



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Santeri Rautiainen

# Stage V -dieselmoottorin sähköistäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Electrical Engineering

Insinöörityö

20.11.2020

Tekijä Otsikko	Santeri Rautiainen Stage V -dieselmoottorin sähköistäminen
Sivumäärä Aika	22 sivua + 1 liite 20.11.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Electronics
Ammatillinen pääaine	Electronics
Ohjaajat	Arto Rautiainen, Toimitusjohtaja Tapimec Oy, Markku Etsola, Toimitusjohtaja Tapimer Oy, Lehtori Anssi Ikonen
<p>Tämä Insinööri työ käsittelee Stage V -määräyksiä noudattavan dieselmoottorin prototyypin sähköistämistä. Insinööri työn tilaajana oli Tapimer Oy.</p> <p>Insinööri työn tarkoituksena oli suunnitella ja luoda toimiva prototyyppi moottorin sähköjärjestelmälle. Dieselmoottorina oli käytössä Doosan D 34 -moottori mihin oltiin asennettu Stage V -Euro-päästöluokituksen mukainen ATS-pakokaasujärjestelmä.</p> <p>Tässä insinööri työssä käydään läpi Stage V-määräyksiä mukaisen dieselmoottorin sähköjärjestelmän suunnittelemisen ja rakentamisen liittyvät perustason tiedot sekä tarkennetaan, mikä Stage V -määräysten mukainen moottori on ja mitä sen sähköistamisessä on otettava huomioon. Insinööri työssä käydään myös läpi, miten sähköjärjestelmän prototyypin valmistaminen suoritettiin.</p>	
Avainsanat	Stage V, Dieselmoottori

Author Title	Santeri Rautiainen Designing and creating an electrical system for Stage V engine.
Number of Pages Date	22 pages + 1 appendice 20 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electronics
Professional Major	Electronics
Instructors	Arto Rautiainen, CEO Tapimec Oy, Markku Etsola, Managing director Tapimer Oy, Anssi Ikonen, Lecturer
<p>This bachelor's thesis deals with the practical implementation of an electrical system for a prototype Stage V diesel engine. The thesis was assigned by Tapimer Oy and is supervised by Tapimec Oy.</p> <p>The purpose of this thesis was to design and create a functional prototype for an electrical system to be used in a Doosan D 34 engine with European Emission Standard Stage V complaint after treatment system.</p> <p>In this bachelor's thesis we will first go through the basic information relating to the design and creation of the electrical system for Stage V compliance, such as what is the Stage V emission standard and general information about what is needed in the electrical system. After this we will go through on how the electrical system was created for the engine.</p>	
Keywords	Stage V, Diesel engine,

## Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Euro-päästöluokitukset	2
2.1	Stage V	2
2.2	Dieselmoottorin päästöt	3
3	NRMM ja aggregaatti	4
3.1	NRMM ja aggregaatin sähköistyksen osat ja komponentit	4
3.1.1	Electronic Control Unit	5
3.1.2	Moottoriohjain	7
3.1.3	Sensorit	8
3.2	NRMM ja aggregaatin kommunikaatio	8
3.2.1	CAN-kommunikaatioprotokolla	8
3.2.2	J1939	10
4	ATS-järjestelmä	11
5	Moottorin sähköistäminen	13
5.1	Vaatimusten tunnistaminen	14
5.2	Moottoriohjaimen valinta	16
5.3	Sähkökuvien ja johtosarjan valmistaminen	18
5.4	PGN koodien lukeminen ja diagnosointi	20
6	Yhteenveto	21
	Lähteet	22
	Liitteet	
	Liite 1. Sähkökuvat	

## Lyhenteet

CAN	Controller Area Network. Automaatioväylä joka on erityisesti käytössä ECU-kommunikaatiossa.
ECU	Engine Control Unit. Moottorin elektroninen ohjausyksikkö.
NRMM	Non-Road mobile machinery. Euroopan komission määrittelemät luokitus liikkuville työkoneille ja maataloustraktoreille.
PGN	Parameter Group Number. ECU:n SAE J1939 -viestin tunnistiosa.
SPN	Suspect Parameter Numbers. Määrittää SAE J1939 -viestin parametrit.
HMI	Human Machine Interface. Laitteen tai järjestelmän käyttöliittymä.
ATS	After Treatment System. Dieselmootoreissa käytetty pakokaasun jälkikäsittelyjärjestelmä.
DEF	Diesel Exhaust Fluid. Dieselmootoreiden pakokaasun jälkikäsittelyjärjestelmässä käytetty liuos typen oksidipäästöjen alentamiseen.

## 1 Johdanto

Dieselmootorit ovat bensiinimootoreiden ohella yleisimpiä käytettyjä polttomootoreita. Maailman ensimmäisen käyttökelpoisen dieselmootorin kehitti Pariisissa syntynyt Rudolf Diesel vuonna 1897. Vuosikymmenten jälkeen on dieselmootoreiden käyttö tästä kasvanut ja yleistynyt ympäri maailmaa. Dieselillä toimivan polttomootorin etuja verrattuna bensiinimootoriin ovat sen pidempi käyttöikä, suurempi vääntömomentti ja halvempi polttoaine.

Dieselmootorin yhtenä suurimpana haittapuolena on kuitenkin sen päästöt. Dieselpolttoaine palaa huomattavasti likaisemmin verrattuna bensiiniin ja tuottaa palaessaan paljon enemmän haitallisia päästöjä.

