajoittaa kohtaan, jossa korkein sylinteripaine saavutetaan juuri oikeassa kohdassa; käytännössä noin 16–18 astetta yläkuolokohdan jälkeen, kun mäntä on alaspäin liikkeessä sylinterissä. Tämän avulla saadaan suurin mahdollinen työntövoima, jonka voima ohjautuu männän ja kiertokangen välityksellä kampiakselille.

Sytytyksen tapahtuessa liian aikaisin, mäntä on vielä matkalla ylöspäin, jolloin palorintama toimii vastavoimana ja heikentää tehotuottoa selvästi sekä rasittaa huomattavasti moottorin mekaanisia osia. Liian myöhäisellä sytytyksellä taas liekkirintama etenee sylinterissä männän jäljessä, jolloin käytettävä energia menee hukkaan suurilta osin, eikä sylinterin paine nouse missään kohtaa korkealle. (Kuva 11.)





Kuva 11. Sytytyksen ajoituksen vaikutus sylinteripaineeseen

Vaikka sylinteripainetta on mahdollisuus mitata, tätä mahdollisuutta ei kovinkaan usein ole mahdollista käyttää rajatulla budjetilla rakennetuilla ajoneuvoilla. Sen vuoksi parhaimmaksi tavaksi löytää optimaalinen ajoitus ja tätä kautta sylinteripaineen huippu on tehodynamometri, jolloin sytytysennakkoa voidaan vähitellen aikaistaa ja etsiä kohtaa, jolloin moottori saavuttaa parhaan vääntömomentin. Tällöin sytytysennakkoa nostetaan siihen asti, että moottorin tuottama vääntö alkaa laskemaan tai nakutusta alkaa esiintymään, joka kertoo palotapahtuman olevan liian aikaisessa. Tätä kohtaa kutsutaan termillä MBT eli maximum brake torque (tai minimum best torque timing) eli suurin jarrumomentti. Sääto on kuitenkin parasta aloittaa hyvin konservatiivisilla säädöillä, jotta mahdollisilta ongelmilta vältytään esimerkiksi nakutuksen kanssa.

Aikaan sytytystapahtuman ja sylinteripaineen huippulukeman välillä on monta tekijää. Ensimmäinen niistä on sylinterin halkaisija, koska liekkirintama etenemisnopeus on suhteellisen vakio ja täten isompi sylinterihalkaisija lisää tilavuutta, joka tarkoittaa suurempaa vaadittavaa sytytysennakkoa. Kääntäen tilanne on myös sama, pienempi sylinteritilavuus vähentää ennakon tarvetta.

Toisena määrävänä tekijänä on puristussuhde, jolloin korkealla puristussuhteella ilma- ja polttoainemolekyylit puristuvat sekä sekoittuvat tiiviimmin toisiinsa. Tämä nopeuttaa liekkirintaman palonopeutta verrattuna

matalampaan puristussuhteeseen, jonka vuoksi itse palotapahtuma nopeutuu sekä sylinterin paine nousee nopeammin, jonka vuoksi ennakkoa on mahdollista vähentää. Sama periaate pätee myös ahdettuun moottoriin, jolloin polttoaineen ja ilmaseoksen määrä on huomattavasti korkeampi sylinterissä. Kolmas vaikuttava tekijä on kannen palotilan muotoilu sekä tulpan sijainti palotilassa, yleisesti keskellä palotilaa sijaitseva sytytystulppa parantaa palotapahtumaa verrattuna sivulla sijaitsevaan tulppaan nähden.

## 9.2 Polttoaineen määrän säätäminen

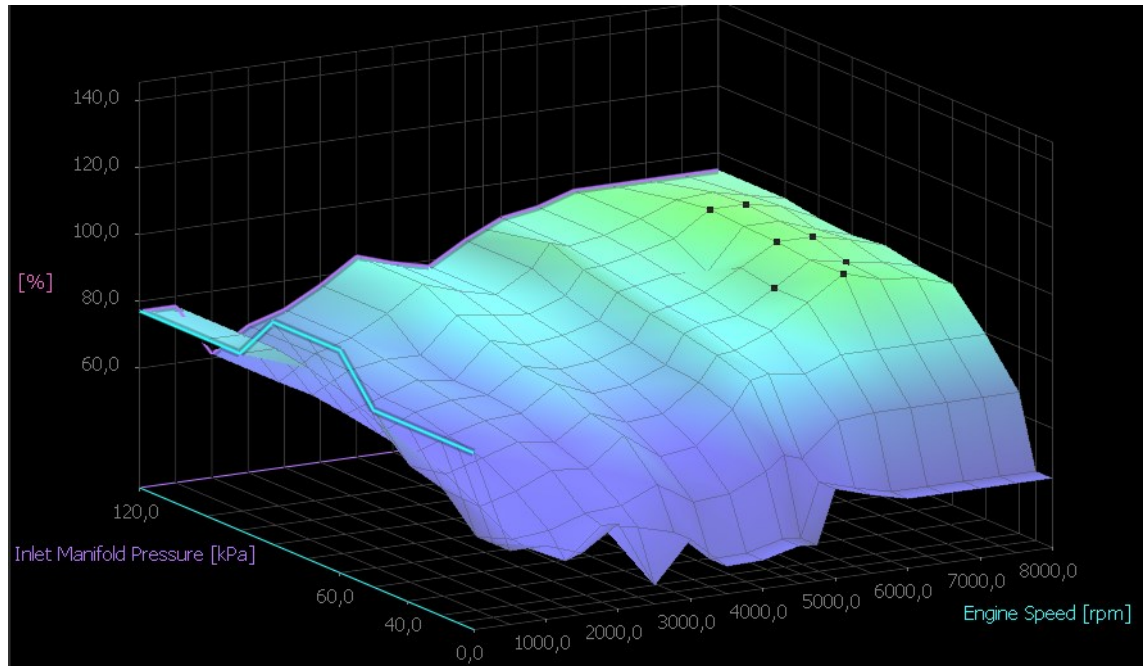
Polttoainekartan arvot kertovat kuinka paljon polttoainetta suihkutetaan moottoriin ottaen huomioon suuttimien kalibroinnin ja latenssin. Polttoaineen määrän ollessa verrannollinen moottoriin menevän ilman suhteen, voidaan olettaa polttoainemäärän tarpeen nousevan maksimivääntömomenttiin saakka, kun ilmaa virtaa enemmän moottoriin ja toisaalta vähenevän kun ilmamäärä laskee. Jos tässä vaiheessa tiedossa on moottorin käyttämä ilman massa, joka on määritetty volumetrisen hyötysuhteen kautta, jolloin yleisesti polttoainekartan muoto seuraa pitkälti VE-karttaa. Vaikka polttoainekarttaa säädetään yleensä kolmiulotteiseen taulukkomuotoiseen karttaan, on hyvä tapa tarkastella kokonaisuutta välillä myös kolmiulotteisesta visuaalisesta esitysmuodosta, jolloin VE-käyrän muodonmuutokset hahmottuvat paremmin. Tämä pätee myös muihin laajoihin säätökarttoihin, kuten esimerkiksi sytytyskarttaan. Virheet taulukossa voivat jäädä helposti huomaamatta, vaikkakin yleisesti solujen värit kertovat tästä. Visuaalisesta 3-ulotteisesta esitysmuodosta nämä kuitenkin erottuvat helpommin huomattavana eroavana piikkinä tai laskuna, josta voidaan päätellä, että arvoissa on jotain vialla.

Kun moottorin vääntömomentti mitataan esimerkiksi tehodynamometrissä, saadaan tästä graafinen kaavio vääntömomentista eri kierrosalueilla. Tämä vääntökäyrä on lähes suoraan verrannollinen moottoriin virtaavaan ilman määrään, jonka pitäisi täten vastata VE-kartan kolmiulotteisen esitystavan muotoa.

Yleisesti säätökartta alkaa alhaalta lähtien nousemaan ylöspäin, kunnes moottori saavuttaa korkeimman vääntömomentin ja tämän jälkeen vääntökäyrä lähtee laskemaan alaspäin kierrosluvun noustessa. Kun tämän periaatteen ymmärtää, on helppo huomata etenkin polttoainepuoleen liittyvän kartan ongelmia.

