

Toni Bister

Adapterijohtosarjan rakentaminen Motec- moottorinohjainlaitteen asennusta varten

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinööryö

27.5.2013

Tekijä(t) Otsikko	Toni Bister Adapterijohtosarjan rakentaminen Motec-moottorinohjainlaitteen asennusta varten
Sivumäärä Aika	38 sivua + 3 liitettä 27.5.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Vesa Linja-aho Tuntiopettaja Lauri Eho
<p>Insinööriyössä rakennettiin adapterijohtosarja BMW M3:een Motec M880-moottorinohjainlaitteen asennusta varten, laadittiin kytkennöistä kytkentäkaaviot ja tehtiin Moteciin säädöt, joilla BMW:n moottori toimii tyhjäkäynnillä moitteettomasti.</p> <p>Työssä tarkastellaan sähköisen moottorinohjauksen toimintaperiaatteita, esitellään vapaasti säädettävä Motec-moottorinohjausjärjestelmä ja kerrotaan kytkennät, joilla jälkiasennettava moottorinohjausjärjestelmä toimii kohdeajoneuvossa.</p> <p>Työn tavoitteena oli rakentaa johtosarja siten, että Motecin voi kytkeä autoon helposti tekemättä muutoksia auton johtosarjaan. Lisäksi johtosarjan valmistaminen toteutettiin siten, että kaikki kohdeajoneuvon moottorin toiminnot saadaan säilytettyä myös uuden ohjainlaitteen kanssa.</p> <p>Kytkennöistä tehtiin kattava Excel-taulukko, josta kaikki kytkennät selviävät. Excel-taulukko on helpompi ja selkeämpi luettava kuin perinteinen kytkentäkaavio. Excel-taulukkoa oli myös helppo muuttaa työn aikana.</p> <p>Moteciin tehtiin yksinkertaiset säädöt, joilla BMW:n moottori toimii tyhjäkäynnillä ilman ongelmia. Motecissa oli kohdeajoneuvon moottorille osittain sopivat säädöt valmiina jo ennen johtosarjan rakentamista, joten suurille muutoksille ei ollut tarvetta.</p> <p>Johtosarjaa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää muun muassa opetustarkoituksiin. Johtosarjan ja Motec-ohjainlaitteen avulla moottori voidaan säätää vapaasti, jolloin haluttuja ominaisuuksia voidaan muuttaa.</p>	
Avainsanat	moottorinohjaus, johtosarja, Motec

Author(s) Title	Toni Bister Building a Wiring Harness for Installing Motec Engine Management System
Number of Pages Date	38 pages + 3 appendices 27 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer Lauri Eho, Lecturer
<p>In this thesis an adapter wiring harness was built for installing a Motec M880 engine control unit into a BMW M3, a wiring diagram about the connections was created and the Motec was programmed so that the BMW engine idles without any problems.</p> <p>In this thesis the main functions of any electronic engine management system are viewed, the freely programmable Motec engine management system is introduced and the connections, with whom the retrofitted engine management system works in the target vehicle, are explained.</p> <p>The aim of this thesis was to build the wiring harness so that the Motec could be installed in the car without making any changes to the car's wiring harness. In addition, the manufacturing of the wiring harness was implemented so that all of the target vehicle's engine functions can be retained.</p> <p>An inclusive Excel spreadsheet, where all connections are defined, was created in this thesis. An Excel spreadsheet is clearer and easier to read than a traditional wiring diagram. The Excel spreadsheet was also easy to edit during the thesis.</p> <p>Simple configurations were made to the Motec so that the BMW engine idles without problems. The configuration was partially suitable for the engine before the manufacturing of the wiring harness, so major changes were not necessary.</p> <p>The wiring harness can be utilized, for example, for educational purposes. With the wiring harness and the Motec engine control unit the engine can be tuned freely and desired features can be changed.</p>	
Keywords	engine management, wiring harness, Motec

Sisällys

1	Johdanto	1
2	BMW M3	2
2.1	M-sarjan historia	2
2.2	BMW M3:n S54-moottorin ominaisuudet ja tekniset tiedot	3
3	Sähköinen moottorinohjaus	4
3.1	Säätötekniikan perusteita	4
3.2	Moottorinohjainlaitteen toiminta	5
4	Siemens MSS54HP -moottorinohjainlaitteen kytkennät	9
4.1	BMW M3:n kytkentäkaaviot	9
4.2	Ajoneuvomittaukset BMW:n breakout-boxeilla	10
5	Motec M880 -moottorinohjainlaite	12
5.1	Motec M880:n sisääntuloliitännät	13
5.2	Motec M880:n ulostuloliitännät	13
5.3	Muut liitännät	14
6	Motec M880:n kytkennät S54-moottorin kanssa	14
6.1	Motecin sisääntulosignaalien kytkennät	14
6.2	Motecin ulostulosignaalien kytkennät	17
7	Adapterijohtosarjan tarvikkeet ja työvaiheet	20
7.1	Johtosarjan tarvikkeet	20
7.2	Adapterijohtosarjan rakentaminen	23
7.3	Rakentamisvaiheessa ilmenneet ongelmat	25
8	Johtosarjan testaus ja Motecin säädöt	26
8.1	Ensimmäinen testausvaihe	26
8.2	Toinen testausvaihe	27
8.3	Motecin säädöt	29
9	Pohdinta	34

Liitteet

Liite 1. BMW M3:n (E46) tekniset tiedot

Liite 2. Siemens MSS54:n kytkentäkaavio

Liite 3. Motec M880:n kytkentäkaavio

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli valmistaa adapterijohtosarja Metropolia Ammattikorkeakoulun BMW M3 -opetusajoneuvon moottorinohjainlaitteelle. Johtosarjan tehtävänä on mahdollistaa uuden Motec M880 -moottorinohjainlaitteen asennus autoon plug-in-menetelmällä, jolloin mitään muutoksia auton omaan johtosarjaan ei tarvitse tehdä. Motecin avulla mahdollistetaan moottorinohjauskartastojen vapaa muokkaaminen, joka ei tehdasasennetun moottorinohjainlaitteen kanssa ole mahdollista. Johtosarjaa ja sen mahdollistamia ominaisuuksia on tarkoitus hyödyntää opetuskäytössä myöhempien vuosikurssien laboratorioharjoituksissa. Metropolian autotekniikan opetustarjonnassa ei tällä hetkellä ole lainkaan kurssia, jossa moottorin ominaisuuksia pääsisi konkreettisesti tutkimaan ja säätämään.

Tavoitteena oli tehdä johtosarja, joka säilyttää kaikki auton alkuperäiset ominaisuudet ja mahdollistaa lisäanturien käyttöönoton. Motecin vähäisten ulostulojen vuoksi joitakin tarpeettomampia ominaisuuksia piti kuitenkin jättää kytkennöistä pois. Lisäksi johtosarjan oli tarkoitus olla rakenteeltaan laadukas ja rakennustekniikaltaan sellainen, että se on helppo ja kaupallisesti järkevä valmistaa. Koska johtosarja on vasta prototyyppi mahdollisesti suurempaan tuotantoon menevästä laitteesta, johtosarja rakennettiin siten, että siihen on helppo tehdä muutoksia, mikäli siihen on tarvetta. Lisäksi insinööriyön tavoitteena oli tehdä johtosarjan kytkennöistä selkeät kytkentäkaaviot sekä tehdä Moteciin perussäädöt, joilla moottori toimii tyhjäkäynnillä ilman ongelmia.

Työssä käytetty auto oli korimallia E46 oleva vuosimallin 2005 BMW M3, joka oli hankittu Metropolia Ammattikorkeakoululle opetuskäyttöön. Autoa on tarkoitus käyttää opetusajoneuvona tulevilla laboriokursseilla. BMW käyttää kyseisessä M3-mallissa Siemensin valmistamaa MSS54HP-moottorinohjainlaitetta.

2 BMW M3

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi BMW:n M-sarjan historian alkuvaiheet sekä tämän insinööriyön kohteena olleen ajoneuvon ominaisuudet ja tekniset tiedot.

2.1 M-sarjan historia

BMW:n M-sarjan kirjaintunnus "M" tulee yksinkertaisesti sanasta "Motor". Moottoriurheilu on ollut tärkeä osa BMW:n markkinointi- ja kehitystyöfilosofiaa 1920-luvulta saakka. BMW hyödyntää moottoriurheilusta saamiaan tuloksia katuautojen kehitystyössä, koska kilpailutilanteissa insinöörit joutuvat viemään auton kehitystyön äärimilleen. Autojen suorituskyky ja ajo-ominaisuudet pyritään siirtämään mahdollisimman tehokkaasti katuautoihin, tekemättä niistä kuitenkaan liian epämukavia päivittäiseen käyttöön. Toisin kuin monet muut autonvalmistajat BMW haluaa pitää erikoismallinsa perusmallien kaltaisina ja edullisina, jotta mahdollisimman monella kuluttajalla olisi mahdollisuus urheilulliseen autoon. [1, s. 39, 41–42.]

BMW osallistui moottoriurheilukilpailuihin moottoripyörillä jo ennen kuin ensimmäiset BMW-merkkiset autot tulivat myyntiin. BMW osallistui ensimmäiseen autokilpailuunsa kesäkuun 16. päivä vuonna 1936 Nürburgringilla. Tuolloin saksalainen Ernst Henne ajoi BMW 328:lla voittoon alle 2-litraisten sarjassa. [1, s. 39.]

1960- ja 70-lukujen taitteessa BMW 2002 aloitti BMW:n moottoriurheiluilmiön ja nosti merkin maailmantietoisuuteen. 2002 pärjasi hyvin sekä Saksan että Pohjois-Amerikan kilparadoilla. Vuonna 1972 esiteltiin BMW Turbo -konseptiauto. Turbon katuautomalli esiteltiin vuonna 1979 ja sen mallimerkinnäksi tuli M1. M1 oli siis ensimmäinen M-sarjan auto ja tähän asti ainoa BMW:n valmistama keskimoottorinen auto. M1:n menestyksen myötä BMW päätti valmistaa muistakin automalleistaan M-versioita. Seuraavaksi julkistettiin M535i vuonna 1980, jota seurasi M5 vuonna 1984. Ensimmäinen M3 esiteltiin vuonna 1985. [1, s. 39–41.]

2.2 BMW M3:n S54-moottorin ominaisuudet ja tekniset tiedot

Tämän insinööriyön kohteena ollut auto on E46-korimallia oleva vuosimallin 2005 BMW M3 Coupé. Autossa on BMW:n oma 3,2-litrainen, 6-sylinterinen ahtamaton rivimoottori. S54B32-mallimerkinnän moottori tuottaa tehoa 252 kW ja vääntöä 365 Nm. Moottorin tiedot sekä auton fyysiset mitat ja massat on eritelty tarkemmin liitteessä 1.

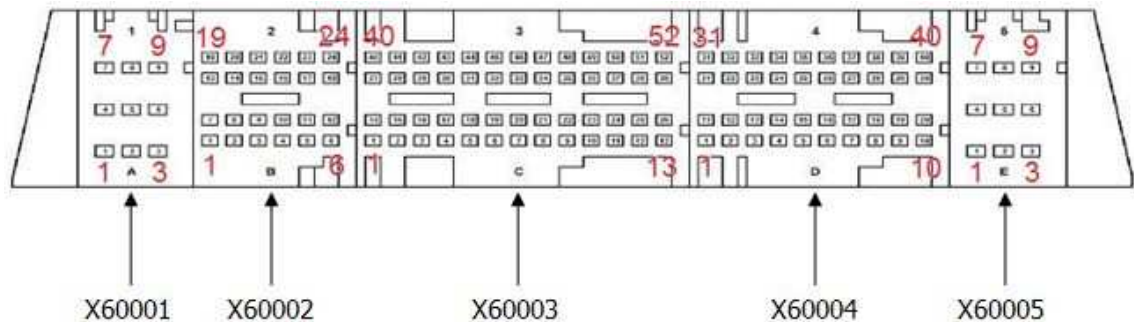
S-mallimerkinnän moottorit ovat BMW:n Motorsport-osaston kehittämiä urheilulliseen käyttöön tarkoitettuja moottoreita. S54-moottorissa on valurautainen sylinterilohko kestävyuden ja lujuuden takaamiseksi. Moottorin sisäiset komponentit puolestaan on valmistettu kevytmetalleista, jotta moottorilla voidaan saavuttaa suuret pyörintänopeudet. S54-moottorin huipputeho saavutetaan vasta kierrosluvulla 7900 rpm. Moottorin vääntömomentti pidetään korkealla laajalla kierrosalueella muuttuvien nokka-akselien ajoituksien (VANOS) ansiosta. VANOSilla venttiilien ohjaus saadaan optimoitua aina kulloinkin vallitsevan ajotilanteen mukaan. [2.]

Muuttavalla nokka-akselien ajoituksella pystytään parantamaan moottorin suorituskykyä, vääntömomenttia sekä päästöominaisuuksia. S54-moottorissa sekä imu- että pakonokka-akselien ajoitusta voidaan säätää portaattomasti. VANOS on sähköhydraulisesti ohjattu, mikä tekee säädöstä tarkan ja herkästi reagoivan. Nokka-akselien ajoitusta ohjaavia solenoideja on kaksi molempia nokka-akseleita kohti. Toinen solenoideista ohjaa ajoituksen aikaistamista ja toinen myöhäistämistä. VANOSin säätölaajuus imunokka-akselilla on 60° ja pakonokka-akselilla 45°. Moottorinohjainlaite ohjaa kaikkien solenoidien toimintaa. [3, s. 19, 21.]

BMW käyttää S54-moottorissa Drive-By-Wire-järjestelmää, jossa kaasuläppien asentoa säätelee sähkömoottori (EDR motor). Moottorin imusarjan jokaisessa sylinteriin menevässä kanavassa on erillinen kaasuläppä, joista sähkömoottori kääntää jokaista yhteisen akselin välityksellä. Moottorinohjainlaite ohjaa sähkömoottorin toimintaa ja samalla ohjainlaite valvoo sekä sähkömoottorin asentoa että kaasuläppien asentoa. Moottorin tyhjäkäyntiä säätää erillinen tyhjäkäynnin säädin, joka pumppaa ilmaa sylintereihin kaasuläppien ohi ulkoisen jakotukin kautta. Tyhjäkäynnin säätimen pumppaamaa lisäilmaa voidaan hyödyntää myös silloin, kun moottorista halutaan enemmän vääntöä. [3, s. 25; 4, s. 12, 16.]

S54-moottorissa on kaksi pakosarjaa, jotka molemmat poistavat pakokaasuja kolmesta sylinteristä. Molemmissa pakoputkissa on lambda-anturit sekä katalysaattorin edessä että sen takana. [3, s. 27.] Pakosarjassa ensimmäisenä oleva lambda-anturi valvoo polttoaine-ilma-seosta ja jälkimmäinen valvoo katalysaattorin toimintaa. Kaikki lambda-anturit ovat kapeakaistaisia antureita, koska kyseessä on imusarjasuihkutusmoottori, joten moottori ei käy niin laihalla seossuhteella, että laajakaista-anturille olisi tarvetta.