Tiukentuneiden määräysten ja asetusten johdosta nykyaikaiset diesel- moottorit ja aggregaatit vaativat yhä ekologisempaa ja taloudellisempaa polttoaineenkulutusta sekä puhtaampia päästöjä. Erityisesti Euroopan unionin tiukat Euro-päästörajoitukset [1] ovat osaltaan kiihdyttänyt ilmastoystävällisempien moottoreiden kehittämistä.

Tämän insinööriyön tavoitteena on luoda Tapimer Oy:lle prototyyppi ja sähkökaaviot, joita hyödyntämällä Tapimer pystyy tarjoamaan tulevaisuudessa Stage V -määräyksiä noudattavia dieselmootoreita ja aggregaatteja. Olemassa oleva prototyyppi johtosarjoineen ja komponentteineen asennetaan FinnBulin metsäkoneeseen.

## 2 Euro-päästöluokitukset

Euro-päästöluokitukset ovat Euroopan unionin asettamat määräykset, jotka koskevat kaikkia Euroopan unionin sekä Euroopan talousalueen (ETA) jäsenmaiden alueilla myytyjä moottoreita. Päästömääräysten tavoitteena on suojella ilmanlaatua sekä vähentää kasvihuoneilmiötä aiheuttavien päästöjen vähentäminen ETA:n alueilla. Ns. Non-road mobile machinery eli liikkuvien työkoneneiden ja traktoreiden moottoreita koskevia päästöluokituksia kutsutaan Stage-määräyksiksi. Stage-määräykset ovat asteittain tiukentuvia ja voimaan tulevia määräyksiä, jotka on numeroitu yhdestä viiteen.

### 2.1 Stage V

Stage-määräyksistä Stage V on viimeisin Euroopan komission ehdottama ja määritelty päästöluokitus NRMM (non-road mobile machinery) dieselmootoreille. Määräys esitettiin vuonna 2014 ja vuonna 2016 Euroopan parlamentti hyväksyi ja otti käytäntöön uuden 2016/1628 [1] määräyksen, joka korvasi vanhan 97/68/EC [2] direktiivin ja sen lisäykset. Uudet määräykset tulivat voimaan uusille dieselmootoreille vuonna 2018 ja määräysten valvonnan on määrä alkaa vuonna 2021.

Uudet Stage V -päästörajoitukset NRMM-mootoreille ja dieselaggregaateille asettivat uudet raja-arvot päästöille, jotka esitellään kuvassa 1. Päästörajoitukset on lajiteltu moottorityypin ja moottorin koon mukaan.

Engine Category	Equipment Type	Power Range (KW)	Engine Type	CO (G/KWH)	HC (G/KWH)	NOx (G/KWH)	PM (G/KWH)	PN (#/KWH)	A#
NRE-v-1 NRE-c-1	Other non-road mobile machinery	0<P<8	CI	8.00	HC + NOx ≤ 7.50		0.40	-	1.1
NRE-v-2 NRE-c-2		8≤P<19	CI	6.60	HC + NOx ≤ 7.50		0.4	-	1.1
NRE-v-3 NRE-c-3		19≤P<37	CI	5.00	HC + NOx ≤ 4.70		0.015	1×10 <sup>12</sup>	1.1
NRE-v-4 NRE-c-4		37≤P<56	CI	5.00	HC + NOx ≤ 4.70		0.015	1×10 <sup>12</sup>	1.1
NRE-v-5 NRE-c-5		56≤P<130	All	5.00	0.19	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>	1.1
NRE-v-6 NRE-c-6		130≤P≤560	All	3.50	0.19	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>	1.1
NRE-v-7 NRE-c-7		P>560	All	3.50	0.19	3.50	0.045	-	6.0
NRG-v-1 NRG-c-1	Generating sets	P>560	All	3.50	0.19	0.67	0.035	-	6.0

Kuva 1. Viimeisimmät Stage V -päästörajoitukset. NRE- ja NRG -kategoriat ovat Euroopan komission 2014/581/1 [3] lisäyksen määrittelemät, pitkälti moottorin koon perusteella lajitellut kategoriat.

## 2.1 Dieselmoottorin päästöt.

Dieselmoottorit tuottavat käydessään mm. seuraavia päästöjä:

- CO eli hiilimonoksidit syntyvät epätäydellisestä palamisesta moottorin sylinterissä.
- NOx eli typpioksidit syntyvät kovasta paineesta lämpötilasta moottorin sylinterissä.
- HC eli hiilivedyt syntyvät epätäydellisestä palamisesta moottorin sylinterissä.
- PM eli pienhiukkaset syntyvät moottorin sylinterin alhaisesta lämpötilasta.



Päästöjen vaikeuttaa esimerkiksi Nox- ja PM-päästöjen yhteys. Sylinterin lämpötilan laskeminen alentaa NOx-päästöjen syntymistä, mutta tällöin PM-päästöjen määrä kasvaa. Vastaavasti sylinterin lämpötilan kasvattaminen vähentää PM-päästöjen syntymistä ja kasvattaa NOx-päästöjen syntymistä.

### 3 Aggregaatit ja NRMM-moottorit

Aggregaatti eli “generator set” tarkoittaa polttomoottorilla varustettua generaattoria, missä polttomoottorissa mekaanisesti tuotettu energia muutetaan generaattorilla sähköenergiaksi. Perinteisesti aggregaateissa käytetään polttomoottorina dieselmoottoria, mutta kaasua- ja hybridimoottorit, jotka käyttävät kaasua sekä dieseliä, ovat myös usein käytössä. Bensiinimoottoreita käytetään joskus pienemmissä ja kannettavissa aggregaateissa, mutta ne ovat harvemmin käytössä suuremmissa teollisuudessa käytössä olevissa tai ei-liikuteltavissa moottoreissa.