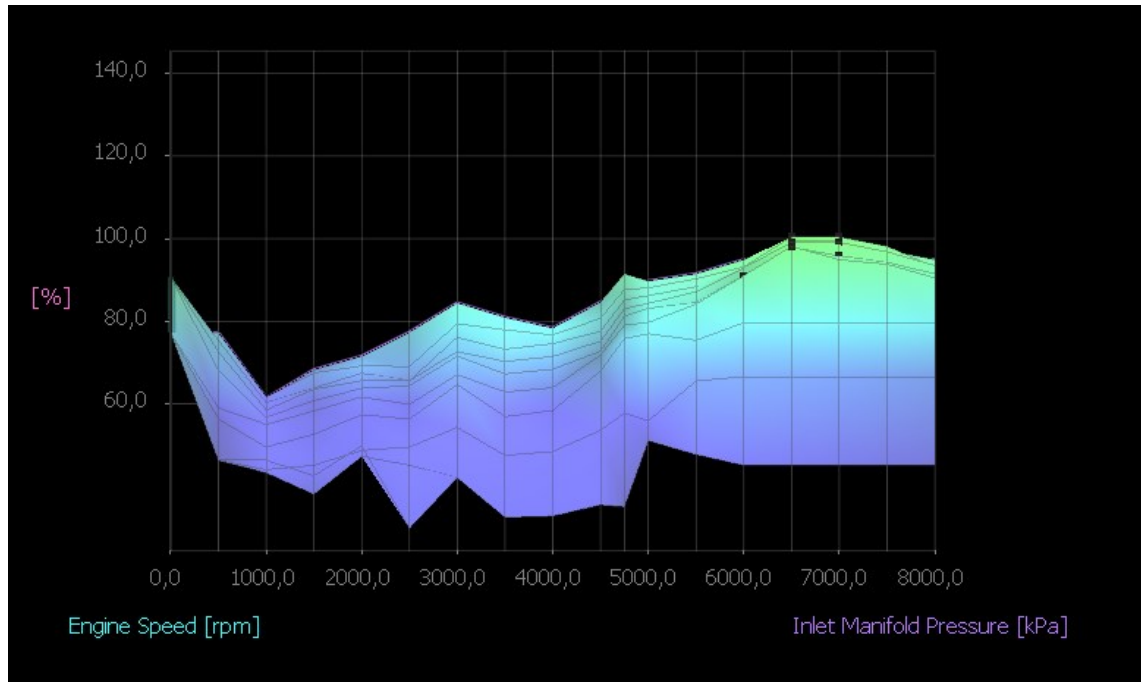
Yksi yleinen ongelma on etenkin viritettyjen ajoneuvojen kanssa polttoaineensyötön riittämättömyys, kun puhutaan suuremmista tehoista, kun moottorille ei saada tarpeeksi polttoainetta ilmaan suhteutettuna. Tämä ilmenee seossuhteen laihenemisena kierrosluvun kasvaessa. Tätä korjataan yleensä lisäämällä polttoainekarttaan pidempää suihkutusaikaa, mutta jos polttoainejärjestelmän kapasiteetti ei riitä niin ajaudutaan mahdollisesti jopa moottorin kannalta vaarallisiin ongelmiin seossuhteen mennessä laihalle.

Kyseinen tilanne voidaan huomata esimerkiksi tapauksessa, jossa polttoainekarttojen muuttaminen ei paranna seossuhdetta ja vääntö laskee kierrosten noustessa. Yleisesti odotuksena on, että polttoainekartan muoto on laakea ja tasainen, ilman suurempia äkkinäisiä muutoksia ja tämä kertoo yleisesti säätöjen olevan kohdallaan. (Kuva 12.)



Kuva 12. Polttoainekartta 3-ulotteisessa esitysmuodossa.

Toisaalta on huomioitava, että tämäkään ei aina ole absoluuttinen fakta riippuen moottorin ominaisuuksista ja joissain tapauksissa polttoainekarttaan tulee suurempia äkkinäisiä muutoksia. Esimerkkeinä näistä voidaan pitää moottoreita, johon on vaihdettu jyrkemmällä nokkaprofiililla olevat nokka-akselit, jotka voivat aiheuttaa huomattavan muutoksen polttoaineentarpeeseen alakierroksilla ja täten tekevän äkkinäisemmän muutoksen polttoainekarttaan. Jos kyseessä on tällä tavalla suunniteltu moottori, voi olla hyvä lisätä polttoainekartan kierrosluvun säätötarkkuutta kohdissa, joissa VE-arvoon tulee huomattavia muutoksia. Tämä parantaa seossuhteen pysymistä tasaisempaan nopeasti muuttuvissa olosuhteissa. (Kuva 13.)



Kuva 13. Säätkartan sivuprofiili.

Näiden varmistustoimien jälkeen on hyvä huomioida heti, jos polttoainekarttaan ilmestyy solujen osalta huomattavan suuria alueita, jotka vaativat paljon enemmän tai vähemmän polttoainetta kuin ympäröivät alueet. Tämä toimii selkeänä merkinä mahdollisista ongelmista ja antaa aiheen tarkastaa esimerkiksi kyseisiä soluja vastaavat seossuhteen tavoitearvot ja tarkastella kyseisien alueiden vääntökäyrää dynamometrin avustuksella.

### 9.3 Nakutus ja detonaatio

Usein polttoaineen vääränaikaisesta syttymisestä käytetään puhekielessä termiä nakutus, mutta huomioitavaa on, että tätä voi tapahtua hyvin erilaisissa tilanteissa sekä eri syiden takia. Tilanteet ovat jaettavissa kahteen pääryhmään, nakutukseen eli polttoaineen enneaikaiseen syttymiseen sekä detonaatioon eli haitalliseen nakutukseen. Näiden ero on hyvä tunnistaa, koska ne vaikuttavat säätämiseen suuresti etenkin pitkälle viritettyjen moottorien kanssa.

Nakutus viittaa enneaikaiseen syttymiseen ennen sytytystulpan kipinää, jossa liekkirintama etenee tasaisesti saavuttaen maksimipaineen 10–20 astetta

jälkeen yläkuolokohdan. Liekki etenee tässä tapauksessa kuten kipinän sytyttämänä, mutta sytytyshetki ei pysy määriteltynä vakiona vaan siitä saattaa tulla ennustamaton, epätäsmällinen ja ennenaikainen. Ongelmia aiheutuu, jos tapahtumaketju pahenee kuumien palokaasujen läsnäoloajan lisääntyessä ja tätä kautta aiheuttaen lämpöongelmien lisääntymistä aikaista ennenaikaisen syttymisen ajankohtaa entisestään. Monisynterissä moottoreissa nakutuksen tapahtuessa osassa sylintereitä, aiheutuu tehohäviötä näiden sylintereiden jarruttaessaan moottoria ja tehden sen, että oikein toimivat sylinterit pyörittävät pääasiallisesti moottoria. Pääasiallisesti lyhytaikainen nakutus ei ole haitaksi, mutta pahentuessaan saattaa aiheuttaa samoja ongelmia kuin detonaatio.

Detonaatiosta puhuttaessa tilanne on jo muuttunut vakavammaksi, tällöin palorintaman kulkiessa paineaallon jäljessä. Tämä paineaalto aiheuttaa itsessään valmiiksi puristuksissa olevan kuumenneen polttoaineseoksen hetkellisen lämpötilan nousun, joka aiheuttaa spontaanin syttymisen ja vahvistaa paineaallon mukana nopeasti etenevää seoksen palamista vahvistavaa palorintamaa.

Etenkin suurilla kuormilla tämä aiheuttaa huomattavaa vaaraa moottorin männille, männänrenkaille, kiertokangille ja suurta kuormaa kampiakselin laakeroinnille. Lämpötilan noustessa mäntä tai venttiilit voivat kuumentua niin suuresti, että alkavat jopa sulaa.

Suurimpia aiheuttajia ovat käytetty polttoaine, kuormitusaste, imuilman lämpötila sekä moottorin sylinterikannen suunnittelu. Nakutustunnistimen tarjoamien ominaisuuksien lisäksi nakutusta voidaan ennaltaehkäistä lisäämällä polttoaineensyöttöä, myöhäistämällä sytytystä, käyttämällä korkeaoktaanisempaa polttoainetta (esim. E85) ja varmistamalla että palotila pysyy karstattomana sekä sopivassa lämpötilassa.

## **10 Käytännön esimerkkityö: Suzuki GSX-R 750 (K3/2003) Motec M130 -moottorinohjausjärjestelmällä**

Opinnäytetyön käytännön työn kohteeksi valikoitui 750-kuutioinen Suzuki GSX-R (mallikoodi K3, vuosimalli 2003) moottoripyörä, jonka oli tarkoitus tulla opiskelijoiden käyttöön erilaisia Turun Ammattikorkeakoulun autolaboratorion harjoitustöitä varten. Moottoripyörän valinta auton sijaan perustui vähäiseen tilantarpeeseen ja helppoon siirrettävyyteen.