Moottorinohjainlaitteena autossa toimii Siemensin valmistama MSS54HP, jonka laskentateho on 25 miljoonaa käskyä sekunnissa. MSS54HP (HP = High Performance) on kehitysversio MSS54:stä. MSS54HP oli alkujaan M3 CSL -mallissa käytetty ohjainlaite mutta sen käyttö laajennettiin myös muihin M3-malleihin vuonna 2004. MSS54HP:ssa muistin määrää on kasvatettu tiedonkeruun parantamiseksi. MSS54HP:n liitin on jaettu viiteen pienempään liittimeen (kuva 1), jotka kytkentäkaavioissa on merkitty erillisiksi liittimiksi A–E. Pinnejä liittimissä on yhteensä 134. Sama liitinkotelo on käytössä monessa muussakin Siemensin ohjainlaitteissa, mitä pystyttiin käyttämään hyväksi johtosarjan rakennusvaiheessa.



Kuva 1. MSS54HP:n viisiosainen liitin.

3 Sähköinen moottorinohjaus

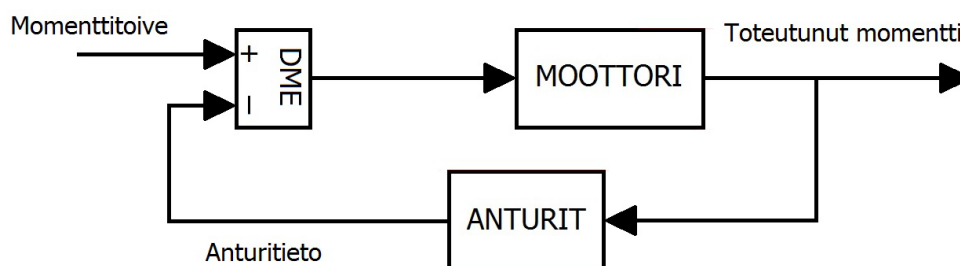
3.1 Säätekniiikan perusteita

Moottorinohjauksen toimintaa tarkasteltaessa keskeisiä termejä ovat *ohjaus* ja *säätö*. Ohjauksella tarkoitetaan prosessia, jossa yksittäiselle laitteelle, kuten moottorille, tai usean laitteen linjastolle annetaan ohjaukaskäsky, mutta lopputulosta ei tarkisteta vaan oletetaan laitteen käyttäytymisen riippuvan vain ohjaukaskäskystä. Säädöstä on kyse

silloin, kun laitteen toimintaa ohjataan vertaamalla mittausrvoja ohjeellisiksi määrättyihin arvoihin. Tällöin ohjaukset määrättyvät sen mukaan, miten paljon mittausrvot poikkeavat ohjeellisista arvoista. Tällaista piiriä kutsutaan takaisinkytketyksi piiriksi tai suljetuksi säätöpiiriksi. [5, s. 7–9.]

3.2 Moottorinohjainlaitteen toiminta

Moottorinohjainlaite yhdessä moottorin ja antureiden kanssa toimii takaisinkytketyn säätöpiirin tavoin. Moottorinohjainlaite saa kuljettajalta momenttitoiveen, jonka ohjainlaite lähettää moottorille sytytysajankohta- sekä polttoaineen suihkutuspäämäärätietona. Samalla ohjainlaite saa useilta eri antureilta mittaustietoa toteutuneesta momentista, minkä avulla ohjainlaite pystyy säätämään moottorille lähettämäänsä ohjauksetoivea toivotun momentin saamiseksi [6, s. 222]. Kuva 2 havainnollistaa moottorinohjainlaitteen (DME = Digital Motor Electronics control unit) takaisinkytkentämallia.



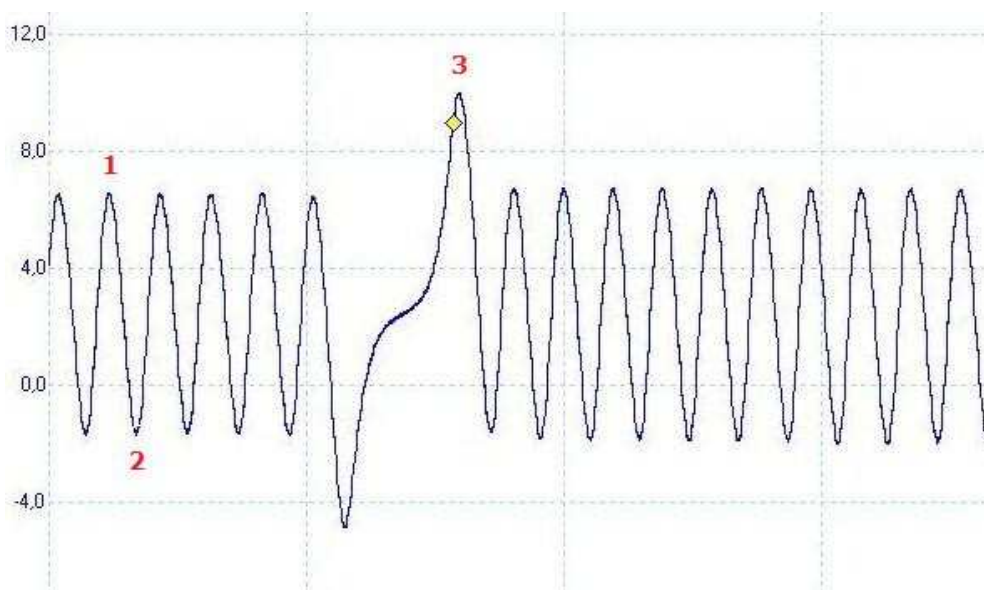
Kuva 2. Moottorinohjainlaitteen takaisinkytkentämalli.

Moottorinohjainlaitteella on kaksi päätehtävää. Ensimmäinen tehtävä on määrittää oikea polttoaineen määrä senhetkiseen moottorissa olevaan ilmamäärään nähden. Toinen pääsijainen tehtävä on oikean sytytysajankohdan määrittäminen. [6, s. 222.] Näiden toimintojen mahdollistamiseksi ohjainlaite tarvitsee tiedon moottorin pyörintänopeudesta, imuilman määrästä ja lämpötilasta sekä moottorin käyntilämpötilasta.

Moottorin pyörintänopeustiedon moottorinohjainlaite saa kampiakselin pyörintänopeusanturilta. Pyörintänopeusanturi on perinteisesti induktiivinen anturi, joka mittaa pyörintänopeutta kampiakselin vauhtipyörältä. Anturissa on kestopolttimagneetti, jonka ympärillä on käämi. Kun vauhtipyörän rautainen hammas ohittaa

kestomagneetin, magneettikentän muutos indusoi käämiin sinimuotoisen jännitteen. Hammaskehän hammastus on yleensä toteutettu 60-2-hammastuksella, jossa tasaisella hammastuksella hampaita olisi yhteensä 60, mutta 2 hammasta on poistettu. Hammaskehältä puuttuvien hampaiden takia käämiin indusoituu korkeampi jännite, kun puuttuvien hampaiden jälkeen ensimmäinen hammas taas ohittaa kestomagneetin. Korkeamman jännitepiikin ansiosta anturi saa tiedon kampiaskelin asennosta. Pyörintänopeustiedon perusteella ohjainlaite tietää kuinka paljon aikaa sytytykseen on käytettävissä ja kuinka paljon sytytysennakkoa on mahdollista käyttää. Pyörintänopeuden perusteella ohjainlaite määrittää myös polttoaineen suihkutusaajan ja -määrän. [6, s. 244.]

Kuvassa 3 on kuvattuna työn kohteena olleen BMW M3:n pyörintänopeusanturin signaali tyhjäkäynnillä. BMW käyttää vauhtipyörällä yleisesti käytettyä 60-2-hammastusta. Kuvaaja on saatu tehtyjen breakout-mittausten tuloksena. Mittausten merkitys työssä on selvennetty tarkemmin luvussa 4.

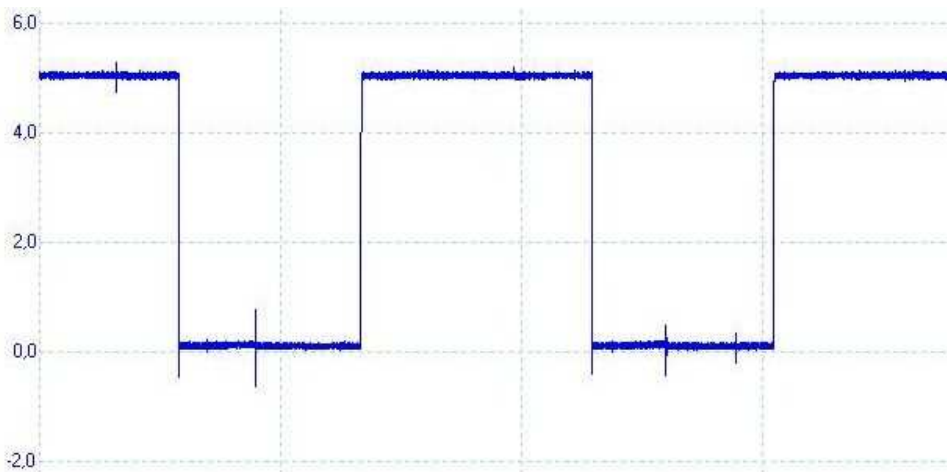


Kuva 3. Breakout-mittauksilla saatu pyörintänopeusanturin signaali. 1) hammaskehän hammas ohittaa kestomagneetin, 2) hammasväli kestomagneetin kohdalla, 3) puuttuvien hampaiden jälkeen tapahtuva liipaisu.

Kampiakselin pyörintänopeusanturin antamalla jännitesignaaliilla moottorinohjainlaite tietää, missä asennossa männät ovat, mutta se ei tiedä missä tahdissa kukin sylinteri on. Mikäli ajoneuvossa sytytys ja polttoaineen suihkutus on ohjattu sylinterikohtaisesti, tarvitaan pyörintänopeustiedon lisäksi myös synkronointitieto, eli tieto sylinterien

tahtisuudesta. Ohjainlaite saa tahtisuustiedon nokka-akselin asentoanturilta, joka kertoo ohjainlaitteelle, onko yläkuolokohtaa kohti menevät männät puristus- vai poistotahdissa. [6, s. 246.] Nokka-akselin asentoanturina käytetään yleisesti Hall-ilmioon perustuvaa anturia. Anturi on levymäinen puolijohde, joka on kytketty vakiojännitteeseen, mikä aiheuttaa puolijohteen kautta kulkevan pienen virran. Kun virran kulkusuuntaan nähden tiettyyn kulmaan asetetaan magneettikenttä, syntyy levyn yli vaikuttava jännite. Vakiojännitteen vuoksi Hall-anturi tuottaa kanttiaaltoisen jännitesignaalin. [7, s. 171.]

Breakout-mittauksilla saatiin kuvattua myös BMW M3:n nokka-akseleiden asentoantureiden jännitesignaalit. Imunokka-akselin signaali on esitetty kuvassa 4. BMW käyttää anturissa 5 voltin jännitettä, mikä on yleisesti käytetty jännite moottorin anturoinnissa. BMW:n tapauksessa imunokka-akselin hammasrattaassa on kahdeksan hammasta. Pakonokka-akseli on BMW:ssä toteutettu 8-1-hammastuksella, eli liipaisukohta tunnustetaan yhdestä puuttuvasta hampaasta.



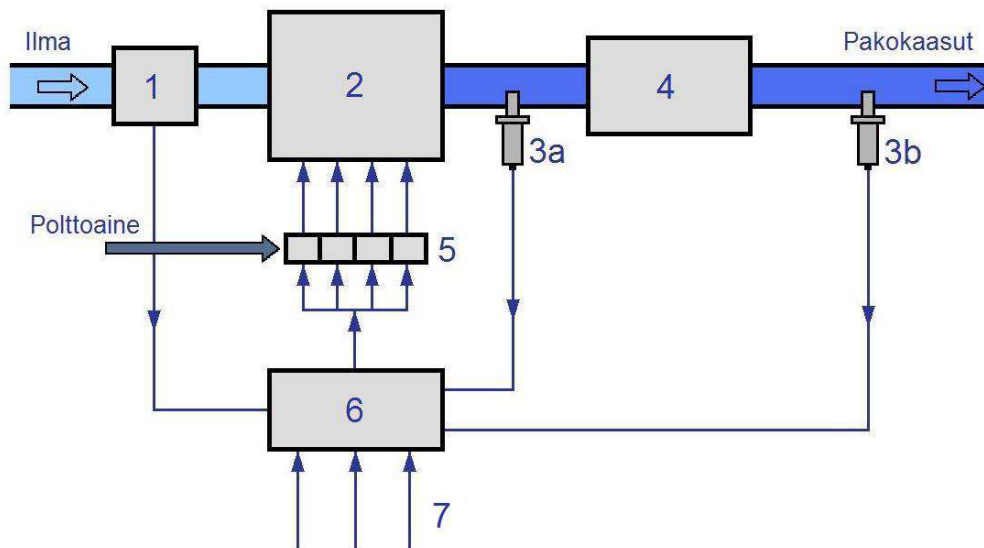
Kuva 4. Lyhyt osuus BMW M3:n imunokka-akselin asentoanturin jännitesignaalista.

Lambda-anturien antamien tietojen mukaan moottorinohjainlaite vertaa pakokaasun jäännöshapen määrää ulkoilman hapen määrään ja laskee tietojen perusteella toimiiko moottori ilma- vai polttoaineylimäärällä. Kolmitoimikatalysaattorin toiminnan kannalta on erittäin tärkeää, että moottori toimii lähellä stoikiometrista seossuhdetta (lambda-arvo on 1), koska vain silloin kolmitoimikatalysaattorissa tapahtuvat hapetus- ja pelkistysreaktiot ovat tasapainossa. Kun $\lambda = 1$, jäännöshapen ja typenoksidien (NO_x) yhteishappimäärä on sopiva siihen, että sekä hiilivety- (HC) että hiilimonoksidipäästöt (CO) hapettuvat. Samalla typenoksidit pelkistyvät typeksi (N_2). [6, s. 256, 278.]

Polttoainelimäärällä ($\lambda < 1$) ajettaessa HC- ja CO-päästöt lisääntyvät ja NO_x-päästöt vähenevät. Tällöin HC:t ja CO:t pelkistävät typenoksidit, mutta pakokaasussa ei ole riittävästi happea hapettamaan HC- ja CO-päästöjä. Vastaavasti ilmaylimäärällä ($\lambda > 1$) ajettaessa NO_x-päästöt kasvavat ja HC- ja CO-päästöt vähenevät. Tällöin HC:t ja CO:t hapettuvat pakokaasussa olevalla hapella, mutta HC- ja CO-päästöjä ei ole riittävästi pelkistämään typenoksideja. [6, s. 278.]

Koska kolmitoimikatalysaattorin toiminta vaatii erittäin tarkkaa lambda-säätöä, täytyy moottorinohjainlaitteen valvoa sitä suljetulla säätöpiirillä. Pelkkää polttoaineen suihkutusta säätämällä ei päästä riittävään tarkkuuteen, sillä moottorin kuormitus muuttuu jatkuvasti ajotilanteen mukaan. [6, s. 288.]

Kuvassa 5 on esitettyä ajoneuvojen yleinen lambda-säätöpiiri. Moottorinohjainlaite (6) saa tiedon moottoriin (2) menevästä ilman määrästä ilmamassanmittarilta (1) ja tiedon polttoaine-ilmaseoksesta lambda-antureilta (3a ja 3b) jännitesignaaleina. Näillä tiedoilla yhdessä muiden sisääntulosignaalien (7) kanssa ohjainlaite antaa polttoainesuuttimille (5) tiedon suihkutusajasta ja -määrästä. Lambda-anturi 3a valvoo palotapahtumaa ja anturi 3b valvoo katalysaattorin (4) toimintaa.