Termillä NRMM viitataan Euroopan komission direktiiviin 2016/1628 [1], missä moottorit jaotellaan niiden käyttötarkoitusten mukaan eri käyttöryhmiin. Näille eri ryhmille on asetettu eri aikataulut, jolloin pakokaasupäästöjen tavoitetasot on saavutettava. Tämä on tarkoituksenmukaista, sillä sama dieselmoottori voi olla käytössä kivenmurskaimessa, joka voi käydä vuodessa jopa tuhansia tunteja, tai varavoimakoneessa, jolloin moottorin vuotuiset käyttötunnit jäävät usein alle yhteen tuntiin. Direktiivin tarkoitus onkin täten saada moottorien päästöjä CO, Nox, HC ja PM alemmalle tasolle.

Yleisimmät käyttökohteet aggregaateille ja NRMM-moottoreille ovat varavoima, moottoripumput, teollisuuskoneet, laivat sekä sähköverkosta irtautuneet järjestelmät. Valtakunnanverkosta irtautuneissa järjestelmissä aggregaattia käytetään yleensä pääasiallisena teholähteenä, kun sähköverkon käyttö ei ole mahdollista tai käytännön kannalta järkevää. Esimerkiksi useat majakat saavat

sähkönsä suoraan aggregaatista ja ovat muutoin irtautuneet valtakunnanverkosta.

### 3.1 NRMM-moottoreiden ja aggregaattien sähköistyksen osat ja komponentit.

#### 3.1.1 Electronic Control Unit -yksikkö

Tiukempien säädösten ja polttoainetalouden tärkeyden kasvaessa elektronisella polttoainepumpuilla varustetut dieselmoottorit ovat nopeasti korvanneet analogisten kaasuttimien käytön moderneissa moottoreissa. Edellä mainitun elektronisen polttoainepumpun ohjaukseen käyttöön on otettu ns. Engine Control Unit -yksikkö eli ECU. Ajan myötä ECU:n käyttötarkoitukset sekä vastuu moottorin toiminnasta on kasvanut ja ECU:a käytetään nyt monitoroimaan ja ohjaamaan suurta osaa moottorin toiminnasta. Polttoainepumpun ohjaamisen lisäksi ECU vastaa moderneissa moottoreissa mm. ATS-systeemeistä, moottorin nopeuden säätämisestä ja sensorien kommunikaatiosta. Käynnistys- ja pysäytyskäsky tehdään nykyään usein aina ECU:n kautta.

#### 3.1.2 Moottoriohjain

Moottorin HMI-liitäntänä käytetään moottoriohjainta. Moottoriohjain kommunikoi ECU:n kanssa CAN-väylän kautta, ja ne vastaavat yhdessä moottorin ohjaamisesta. Moottoriohjain antaa käyttäjälle mahdollisuuden käynnistää ja sammuttaa moottorin ECU:n kautta, sekä mahdollistaa moottorin ulkoisen valvonnan ja monitoroinnin. Stage V -määräysten vaatimat DEF-lamput löytyvät myös moottoriohjaimelta.

Moottorin HMI-liitäntää varten valittu ID-DCU Industrial -mallinen moottoriohjain on ComAp-yhtiön kehittämä ohjelmoitava logiikkasäädin eli PLC (Programmable Logic Controller) dieselmoottorien ohjausta varten. Ohjain sisältää esiaseteltuja toimintoja, joita voidaan asetusarvoilla muuttaa tarvittavaan käyttöön sopivaksi. Ohjain sisältää lisäksi laajan PLC-osuuden, mikä mahdollistaa omien toimintojen ja ohjelmien konfiguroinnin [4]. Eri moottorimerkkejä ja malleja varten on tehty valmiita konfiguraatioita ComApin toimesta, jotka sisältävät moottorin ECU:n liitäntää varten tarvittavat J1939 mukaiset PGN- ja SPN -listat, joissa määritetään ECU:n kommunikaatioon vaaditut parametrit. Valmiit ohjelmat sekä PGN ja SPN listat vähentävät työmäärää ja mahdollistavat nopean asettelun, joka on tärkeää projektien ajansäästön kannalta.

Moottorin etävalvonta suoritetaan ohjaimen kautta. Etävalvontaa varten tarvitaan kuitenkin erillinen IB-NT 4G -moduuli, joka mahdollistaa koneen käytön, valvonnan sekä ohjelman muutokset etänä. Hyödyntämällä ComApin pilvipalvelinta valvonta voidaan tehdä kaikista internetiin kytketyistä tietokoneista tai älypuhelimista. Palvelu on perustason ominaisuuksilla käyttäjille ilmainen.

### 3.1.3 Sensorit

ECU:t käyttävät useita sensoreita ja antureita mittaamaan sekä seuraamaan moottorin toimintaa. Esimerkiksi polttoaineen kulutuksen hallinnassa ECU ottaa huomioon seuraavat muuttujat hyvän hyötysuhteen tukemiseksi:

- moottorin kuorma
- moottorin ja jäähdytysnesteen lämpötila
- ilman ja polttoaineen lämpötila
- ilmanpaine
- polttoaineen laatu

- polttoainepumpun tehokkuus
- polttoainesuodattimen paineen variaation

Näitä sekä useita muita arvoja mitataan ja seurataan antureilla, jotka on kiinnitettävä ympäri moottoria. Kuvassa 2 on näkyvissä ympäristön lämpötila-anturi sekä sen vastaava AMP-liitin ja pinnit ECU-liitäntää varten. Anturista riippuen se liitetään joko suoraan ECU:n tai CAN-väylään.