### 10.1 Moottorinohjausjärjestelmän valinta

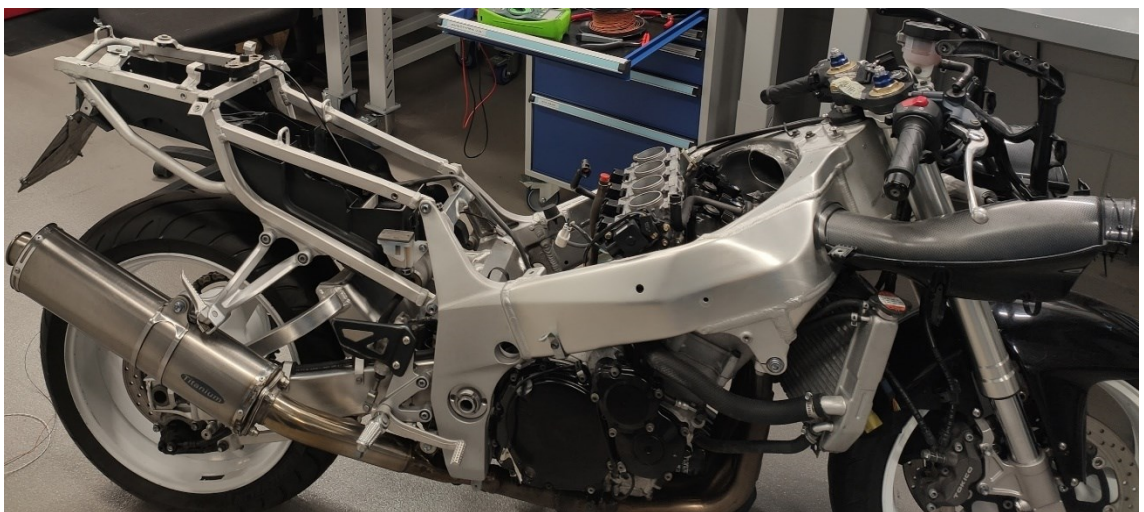
Moottorinohjauksen osalta kyseinen moottoripyörä ei vaatinut kovin suuria erikoisuuksia tekniikan ollessa perinteinen nelisylinterinen nelitahtimoottori ilman säätäviä nokka-akseleita. Toiveena kuitenkin oli, että moottorinohjausjärjestelmä olisi hyödynnettävissä myös muissa tulevilla projekteissa. Turun AMK:lla oli käytännön kokemusta Motecin järjestelmistä mm. eRallcross-projektista sekä valmiiksi erilaisia tuoteperheeseen kuuluvia lisälaitteita, kuten esimerkiksi erillinen tiedonkeruujärjestelmä. Tästä syystä valinta kohdistui Motec M130 -moottorinohjausjärjestelmään, jota laajennettiin vielä saman valmistajan LTC 4.9 -laajakaistalambdaohjaimella sekä IGN4 -sytytysyksiköllä.



Kuva 14. Motec M130 -ohjainlaite.

## 10.2 Katteiden purkaminen ja johtosarjan irrotus

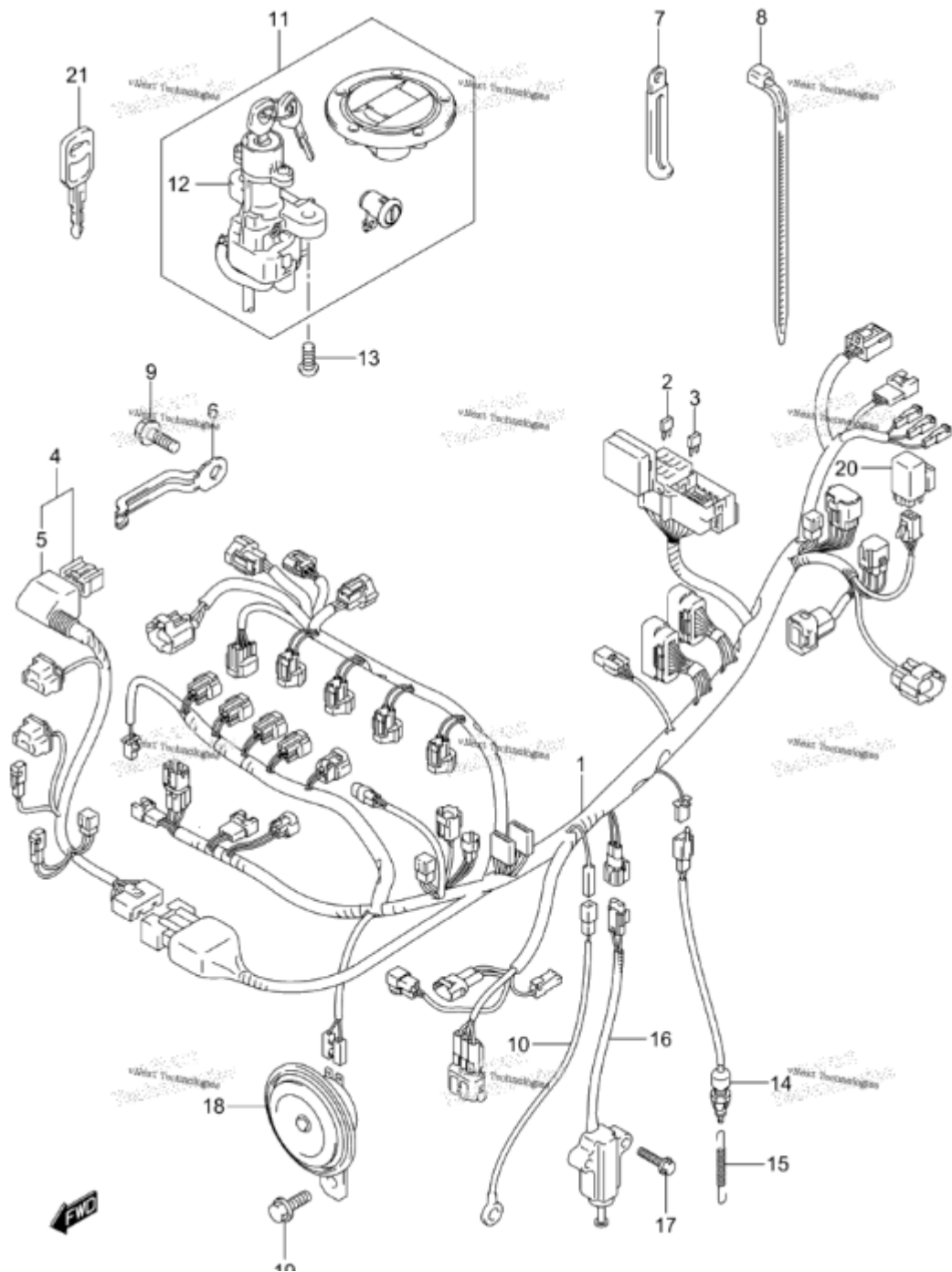
Aluksi moottoripyörän toimivuus ja käyntikunto tarkastettiin sekä tehtiin lista tarvittavista huolto-osista. Tämän jälkeen katteet purettiin irti, jotta päästiin käsiksi johtosarjaan. Purkutyö oli yleisesti helppo, ongelmia oli lähinnä vaurioituneiden katteiden ruuvien kanssa. Johtosarjan irrotus vaati myös keulan katteiden purkamisen.



Kuva 15. Moottoripyörä riisuttuna.



Johtosarja oli kiinni rungossa pääosin muovisilla kiinnikkeillä ja suojattu osittain teipillä ja mustalla muovisella sukutteella. Tilan ahtaus ja ajan myötä tiukkaan kiinni jumittuneet liittimet hidastivat ajoittain purkamista, mutta työ onnistui perustyökaluja käyttäen. Käytössä ollut Suzukin korjausopas sisälsi myös selkeän kuvan johtosarjasta, jonka avulla oli helppo tarkistaa kaikkien liitännöiden paikat etukäteen ja merkitä mille toimilaitteelle kyseinen liitin liitetään (Kuva 16.). Liittimien merkkäminen tässä vaiheessa helpotti adapterin johdotuksen hahmottamista myöhemmässä vaiheessa.



Kuva 16. Johtosarja liittimiseen. (Suzuki 2004)

Kyseisessä pyörämallissa oli johtosarjan osalta useita erilaisia variaatioita, jotka vaihtelivat myyntialueen ja vuosimallin mukaan johtosarjan ollessa ulkoisesti lähes identtinen. Eroja malleissa on esimerkiksi johtojen värityksessä sekä ominaisuuksissa. Tämän vuoksi johtosarjan muovista sorapäällystettä oli

avattava osiltaan jotta pystyi varmistumaan oikean kaavion käyttämisestä. Ensimmäinen käytössä ollut sähkökaavio ei vastannut kyseistä johtosarjaa, tämän aiheutuessa siitä että käyttöönottovuosi ei vastannut moottoripyörän vuosimallia. Asia oli mahdollista varmistaa moottorinohjausyksikön päälle liimattujen tietojen perusteella. Sähkökaavioiden kuvanlaadussa oli myös toivomisen varaa, joka aiheutti ajoittain hankaluuksia.

### 10.3 Johtosarja-adapteri

Adapterin vaatimuksena oli säilyttää alkuperäinen johtosarja muuttumattomana sekä kompakti koko. Vaatimus perustui siihen, että myöhemmin olisi mahdollisuus vertailla Motec M130 ja OEM-moottorinohjausyksikön eroja käytännön kokein tai palauttaa moottoripyörä vakiokuntoon tarvittaessa. Lisäksi suunnitelmissa oli tehdä sopiva 3d-tulostettu kotelo tai käyttää valmista koteloa, joka olisi mahdollisuus asettaa penkin alle alkuperäiselle paikalle. Tämän piti mahdollistaa kompakti koko ja vaatimus pitkästä käyttöiästä.