Kuva 5. Lambda-säätöpiirin kaaviokuva [6, s. 288].

4 Siemens MSS54HP -moottorinohjainlaitteen kytkennät

Tässä luvussa käydään läpi menetelmät, joilla selvitettiin BMW M3:n alkuperäisen moottorinohjainlaitteen kytkennät.

4.1 BMW M3:n kytkentäkaaviot

Ensimmäisenä työvaiheena oli etsiä Siemens MSS54HP:n kytkentäkaaviot. BMW:n sähköjärjestelmä kytkentäkaavioineen on esitetty maksullisessa WDS:ssä (Wiring Diagram System). WDS on kuitenkin julkaistu Internetissä lähes kokonaisuudessaan, joten moottorinohjainlaitteen ja muiden tarvittavien ohjainlaitteiden ja liittimien kytkennät olivat helposti saatavilla. WDS:ssä on myös listattu moottorinohjainlaitteen jokaisen pinnin kytkentä, joka yksinkertaistaa kytkentöjen tulkintaa mutta ei yksin riitä kytkentöjen selvittämiseksi. Kytkentäkaaviot löytyvät myös maksullisesta BMW:n OSS-portaalista (Online Service System). Selkein ja kattavin kytkentäkaavio löytyi kuitenkin Autodata-ohjelmistosta. Autodatan kaaviokuvaa ja WDS:n tarjoamaa pinniluetteloa käytettiin rinnakkain, jolloin kaavioiden tulkinta oli helpointa ja selkeintä.

Taulukossa 1 on esitetty esimerkki OSS:n ja WDS:n tarjoamien kytkentöjen eroavaisuuksista. Taulukossa on listattu MSS54HP:n A-liittimen kytkennät pinneittäin. Kuten taulukosta havaitaan, WDS:n kytkennöissä pinnit 2 ja 9 on kytketty sähköisen kaasuläpän (EDR motor) ohjaukseen. OSS:n kytkennöissä puolestaan sähköisen kaasuläpän ohjausta ei ole lainkaan. Koska kohdeajoneuvossa on sähköinen kaasuläppä, voidaan todeta, että OSS:n tarjoamat kytkentäkaaviot ovat virheellisiä. Tämä OSS:n tarjoamien kytkentöjen virheellisyys ihmetyttää, sillä OSS-portaaliin syötetään ajoneuvon valmistenumero, jonka perusteella oikeat kytkentäkaaviot luulisi löytyvän. Syy virheellisiin kytkentäkaavioihin ei selvinnyt. Autodatan tarjoama Siemens MSS54HP:n kytkentäkaavio ja komponenttien selvennykset on esitetty liitteessä 2.

MSS54 - Connector A - WDS

1	Terminal 15	Relay, fuel injectors
2	Voltage supply / EDR motor	EDR motor
3	<i>Not used</i>	
4	Ground	Ground point
5	Ground	Ground connector
6	Ground	Ground connector
7	Terminal 30	Fuse 102
8	Voltage supply	Fuse carrier, engine electronics
9	Negative activation	EDR motor

MSS54 - Connector A - OSS

1	Terminal 15	Relay, fuel injectors
2	<i>Not used</i>	
3	<i>Not used</i>	
4	Ground	Ground point
5	Ground	Ground connector
6	Ground	Ground connector
7	Terminal 30	B+ terminal
8	Voltage supply	Fuse carrier, engine electronics
9	<i>Not used</i>	

Taulukko 1. WDS:n ja OSS:n tarjoamien kytkentöjen erot [8; 9].

4.2 Ajoneuvomittaukset BMW:n breakout-boxeilla

Työtä varten BMW Group Suomi antoi lainaksi neljä breakout-boxia, joilla moottorinohjainlaitteelle voidaan helposti suorittaa mittauksia. Breakout-boxit ovat mittaustyökaluja, joiden avulla moottorinohjainlaitteen jokaiselle pinnille voidaan suorittaa jännitemittauksia ilman, että liittimiin käsiksi pääsy tuottaa vaikeuksia. Breakout-boxien avulla pystyttiin selvittämään muutamia moottorinohjainlaitteen ominaisuuksia, joita ei pelkkien kytkentäkaavioiden avulla pystynyt selvittämään. Breakout-boxeja tarvittiin neljä kappaletta, koska MSS54HP:n liitin on viisiosainen, joista liittimet A ja E ovat samanlaiset. Neljän erillisen mittalaitteen käyttö vaati jokaisen käyttämistä yksitellen, sillä auton johtosarjan johtimien pituus ei ollut riittävä kaikkien mittalaitteiden kytkemiseen yhtä aikaa. Mittausten tarkasteluun käytettiin Picon valmistamaa oskilloskooppia.

Johtosarjaa varten on tärkeä selvittää kaikki moottorin toiminnan kannalta tärkeät ominaisuudet ja toimintatavat. Breakout-mittauksissa selvisi, että S54-moottorin sytytyspuolissa ei ole pääteastetta, vaan se sijaitsee moottorinohjainlaitteessa. Motecia asennettaessa tämä on otettava huomioon, sillä Motecissa ei ole pääteastetta. Pääteasteen puuttuminen täytyy korvata lisäämällä johtosarjaan sytytysvahvistimet, joiden käytöstä kerrotaan tarkemmin luvussa 6.

Breakout-mittauksilla myös vahvistettiin tieto siitä, että S54-moottorin muuttuvia nokka-akselien ajoituksia voidaan hyödyntää Motecin kanssa, vaikka VANOS-solenoidien ohjaus tapahtuu Motecin ominaisuuksien kannalta väärällä tavalla, eli ns. high-side-ohjauksella. High-side-ohjaus tarkoittaa sitä, että moottorinohjainlaite lähettää 12 voltin jännitteen solenoideille, kun ajoitusta halutaan muuttaa. Motecin käyttäjien aiempien kokemusten pohjalta johtosarja rakennettiin niin, että nokka-akselien ohjaus tapahtuu low-side-ohjauksena. Tämä muutos saadaan aikaan kytkemällä johtosarjaan P-tyyppin MOSFET-kanavatransistorit. MOSFET-kanavatransistorien kytkennästä johtosarjaan kerrotaan tarkemmin luvussa 6.

BMW käyttää M3-mallissaan jäähdytysnesteen lämpötila-anturina NTC-tyypin (Negative Temperature Coefficient) anturia. NTC-tyypin anturilla on negatiivinen lämpötilakerroin, eli sen resistanssi pienenee jäähdytysnesteen lämpötilan kasvaessa. PTC-tyypin (Positive Temperature Coefficient) anturissa vastaavasti jäähdytysnesteen lämpötilan nousu kasvattaisi resistanssia. Moottorinohjainlaite tarvitsee tiedon moottorin käyntilämpötilasta, jotta se pystyy muuttamaan polttoaineen suihkutuspainetta, mikäli moottori on kylmä tai se käy liian kuumana.

Minkä tahansa ohjainlaitteen toiminnan kannalta oleellinen käyttöjännitteen syöttö pystyttiin myös selvittämään breakout-mittauksilla. Mittauksilla saatiin selville, että BMW:n alkuperäisen moottorinohjainlaitteen pinnille A7 tulee jatkuva 12 voltin jännite, vaikka auton virrat eivät olisi edes päällä. 12 voltin jännite kulkee ohjainlaitteen kautta pinnille B23, joka on kytketty ohjainlaitteen pääreleelle. Kun auton sytytysvirta kytketään, ohjainlaite maadoittaa pinnin B23, jolloin pääreleestä tulee johtava. Sytytyspuolat sekä polttoainepumpun rele saavat virran pääreleen kautta. Motecin kannalta tämän kaltainen kytkentä on huono, sillä Ignition Switch -toimintoa ei voida yksinkertaisella kytkennällä hyödyntää. Ignition Switch -toiminnolla pystyttäisiin säilyttämään ohjainlaitteen käyttöjännite, vaikka moottori sammutetaan. Käyttöjännitteen katoaminen Motecista moottorin sammuttamisen yhteydessä ei

vaikuta Motecin toimintaan, mutta hankaloittaa ja hidastaa Motecin säätämistä, koska PC-yhteys Moteciin katkeaa, kun käyttöjännite Motecilta katoaa.

5 Motec M880 -moottorinohjainlaite

Henkilöautojen tehdasasennetut moottorinohjainlaitteet eivät käytännössä mahdollista niiden uudelleenohjelmointia. Monet autoharrastajat ja erityisesti moottoriurheilun ammattilaiset asentavat autoihinsa täysin ohjelmoitavissa olevan moottorinohjainlaitteen alkuperäisen ohjainlaitteen tilalle. Jälkiasennettavia moottorinohjainlaitevalmistajia on useita, kuten Motec, jonka valmistamaa moottorinohjainlaitetta tässä työssä käytettiin.

Motec M880 -moottorinohjainlaite (kuva 6) on täysin ohjelmoitavissa oleva moottorinohjainlaite, joka on kehitetty ammattilaisten vaatimaan käyttöön. M880:ssa on 4 megatavun muisti ja kehittyneitä ominaisuuksia, joita ei muissa Motecin ohjainlaitteissa ole. 4 megatavun muistin avulla saadaan kerättyä telemetriatietoa järjestelmän toiminnasta. Muita ominaisuuksia ovat muun muassa luistonesto sekä Launch control -lähtöjärjestelmä. M880 tarjoaa myös mahdollisuuden hyödyntää muuttuvia nokka-akselien ajoituksia sekä sähköistä kaasuläppää. [10.] Kaaviokuva kaikista M880:n sisään- ja ulostuloista on esitetty liitteessä 3.



Kuva 6. Motec M880-moottorinohjainlaite [10].

5.1 Motec M880:n sisääntuloliitännät

Motec M880:n liitin on 66-pinninen Autosport-liitin. Kuten mikä tahansa moottorinohjainlaite, M880 tarvitsee toimiakseen käyttöjännitteen sekä antureiden mittaustietoja. M880:ssa sisääntulot ovat seuraavanlaiset:

- 6 analogista lämpötilasignaalia (Analog Temperature Input)
- 8 analogista jännitesignaalia (Analog Voltage Input)
- 2 laajakaistalambda-anturin signaalia
- 4 digitaalista signaalia / nopeussignaalia (Digital Voltage Input).

Lämpötilasignaaleja ovat muun muassa imuilman, moottorin sekä öljyn lämpötilat. Analogisia jännitesignaaleja ovat esimerkiksi kaasuläpän asento sekä imusarjan paine. Näiden anturitietojen lisäksi ohjainlaite tarvitsee tiedot moottorin pyörintänopeudesta ja nokka-akseleiden asennoista. [11, s. 6–7.]

5.2 Motec M880:n ulostuloliitännät

Motec M880:n ulostulosignaaleja, eli moottorin toimintaa ohjaavia signaaleja, ovat seuraavat:

- 8 polttoainesuuttimen ohjausulostuloa (Injector Output)
- 6 sytytyksen ohjausulostuloa (Ignition Output)
- 8 ohjausulostuloa lisälaitteille (Auxiliary Output).

M880:lla pystytään ohjaamaan jopa 12-sylinterisen moottorin toimintaa. Tämä kuitenkin edellyttää vain neljän sytytyksen ohjausulostulon käyttöä, jotta kaikkien 12 sylinterin polttoaineen syöttöä voidaan säätää. [11, s. 7.] Työn kohdeajoneuvon kuusisylinterisen moottorin jokaisen sylinterin sytytystä ja polttoaineen suihkutusta voidaan siis säätää yksittäin. Kaksi polttoainesuuttimen ohjausulostuloa jää tällöin käytettäväksi muiden laitteiden ohjaukseen. Muita laitteita voivat olla esimerkiksi tyhjäkäynnin säädin tai releet. Myös muuttuvan nokka-akselin ajoituksen säätö voidaan toteuttaa lisälaitteiden ohjausulostuloilla [10].

5.3 Muut liitännät

Muut liitännät on tarkoitettu ajoneuvon tiedonsiirtoon ja maadoituksiin. M880:ssa on liitännät CAN-väylälle sekä RS232-tiedonsiirrolle. Motecin ECU Manager -ohjelmisto käyttää CAN-väylää kommunikoidessaan moottorinohjainlaitteen kanssa. RS232-tiedonsiirtoa käytetään, jos halutaan yhdistää moottorinohjainlaite Motecin ADL Data Loggeriin, jolla voidaan kerätä autosta telemetriatietoja. [11, s. 8.] RS232-tiedonsiirtoa voidaan hyödyntää myös GPS-laitteen kytkentään, kuten tässä työssä tehtiin.

6 Motec M880:n kytkennät S54-moottorin kanssa

Kun alkuperäisen moottorinohjainlaitteen tilalle ajatellaan uuden moottorinohjainlaitteen asennusta, on kaikki moottorin toiminnan kannalta oleelliset tiedot huomioitava. Uuden moottorinohjainlaitteen saa toimimaan moottorin kanssa helpostikin muutamalla anturitiedolla sekä suihkutus- ja sytytystiedoilla, mutta moottorin kaikkien ominaisuuksien säilyttämiseksi on otettava huomioon lukuisia asioita, joita pelkällä Motecin ohjainlaitteella ei saada hoidettua. Johtosarjaan on tällöin lisättävä tarvittavia lisälaitteita. Yksi tämänkaltaisista asioista on jo aikaisemmin kerrottu sytytyksen ohjaus, johon tarvitaan sytytysvahvistimet, jotta sytytyspuolat toimisivat.

6.1 Motecin sisääntulosignaalien kytkennät

Tämän insinööriyön tavoitteena oli rakentaa johtosarja, jossa kaikki moottorin toiminnot pystytään säilyttämään. Tämä ei kuitenkaan Motecin vähäisten sisään- ja ulostulojen takia ole täysin mahdollista, vaan alkuperäisen moottorinohjainlaitteen mahdollistamista ominaisuuksista jouduttiin karsimaan muutamia moottorin toiminnan kannalta tarpeettomia ominaisuuksia. Esimerkiksi kampikammion huohotusventtiilin toimintaa ei sisällytetty Motecin kytkentöihin lainkaan.

Koska BMW M3:n alkuperäisen moottorinohjainlaitteen käyttöjännite oli kytketty Motecin kannalta epäsuotuisaksi, päätettiin Ignition Switch -toiminto jättää käyttämättä. Käyttöjännitteen kytkentä päätettiin toteuttaa kytkemällä johtosarjaa mikrorele, joka muuttuu johtavaksi, kun auton sytytysvirta kytketään päälle. Releeseen kytketään alkuperäisen ohjainlaitteen tavoin jatkuva 12 voltin jännite. Releen käämin toiseen

päähän kytketään terminaali 15 eli sytytysvirta käämin toisen pään ollessa kytkettynä pysyvään maadoitukseen. Kun sytytysvirta kytketään, rele muuttuu johtavaksi ja 12 voltin jännite kytkeytyy Motecin VBAT-kanaviin. Käyttöjännite kytkettiin kaikkiin kolmeen VBAT-kanavaan, jotta toimintavarmuus säilyisi parempana. Koska auton moottori sammutetaan katkaisemalla sytytysvirta, myöskään rele ei tällöin ole enää johtavassa tilassa ja käyttöjännite Motecilta häviää. Tällä ei Motecin toiminnan kannalta ole suurempaa merkitystä, mutta käyttöjännitteen katoaminen katkaisee Motecin PC-yhteyden hetkeksi ennen kuin sytytysvirta kytketään takaisin päälle.