Kuva 2. Moottorin ympäristön lämpötila-anturi kuvattuna AMP-liittimen ja ECU-pinnien kanssa. Kuvassa anturin vasemmalla puolella on valmiiksi johdotettu AMP-liitin liitinkoteloineen ja tiivisteineen. Anturin oikealla puolella kuvassa on paljaat ECU-pinnit.

Moottorin anturointi on tavanomaisesti tehty moottorinvalmistajan puolelta valmiiksi ennen moottorin lähettämistä, eli anturit tulevat moottorin mukana valmiiksi asennettuna. Tällöin sähköasentajan tehtäväksi jää vain anturien johdottaminen ECU:n. Moottorista ja ECU:sta riippuen voidaan joissakin tapauksissa, kuten esimerkiksi Volvon moottoreissa ja ECU:issa, kytkeä kaikki moottorin anturit ECU:uun CAN-väylään, mikä nopeuttaa johdottamista

huomattavasti. Muissa tapauksissa moottorinvalmistaja toimittaa yleensä valmiin johtosarjan moottorin mukana, jolloin anturit voidaan helposti johdottaa kytkemällä anturien ja ECU:n liittimet. Jos valmista johtosarjaa ei ole saatavilla, täytyy kaikki moottorin anturit ja niiden liittimet valmistaa sekä johdottaa itse.

Yleisimmin käytetyt anturityypit ovat:

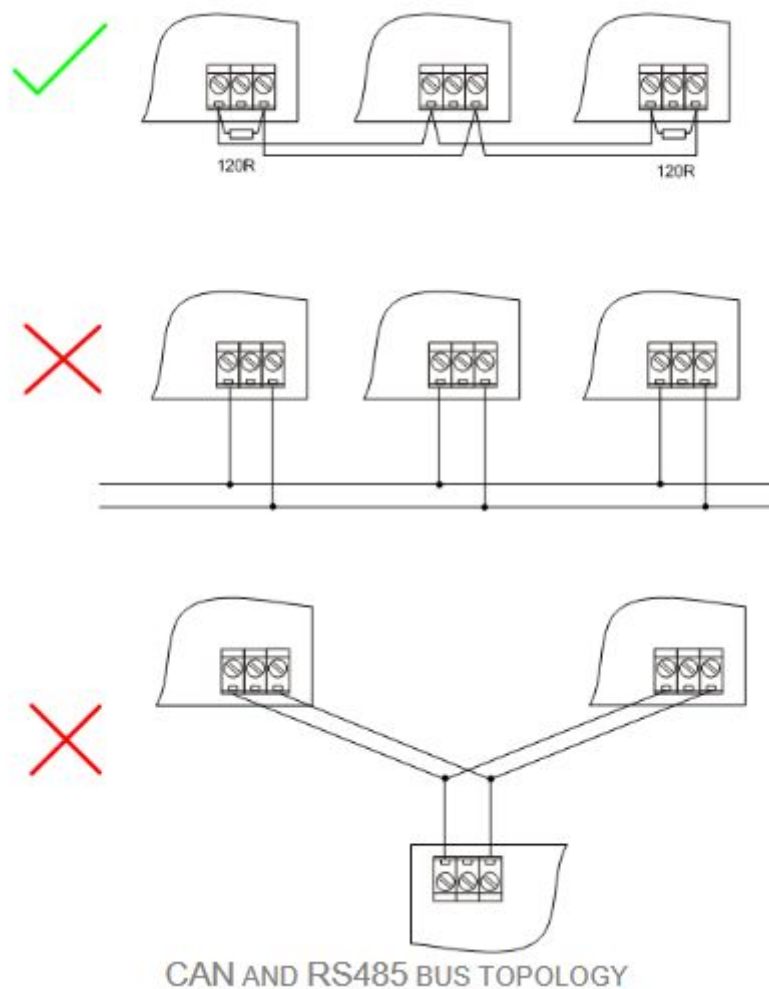
- Paine-anturi, resistiivinen anturi mitä käytetään öljynpaineen mittauksessa. Johdotetaan suoraan ECU:uun.
- Lämpötila-anturit, resistiivisiä suoraan ECU:uun johdotettavia antureita. Käytetään esimerkiksi ympäristön ja sylinterin lämpötilan mittaamiseen.
- Paikka-anturit, magneettinen sensori johdotettu suoraan ECU:n Käytetään kierrostaajuuden ja kampiakselin asennon tunnistamiseen.
- Vettä polttoaineessa, erikoisrakenteinen anturi joka vaihtovirran avulla tunnistaa veden polttoaineesta, johdotettu suoraan ECU:n.
- NOx-anturit, erikoisrakenteinen anturi joka kahden kammion avulla tunnustaa typpioksidien määrän. Liitetään CAN-väylään muuntimen avulla.
- Ilmamassaanturi eli mass flow sensor. Resisttiivinen, ECU:uun johdotettava anturi. Tämä anturi ei ole käytössä isommissa, kuten yli 55 kW Doosanin koneissa.

## 3.2 NRMM-moottorin ja aggregaatin kommunikaatio

### 3.2.1 CAN-kommunikaatioprotokolla

CAN eli Controller Area Network on kommunikaatioprotokolla, joka on laajasti käytössä automaation ja teollisuuden aloilla. Robert Bosch kehitti CAN-protokollan 1980-luvulla mahdollistamaan nopean ja helposti käyttöön otettavan kommunikaation CAN-verkon sisäisten laitteiden välille.