Irtonaisen johtosarjan pinnijärjestyksen dokumentointi tapahtui mittaamalla moottorinohjausyksikön liittimen pinnien ja tunnistimien sekä toimilaitteiden liittimien välinen yhteys yleismittarin jatkuvuustestillä. Testauksen tulokset kirjattiin Excel-tiedostoon dokumentoiden moottorinohjausyksikön liittimen (A 1–34 & B1-26) pinnin numeron, johdon värin sekä mihin tunnistimeen kyseinen liitin on liitetty.

Dokumentoitujen tietojen ja Motecin tarjoaman yleiskäyttöohjeen sekä Suzuki Hayabusa Gen 1/2 Motec M130 -plugin tyyllisen adapterisarjan ohjeistuksen avulla mahdollisuus varmistua uuden moottorinohjauksen pinnijärjestyksestä. Vaikka esimerkiksi pinnijärjestys erosi 1. mallisarjan Hayabusasta osittain, oli kyseisten moottoripyörien tekniikka, liittimet, anturointi sekä toimilaitteet hyvin samanlaiset kokonaisuudessaan mallierosta huolimatta. Myöhemmin johtosarjan piirustukset toteutettiin vielä Rapid Harness -ohjelmiston avulla, jolloin talteen saatiin visuaalinen esitys pinnijärjestyksestä sekä johdotuksesta yleisesti. (Liite 1 ja 2). Alkuperäinen toive Zuken E3 käyttämisestä johtosarjan

dokumentoinnissa ei toteutunut, ohjelmisto olisi vaatinut huomattavan määrän aikaa, jonka puute alkoi näkymään loppua kohden monessa kohtaa opinnäytetyötä.



Kuva 17. Adapteri kokonaisuudessaan.

#### 10.4 Imusarjan toisioläppien poisto

Hayabusan ohjedokumenttia läpikäymällä selvisi, että imusarjassa olevat askelmootorilla ohjattavat toisiokaasuläpät eivät olleet käytettävissä uuden moottorinohjauksen kanssa. Tästä syystä itse läpät päätettiin poistaa, mutta kaikki niihin liittyvät sähköistykset ja anturoinnit jäivät kuitenkin paikoilleen.

Toisioläppien poisto aiheuttaa virhekoodin mittaristossa, kun virrat laitetaan päälle alkuperäistä moottorinohjausta käyttäessä. Virhekoodi perustuu kalibrointisykliin, joka epäonnistuu toisiokaasuläpän akselin liikkeessä yli säätöarvojen. Käytännössä tämä ei aiheuta ongelmia, mutta itse toisioläppien poistaminen voi aiheuttaa pientä vääntömomentin laskua ala- ja

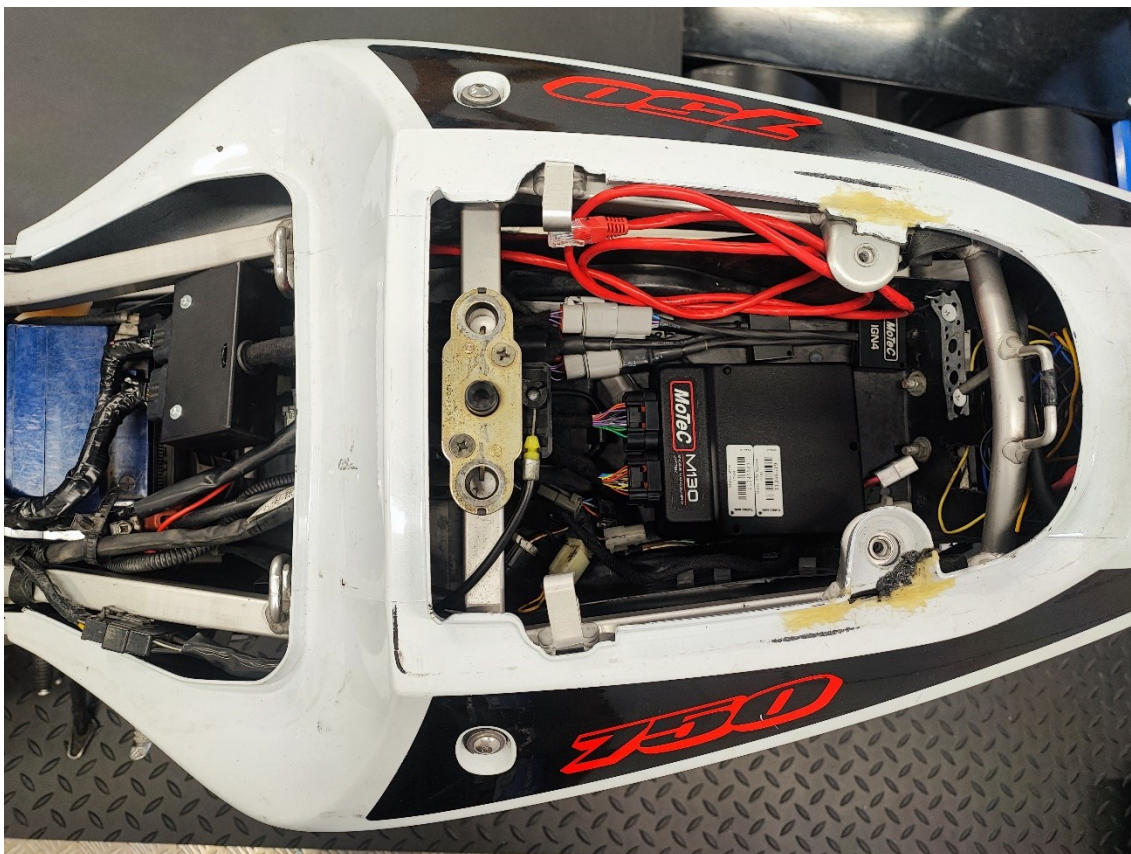
keskirekisterissä. Toisioläppien tehtävä on pienentää pienillä kierroksilla imusarjan pinta-alaa, jolloin ilman virtausnopeus kasvaa. Toinen toisioläppien tehtävä on parantaa ajettavuutta sekä turvallisuutta hidastaen kaasuläppien sulkeutumista, kun kaasuläppä suljetaan nopeasti.

#### Adapterin sijoittaminen moottoripyörään

Johtosarjan suunnittelussa oli aluksi monta eri tavoitetta, kuten esimerkiksi tehdä siitä hyvin kompakti ja toteuttaa sille oma koteloitu 3d-tulostamalla, joka suojaisi liittimiä ja johtimia sekä kestäisi käyttöä. Lisää opiskellessa ja oppiessa, on esimerkiksi johtoväriytyksien määrittämiselle tullut huomattavan erilainen tapa, jota käytän nykyään kaikissa johtosarjaan liittyvissä sähkötoissa.

Kustannuksien vuoksi kaikkia johtimia ei ollut mitään järkeä ruveta värikoodaamaan sen isommin, mutta värikoodauksen logiikka meni aavistuksen pieleen jossain kohtaa adapteria valmistaessa. Samalla on mainittava, että koska vedot ovat hyvin lyhyet, olisi tarkasti tehtynä ollut mahdollista käyttää myös yhtä ainoaa väriä ja nimetä johdot tarrakirjoittimen kanssa yhteensopivalla kutistesukalla. Toinen vaihtoehto olisi käyttää pieniä pätkiä erivärisiä kutistesukkia tai niiden yhdistelmiä värikoodauksen helpottamiseksi.

Uusi moottorinohjaus sijoitettiin penkin alla olevaan tilaan lisälaitteiden kera. Tarvittaessa sen sijoittaminen alkuperäisen moottorinohjaimen paikalle olisi ollut mahdollista, mutta nykyisellä sijoittelulla on mahdollista jättää Motec M130-moottorinohjain paikoilleen säilytystilaan vaikka käytössä olisikin alkuperäinen Suzukin moottorinohjaus.



Kuva 18. Motec M130 asennuspaikka.

### 10.5 Lisälaitteet ja lisäykset johtosarjaan

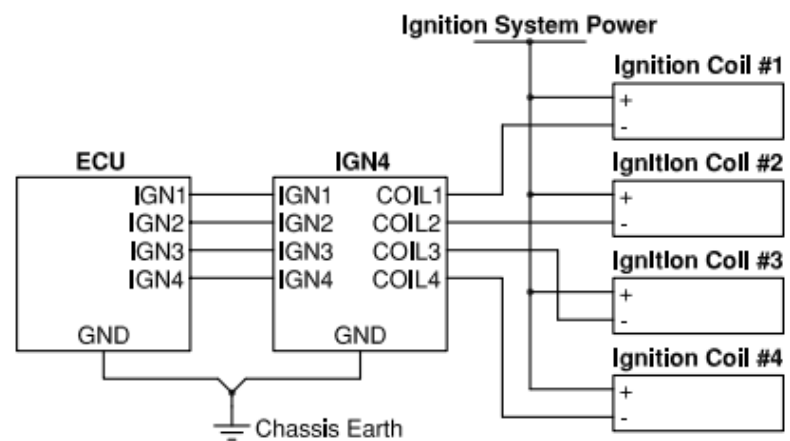
M130 -moottorinhjaimen kommunikointi tietokoneen kanssa tapahtuu RJ-45-ethernetkaapelin avulla. Periaatteessa liitäntä olisi ollut järkevin toteuttaa naaraspuolisella liitäntärasialla, mutta käytännössä käyttöön otettiin RJ-45 ethernetkaapeli, joka liitettiin M130 pinneihin B23-B26.