Tiedot moottorin perustoiminnasta tulevat analogisina jännitesignaaleina, jotka kytketään Motecin AV-sisääntuloihin. Perinteisten analogisten antureiden antamat jännitearvot ovat 0–5 voltia. AV1-kanavaan kytkettiin kaasuläpän asentoanturi, AV2-kanavaan kytkettiin ilmamassanmittari ja AV3-kanavaan sähköisen kaasuläpän moottorin asentoanturi. Kaasupolkimen asentoanturit kytkettiin kanaviin AV4 ja AV5. Kaasupolkimen asentoantureita on kaksi turvallisuussyistä. Moottorinohjainlaite pystyy tällöin vertailemaan kahden anturin antamia tietoja, jolloin yhden viallisen anturin antama tieto kaasupolkimen asennosta ei voi johtaa vaaratilanteisiin. Molemmilla antureilla on oma jännitteensyöttö sekä maadoitus, jotta ne toimisivat täysin itsenäisesti. Lisäksi antureiden jännitetasot ovat erilaiset.

Myös lämpötilatiedot Motec saa analogisina jännitesignaaleina, joiden perusteella Motec tietää moottorin toimintaolosuhteet. Lämpötilasignaali on kytketty Motecin AT-sisääntuloihin. Ilmamassanmittari mittaa imuilman määrän lisäksi imuilman lämpötilaa, jotta ilman lämpötilamuutosten aiheuttamat muutokset ilman tiheyteen saadaan kompensoitua. Imuilman lämpötilasignaali kytkettiin Motecin AT1-kanavaan. AT2-kanavaan kytkettiin moottorin jäähdytysnesteen lämpötilasignaali ja AT3-kanavaan pakokaasun lämpötilasignaali. BMW:ssä jäähdytysnesteen lämpötilaa mitataan myös jäähdyttimen alavesiletkusta. Tämä lämpötilasignaali kytkettiin AT4-kanavaan. AT5- ja AT6-sisääntulot jäävät S54-moottorin anturoinnilla käyttämättä, joten niitä voidaan tarvittaessa hyödyntää lisääntureiden analogisiin jännitesignaaleihin.

Moottorin pyörintänopeustiedon moottori saa kampiakselin pyörintänopeusanturilta, jonka jännitesignaali kytketään Motecin REF-kanavaan. SYNC-kanavaan puolestaan kytketään pakonokka-akselin asentoanturilta tuleva jännitesignaali. Synkronointitieto otetaan BMW:n tapauksessa pakonokka-akselilta, koska liipaisu tehdään pakonokka-akselin puuttuvan hampaan perusteella. Imunokka-akselissa puuttuvaa

hammasta ei ole, vaan hammastus on kauttaaltaan tasavälein. Referenssi- ja synkronointitietojen avulla ohjainlaite tietää missä tahdissa sylinterit milläkin hetkellä ovat. Imunokka-akselin asentotieto kytkettiin DIG4-kanavaan.

Digitaalisilla sisääntuloilla pystytään myös tarkkailemaan esimerkiksi jonkin laitteen tai kytkimen toimintaa. BMW:ssä öljynpaineen tunnistus on toteutettu kytkimen tyyliin. Öljynpaine-tunnistimelta tulee 12 voltin jännite, kun järjestelmässä on riittävä paine. Täten öljynpaineanturi voitiin kytkeä DIG2-kanavaan. Digitaalisiin sisääntuloihin pystytään kytkemään myös nopeustietoa antavat anturit, joten auton nopeustietosignaali kytkettiin kanavaan DIG3. Moottorinohjainlaitteelle nopeustieto tulee valmiiksi käsiteltynä signaalina ABS-ohjainyksiköltä.

Johtosarjaan liitettiin ylimääräisiä liittimiä, joilla mahdollistetaan ylimääräisten anturien asennus autoon. Liittiminä käytettiin Deutschin 4- ja 6-napaisia DTM-uroslittimiä. Yksi 6-napainen liitin kytkettiin siten, että sen kautta johtosarjaan saadaan liitettyä tarvittaessa kaksi analogista jännitesignaalia tuottavaa anturia. Liitimeen kytkettiin 5, 8 ja 12 voltin käyttöjännitteet, joilla mahdollistetaan erilaisten anturien asennus. Jännitesyöttöjen lisäksi liitimeen kytkettiin maadoitus sekä AV7- ja AV8-kanavat.

Yksi 6-napainen DTM-uroslitin käytettiin nakutusmoduulin (SKM = Standalone Knock Module) kytkemistä varten. Liitimeen kytkettiin 8 voltin käyttöjännite, maadoitus, nakutusanturin sisääntulo ja ulostulo (AV6) sekä nakutusikkunatieto ("Knock Window"), joka toteutettiin ylimääräisellä polttoainesuuttimen ulostulolla (INJ8). Nakutusmoduuli ottaa nakustiedon auton nakutusanturilta ja syöttää sen analogisena jännitesignaalina AV6-kanavaan. Nakutusikkunalla moduuli saa tiedon, milloin nakutus on todennäköisintä tapahtua. [12, s. 7.] Nakutusantureita ei pysty kytkemään suoraan AV-sisääntuloihin.

Lambda-anturia varten kytkettiin vielä yksi 6-napainen Deutschin DTM-liitin. Lambda-anturin kytkentää varten käytettiin kuitenkin naaraspuoleista liittintä, koska tarjolla on valmiita adapterijohtoja, joissa on DTM-uroslitin. Lambda-anturiin pitää kytkeä 12 voltin käyttöjännite, maadoitus sekä lambdatiedot. 12 voltin jännitteellä lambda-anturi lämmitetään ja INJ7-suutinulostulolla lämmitystä ohjataan. LA1P ja LA1S ovat varsinaiset lambda-arvojen sisääntulot.

Kaikkien auton omien moottorin toimintaa ohjaavien antureiden maadoitus kytkettiin 0V Eng -maadoituspisteeseen. Tällä tavoin kaikki antureiden maadoitukset saadaan samaan potentiaaliin. Motecissa on useita maadoituspisteitä, mutta tärkeiden antureiden osalta käytettiin samaa maadoituspistettä, koska silloin mahdollisten maadoitusongelmien vianetsintä helpottuu. Vastaavasti kaikkien lisäliittimien maadoitukset kytkettiin 0V Aux -maadoituspisteeseen ja kommunikaatioliittimet 0V Comms -maadoituspisteeseen. Motecin GND-maadoituksia käytettiin ainoastaan niihin kytkentöihin, joissa auton johtosarjan maadoitusjohtimet menevät suoraan auton omiin maadoituspisteisiin.

6.2 Motecin ulostulosignaalien kytkennät

Motec M880:n ulostuloilla ohjataan polttoainesuuttimia, sytytyspuolia sekä muita laitteita. Motecissa on yhteensä kahdeksan ohjausulostuloa polttoainesuuttimille, joten BMW M3:n kuusisylinteristä moottoria käyttäen kaksi suuttimien ulostuloa voitiin hyödyntää muiden laitteiden ohjauksiin.

Kuten breakout-mittauksilla saatiin selville, johtosarjan sytytyspuolien kytkentää ei pystynyt tekemään suoraan Motecin sytytysulostulosta MSS54HP:n vastaavaan pinniin. Johtosarjaan jouduttiin lisäämään sytytysvahvistimet, jotta MSS54HP:n sisällä olevan pääteasteen puuttuminen saatiin korvattua. Sytytyspuolien kytkennöissä tuli huomioida myös se, että MSS54HP:n sytytyspuolien numerointi oli suoraan sylinterien numerojärjestys, kun taas Motecissa numerointi tarkoittaa sytytysjärjestystä. S54-moottorin sytytysjärjestys on 1-5-3-6-2-4, joten Motecin sytytysulostulo numero 1 tarkoittaa sylinteriä 1, sytytysulostulo 2 tarkoittaa sylinteriä 5, jne. Samaa logiikkaa täytyi käyttää myös polttoainesuuttimien kytkennöissä. Sytytysvahvistimien pinnit kytkettiin seuraavasti:

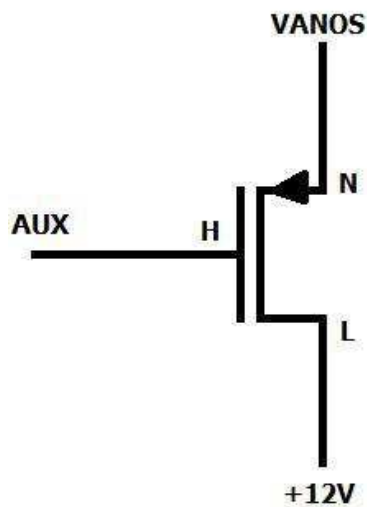
- pinni 1: sytytyspuola 1 lähtö
- pinni 2: sytytyspuola 1 ohjaus
- pinni 3: sytytyspuola 2 lähtö
- pinni 4: maadoitus
- pinni 5: sytytyspuola 2 ohjaus

- pinni 6: sytytyspuola 3 lähtö
- pinni 7: sytytyspuola 3 ohjaus.

Sytytysvahvistimista toinen ohjaa sytytysjärjestyksessä sylintereitä 1–3 ja toinen sylintereitä 4–6.

Motec M880:n vähäisten ulostulojen takia kaikkia MSS54HP:n kaikkia ominaisuuksia ei voitu käyttää hyväksi, joten johtosarjaa varten keskityttiin vain tärkeimpien ominaisuuksien säilyttämiseen. Jo pelkästään muuttuvien nokka-akselien ajoitusten ohjaamiseen jouduttiin käyttämään neljä lisälaitteiden ohjausulostuloa, kun käytettävissä oli ainoastaan kymmenen vapaata ulostuloa. VANOS-solenoidien ohjaukseen käytettiin ulostuloja AUX5–AUX8. Molemmille nokka-akseleilla on kaksi solenoidia, joista toinen aikaistaa ajoitusta ja toinen myöhäistää. Kuten jo aiemmin kerrottiin, BMW M3:n alkuperäinen moottorinohjainlaite ohjaa solenoidien toimintaa high-side-ohjauksella, eli ajoitusta muutetaan syöttämällä solenoideille 12 voltin jännite. Motecin käyttäjät ovat huomanneet, että Motecilla low-side-ohjaus on toiminnaltaan varmempi kuin high-side-ohjaus. Tämän vuoksi johtosarja päätettiin toteuttaa siten, että ohjauksen polariteetti muutetaan P-tyypin MOSFET-kanavatransistorilla.

MOSFETin lähteeseen kytkettiin sama jatkuva 12 voltin jännite, kuin mistä Motec saa käyttöjännitteensä. Motecin AUX-ulostulo kytkettiin MOSFETin hilaan, jolloin AUX-ulostuloa maadoittamalla P-tyypin MOSFETin lähteen ja nielun väli muuttuu johtavaksi. MOSFETin nieluun kytketty johdin kulkee auton johtosarjaan, jonka kautta solenoidi saa 12 voltin ohjausjännitteen. Jokaista VANOS-solenoidia ohjataan erikseen, joten jokaista solenoidia varten piti kytkeä oma MOSFET-kanavatransistori. Kuvassa 7 on havainnollistava kytkentäkuva MOSFETin käytöstä. Johtosarjan testauksen yhteydessä kanavatransistorien kanssa ilmeni ongelmia, joista kerrotaan tarkemmin luvussa 8.



Kuva 7. P-tyyppin MOSFETin kytkentä VANOS-solenoidien ohjauksessa.

AUX1- ja AUX2-ulostulot ovat tarkoitettu korkealle virralle, joten niillä pystytään ohjaamaan sähköistä kaasuläppämootoria. AUX1-kanavalla ohjataan jännitteensyöttöä moottorille, millä ohjataan kaasuläppien aukeaminen. AUX2-kanavalla ohjataan kaasuläppien sulkeutuminen. AUX2-kanavaa ei kuitenkaan tarvitse ottaa käyttöön, koska kaasuläppämoottorin sulkee palautinjousi, jota vastaan moottori joutuu tekemään töitä avatakseen kaasuläpät.

AUX3-ulostulolla ohjataan moottorinohjainlaitteen pääreleen toimintaa. Päärele on low-side-ohjattu rele, joten ohjaaminen AUX-ulostulolla ei ole ongelma. Maadoittamalla AUX3-ulostulo päärele muuttuu johtavaksi. Pääreleen kautta myös polttoainepumpun rele saa 12 voltin jännitteen ja muuttuu johtavaksi. Jotta polttoainepumpun rele saatiin johtavaksi päärelettä ohjaamalla, piti polttoainepumpun releen käämin toinen pää kytkeä pysyvään maadoitukseen. Alkuperäisen ohjainlaitteen kanssa polttoainepumpun rele aktivoituu vain, kun ohjainlaite maadoittaa käämin. Kytettäessä polttoainepumpun rele jatkuvaan maadoitukseen, rele muuttuu johtavaksi, kun se saa 12 voltin jännitteen. AUX4-ulostulolla oli tarkoitus ohjata polttoainesuuttimien relettä, mutta high-side-ohjatun releen toiminta Motecin kanssa ei ollut luotettava, joten kytkentää päätettiin muuttaa. Ongelman synnystä ja ratkaisusta kerrotaan tarkemmin luvussa 8.

GPS-laitteen kytkentää varten johtosarjaan lisättiin yksi 4-napainen Deutschin DTM-liitin. GPS-laitteen kytkemistä varten tarvitsee liittimeen kytkeä ainoastaan 5 voltin käyttöjännite, maadoitus sekä RS232-tiedonsiirtokanavan vastaanotto. [13, s. 2.]

Motecin kommunikointia varten johtosarjaan liitettiin 5-napainen Neutrik XLR-kommunikointiliitin. Liittimeen kytketään 8 voltin käyttöjännite, maadoitus sekä CAN-väylän High- ja Low-johtimet. Liittimeen kytketään Motecin UTC-adapteri (CAN to USB), jonka avulla tietokoneella saadaan yhteys ohjainlaitteeseen.

7 Adapterijohtosarjan tarvikkeet ja työvaiheet

Kyt kentöjen selvittämisen jälkeen aloitettiin johtosarjan varsinainen rakennusvaihe. Tässä kappaleessa kerrotaan johtosarjan rakennusmenetelmät sekä johtosarjaan tarvittujen tarvikkeiden käyttötarkoitukset.

7.1 Johtosarjan tarvikkeet

Adapterijohtosarjaa varten tarvittavien tarvikkeiden hankkiminen aloitettiin, kun kytkennät alkoivat olla selvillä ja johtosarjan rakentaminen alkoi olla ajankohtaista. Johtosarjaa varten tarvittiin auton johtosarjaan sopiva liittimen vastakappale, Moteciin sopiva Autosport-liitin, erivärisiä johtimia, sytytysvahvistimet sekä muutama ylimääräinen liitin ylimääräisten anturien ja muiden ominaisuuksien asennusta varten.