CAN-väylä on fyysiseltä rakenteeltaan nimensäkin mukaan väylärakenteinen. Väylässä kaksi kuparista kaapelia terminoidaan 120 ohmin vastuksilla molemmista päistä, ja kaikki väylään kiinnitettävät laitteet liitetään sarjaan näiden vastusten välille. Kaapelit erotetaan usein toisistaan nimillä CAN+/CAN H ja CAN-/CAN L. Joissakin tapauksissa CAN-väylään kiinnitettävissä laitteissa on kolmas "COM" -terminaali, jota käytetään häiriöiden poistoon, kun laitteiden etäisyys lähenee CAN-väylän maksimipituutta, eli noin 200 metriä. Kuvassa 3 esitetään CAN-väylän oikeaoppista topologiaa ja yleisimpiä virheitä CAN-väylän rakennetta suunnitellessa.



Kuva 3. Esimerkki topologian oikeaoppisesta CAN-väylän rakenteesta. Kuvassa ylimmäisenä kuvattu korrekti tapa ja tämän alapuolella kuvattuna yleisiä virheellisiä kytkentöjä. ( IGS-NT 3.1.0 Installation Guide )

### 3.2.2 SAE J1939 -tiedonsiirtostandardi

J1939 on yhdysvaltalaisen järjestön SAE (The Society of Automotive Engineers) luoma tiedonsiirtostandardi ajoneuvojen komponenttien välillä. SAE J1939 on pääsääntöisesti käytetty protokolla, kun kommunikoidaan nykyaikaisen dieselmoottorin kanssa.

Standardissa on määritelty Parameter Group Numbers (PGN) ja Suspect Parameter Numbers (SPN), joiden avulla saadaan väyläviestejä avattua HMI -laitteessa tai lähetettyä kierroslukupyynnön moottorin ECU:lle.

CAN-viestissä 29-bittinen tunnusosa sisältää viestin lähettävän laitteen osoitenumeron ja PGN- sekä SPN-numerot. Laitteen osoitenumero on CAN-väylässä jokaiselle laitteelle määritelty yksilöllinen osoite. Näiden perusteella viestin tarvitseva laite osaa lukea viestin väylältä.

PGN on SAE:n määrittelemä numero, ja se määrittelee mm. halutun parametrin sijainnin viestissä. SPN taas määrittelee parametrin yksityiskohtaisemmin. Esimerkiksi SAE:n määrittelemä 8-tavuinen viesti moottorin ECU:lta, josta halutaan moottorin jäähdytysveden lämpötila, on seuraavanlainen:

PGN 65262, (hex FEEE):

Lähetystaajuus. 1 sec

Viestin pituus: 8 tavua

Prioriteetti: 6

Viestin data:

- tavu 1, jäähdytysveden lämpötila SPN 110

- tavu 2, Polttoaineen lämpötila SPN 174
- tavu 3, Öljyn lämpötila SPN 175
- tavu 4, Turbon öljyn lämpötila SPN176
- tavu 7, Välijäähdytimen lämpötila SPN 52
- tavu 8, Välijäähdytimen termostaatin avautuminen SPN 1134.

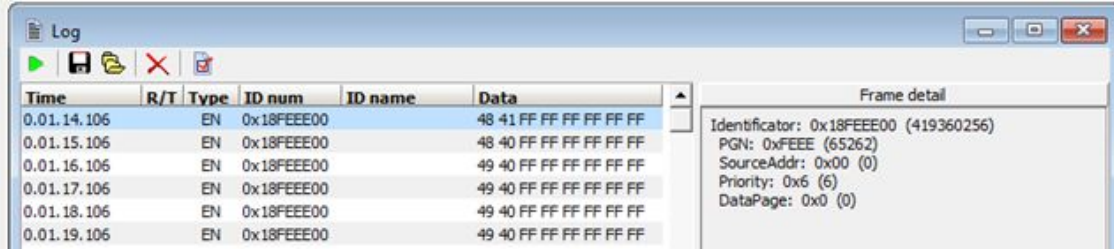
Vastaavasti halutusta jäähdytysveden lämpötilan SPN:ssä on määritelty seuraavat tiedot:

SPN 110:

- datan pituus: 1 tavu
- resoluutio: 1 aste C/ bitti
- offset: -40 C
- data alue: -40...210 °C
- tyyppi: Mitattu PGN jossa SPN sijaitsee.

Koska viesti tulee moottorin ECU:lta, on sen source address yleensä 0 mutta variaatioita on moottorin valmistajasta riippuen.

CAN-loggerilla luettuna PGN 65262 on kuvan 4 mukainen:



Time	R/T	Type	ID num	ID name	Data
0.01.14.106		EN	0x18FEEEE0		48 41 FF FF FF FF FF FF
0.01.15.106		EN	0x18FEEEE0		48 40 FF FF FF FF FF FF
0.01.16.106		EN	0x18FEEEE0		49 40 FF FF FF FF FF FF
0.01.17.106		EN	0x18FEEEE0		49 40 FF FF FF FF FF FF
0.01.18.106		EN	0x18FEEEE0		49 40 FF FF FF FF FF FF
0.01.19.106		EN	0x18FEEEE0		49 40 FF FF FF FF FF FF

Frame detail

Identifier: 0x18FEEEE0 (419360256)  
 PGN: 0xFEEE (65262)  
 SourceAddr: 0x00 (0)  
 Priority: 0x6 (6)  
 DataPage: 0x0 (0)

Kuva 4. CAN-logger ohjelmalla luettu CAN-viesti. Moottorin lämpötila on ensimmäisessä tavussa HEX 48. Käännettynä desimaaleiksi tämä arvon on 72 °C