B23	ETH_TX+	Ethernet Transmit +	Ethernet Green/White
B24	ETH_TX-	Ethernet Transmit-	Ethernet Green
B25	ETH_RX+	Ethernet Receive +	Ethernet Orange/White
B26	ETH_RX-	Ethernet Receive-	Ethernet Orange

Kuva 19. Ethernet -liitäntä. (Motec 2023)

Sytytyspuolille lisättiin 4-kanavainen Motec IGN4-kipinänvahvistin, jota moottoripyörässä olevat pääteasteettomat Denson valmistamat puolat vaativat toimiakseen. Asennus suoritettiin mukana tulleen dokumentaation mukaisesti sytytyspuolien ja M130- moottorinohjausyksikön väliin käyttäen Deutchin valmistamia liittimiä.

### *Wiring Schematic*



Kuva 20. Motec IGN4 asennuskaavio. (Motec 2023).

Säätötarkkuuden parantamiseksi hyödynnettiin M130-moottorinohjausyksikön CAN-väylää, joka mahdollisti Motecin LTC 4.9 laajakaistalambdaohjaimen lisäämisen. LTC 4.9 ohjaimen tehtävänä on muuntaa anturilta tuleva jännitetieto CAN-väylää pitkin kulkeviksi viesteiksi. Koska kyseisessä moottoripyörässä ei aikakauden mukaisesti ole lambda-anturia koskaan ollut, porattiin anturille paikka pakoputkistoon ja hitsattiin siihen sopiva kierreholkki. Asennusohjeissa lambda-anturin asennoksi on määritelty sijainniksi putkiston vaakatason yläpuoli maksimissaan 45 asteen kulmassa, jonka avulla vältetään anturin vaurioituminen kosteuden kerääntymisen vuoksi. Riittävä etäisyys pakosarjasta sekä putkiston liitoskohdista oli otettava myös huomioon. Anturille löytyi sopiva paikka putkiston keskikohdilta takahaarukan kiinnityskohdan kohdilta rungon läheltä, jolloin anturi on myös suojattuna ulkoisilta iskuilta.

<b>Power/CAN Connector</b>		
DTM 4pin (M) (#68055)		
Mating connector: DTM 4pin (F) (#68054)		
<b>Pin No</b>	<b>Wire Colour</b>	<b>Description</b>
1	Black	Battery -
2	Green	CAN Lo
3	White	CAN Hi
4	Red	Battery +

Kuva 21. LTC 4.9 kytkentä. (Motec 2023)

LTC 4.9 vaati tämän lisäksi oman ohjelmiston, jossa määritettiin käytettävä anturimalli (Bosch LSU 4.9) ja esimerkiksi CAN-väylän osoitealue, jolla on merkitystä jos CAN-väylässä on useampia laitteita. Ohjelmisto mahdollistaa myös anturin kalibroinnin uudestaan sen ikääntyessä, mutta uuden anturin kohdalla ominaisuutta ei ole tarvetta käyttää.

#### 10.6 Ohjelmiston käyttöönotto ja asetukset

Johtosarja asennettiin pyörään paikoilleen Suzukin korjausoppaan mukaisesti varmistaen, että kaikki johdotukset menevät samoista paikoista kuin ennen purkamista. Adapteri liitettiin johtosarjaan ja Motec M130- moottorinohjain asetettiin alkuperäisen ohjainlaitteen paikalle penkin alla olevaan tilaan.

Säätäminen tapahtuu Windows-pohjaisella Motec M1 Tune -ohjelmistolla. Ohjelmisto tunnisti moottorinohjausyksikön heti kun moottoripyörän virrat kytkettiin päälle ethernet-kaapeli liitettynä. Ohjelmisto ilmoitti heti useasta virheestä antureiden tiedoissa tai säätöarvoissa. Virhetiedoissa ei kuitenkaan ollut mitään vakavia vikoja, vaan nämä johtuvat yleensä siitä ettei yksikölle ollut ajettu vielä ohjelmistopakettia ollenkaan ja antureiden kalibrointi-arvot eivät olleet kohdallaan.

Säätökartat ja konfiguraatiot sisältävä ohjelmistopaketti, lisenssi ja peruskartan pohja tuli Mika Suomisen toimesta M-Data Oy:ltä, jolta tarvittaessa sai myös



opastusta eri osa-alueilla projektin aikana. Vaikka polttoaine- ja sytytyskartta olivat molemmat käyttökelpoiset pohjiksi, piti pohjakartasta käydä läpi kaikki antureiden kalibroinnit ja pinnien määrittämiset sen ollessa hieman eri moottoripyörämalliin. Moottorin sylinteritilavuuden, kampi- ja nokka-akseleiden signaalien sekä polttoaineen osalta muutoksia ei tarvinnut tehdä vaan arvot olivat valmiiksi kohdallaan. Nämä tiedot olisivat olleet kuitenkin helposti löydettävissä ja tarkistettavissa, joten tietojen puuttuminenkaan ei olisi ollut suuri ongelma.

Huoltomanuaalissa oli tietoa antureiden toiminta-arvoista ainoastaan graafisesti ilman lukuja sekä joitain yksittäisiä vastus- tai jännitearvoja, jotka on tarkoitettu vianmääritykseen ja mittaukseen. Aikaa vievästä etsinnästä huolimatta näille ei löytynyt geneerisiä valmistajien osakoodeja tai tietolehtiä, joita olisi ollut mahdollisuus hyödyntää. Tästä johtuen lähestulkoon kaikki anturiarvot oli mitattava yksitellen.

Lämpöarvojen mittaus toteutettiin fysiikan laboratoriosta lainatulla laitteistolla, jonka avulla voitiin määrittää nesteen lämpötila tarkasti ja mitata antureiden vastusarvot usealla eri lämpöalueella. Kylmä ulkoilma tarjosi -6 asteen lämpötilassa yhden mittapisteen matalasta lämpötilasta. Lopulta mittauksen jälkeen paljastui, että vastuskäyrät vastasivat pitkälti yleisiä Boschin valmistamien lämpötila-antureiden kalibrointikäyriä, vaikka valmistajana oli Denso. Vaikka arvot olisi ollut mahdollista tehdä itse omaan käyrästöön, otettiin käyttöön ohjelmistosta valmiiksi löytyvä kalibrointi. Mittauksien erot olivat hyvin pieniä ja mittatarkkuus riittävä, koska jokusen lämpöasteen heitto ei vaikuttaisi suuremmin säädettävyyteen tai käyttöön. (Kaavio 1.)

Lämpötila	Vihreä	Harmaa	Alkuperäinen
	Resistanssi	Resitanssi	Resitanssi
-10			
-6	8,11	7,47	
21	2,40	2,32	2,71
30	1,70	1,66	1,92
40	1,18	1,16	1,30
50	0,83	0,83	0,90
60	0,60	0,60	0,63
70	0,43	0,44	0,45
80	0,32	0,32	0,32
85	0,28	0,28	0,28
90	0,24	0,24	0,22
110	0,14		
130	0,09		

Kuva 22. Lämpötila-antureiden mittaukset.

Vallitsevan ilmanpaineen ja imuilmanpaineen tarjoavat anturit olivat kyseisessä moottoripyörässä samaa mallia, joten aluksi oli tarkoitus mitata vain toinen ja käyttää tämän kalibrointitietoja molemmissa. Mittaus tapahtui käyttäen pientä käsikäyttöistä alipainepumppua ja tarkkailemalla Motec M1 Tune - säätöohjelmiston antamia reaaliaikaisia arvoja. Näiden kahden anturin mittauksissa todettiin pientä heittoa, joten antureihin toteutettiin omat kalibroinnit. Arvojen ero oli suhteellisen pieni mutta kuitenkin huomioon otettava, vaikka arvot olivat riittävän lähellä huoltomanuaalin ohjearvoja. Nykyisessä käyttötarkoituksessa olisi voitu myös vallitsevan ilmanpaineen mittaaminen jättää kokonaan pois käytöstä.

Kaasuläpän asentotunnistimen arvojen asettaminen oli yksinkertaista, vaikka automaattinen aputoiminto ei tuntunut tunnistavan eri ääriasentoja oikein. Pienellä testauksella oikeat arvot löytyivät kuitenkin parissa minuutissa, kun säätöjä teki seuraten ohjelmiston tarjoamaa graafista tietoa hyväksikäyttäen ja asettamalla säätöarvot kenttiin manuaalisesti.