DTM-liittimet, Boschin sytytysvahvistimet ja näiden kytkentään tarvittavat pinnit hankittiin Finjectorilta, joka myy erityisesti Boschin tarvikkeita, kuten sytytysvahvistimia ja polttoainesuuttimia. Johtosarjassa käytettävissä Boschin sytytysvahvistimissa on kolme pääteastetta, jolloin kuusisynterisen moottorin sytytykseen tarvittiin kaksi sytytysvahvistinta. Ylimääräisiä toimintoja varten tarvittiin Deutschin DTM-liittimiä erikokoisina. DTM-liittimiä käytettiin SKM-nakutusmoduulin (Standalone Knock Module), lambdatunnistimen sekä muiden ylimääräisten antureiden asennuksen mahdollistamiseksi.

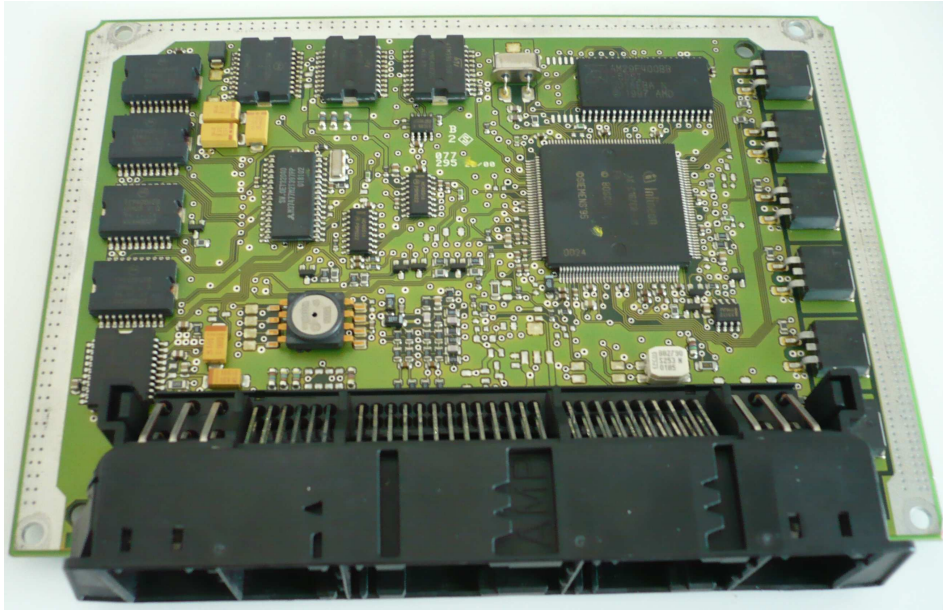
Motecin kommunikointia varten tarvittiin Neutrik XLR-kommunikointiliitin, jonka avulla johtosarjaan saadaan liitettyä Motecin UTC-adapteri (USB to CAN). XLR-liitin hankittiin Partcolta. Liittimen avulla Motecin CAN-väylään saadaan yhteys tietokoneen avulla. Johtimia hankittiin useissa eri väreissä, jotta johtosarjan toiminnat pystytään jatkossakin helpommin selvittämään. Erityisesti mahdollisissa vikatilanteissa johtimien värit helpottavat vian etsinnässä. Kun vika ilmenee ja tiedetään, minkälaisesta viasta

on kyse, voidaan pelkkien johtimien värien perusteella kartoittaa johtimet, joissa vika voi olla. Kuvassa 8 on esitetty johtosarjaan käytettyjä tarvikkeita. Itse moottorinohjainlaite Motec M880 oli Metropolia Ammattikorkeakoululla jo valmiina ennen tämän insinööriyön aloitusta.



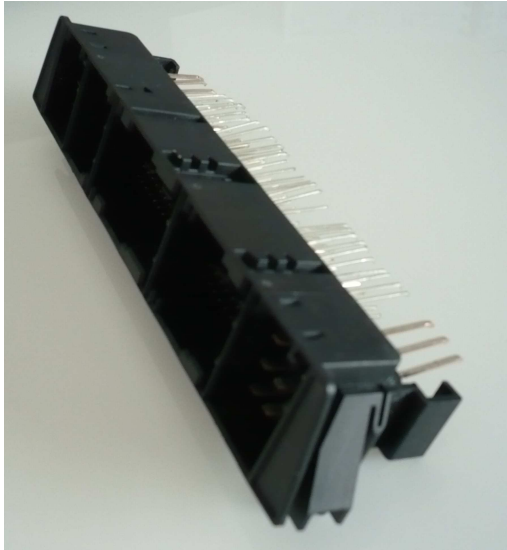
Kuva 8. Johtosarjaan käytettyjä tarvikkeita. 1) Boschin sytytysvahvistin, 2) XLR-kommunikointiliitin, 3) Deuschin 6-napainen DTM-liitin, 4) Deuschin 4-napainen DTM-liitin.

Johtosarjaa varten tarvittiin myös fyysisesti alkuperäisen MSS54HP:n liitintä vastaava liitinkotelo. Liittimen hankkiminen osoittautui kuitenkin vaikeammaksi kuin oli ajateltu. Uusia liittimiä ei saa ostettua valmistajan varaosina eikä niitä löytynyt muiltakaan toimittajilta. Liittimen suhteen päädyttiin kalliimpaan mutta helpompaan ratkaisuun ja hankittiin autopurkaamolta purkuosana Siemens MS43 -moottorinohjainlaite (kuva 9). MS43 on fyysisesti täysin samanlainen kuin MSS54HP, joten sen liitinkotelo pystyttiin irrottamaan piirilevystään ja käyttämään johtosarjan rakentamisessa. MS43 on peräisin E46-korimallin BMW 330i:stä.



Kuva 9. MS43:n piirilevy. Piirilevyn etureunassa on johtosarjaan tarvittava liitinkotelo.

Liitinkotelo oli tarkoitus irrottaa juottamalla se irti piirilevystä, mutta perinteisen kolvin lämpötila ei ollut riittävä sulattamaan pinnien kiinnityksiä. Tämän takia liitin irrotettiin katkomalla pinnit liitinkotelon takaa, kuten kuvassa 10 näkyy. Tässä työssä rakennettavaa johtosarjan prototyyppiä varten pinnien säilyttäminen alkuperäisessä muodossaan ei ole sen toiminnan kannalta tärkeää. Prototyypin kytkentöjä pystyy helposti muuttamaan, vaikka pinnit on katkaistu. Kun johtosarjan prototyyppi on valmis, ja jos johtosarjalle on tulevaisuudessa kysyntää, on kannattavaa irrottaa pinnit piirilevystä siten, että ne voidaan kiinnittää uudelle piirilevylle alkuperäistä kiinnitystä vastaavalla tavalla.



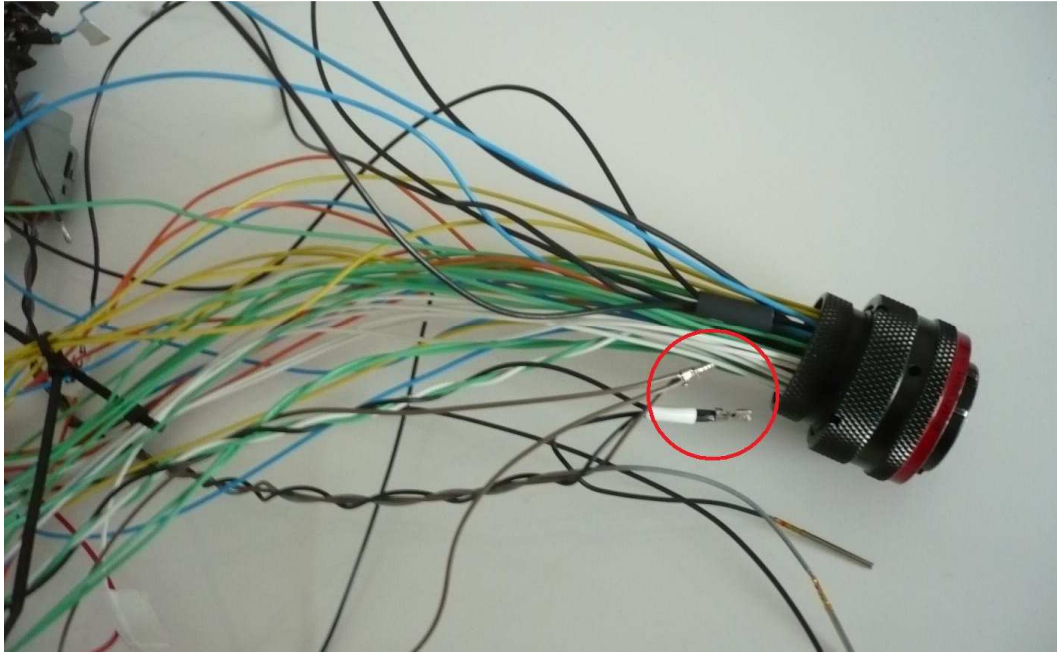
Kuva 10. MS43:n liittin kotelo irrotettuna piirilevystä. Kotelon takana näkyy katkaistut pinnit.

Perinteisten kuorintapihtien ja sivuleikkureiden lisäksi työssä käytettiin Deuschin erityisesti pinnien puristamiseen tarkoitettuja krimpipauspihtejä (Crimping Tool). Pihtien avulla Motecin ja DTM-liittimien pinnit saatiin puristettua tiiviisti johtimien ympärille. Puristaminen onnistuu ilman krimpipauspihtejäkin, mutta pihdit nopeuttivat ja helpottivat liittämistä.

7.2 Adapterijohtosarjan rakentaminen

Kun kytkennät olivat selvillä ja tarvittavat tarvikkeet hankittuina, pystyttiin johtosarjan rakentaminen aloittamaan. Rakentaminen aloitettiin liittämällä johtimet Motecin Autosport-liittimeen. Tällä vaiheella aloitettaessa vältettiin rakennuksen loppuvaiheessa ahtaus Motecin liittimen juuressa.

Selkeimmät kytkennät oli helpoin kytkeä ensimmäisenä, koska niiden toimivuudesta voitiin olla varmoja. Kaikki epävarmat kytkennät jätettiin suosiolla viimeiseksi, jolloin aikaa niiden selvittämiseen oli enemmän. Tämä osoittautui myöhemmin hieman huonoksi keinoksi, sillä viimeisten pinnien kytkeminen Motecin liittimeen oli johtimien runsauden ja sitä myötä ahtauden takia hankalaa. Kuvassa 11 johtosarja on siinä vaiheessa, että johtimet on kytketty Autosport-liittimeen. Kaksi johtosarjaan tehtyä haaroitusta on ympyröity.



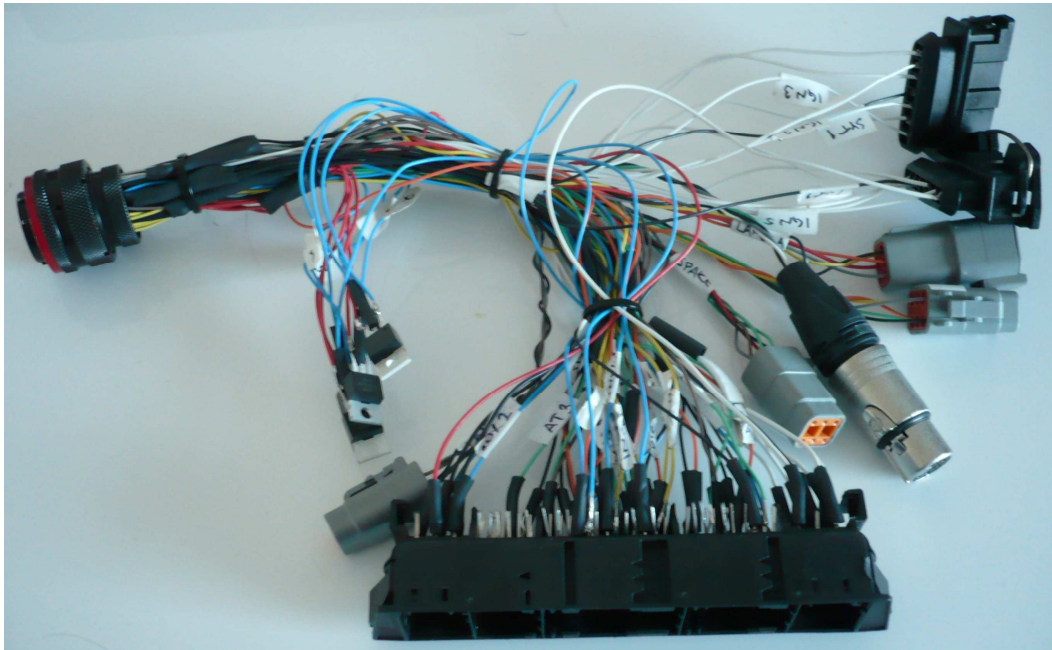
Kuva 11. Johtosarja keskeneräisenä.

Johtimien haaroitukset toteutettiin ylimääräisillä sytytysvahvistimien pinneillä. Ne soveltuivat hyvin useiden johtimien liittämiseksi toisiinsa. Pinnit puristettiin kaikkien tarvittavien johtimien ympärille, ja johtonipun ympärille laitettiin muovinen kutistesukka, jolla varmistetaan haaroituksen eristys.

Kun kaikki tarvittavat johtimet pinneineen oli kytketty Motecin liittimeen, juotettiin johtimet kiinni Siemensin liittimeen. Siemensin liittimen pinnit ovat erittäin lähellä toisiaan, joten juottaminen vaati aikaa ja kärsivällisyyttä. Juotettujen pinnien päälle oli tarkoitus laittaa muovinen kutistesukka eristykseksi, mutta pinnien lähekkäisyyden vuoksi kutistesukka ei mahtunut kaikkien pinnien päälle, joten kutistesukka päätettiin laittaa vain niihin kohtiin, joissa eristyssuojaa erityisesti tarvittiin. Tämä riitti varmistaa sen, etteivät juotetut pinnit kosketa toisiaan.

Viimeiseksi johtosarjaan liitettiin ylimääräiset liittimet. Tämä sen vuoksi, että ylimääräisiin liittimeen menevät johtimet oli helpompi mitoittaa sopivan mittaisiksi, kun johtosarjan runko oli valmis. Kuvassa 12 johtosarja on testausta vaille valmis. Kaikki johtimet ja tarvittavat lisäliittimet ovat kytkettyinä. Johtosarjan johtimet jätettiin tarkoituksella paljaksi, koska kyseessä on vasta kehitysasteella oleva johtosarja. Jos johtosarjassa huomataan virheitä, ne on helpompi korjata, kun johtimet ovat helposti nähtävissä ja käsiteltävissä. Mikäli johtosarjalle on kysyntää, johdot voi laittaa siististi

kutistesukkaan ja Siemensin liitin voidaan kytkeä piirilevyyn, jolloin sen kytkennöistä tulee siistimmät.



Kuva 12. Johtosarja ennen testausten aloitusta.

7.3 Rakentamisvaiheessa ilmenneet ongelmat

Suurimmat ongelmat johtosarjan rakentamisessa johtuivat siitä, ettei vastaavasta työstä ollut aiempaa kokemusta. Ongelmia tuottivat lähinnä työvaiheiden järjestys. Monet työvaiheet piti tehdä tietyssä järjestyksessä, jolloin seuraava työvaihe ei onnistunutkaan, mikäli työvaiheet oli tehty väärässä järjestyksessä. Esimerkiksi kutistesukkien asennus ei onnistunut, mikäli johdin on kytketty molemmista päistä ennen kuin kutistesukka oli laitettu johtimen ympärille. Samoin jo aiemmin mainittu johtimien kiinnittäminen Motecin liittimeen olisi pitänyt tehdä pinnien numerojärjestyksessä, jolloin kytketyt johtimet eivät olisi olleet tiellä viimeisiä johtimia kytkettäessä.