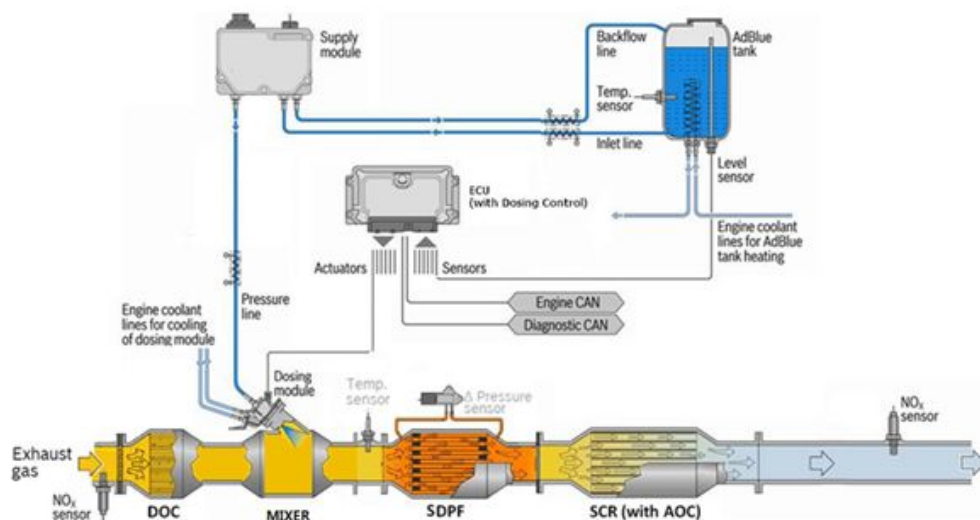


## 4 ATS-järjestelmä

Ensimmäisten NRMM -määräysten astuessa voimaan 1994 vaaditut päästötasot pystyttiin toteuttamaan ECU:n ja sähköisten polttoaineen ruiskutuslaitteiden avulla. Vaatimusten kasvaessa on moottorissa tarvittavien lisälaitteiden määrä lisääntynyt. Esimerkiksi imuilman välijäähdytys, pakokaasun kierrätys imuilmaan ja katalysaattori ovat nykyään pakollisia ominaisuuksia, jotka täytyy moottorista löytyä. Vuonna 2021 voimaan tulevien määräysten päästötasojen saavuttamiseksi on dieselmootorissa käytettävä urea-ruiskutusjärjestelmää, eli pakokaasun jälkikäsittelyjärjestelmää.

Urean ruiskutuksella pakokaasujärjestelmään saadaan alennettua myrkyllisiä typenoksideja NOx, joita ei muilla tavoin saada määräysten vaatimalle tasolle. Järjestelmä on teknisesti hyvin vaativa ja myös nostaa merkittävästi käyttömootorin hintaa. Järjestelmä on arviolta 30-50% suurempi kuin aikaisemmat määräykset täyttävän moottorin hinta.

Insinööriyössä käytettävän Doosan moottorin pakokaasujärjestelmä on kuvan 5 mukainen:






Kuva 5. Kuvattuna yksinkertaistettu versio insinööriyössä käytetystä ATS-järjestelmästä. [6, s. 71]

Pääkomponentit ovat SDPF (partikkelisuodatin), SCR (katalysaattori), urean ruiskutusjärjestelmä, joka koostuu Urea-tankista (AdBlue tank), pumppuyksiköstä (Supply module) ja ruiskusuuttimesta (Dosing module). Lisäksi järjestelmä vaatii useita eri antureita oikean ureamäärän ruiskutusmäärän määrittämiseksi, kuten esimerkiksi kuvassa [5] näkyvät typpioksidin (NOx) -anturit.

Laitevalmistajille moottorin hinnan nousu sekä järjestelmän tilavaatimukset asettavat uusia haasteita. Käyttäjälle puolestaan laitteisto lisää toimintoja, jotka laitteen valmistajan on lisättävä HMI (human interface) laitteistoon ja käyttäjän on opetettava.

Jotta laitteisto olisi Stage V -määräyksiä noudattava, käyttäjälle on oltava seuraavat merkkilamput luettavissa jokaisesta moottorin ohjauspaneelistä:

1. *Active regenerointi* (kuva 6). Tämä lamppu osoittaa tilaa, jolloin pakokaasujärjestelmä tekee automaattista kalibrointia ja puhdistaa partikkelisuodatinta.
2. *Forced regeneration* (kuva 6). Tämä lamppu osoittaa, että käyttäjä on kytkimellä käynnistänyt em kohdassa 1 mainitun toiminnon.
3. *Regeneration Inhibit* (kuva 6). Tämä lamppu osoittaa, että käyttäjä on kytkimellä estänyt kohtien 1 ja 2 toiminnot.

No	Lamp	State	SYMBOL	CAN ID	PGN	SPN	Lamp			
1	Active regeneration	Active regeneration (DPF)		DPFC1	64892	3698	0x000 Off			
							0x001 ON			
2	Forced regeneration	Forced regeneration (byswitch Off)		DPFC1	64892	4175	0x000 Off			
		Forced regeneration (byswitch Active)					0x001 ON			
		Service regeneration (byservice tool_Active)					0x010 ON			
		Forced regeneration Request					DPFC1	64892	3697	0x00 OFF
		Forced regeneration Active (Both switch and service tool)					DPFC1	64892	3697	0x02 0x03 Blinking
3	Regeneration Inhibit	Regeneration inhibit (DPF)		DPFC1	64892	3703	0x00 Off			
							0x01 ON			

Kuva 6. Stage V -määräysten vaatimat merkkilamput. [7, s. 1]

Merkkilamppujen tilat luetaan HMI -laitteeseen CAN-väylän kautta. Viestit on standardoitu, ja ne ovat useimmilla moottorin valmistajilla samat.