Sytytyspuolien latausaika määritettiin manuaalisesti 2,8 millisekuntiin, mutta todellisuudessa tämä olisi hyvä varmentaa oskilloskoopin kanssa käyttäen alkuperäistä moottorinohjausyksikköä. Tämä on suositeltavaa etenkin tulevaisuudessa, kun moottoria aletaan käyttämään pidempiä aikoja tai jos sytytyksen kanssa huomataan ongelmia korkeammilla kierroksilla.

Asetetut suuttimien tiedot perustuvat pitkälti internetistä löytyviin tietoihin sivustojen tarjotessa suutinkooksi vaihtoehtoja 190 cc ja 270 cc väliltä ja valmistajaksi Keihiniä. Yksi syy eroihin saattaa olla se, että samoja suuttimia on käytetty eri iskuilavuuden omaavissa Suzukin moottoripyörämalleissa, jolloin esimerkiksi bensaapaineessa saattaa olla eroavaisuuksia. Eri foorumikeskusteluissa yleisimmin suuttimien kooksi mainittiin 240 cc 3 bar polttoaineenpaineella. Tämän lisäksi suuttimien kokoa arvioitiin tähän soveltuvalla laskentakaavalla, jonka tulokseksi saatiin 237,9 cc/min. Täydellinen varmuus suuttimien tuotosta ja muut arvot olisi mahdollista varmistaa suutinpenkissä tarvittaessa, mutta tässä tilanteessa siihen ei nähty tarvetta. Yleismittarilla tehdyllä mittauksella voitiin kuitenkin varmistua, että kyseessä olivat korkeaimpedanssiset suuttimet vastuksen ollessa noin 13,7 ohmin luokkaa.

Muista antureista määriteltiin kytkinkahvan tila ja vapaan vaihteen tieto, joita on mahdollisuus käyttää erilaisissa sovelluksissa ja joita tarvittiin turvaominaisuuksien määrittämiseen. Yleisesti kyseisten turvallisuusominaisuuksien toimintatapojen selvittäminen vei aikaa, koska näiden toteutus vaihteli hieman. Osa ominaisuuksista vaikutti moottorinohjausyksikön virransyöttöön, kun taas toiset oli rakennettu itsessään sähköjärjestelmään esimerkiksi releiden avulla. Ehtoja ja turvaominaisuuksia on monta, kun otetaan huomioon eri käyttötilanteet. Näistä mainittakoon esimerkiksi kytkinkahvan kytkin, vapaan vaihteen tunnistin, kaatumistunnistin ja tukijalan kytkin.

### 10.7 Koekäyttö

Pyörä käynnistyi ensiyrittämällä ja kävi tasaisesti, kunhan VE-karttaan teki pieniä hienosäätöjä. Tässä kohtaa riitti, että moottori olisi käytettävissä tyhjäkäynniltä aina 4000rpm asti sekä käynnistyisi kylmänä ja lämpimänä. Koska sytytyskartta ei ollut tässä vaiheessa vielä kovin pitkällä, oli parempi jättää dynamometriin siirto myöhemmälle ajankohdalle, jolloin tarjolla olisi koulutusta Motecin käyttöön liittyen.

Paikallaan tapahtuneiden koekäyttöjen jälkeen varmistuttiin niin öljyjen kuin jäähdytysnesteiden määrästä ja moottoripyörä tarkistettiin yleisesti. Katteet asennettiin paikoilleen. Katteita asentaessa yksi metallinen tukirauta oli laitettu väärinpäin, joka aiheutti pientä lämpövauriota katteen alaosaan sisäpuolelle kuuman pakosarjan ollessa normaalia lähempänä katetta. Tästä ei kuitenkaan aiheutunut suurempaa vaaraa, mutta dynamometrikäytössä tämä virhe olisi voinut johtaa palovaurioon.

Tehodynamometriin siirtämisen jälkeen (Kuva 23) aloitettiin polttoainekartan säädöt sopivaksi todetulla sytytyskartalla, joita haettiin solu kerrallaan 4000 rpm asti. Tehodynamometrin rullat tarjosivat tarpeeksi vastusta suurehkon massan vuoksi, jonka takia lisävastusta ei tarvittu jarrun muodossa. Rullien pyörimään saaminen vaati jonkin verran kytkimen luistattamista sekä tarkkaa kaasun käyttöä, mutta nopeuden saavuttaessa noin 12–15 km/h vauhdin voitiin kytkin vapauttaa ja lisätä nopeutta vapaammin. Säädöt haettiin kohdilleen ajamalla pääosin 3. vaihteella, jolloin nopeus ei noussut turhan korkeaksi ja toisaalta moottori ei joutunut liian kovalle rasitukselle. Oli kuitenkin huomattava, että pyörä vaati tehodynamometrin jäähdytystuulettimen käytön lähes täysteholla pidemmissä testi- ja säätösykleissä.



Kuva 23. Suzuki käyttövalmiina.

VE-kartan säätöjen ollessa lähellä haettua alempien kierrosten soluissa, voitiin säätöaluetta nostaa kiihdytys kerrallaan korkeammille kierroksille. Tätä ennen kuitenkin polttoainekarttaa säädettiin ylöspäin 4000 rpm kohdalta nostaen VE-kartan arvoja noin 2 % per solu aina edellisestä kierrosluvun arvosta arvioituaan maksimivääntömomentin kierroslukuun saakka. Sama tehtiin jälkeinpäin kuorman mukaan, lisäten arvoja samalla tavalla kuorman lisääntyessä kohti korkeimman väännön aluetta. Tämän avulla päästiin yleisesti seossuhteessa alle 10 % korjausarvoon, joka oli helpompi lähtökohta hakea arvoja kohdalleen solu kerrallaan.

Ensimmäisten täyskiihdytysten jälkeen oli mahdollista katsoa lokitallenteista missä alueella seossuhde oli käynyt ja säätää karttaa lambda-anturin tekemän korjauksen mukaan toistaen täyskiihdytyksiä muutoksien jälkeen. Rasituksessa moottorin lämpötila nousi yllättävänkin nopeasti, joten tästä johtuen ohjelmistoon määritettiin hälytysarvoja, jotka näkyisivät heti näytöllä ja

lämpötilaa tarkkailtiin aktiivisesti jokaisen pidemmän kiihdytyksen jälkeen. Kun arvot alkoivat olla korkeammilla kierroksilla 10 prosentin sisällä haetusta AFR-arvosta, oli mahdollista lähteä hakemaan viereisten solujen arvoja samalla 2 % muutoksella sekä ajamaan soluja läpi laajemmalla alueella siirtyen solusta toiseen tasaisin kierrosvälein. VE-kartan säätöjen kanssa tavoitteena oli päästä alle 3 % lambdakorjaukseen closed loop -tilassa. Täyskaasukiihdytyksen arvoja taas yritettiin mahdollisimman lähelle optimaalista arvoa.

Kaikkia moottorinohjausyksikön arvoja on mahdollista tallentaa lokiin, jota on mahdollista käyttää myöhemmin säätöjen hakemiseen ottaen huomioon erilaisia tekijöitä kuten kaasuläpän asento. Myös M1 Tune ohjelmistossa on mahdollisuus palata ajassa taaksepäin ja tarkastella anturiarvoja eri hetkissä.

Suurempien ja pidempien logien tarkasteluun käytin MegaLogVieweriä, lähinnä koska itselläni oli aikaisempaa kokemusta kyseisestä ohjelmistosta.

MegaLogViewerin hinta on kohtuullinen ominaisuuksiin nähden ja muokattavuus mahdollistaa laajat mahdollisuudet lokien arvojen esittämiseen ja käsittelyyn eri parametrien kera. Yleisesti lokitallennus kannattaa pitää aina käynnissä, kun ajoneuvoa säädetään tai koeajetaan, jolloin voidaan palata ajassa taaksepäin ja etsiä esimerkiksi mahdollisia ongelmanaiheuttajia.

## 11 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli hankkia moottoripyörä ja vaihtaa siihen säädettävä moottorinohjausyksikkö tehodynamometrikäyttöä varten. Moottoripyöräksi työhön valikoitui Suzuki GSX-R 750. Tavoitteet tarkentuivat johtosarjan suunnitteluun ja kotelointiin, sopivan adapterin rakentamiseen sekä johtosarjan dokumentointiin Zuken -ohjelmistolla sekä käyntikuntoon saattamiseen. Vaatimuksena oli myös alkuperäisen johtosarjan säilyttäminen muokkaamattomana, jotta olisi mahdollisuus vertailla näiden kahden eroja käytännössä. Työn suorittaminen edellytti syventymistä moottorinohjausjärjestelmien toimintaperiaatteisiin. Moottorinohjausyksiköksi valikoitui Motec M130, sillä Turun ammattikorkeakoululla oli jo valmiiksi kokemusta Motec:n ohjelmistoista sekä lisälaitteita, jotka soveltuisivat liitettäväksi tähän moottorinohjausyksikköön.