Muut ongelmat johtuivat omista unohduksista ja huolimattomuudesta. Johtosarjaan tehtiin haaroituksiin ei pystynyt lisäämään uusia johtimia ilman, että puutteellinen haaroitus purettiin. Yhdestä haaroituksesta unohtui kaksi johdinta, mutta onneksi niiden puuttuminen huomattiin, ennen kuin johtosarjaa testattiin. Haaroituksen purkaminen oli

työläs tehdä, koska haaroituksen ympärillä olevan kutistesukan sisäpinnalla on liimaa, joka tarrautuu johtimiin, kun sitä kuumennetaan.

Loppujen lopuksi johtosarjan rakentaminen sujui ilman suurempia ongelmia ja virheitä, vaikka johtosarjan rakentamisesta ei ollut aiempaa kokemusta. Monet johtosarjan rakennuksessa tehdyt virheet ilmenivät vasta testausvaiheessa.

8 Johtosarjan testaus ja Motecin säädöt

Motec M880 -moottorinohjainlaite oli jo valmiina Metropolia Ammattikorkeakoululla ennen tämän työn aloittamista. Ohjainlaitteessa oli valmiina Motecin tekemät perussäädöt, jotka soveltuivat pienin muutoksin BMW M3:een. Perussäädöillä Motecin ja johtosarjan testaus saatiin alkuun. Insinööriyön tarkoituksena ei ollut tehdä Moteciin säätöjä, joilla maksimoitaisiin moottorin tehot, vaan tarkoituksena oli tehdä säädöt, joilla moottori toimii tyhjäkäynnillä ilman ongelmia. Tarkkuutta vaativat testaukset jaettiin kahteen eri testauskertaan, joiden tapahtumat on selvitetty tässä luvussa.

8.1 Ensimmäinen testausvaihe

Ensimmäisen testausvaiheen tavoitteena oli tarkistaa vain, että johtosarja toimii ja kytkennät ovat oikein. Ensimmäisen testausvaiheen perusteella johtosarjaan voitiin tehdä muutoksia, joilla johtosarja toimisi paremmin seuraavassa vaiheessa.

Johtosarjan ensimmäisessä testausvaiheessa ilmeni heti ongelma käyttöjännitteen kytkennöissä. Tämä johtui siitä, että työn alkuvaiheessa, kun johtosarjan kytkentöjä selvitettiin, käytössä oli BMW:n WDS:n tarjoamat osittain puutteelliset kytkentäkaaviot. Autodatan kytkentäkaaviot saatiin vasta työn myöhemmässä vaiheessa. WDS:n kaavioista ei nähnyt käyttöjännitteen tarkkaa kytkeytymistä, eikä se selvinnyt breakout-mittauksissakaan. Johtosarja rakennettiin alun perin siten, että käyttöjännitteen kytkentä ohitti ohjainlaitteen pääreleen. Tämä kytkentä osoittautui virheelliseksi, sillä ohjainlaitteen päärelettä on ohjattava, että jännite kytkeytyy oikeaan pinniin. Ensimmäisen testivaiheen ajaksi päärelettä ohjattiin hyppyjohdolla, joka kytkettiin aina tarvittaessa suoraan auton runkoon.

Käyttöjännitteen testauksessa ilmeni ongelma myös MOSFET-kanavatransistoreiden kanssa. Kanavatransistorit asennettiin johtosarjaan, jotta nokka-akseleiden solenoidille menevän jännitepulsstin polariteetti saataisiin muutettua. Kun johtosarjan käyttöjännitekytkentöjä testattiin ilman, että Motec oli kiinni johtosarjassa, kanavatransistorit olivat jatkuvassa johtavassa tilassa, kun auton virrat olivat päällä. Kanavatransistorit eivät kestäneet jatkuvaa 12 voltin jännitettä, jolloin ne ylikuumenivat. Tämän vuoksi kanavatransistorit poistettiin johtosarjasta ja solenoidien ohjaus toteutettiin samaan tyyliin, kuin alkuperäisessäkin ohjainlaitteessa, eli high-side-ohjauksella. MOSFETeihin kytketyt johtimet kuitenkin päätettiin jättää johtosarjaan siten, että MOSFETit on helppo kytkeä johtosarjaan uudelleen, mikäli niitä päätetään kokeilla uudelleen.

Testauksessa havaittiin myös, että kaasuläppien sähkömoottorille menevät AUX-ulostulot oli kytketty väärin päin. Tämä johti siihen, että Motec yritti avata läppiä väärään suuntaan. Näin ollen Drive-By-Wire-järjestelmä ei alkuun toiminut lainkaan. Kun kytkennät muutettiin, alkoi kaasuläppämoottori toimia normaalisti.

Toista testivaihetta varten kytkennät muutettiin niiltä osin, kuin ensimmäisessä testissä oli havaittu virheitä. Käyttöjännitekytkentöjä muutettiin siten, että johtosarjaan lisättiin ylimääräinen rele, joka muuttuu johtavaksi, kun autoon kytketään sytytysvirta. Tällöin moottorinohjainlaitteen pääreleeseen voitiin kytkeä AUX3-ulostulo, jolla päärele ohjattiin johtavaksi. Tämä tarkoitti, että Ignition Switch -toimintoa ei voida hyödyntää Motecissa. AUX4-ulostulo kytkettiin ohjaamaan polttoainesuuttimien relettä.

8.2 Toinen testausvaihe

Toisen testivaiheen tavoitteena oli saada moottori käyntiin, jolloin tiedettäisiin, että johtosarja on toimiva ja suuria muutoksia johtosarjaan ei tarvitsisi tehdä. Toista testivaihetta varten kytkentöjä oli muutettu siten, että ensimmäisessä testausvaiheessa havaitut puutteet oli korjattu. Käyttöjännitteen uusi kytkentä osoittautui toimivaksi ja testausta päästiin heti jatkamaan siitä, mihin ensimmäisessä vaiheessa oli jääty.

Toinen testivaihe aloitettiin testaamalla polttoainesuuttimien kytkennät. Kytkennät osoittautuivat oikeiksi, mutta ensimmäisen testausvaiheen jälkeen muutettu suuttimien releen ohjaus osoittautui Motecin huonojen high-side-ohjasuominaisuuksien vuoksi

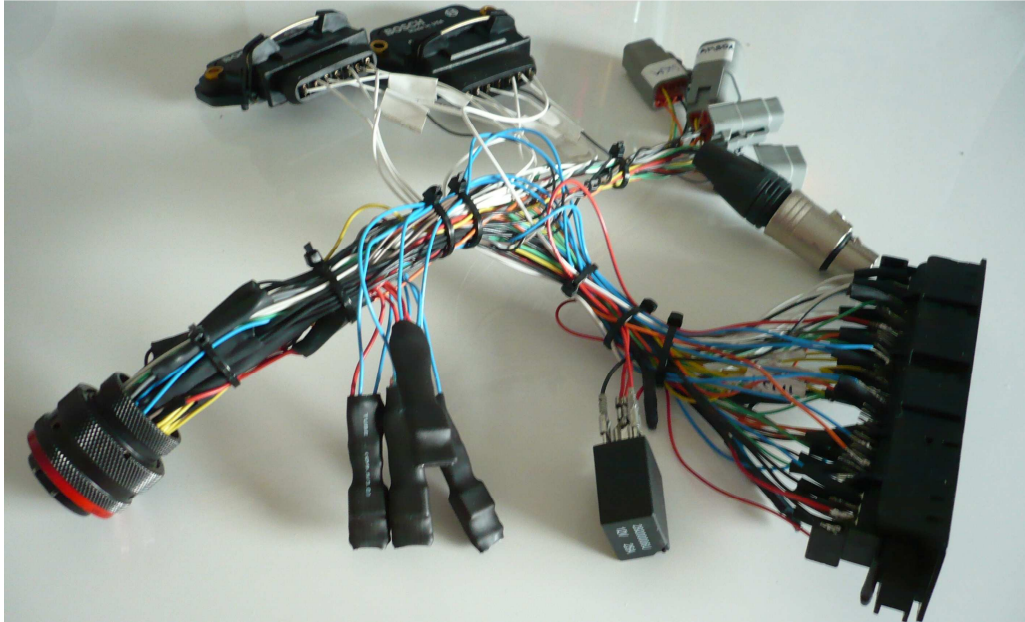
ongelmaksi. Koska rele on high-side-ohjattu, joudutaan Motecilta syöttämään releelle 12 voltin jännite AUX-ulostulolla, jotta rele muuttuisi johtavaksi. Motec ei kuitenkaan kyennyt syöttämään releelle riittävää jännitettä, jolloin suuttimet eivät saaneet jännitettä releen kautta. Testejä varten rele ohitettiin, jotta testausta päästiin jatkamaan.

Suuttimien tavoin testattiin myös sytytyspuolien kytkennät, jotka myös osoittautuivat oikeiksi. Näin ollen moottorin käynnistystä voitiin harkita. Ennen moottorin käynnistystä piti kuitenkin tarkistaa moottorin perussytytysennakko ajoituslampun avulla. Perusennakko todettiin kutakuinkin oikeaksi ja moottoria päätettiin yrittää käyntiin. Moottori ei kuitenkaan käynnistynyt, jolloin Motecin perussäätöihin tehtiin muutoksia, joiden olisi pitänyt helpottaa moottorin käynnistymistä. Näin ei kuitenkaan käynyt. Säätöjä tutkiessa Motecin säädöissä todettiin sytytysajankohdan olevan 360 astetta pielessä. Tämä tarkoitti siis sitä, että sytytys tapahtui pakotahdin lopussa, jolloin moottori ei voi käynnistyä. Kun ajoitus muutettiin oikeaksi, moottori käynnistyi ja toimi tyhjäkäynnillä melko hyvin.

VANOS-solenoidien säätöjen kanssa ilmeni sama ongelma kuin polttoainesuuttimien releen kanssa, eli Motecin high-side-ohjaus ei ole riittävän tehokas, että sillä voisi ohjata solenoideja. Säätöarvojen muuttaminen ei saanut nokka-akseleiden ajoituksia muuttumaan, joten Motecin käyttäjien arvioit high-side-ohjauksesta osoittautuivat oikeiksi.

Koska moottori käynnistyi ja pysyi hyvin käynnissä, johtosarja todettiin toimivaksi. Polttoainesuuttimien releen kytkentöjä muutettiin vielä toisen testivaiheen jälkeen siten, että releelle otetaan jännite samasta kytkennästä, kuin Motecin käyttöjännitekin. Tällöin relettä ei tarvitse ohjata Motecin huonolla high-side-ohjauksella, vaan rele saa 12 voltin jänniteen aina, kun sytytysvirta kytketään päälle. Samalla johtosarjaan kytkettiin takaisin MOSFET-kanavatransistorit, jotka alkuperäisissä kytkennöissä jo olivat mukana. MOSFETien kytkentää tosin muutettiin siten, että MOSFETien hilan ja lähteen rinnalle lisättiin 1 kilo-ohmin vastus, jolloin hila on aina pakotettu 12 volttiin, kun hilaa ei ohjata. Ensimmäisessä testivaiheessa osoittautunut ongelma johtui siitä, että MOSFETit olivat johtavassa tilassa, kun johtosarjaan oli kytketty jännite, mutta Motec ei ollut kytkettynä johtosarjaan. Vastuksen avulla vastaavia ongelmia ei synny. Muutokset tehtiin, jotta johtosarja olisi insinööriyön tavoitteiden mukaisesti sellainen, ettei muita muutoksia autoon tarvitse Motecin kytkennän myötä tehdä.

Kuvassa 13 johtosarja on täysin valmis. Johtosarjaan on kytketty sytytysvahvistimet, johtosarjan rele, MOSFETit ja kaikki johtosarjan toimintaan vaikuttavat tekijät. Johtosarja on myös viimeistelty tämän työn tavoitteiden mukaisesti. Kutistesukat on laitettu kohtiin, joissa se on johtosarjan toiminnan kannalta kannattavaa.



Kuva 13. Johtosarja täysin valmiina.

8.3 Motecin säädöt

Motecin säätöjä muutettiin ajatellen tyhjäkäyntiä, koska kohdeajoneuvolla ei ollut mahdollista lähteä ajamaan. Mikäli säädöistä haluaa tehdä toimivat myös ajotilanteissa, pitää säätöjä testata myös moottoria kuormittamalla. Tämän insinööriyön puitteissa sellaisia säätöjä ei tehty.

Säädöt Moteciin tehtiin Motec ECU Manager -ohjelmistolla, joka on ladattavissa Motecin kotisivuilta ilmaiseksi. Ennen kartastojen muokkaamista ja moottorin käynnistämistä piti ohjainlaitteeseen määrittää perusennakko (Crank Index Position). Motecin tekemissä perussäädöissä perusennakko oli 445 astetta. Asteluku tarkoittaa sitä, kuinka monta astetta kampiakseli pyörähtää liipaisuhampaan jälkeen ennen kuin sytytyspuola antaa kipinän. Kuten aiemmin kerrottiin, asteluku osoittautui lähes yhden kampiakselin kierroksen, eli 360 astetta, liian isoksi. Todellinen asteluku oli 101 astetta. Perusennakkoasetukset on esitetty kuvassa 14.

Crank Index Position		
Parameter	Value	Crank Index Position
Crank Index Position	101,0	Sets the Crank Index Position
Test Advance	10,0	
Press F1 for more detail		
Units : deg BTDC		
***** WARNING *****		
The Ignition Advance is set to the Test Advance value. Do not load the engine while this screen is shown		

Kuva 14. Moteciin tehdyt perusennakon asetukset Motec ECU Managerissa.

Myös antureiden ja muiden laitteiden asetukset piti asettaa oikeiksi ennen moottorin käynnistämistä. Kuvassa 15 näkyy asetukset, joilla määritellään moottorin nokka-akselilta saatava synkronointitieto. BMW:n tapauksessa synkronointitieto saadaan pakkonokka-akselin asentoanturilta. Motec ECU Managerin asetuksista on tällöin valittava kanava 2.

SYNC CAM Position		
Parameter	Value	Channel
Channel	2	Used when the Sync Signal is also used for CAM position.
Offset	15,0	
Filter	3	
Zero	-5,0	Set to Zero if not used for CAM position measurement.
Defines the channel that the cam position value will be assigned to.		
0 : Off (not used for CAM Position)		
1 : Inlet		
2 : Exhaust		
3 : Left Inlet		
4 : Left Exhaust		
5 : Right Inlet		
6 : Right Exhaust		

Kuva 15. Synkronointitiedon asetukset.