Merkkilamppujen lisäksi käyttäjälle on oltava vähintään kaksi käyttökytkintä:

1. Forced regeneration. Pakotettu kalibrointi ja partikkelisuodattimen puhdistus.
2. Regeneration Inhibit. Esto pakokaasujärjestelmä kalibroinnilla ja partikkelisuodattimen puhdistus.

Nämä kytkimet ovat joko johdotettuja ECU:lle tai lähetetään CAN-viestinä. Molemmat vaihtoehdot ovat yleensä moottorin valmistajilla tarjolla.

Jos partikkelisuodattimen puhdistusta ei ole syystä tai toisesta tehty. Moottorin menee tietyssä vaiheessa limp-home -tilaan ja ECU pudottaa saatavilla olevan tehon alle puoleen. Tämä pakottaa käyttäjän huolehtimaan partikkelisuodattimen puhdistuksesta. Partikkelisuodatin alkaa täyttyä nopeammin kun on paljon moottorin tyhjäkäyntiä ja alhaisilla kierroksilla käyttöä.

Kovalla moottorin rasituksella, jolloin moottorin pakokaasut ovat erityisen kuumat, tapahtuu pakokaasujärjestelmän puhdistus automaattisesti.

## 5 Moottorin sähköistäminen

### 5.1 Vaatimusten tunnistaminen

Jo olemassa olevan ja valitun moottorin sähköistäminen aloitetaan moottorityypin varmistamisella ja sille asetettuiden vaatimusten tunnistamisella. Moottorityypin tunnistaminen on helpointa aloittaa moottorin tyyppikilven tulkitsemisella. Moottorin tyyppikilpi sijaitsee yleisesti kaikissa tuotetuissa

mootoreissa ja se on tavanomaisesti kiinnitetty moottorilohkoon. Kuvassa 7 voidaan nähdä Deutzin valmistaman F 3M 2011 -moottorin tyyppikilpi.



Kuva 7. Tapimec Oyn simulaattorin Deutz-moottorin tyyppikilpi. Tyyppikilven vasemmassa ylänurkassa on näkyvissä moottorin malli "Model" -sarakeessa.

Moottorikilvessä annetaan tavallisesti moottorin valmistajan ja mallin lisäksi moottorin nimellisteho, moottorin suurin saavutettavissa oleva kierrosluku, moottorin hevosvoimat sekä moottorin sarjanumero. Moottorin nimellisteholla tarkoitetaan moottorin tuottamaa tehoa ilman siihen lisättyjä apulaitteita, kuten esimerkiksi generaattoria ja tuuletinta. Kuvassa 7 nähtävissä olevassa tyyppikilvessä annetaan moottorin nimellistehoksi 21,4 kW ja maksimikierrosnopeudeksi 1500 RPM. Moottorikilven sarakkeesta "HP" on ilmoitettu moottorin hevosvoimaksi 29 HP.

Tyyppikilvessä olevat tiedot vaihtelevat kuitenkin huomattavasti moottorin valmistusmaan, valmistajien ja moottorin käyttötarkoituksen välillä. Edellä mainittujen tietojen lisäksi moottorikilvessä voidaan ilmoittaa mm. suurin ympäristön lämpötila. Moottorin sähköistämisen kannalta tärkein tieto on kuitenkin moottorin valmistaja, malli ja nimellisteho, sillä nämä antaa asentajalle ja käyttäjälle mahdollisuuden hakea tietoa moottorille sopivien komponenttien ja osien hakemiseen suoraan internetistä tai valmistajan osaluettelosta. Tapauksissa, joissa moottorin tyyppikilpeä ei ole olemassa, on moottoriin valmistaja, malli sekä nimellisteho on yritettävä selvittää muita keinoja käyttäen, kuten ottamalla yhteyttä moottorin toimittajaan.

Insinööriyössä käytetyllä moottorilla ei ollut tyypikilpeä johtuen siitä, ettei moottori ole vielä kaupallisesti saatavilla. Moottorin malli selvitettiin Tapimer Oy:n toimesta suoraan moottorin valmistajalta Doosanilta.

Moottorin vaatimusten tunnistaminen tarkoittaa käytännössä moottorin lopullisen käyttötarkoituksen eli moottorin lopullisen sijoituskohteen ja vaadittujen määräysten selvittämistä. Vaikka yleisesti esimerkiksi aggregaatti ja NRMM-tarkoitukseen tulevien moottorin sähköistäminen on prosessiltaan yhteneväinen, moottoriin tulevat apu- ja lisälaitteet voivat lisätä lopullista sähköistämisen työmäärää.

## 5.2 Moottoriohjaimen valinta

Moottorin mallin tunnistamisen jälkeen varmistetaan moottorin ECU ja selvitetään, mitä tietoja voidaan kommunikoida CAN-väylän kautta suoraan ECU:lle sekä mitä komponentteja täytyy johdottaa. ECU toimitetaan yleisen käytännön mukana aina moottorin kanssa. NRMM- ja aggregaattilaitteistoissa moottorin valmistaja on hyväksyttänyt ja valinnut moottorille sopivan ECU -yksikön, joka täyttää vaaditut määräykset ja vaatimukset. Tämän takia ECU:n malli ja ohjelmisto päättää myös pitkälti mikä ohjain voidaan laitteistolle valita.

Koska kyseessä oli Doosanin EDC17 -pohjainen ECU-yksikkö, ja Tapimer Oy:n toiveena oli käyttää ComApin valmistamaa ohjainta NRMM-moottorin ohjaukseen, sopivan ohjaimen löytämiseen voidaan käyttää kuvassa 8 näkyvää ComApin ECU support -vertailutaulukkoa.