Moottoripyörä hankittiin Turun ammattikorkeakoululle opetuskäyttöön. Uutta moottorinohjausyksikköä varten valmistettiin johtosarja-adapteri uuden yksikön ja moottoripyörän alkuperäisen johtosarjan väliin. Johtosarja-adapterista tehtiin kytkentäkaavio RapidHarness ohjelmistolla. Moottorinohjausyksikköön asennettiin säädöiltään osittain soveltuva moottoripyörän pohjakartta, jota muokattiin sopivaksi kyseiseen moottoripyörään. Motec M1 Tune oli säätöohjelmistona laaja ja monipuolinen, mutta asetusten muuttaminen oli kuitenkin kohtuullisen yksinkertaista ilman aikaisempaa kokemusta ohjelmistosta. Moottoripyörä toimi uudella moottorinohjausyksiköllä dynamometrikäytössä.

Työtä oli tarkoitus dokumentoida jatkokäyttöä ajatellen pitkin projektia, osa dokumentoinnista kuitenkin katosi opinnäytetyön aikataulun pitkeydessä. Johtosarja-adapteri oli toimiva, mutta kotelointi ei valmistunut aikataulussa ja adapteriin on jouduttu tekemään korjauksia kylmäjuotosten takia. Myös kotelointi on toteutettu jälkeinpäin oikeaoppisen vedonpoiston kanssa. Vaikka adapterista on kaaviot toteutettuna RapidHarness -ohjelmistolla, ei tämä vastaa alkuperäistä vaatimusta Zuken:lla toteutetusta kaaviosta. Käyntikuntoon

saattaminen onnistui ja tavoitteet ylittyivät, kun moottoripyörä oli käytettävissä dynamometrissä laajalla kierrosalueella. Ajallisesti tämän säätötyön osuutta olisi pitänyt käyttää muihin osa-alueisiin, koska opinnäytetyön ei pitänyt keskittyä siihen suuremmin.



## Lähteet

Bell A. G. 2007. Nelitahtimoottorin virittäminen. Suom. Esko Mauno. Helsinki: Alfamer Oy

Bell A. 1998. Uusi Moottoritekniikka: Virittäminen ja säätäminen. Suom. Esko Mauno. Helsinki: Alfamer Oy

Dietsche, K. & Reif, K. 2018. Automotive handbook. 10th edition revised and extended. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.

Schneehage G. 2013. Moottorinohjaus: Tunnistimet. Suom. Juha Seppälä. 1. painos. Helsinki: Suomen Autoteknillinen Liitto Oy

Schneehage G. 2020. Moottorinohjaus: Toimilaitteet. Suom. Björn Boström. Helsinki: Suomen Autoteknillinen Liitto Oy

Haltech Knowledge Base: Technical Library. Viitattu 8.2.2022.  
<https://support.haltech.com/portal/en/kb/haltech/technical-library>

Haltech Technically Speaking. Youtube. Viitattu 8.5.2023  
<https://www.youtube.com/playlist?list=PL23CE8458E3FF37C0>

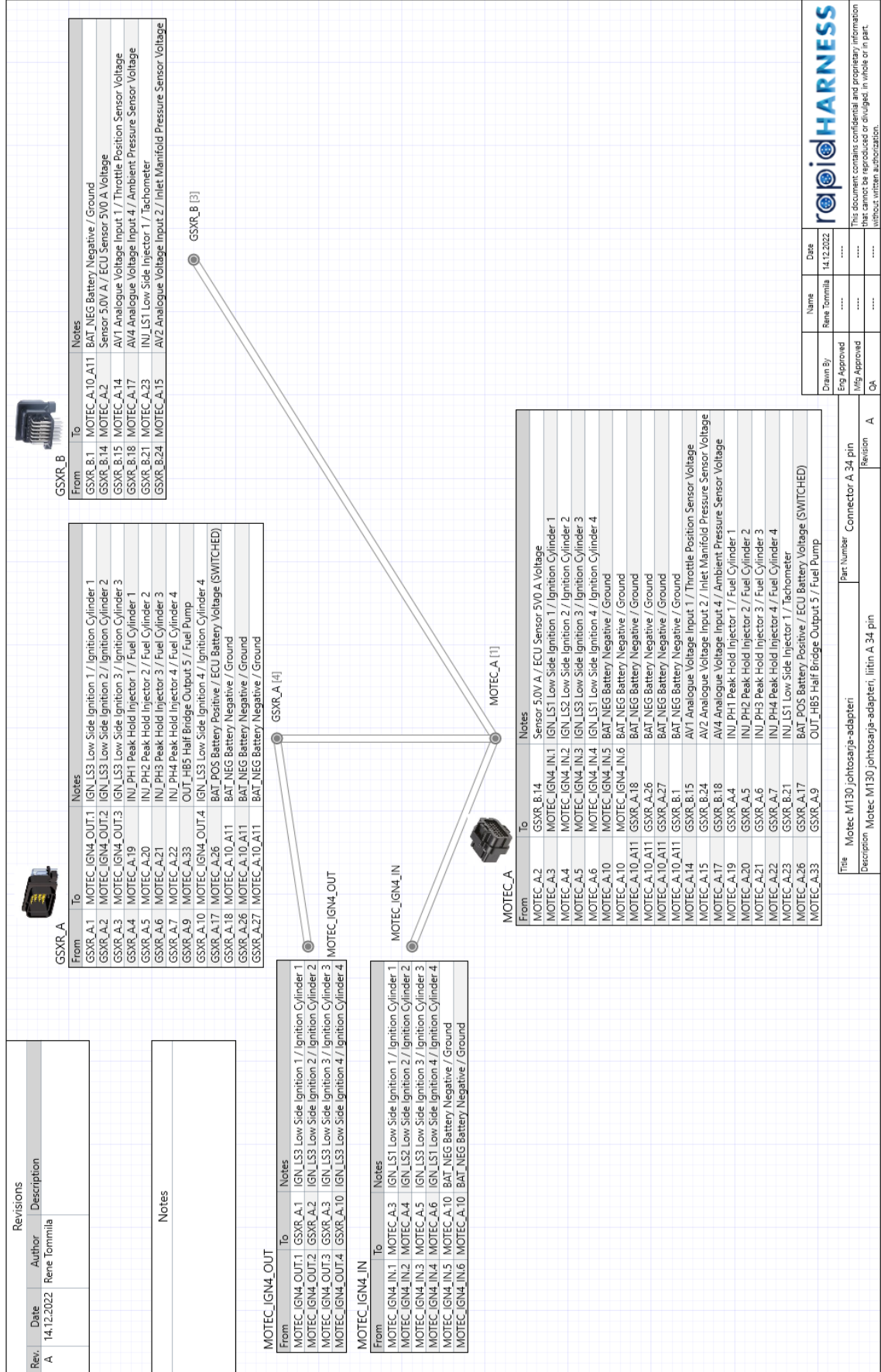
High Performance Academy. Youtube. Viitattu 8.5.2023  
<https://www.youtube.com/@hpa101/videos>

High Performance Academy Webinars. Viitattu 8.5.2023  
<https://www.hpacademy.com/previous-webinars/>

ResearchGate: Crankcase Supercharged Four Stroke Engine with Oil Seperating System. Viitattu 3.12.2022.  
[https://www.researchgate.net/publication/279058432\\_Crankcase\\_Supercharged\\_Four\\_Stroke\\_Engine\\_with\\_Oil\\_Seperating\\_System](https://www.researchgate.net/publication/279058432_Crankcase_Supercharged_Four_Stroke_Engine_with_Oil_Seperating_System)