Kaikkien lämpötila-antureiden kalibrointi on suoritettava ennen moottorin käynnistystä, jotta Motec lukee antureilta todellisia arvoja. Motecissa oli valmiina sopivat lämpötila-antureiden kalibroinnit, joten niiden osalta muutoksia ei vaadittu. Kaasupolkimen asentoanturit sekä kaasuläppien asentoanturi oli kuitenkin kalibroitava, jotta

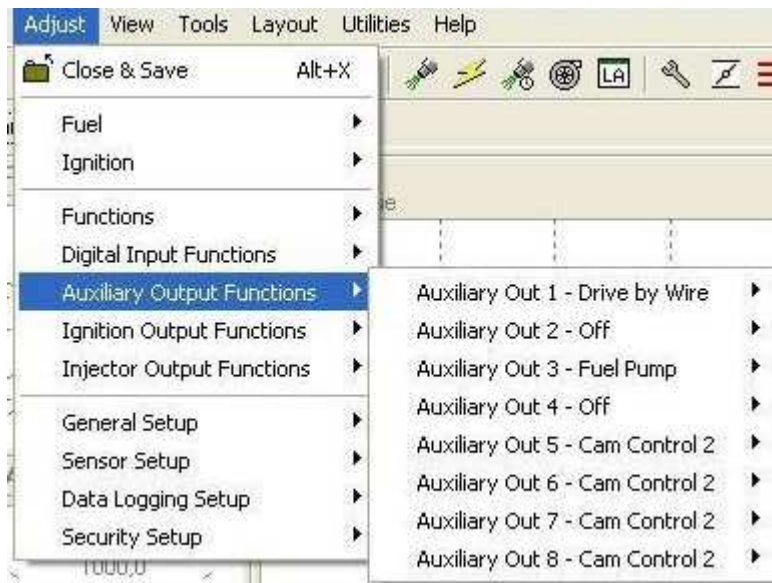
kaasuläppämoottori toimisi oikein ja moottori vastaisi kaasun painamiseen niin kuin sen pitää. Kaasupolkimen antureiden kalibrointi tehtiin tallentamalla Motecin muistiin antureiden arvot poljin täysin yläasennossa sekä arvot polkimen ollessa täysin pohjaan painettuna. Vastaavanlainen kalibrointi kaasuläppien asentoanturille tehtiin vääntämällä kaasuläppien vivusto käsin täysin auki ja tallentamalla arvot muistiin. Kaikkien antureiden arvot molemmissa ääriasennoissa on esitetty kuvassa 16. Kuten aiemmin kerrottiin, kaasupolkimella on kaksi erillistä asentoanturia (kuvassa Driver Throttle ja Driver Throttle 2), joiden arvot eivät ole keskenään yhtenevät. Kuvassa 16 näkyy, että 2-anturin arvot ovat puolet pienemmät kuin 1-anturilla. Kuvassa 16 Throttle Pos esittää kaasuläppämoottorin asentoarvoja ja Throttle Pos 2 kaasuläppien asentoarvoja.

Throttle Position			
Parameter	Value	Throttle Pos Closed	TPLO
Throttle Pos Closed	TPLO	* 5,6	Records the Throttle Position with the throttle fully closed Adjust by moving the throttle to the fully closed position then press the Enter key
Throttle Pos Open	TPHI	* 81,1	
Throttle Pos 2 Closed		* 88,3	
Throttle Pos 2 Open		* 11,1	
Driver Throttle Closed		* 14,9	
Driver Throttle Open		* 80,2	
Driver Throttle 2 Closed		* 7,4	
Driver Throttle 2 Open		* 40,5	

Kuva 16. Kaasupolkimen, kaasuläppien sekä kaasuläppämoottorin asentoantureiden arvot auki- sekä kiinniasennoissa.

Asetuksiin piti lisäksi valita imunokka-akselin asentotunnistimen DIG4-kanava, jotta Motec voi hyödyntää myös imunokka-akselin asentotiedon. Myös kaikki AUX-ulostulojen toiminnot piti lisätä asetuksiin. Kaikki AUX-ulostulojen asetukset näkyvät kuvassa 17. AUX2-ulostulo ei ole valittuna, vaikka se onkin kytketty Drive-By-Wire-järjestelmään. Tämä johtuu siitä, että kaasuläppien moottoria ei tarvitse erikseen ohjata kiinni, koska moottorin palautinjousi sulkee läpät, kun moottoria ei ohjata auki AUX1-kanavalla. AUX3-ulostulon asetukset on asetettu polttoainepumpputoiminnoksi, vaikka kyseessä on ohjainlaitteen päärele, koska toiminta on kaikkien releiden ohjausten kanssa sama. AUX5–AUX8-ulostulot (Cam Control) ohjaavat VANOS-solenoideja. Kaikki AUX-ulostulojen toiminnot on esitetty kuvassa 17. AUX4-ulostulo jätettiin vielä

testausvaiheessa kytkemättä, mutta sen kytkentä voidaan tulevaisuudessa valita halutunlaiseksi.



Kuva 17. AUX-ulostulojen toiminnot Motec ECU Managerissa.

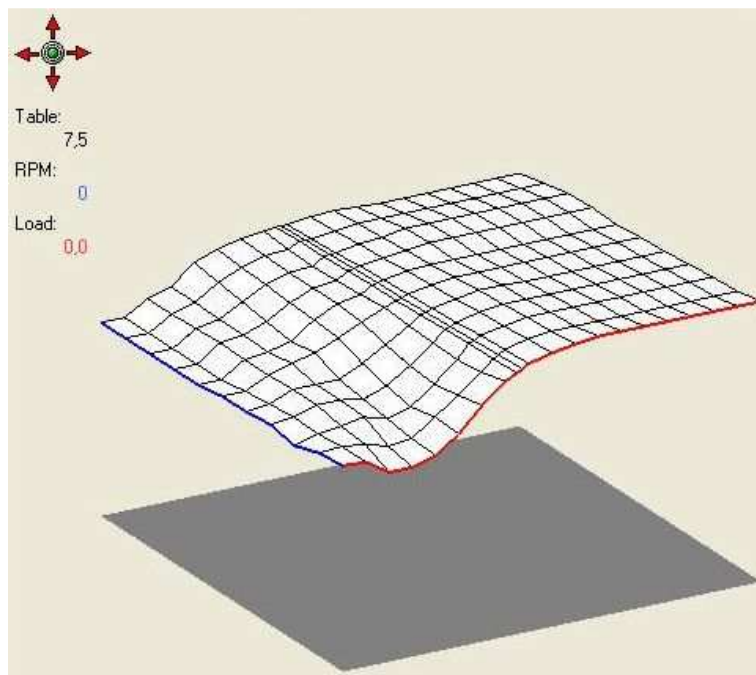
Lisälaitteiden ulostuloista AUX5–AUX8-kanavat valittiin asetuksiin, jotta Motec tietää, mikä ulostulo vastaa mitään solenoidia. AUX5-ulostulo ohjaa imunokka-akselin ajoitusta aikaistavaa solenoidia. Kuten kuvasta 18 näkee, asetukset on asetettu siten, että ohjainlaite ohjaa solenoidia low-side-ohjauksella (kanava 0).

Auxiliary Out 5 - Cam Control 2		
Parameter	Value	Polarity and Output Mode
Source Channel	1	For Low Side Output Mode
Proportional Gain	4,00	(Switch to Ground):
Integral Gain	0,0	0: pulse this output to advance
Derivative Gain	0,000	1: pulse other output to advance
Dead Band	0,1	
Aim Source	0	For High Side Output Mode
Offset	1,000	(Switch to Battery+):
Polarity and Output Mode	0	2: pulse this output to advance
Lo Limit	0,00	3: pulse other output to advance
Hi Limit	0,00	
		Use value from MoTeC documentation for the engine.
		Normally 0, but is wiring dependent.

Kuva 18. AUX5-ulostulon asetuksen Motec ECU Managerissa.

Kuten aiemmin jo kerrottiin, Motecissa oli valmiina sopivat kartastot, joilla BMW:n moottori toimii, joten niiden muokkaaminen ei ollut tämän insinööriyön merkeissä tarpeellista. Säädot tarkistettiin tyhjäkäyntiominaisuuksia silmällä pitäen. Säättöjä ei perusennakon lisäksi ollut tarvetta juuri muuttaa. Ainoastaan kaasuläpän asentoa tyhjäkäynnillä säädettiin muutamaa prosenttia pienemmäksi, jolla turhan korkea kierroslukua saatiin hieman pienennyttyä.

Motec ECU Managerista näkee kartastojen arvot sekä lukuarvoina, että kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Kuvassa 19 on esimerkki kolmiulotteisesta sytytyskartastosta. Kuvan kolmiulotteisesta kartastosta näkee helposti, miten kierrosluvun (sininen akseli = RPM) ja moottorin kuorman (punainen akseli = Load) muutokset vaikuttavat sytytysennakkoon.



Kuva 19. BMW:n sytytysennakon kolmiulotteinen kartasto.

Kuvassa 20 osa samasta sytytyskartastosta on esitetty lukuarvoina taulukkomuodossa.

Ign Main (°BTDC)		RPM	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
Load %	90,0		3,0	3,0	8,0	10,5	16,0	19,5	22,0
	80,0		3,0	3,0	8,5	10,0	14,5	19,0	21,5
	70,0		3,0	3,0	9,0	10,0	13,0	18,0	21,5
	60,0		3,0	3,0	8,5	9,5	11,5	17,5	21,5
	50,0		4,5	4,5	8,5	11,0	13,0	16,5	20,5
	40,0		4,5	5,5	9,0	9,0	9,0	13,0	18,0
	30,0		5,5	6,5	9,0	9,0	7,5	10,5	16,0
	20,0		3,5	6,0	7,0	8,5	6,0	8,5	15,0
	10,0		6,5	7,0	6,0	3,5	4,5	10,5	16,5
	0,0		7,5	7,0	1,5	1,5	4,0	10,0	18,5

Kuva 20. Sytytyskartasto lukuarvoina taulukkomuodossa.

9 Pohdinta

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tehdä adapterijohtosarja BMW M3:een siten, että sen voi kytkeä autoon ilman mitään muutoksia auton omaan johtosarjaan. Johtosarjasta oli lisäksi tarkoitus tehdä sellainen, että kaikki moottorin ominaisuudet saadaan säilytettyä. Johtosarjan piti myös olla fyysiseltä rakenteeltaan sellainen, että se olisi kaupallisesti järkevä toteuttaa, mikäli sille on kysyntää. Kaikki nämä tavoitteet johtosarjan rakentamisessa toteutuivat, kun johtosarjan tärkeät ominaisuudet saatiin säilytettyä ja johtosarjasta saatiin helppokäyttöinen ja toimiva kokonaisuus. Jotkin Motecin ominaisuudet, kuten huonot high-side-ohjausominaisuudet, aiheuttivat testausvaiheessa ongelmia, joita ei pystynyt ennakoimaan johtosarjan rakennusvaiheessa. Nämä ongelmat saatiin kuitenkin korjattua pienillä kytkentämuutoksilla, ja Motec saatiin toimimaan kohdeajoneuvossa.

Motecin vähäisten sisään- ja ulostulojen takia kaikkien ominaisuuksien säilyttäminen ei ole mahdollista, vaan alkuperäisen moottorinohjainlaitteen mahdollistamista ominaisuuksista jouduttiin karsimaan muutamia moottorin toiminnan kannalta tarpeettomia ominaisuuksia. M3:ssa ja muissakin M-sarjan autoissa on kytkimet, joilla moottorinohjainlaitteen kartastoja voidaan ajon aikana muuttaa. Muun muassa tämä ominaisuus jätettiin Motecin kanssa käyttämättä.

Tämän työn tarkoituksena ei ollut säätää Motecia huippuunsa, vaan tarkoituksena oli tehdä säädöistä sellaiset, että moottori saadaan käyntiin ja, että se toimii tyhjäkäynnillä

moitteettomasti. Mikäli Motecin säädöistä halutaan tehdä toimivat myös ajotilanteissa, pitäisi autoa testata myös moottoria kuormittamalla. Johtosarja toteutettiin niin, ettei auton omaan johtosarjaan tehty mitään muutoksia. Näin ollen auto toimii myös alkuperäisellä Siemensin moottorinohjainlaitteella.

Yhdeksi ongelmaksi uuden moottorinohjainlaitteen asennuksen myötä muodostui mittariston yhteensopivuus uuden ohjainlaitteen kanssa. Mittaristossa kierrosluku- ja nopeusmittarit eivät toimi, kun Motecin kytkee alkuperäisen ohjainlaitteen tilalle, koska mittaristo kommunikoi ja saa tarvitsemansa tiedot CAN-väylän kautta. Tämä ongelma oli tiedossa jo työn aloitusvaiheessa, kun mittariston toiminta selvisi. Ongelma ei kuitenkaan vaikuttanut lainkaan Motecin kytkentöihin ja muuhun toimivuuteen. Aiheesta saisi mahdollisesti yhden insinööriyön aiheen tulevien vuosikurssien opiskelijoille, mikäli asiasta kiinnostuneita opiskelijoita löytyy.

Tämä insinööriyön yhtenä tavoitteena oli tehdä kytkennöistä selvät ja kattavat kytkentäkaaviot. Kytkentäkaavioiden suhteen tehtiin kuitenkin työn aikana päätös, että varsinaisia kytkentäkaavioita ei tehdä, koska johtimien suuren määrän vuoksi kytkentäkaavioista tulee liian sekavat. Kytkentäkaavioiden sijasta kytkennöistä tehtiin Excel-taulukko, joista selviää kaikki kytkennät. Excel-taulukko on huomattavan paljon selkeämpi tulkita ja siihen on helppo tehdä tarvittaessa muutoksia.

E46-korimallin BMW M3:sta tulee lähivuosina ralliautoilun F-ryhmään luokiteltava automalli. E46-korimallia edeltänyt E36 on viime vuosina ollut erittäin suosittu auto F-ryhmässä sen tehon ja hyvän ajettavuuden vuoksi. Mikäli sama jatkuu tulevaisuudessa, myös E46:sta voi tulla suosittu kyseisessä sarjassa ja johtosarjalle voisi tätä kautta olla kysyntää. Mikäli johtosarjalle on kysyntää, on johtosarjasta helppo tehdä siistimmän näköinen ja kytkennöistä tukevampia ja jokapäiväiseen käyttöön soveltuvampia.

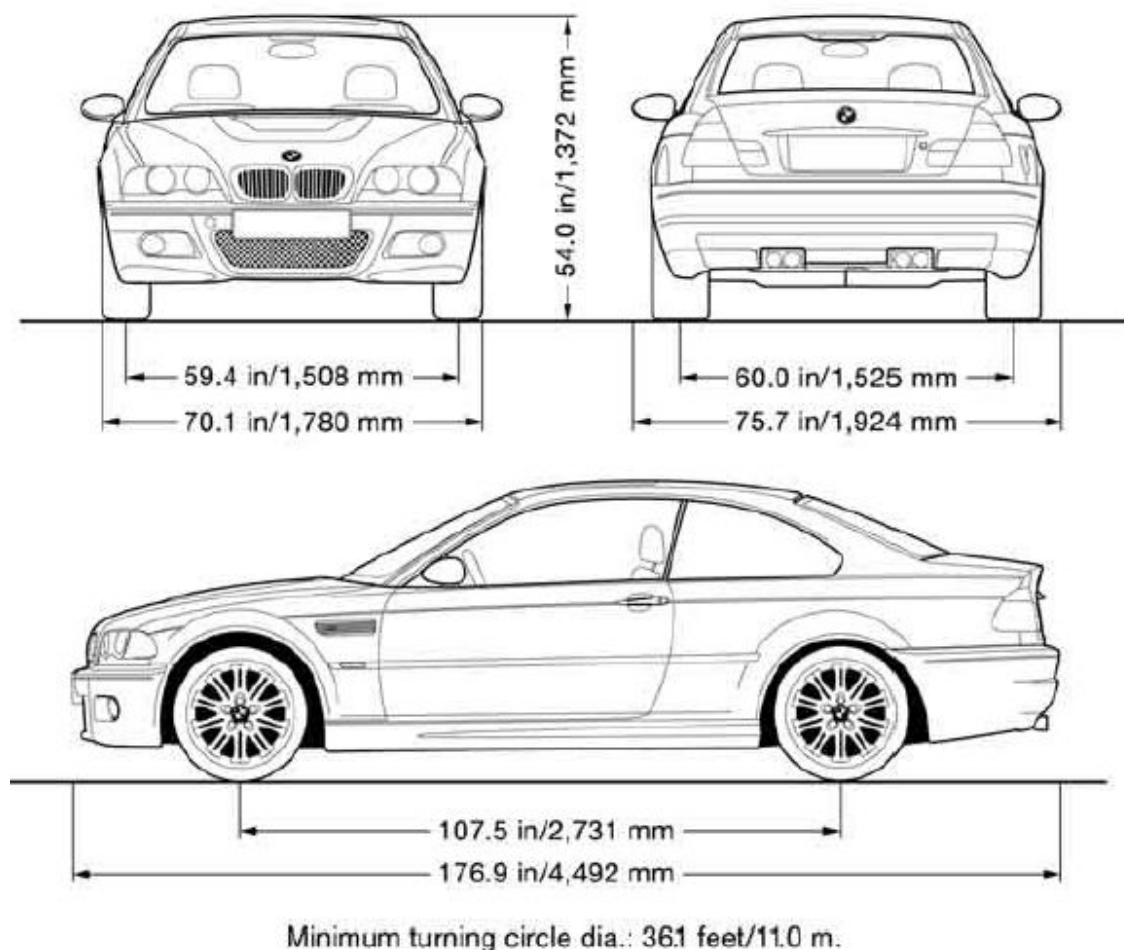
BMW M3:n alkuperäiselle ohjainlaitteelle ei tässä työssä tehty mitään, koska se halutaan pitää normaalioloissa kiinni autossa. Motec mahdollistaisi moottorinohjainlaitteen virittämisen ja antaisi tulevaisuudessa opiskelijoille hyvän mahdollisuuden kokeilla käytännössä, miten muutokset moottorin toiminnassa vaikuttavat moottorin tehoon ja päästöihin. Motecin voisi esimerkiksi virittää siten, että auto täyttäisi kaikki uusimmat Euro-päästövaatimukset. Lisäksi tulevaisuudessa ohjainlaitteen rinnalle olisi hyvä kehittää järjestelmä, jolla auton mittaristo saataisiin toimimaan, kun Motecia käytetään.

Tämän insinööriyön tekeminen ja johtosarjan rakentaminen opetti äärimmäisen paljon hyödyllisiä asioita moottorin ja ohjainlaitteiden toiminnasta. Johtosarjan rakentaminen ja etenkin sen testaaminen palauttivat mieleen elektroniikan ja sähköopin tietoa, joka oli kurssien aikana jäänyt pelkän teorian tasolle. Insinööriyö auttoi tuomaan teorian käytännön tasolle. Suuri kiitos työn ohjaajalle Lauri Eholle, joka oli innokkaasti ja aktiivisesti mukana insinööriyön eri vaiheissa.

Lähteet

- 1 Kiley, David. 2004. Driven: Inside BMW, the Most Admired Car Company in the World. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- 2 Knowling, Michael. 2006. The BMW Six Cylinder Guide. Verkkodokumentti. <<http://www.autospeed.com/cms/article.html?&title=The-BMW-Six-Cylinder-Guide&A=2948>>. 15.6.2006. Luettu 1.3.2013.
- 3 <<http://www.billswebspace.com/MS54B32TrainingModule.pdf>>. Luettu 1.3.2013.
- 4 <<http://www.unofficialbmw.com/images/m3engineelectronic1.pdf>>. Luettu 30.3.2013.
- 5 Savolainen, Jari & Vaitinen, Reijo. 2003. Sääätötekniikan perusteita. Helsinki: Opetushallitus.
- 6 Robert Bosch GmbH. 2006. Gasoline-Engine Management. 3rd edition. Plochingen: Bentley Publishers.
- 7 Juhala, M., Lehtinen A., Suominen, M. & Tammi, K. 2005. Moottorialan sähköoppi. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
- 8 WDS BMW Wiring Diagram System – Model 3 E46. Verkkodokumentti. <<http://www.bmw-planet.com/diagrams/release/en/e46/index.htm>>. Luettu 18.1.2013.
- 9 Online Service System for BMW Service. Verkkodokumentti. BMW Group. <<https://oss.bmw.de/index.jsp>>. Luettu 22.2.2013.
- 10 Motec M880 Overview. Verkkodokumentti. Motec Pty Ltd. <<http://www.motec.com/m880/m880overview/>>. Luettu 2.3.2013.
- 11 M400/M600/M800/M880 User's Manual. Verkkodokumentti. Motec Pty Ltd. 30.6.2004. <http://www.motec.com/filedownload.php/M400_M600_M800_M880_Manual_A5.pdf?docid=1087> 30.6.2004. Luettu 18.2.2013.
- 12 SKM and OKM User Manual. Verkkodokumentti. Motec Pty Ltd. 28.10.2008. <<http://www.motec.com/filedownload.php/SKM%20and%20OKM%20User%20Manual.pdf?docid=2811>>. Luettu 22.4.2013.
- 13 GPS-L5 and GPS-L10 User Manual. Verkkodokumentti. Motec Pty Ltd. 31.8.2011. <<http://www.motec.com/filedownload.php/GPS-L5L10%20Manual%2031Aug2011.pdf?docid=3941>>. Luettu 22.4.2013.

- 14 2005 BMW M3 Owner's Manual. Verkkodokumentti. BMW AG.
<<http://www.linguist.net/system/files/E462005M3.pdf>>. Luettu 18.2.2013.
- 15 MSS54 Kytentäkaavio. Verkkodokumentti. Autodata Oy Nordic.
<<http://www.autodata-online.net/online/chapters/ui/Container.aspx>>. Luettu 18.2.2013.

BMW M3:n (E46) tekniset tiedot

Kuva 21. BMW M3:n fyysiset mitat [14].

Curb weight	lbs/kg	3,415/1,549
Approved gross vehicle weight	lbs/kg	4,453/2,020
Approved front axle load	lbs/kg	2,138/970
Approved rear axle load	lbs/kg	2,535/1,150
Approved roof load capacity	lbs/kg	165/75
Luggage compartment capacity	cu ft/l	14.5/410

Kuva 22. BMW M3:n maksimipainot: omamassa, kokonaispaino, maksimipaino etuakselilla, maksimipaino taka-akselilla, katon kantavuus, tavaratilan tilavuus [14].

Displacement	cu in/cm ³	198.1/3,246
Number of cylinders		6
Max. power output at engine speed	hp rpm	333 7,900
Maximum torque at engine speed	lb ft/Nm rpm	262/355 4,900
Compression ratio	ϵ	11.5
Stroke	in/mm	3.58/91
Bore	in/mm	3.43/87
Fuel mixture preparation		Digital electronic engine-management system

Kuva 23. BMW M3:n moottorin tiedot: iskutilavuus, maksimiteho, maksimivääntö, puristussuhde iskun pituus ja polttoaine-ilmaseoksen muodostus [14].

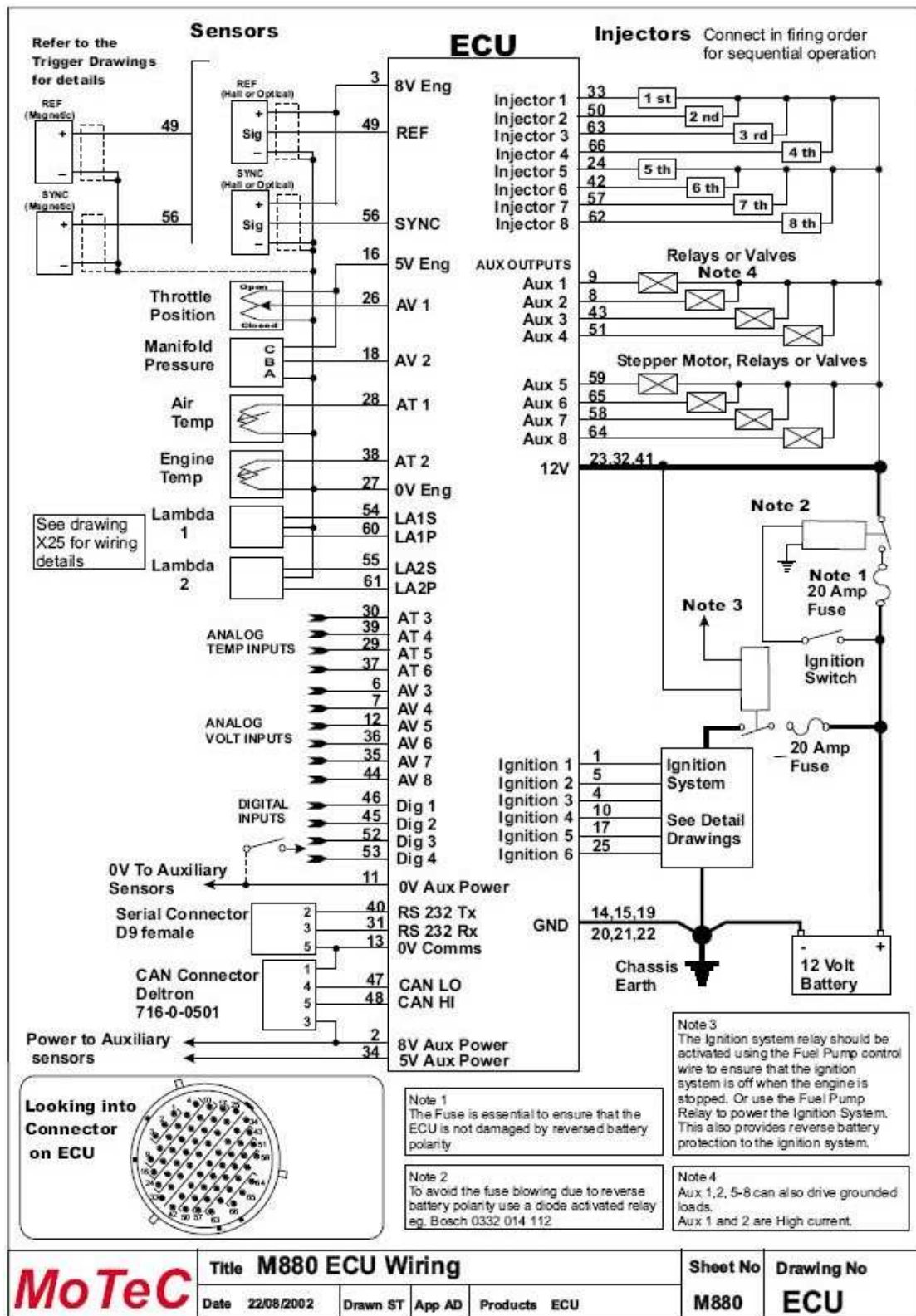
KytKentäkaavion komponenttien selvitykset

15	-	Virtalukko – sytytysvirta päällä
30	-	Akun plusnapa
31	-	Akun miinusnapa
50	-	Virtalukko - käynnistyssignaali
A5	-	Kojetaulu
A16	-	ABS-ohjausmoduuli
A35	-	Moottorin ohjausmoduuli
A57	-	Vaihteiston ohjausmoduuli
A75	-	Mittarien ohjausmoduuli
A162	-	Ajonestolaitteen ohjausmoduuli
A193	-	Monitoimikytkin
B24	-	Jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin
B30	-	Ilmamassan mittain
B54	-	Kampiakselin asentotunnistin
B69-I	-	Nakutustunnistin 1
B69-II	-	Nakutustunnistin 2
B69-III	-	Nakutustunnistin 3
B-72-I	-	Lämmitetty happitunnistin 1
B-72-II	-	Lämmitetty happitunnistin 2
B-72-III	-	Lämmitetty happitunnistin 3
B-72-IV	-	Lämmitetty happitunnistin 4
B86	-	Moottoriöljytason tunnistin
B131	-	Pakokaasun lämpötilatunnistin
B132-I	-	Nokka-akselin asentotunnistin 1
B132-II	-	Nokka-akselin asentotunnistin 2
B138	-	Kaasupolkimen asentotunnistin
B147	-	Kaasuläpän asentotunnistin
B169	-	Kaasuläppämoottorin asentotunnistin
B187	-	Jäähdytystuulettimen moottorin lämpötilatunnistin
C3	-	Audiolaitteen häiriövaimennin
CAN-H	-	CAN-tietoväylä, High
CAN-L	-	CAN-tietoväylä, Low
EP3	-	Maadoituskohta 3

EP8	-	Maadoituskohta 8
EP10	-	Maadoituskohta 10
EP12	-	Maadoituskohta 12
EP16	-	Maadoituskohta 16
EP22	-	Maadoituskohta 22
EP23	-	Maadoituskohta 23
EP24	-	Maadoituskohta 24
F	-	Sulake
FS	-	Yksittäissulake
G1	-	Laturi
H1	-	Latauksen varoitusvalo
H5	-	Moottorin öljynpaineen varoitusvalo
H37	-	Moottoriöljytason varoitusvalo
K20	-	Polttoainepumpun rele
K46	-	Moottorinohjauksen rele
K143	-	Ilmastointilaitteen kompressorin kytkimen rele
K152	-	Jälkipolttoilman suihkutussuuttimen pumppurele
K251	-	Ruiskutussuuttimen rele
M1	-	Käynnistinmoottori
M6	-	Jäähdytystuulettimen moottori
M12	-	Polttoainepumppu
M73	-	Jälkipolttoilman suihkutussuuttimen pumppu
M86	-	Moduulin jäähdytystuuletin
M89	-	Kaasuläppämoottori
S1	-	Virtalukko
S3	-	Ajovalokytkin
S13	-	Jarrupolkimen asentokytkin
S25	-	Moottorin öljynpaineen varoitusvalokytkin
S258	-	Kytkinpolkimen asentokytkin
S259	-	Vapaa-asennon kytkin
S365-II	-	Ohjauspyörän monitoimikytkin 2
T1-I	-	Sytytyspuola 1
T1-II	-	Sytytyspuola 2
T1-III	-	Sytytyspuola 3
T1-IV	-	Sytytyspuola 4

T1-V	-	Sytytyspuola 5
T1-VI	-	Sytytyspuola 6
W11	-	Varakaapeli
X1-I	-	Testipistoke 1
X28-I	-	Sulakerasia/relelevy, kojetaulu
X28-II	-	Sulakerasia/relelevy, moottoritila
X93	-	Turvatyynyn spiraalikaapeli
Y3-I	-	Ruiskutussuutin 1
Y3-II	-	Ruiskutussuutin 2
Y3-III	-	Ruiskutussuutin 3
Y3-IV	-	Ruiskutussuutin 4
Y3-V	-	Ruiskutussuutin 5
Y3-VI	-	Ruiskutussuutin 6
Y81	-	Nokka-akselin asennon säädin
Y99	-	Joutokäynti-ilman säätöventtiili
Y104	-	Haihtuvien päästöjen säiliön tyhjennysventtiili
Y189	-	Jarrujärjestelmän alipainesolenoidi

Motec M880:n kytkentäkaavio



Kuva 25. Motec M880:n sisään- ja ulostulot selventävä kaaviokuva [11].