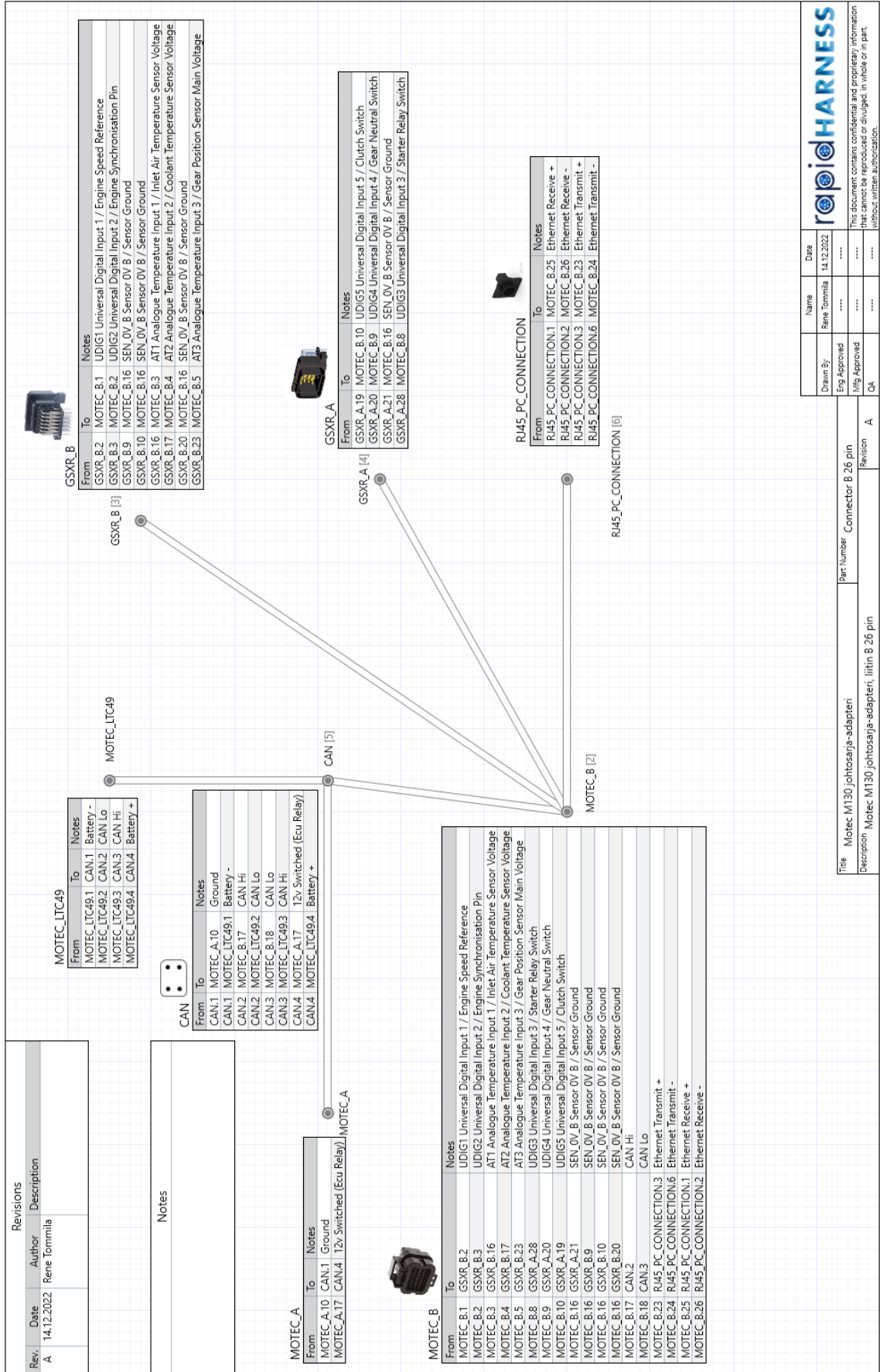
Fuel Injecor Clinic: Frequently asked questions. Viitattu 8.5.2023.  
<https://fuelinjectorclinic.com/faqs/>

X-Engineer: Air-Fuel Ratio, Viitattu 8.5.2023  
<https://x-engineer.org/air-fuel-ratio/>



<b>Title:</b>	Motec M130 johtosarja-adapteri, liitin A 26 pin
<b>Part Number:</b>	Connector A 34 pin
<b>Description:</b>	Motec M130 johtosarja-adapteri, liitin A 34 pin

From	To	Notes
MOTEC_A.2	GSXR_B.14	Sensor 5.0V A / ECU Sensor 5V0 A Voltage
MOTEC_A.3	MOTEC_IGN4_IN.1	IGN_LS1 Low Side Ignition 1 / Ignition Cylinder 1
MOTEC_A.4	MOTEC_IGN4_IN.2	IGN_LS2 Low Side Ignition 2 / Ignition Cylinder 2
MOTEC_A.5	MOTEC_IGN4_IN.3	IGN_LS3 Low Side Ignition 3 / Ignition Cylinder 3
MOTEC_A.10_A.11	GSXR_A.18	BAT_NEG Battery Negative / Ground
MOTEC_A.10_A.11	GSXR_A.26	BAT_NEG Battery Negative / Ground
MOTEC_A.10_A.11	GSXR_A.27	BAT_NEG Battery Negative / Ground
MOTEC_A.10_A.11	GSXR_B.1	BAT_NEG Battery Negative / Ground
MOTEC_A.14	GSXR_B.15	AV1 Analogue Voltage Input 1 / Throttle Position Sensor Voltage
MOTEC_A.15	GSXR_B.24	AV2 Analogue Voltage Input 2 / Inlet Manifold Pressure Sensor Voltage
MOTEC_A.17	GSXR_B.18	AV4 Analogue Voltage Input 4 / Ambient Pressure Sensor Voltage
MOTEC_A.19	GSXR_A.4	INJ_PH1 Peak Hold Injector 1 / Fuel Cylinder 1
MOTEC_A.20	GSXR_A.5	INJ_PH2 Peak Hold Injector 2 / Fuel Cylinder 2
MOTEC_A.21	GSXR_A.6	INJ_PH3 Peak Hold Injector 3 / Fuel Cylinder 3
MOTEC_A.22	GSXR_A.7	INJ_PH4 Peak Hold Injector 4 / Fuel Cylinder 4
MOTEC_A.23	GSXR_B.21	INJ_LS1 Low Side Injector 1 / Tachometer
MOTEC_A.26	GSXR_A.17	BAT_POS Battery Positive / ECU Battery Voltage (SWITCHED)
MOTEC_A.33	GSXR_A.9	OUT_HB5 Half Bridge Output 5 / Fuel Pump
MOTEC_IGN4_IN.4	MOTEC_A.6	IGN_LS1 Low Side Ignition 4 / Ignition Cylinder 4
MOTEC_IGN4_IN.5	MOTEC_A.10	BAT_NEG Battery Negative / Ground
MOTEC_IGN4_IN.6	MOTEC_A.10	BAT_NEG Battery Negative / Ground
MOTEC_IGN4_OUT.1	GSXR_A.1	IGN_LS3 Low Side Ignition 1 / Ignition Cylinder 1
MOTEC_IGN4_OUT.2	GSXR_A.2	IGN_LS3 Low Side Ignition 2 / Ignition Cylinder 2
MOTEC_IGN4_OUT.3	GSXR_A.3	IGN_LS3 Low Side Ignition 3 / Ignition Cylinder 3
MOTEC_IGN4_OUT.4	GSXR_A.10	IGN_LS3 Low Side Ignition 4 / Ignition Cylinder 4



<b>Title:</b>	Motec M130 johtosarja-adapteri, liitin B 26 pin
<b>Part Number:</b>	Connector B 26 pin
<b>Description:</b>	Motec M130 johtosarja-adapteri, liitin B 26 pin

From	To	Notes
CAN.1	MOTEC_A.10	Ground
CAN.2	MOTEC_B.17	CAN Hi
CAN.3	MOTEC_B.18	CAN Lo
CAN.3	MOTEC_LTC49.3	CAN Hi
CAN.4	MOTEC_A.17	12v Switched (Ecu Relay)
CAN.4	MOTEC_LTC49.4	Battery +
MOTEC_B.1	GSXR_B.2	UDIG1 Universal Digital Input 1 / Engine Speed Reference
MOTEC_B.2	GSXR_B.3	UDIG2 Universal Digital Input 2 / Engine Synchronisation Pin
MOTEC_B.3	GSXR_B.16	AT1 Analogue Temperature Input 1 / Inlet Air Temperature Sensor Voltage
MOTEC_B.4	GSXR_B.17	AT2 Analogue Temperature Input 2 / Coolant Temperature Sensor Voltage
MOTEC_B.5	GSXR_B.23	AT3 Analogue Temperature Input 3 / Gear Position Sensor Main Voltage
MOTEC_B.8	GSXR_A.28	UDIG3 Universal Digital Input 3 / Starter Relay Switch
MOTEC_B.9	GSXR_A.20	UDIG4 Universal Digital Input 4 / Gear Neutral Switch
MOTEC_B.10	GSXR_A.19	UDIG5 Universal Digital Input 5 / Clutch Switch
MOTEC_B.16	GSXR_A.21	SEN_0V_B Sensor 0V B / Sensor Ground
MOTEC_B.16	GSXR_B.9	SEN_0V_B Sensor 0V B / Sensor Ground
MOTEC_B.16	GSXR_B.10	SEN_0V_B Sensor 0V B / Sensor Ground
MOTEC_B.16	GSXR_B.20	SEN_0V_B Sensor 0V B / Sensor Ground
MOTEC_LTC49.1	CAN.1	Battery -
MOTEC_LTC49.2	CAN.2	CAN Lo
RJ45_PC_CONNECTION.1	MOTEC_B.25	Ethernet Receive +
RJ45_PC_CONNECTION.2	MOTEC_B.26	Ethernet Receive -
RJ45_PC_CONNECTION.3	MOTEC_B.23	Ethernet Transmit +
RJ45_PC_CONNECTION.6	MOTEC_B.24	Ethernet Transmit -