Manufacturer / ECU type	Intelli Sys NT	IntelliGen NT	IntelliGen GC NT	Intelli Sys Gas	IntelliGen/ Sys GSC	IntelliCom pact NT	Intelli lite NT	Intelli lite	IntelliGen en 200	IntelliGen en 500	IntelliKa no NT	IntelliDrive DCU	IntelliDrive Mobile	IntelliDrive Lite	IntelliDrive Nano	IntelliVis ion 5	IntelliVis ion 5 CAN	IntelliVis ion 8	IntelliVis ion 12T	ID	Selection in PC Software
version	4.0.0	4.0.0	4.0.0	1.3.1	1.1.0	2.5.1	2.6.0	1.8.0	1.2.0	1.0.0	2.2.0	3.4.0	2.5.0	2.5.0	1.9.1	2.2.0	1.4.0	3.0.0	1.4.0		
Doosan EDC17																				193	Doosan G2 EDC17

Kuva 8. ComApin Ecu support -taulukko. Kaaviota on muokattu näyttämään ainoastaan insinööriyötä varten relevantti data. [8, s. 24-25]

Kuvassa 8 on tuetut ohjaimet ja ohjainten lisälaitteet merkitty keltaisella, vihreällä ja tummanvihreällä värillä. Keltaisella värillä merkityt ohjaimet tukevat J1939-standardiin perustuvaa ATS-järjestelmää, kun taas vihreällä merkityillä ohjaimilla on saatavilla ATS-järjestelmille oma EDC17 ECU:n pohjautuva tuki. Vihreällä värillä merkittyjen ohjainten tuki perustuu ECU:n dokumentaation perusteella rakennettuun ohjelmistoon, ja tummanvihreällä värillä merkityt ohjaimet ovat ComApin puolesta testattu ja varmistettu toimivan kyseisen ECU:n kanssa.

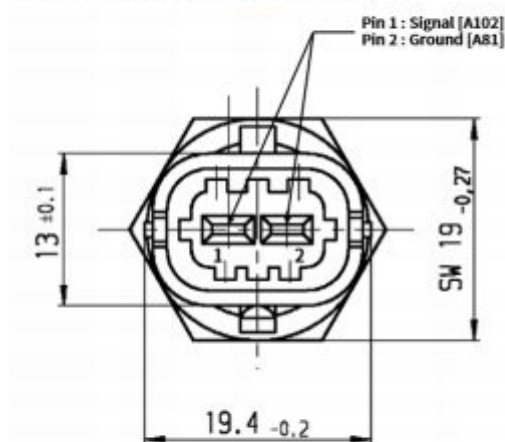
Koska insinööriyössä käytettävissä oleva moottori tulee osaksi NRMM-laitteistoa, eivät aggregaateille tarkoitetut IntelliGen- ja IntelliLite NT -malliset ohjaimet ole yhteensopivia. Listalla yhteensopiviksi ilmoitetut Intelivision -moduulit ovat erillisiä näyttöjä, joita voidaan asentaa esimerkiksi valvomoon tai metsäkoneen ohjaimoon, mutta eivät ole itse ohjaimia. Täten insinööriyöhön valittiin ohjaimeksi ComApin IntelliDrive DCU Industrial -ohjain, joka on vaihtoehdoista ainoa NRMM-laitteistolle tarkoitettu moottoriohjain. IntelliDrive-ohjaimen on saatavilla useita lisälaitteita, joista tärkein on ComApin InternetBridge, mikä mahdollistaa laitteiston etävalvonnan sekä tarvittaessa etäkäytön.

### 5.3 Sähkökuvien ja johtosarjan valmistaminen

ECU:n varmistamisen ja ohjaimen valinnan jälkeen on selvitettävä, mitä antureita ja komponentteja voidaan johdottaa CAN-väylään ja mitkä anturit johdotetaan ECU:lle tai ohjaimelle johtosarjan rakentamista varten. Selvitys tehdään lukemalla moottorin valmistajan sekä liitettävien antureiden ja osien dokumentaatiota. Insinööriyössä käytettävien osien dokumentaatiot ovat liitteenä. Kuvassa 9 on nähtävissä moottorin ympäristön lämpötilamittarin johdottamisen ohjeet.

#### I/O Description

Counter Connector : AMP 936059-1



#### Operating Temperature Range

: -40°C ~ 130°C

Kuva 9. Kaavio ympäristön lämpötilamittarista. Kaavioon merkityt A102 ja A81 ovat ECU-pinnejä. [6, s.52]



Johtosarjan suunnittelussa ja sähkökuvia piirtäessä on otettava myös huomioon ohjain ja sen lähtöjen tyyppi. ComApin binääriset ulostulot ovat transistori-lähtöjä, joiden ulostulo on suurimmillaan 0,5 A. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi liitteessä 1 oleva ECU PWR täytyy johdottaa ulkoisen releen kautta, kun taas esimerkiksi Deep Sean -ohjaimilla voidaan ECU PWR johdattaa suoraan ohjaimen sisäisen releen lähdöstä suoraan ECU:lle.

Käytettävän kaapelin paksuus on Tapimerin toiveiden sekä yleisen käytännön mukaan 0,5-0,75 mm<sup>2</sup> antureille, CAN-väylälle, releohjaukselle sekä muille alle viiden ampeerin piireille. Yli viiden ampeerin piireille sekä syöttöjännitteelle käytettiin 1,5-2,5 mm<sup>2</sup> kaapelia. Kuvassa 10 on insinööriyössä käytetyn moottorin ECU valmiiksi johdotettuna testausta varten. Insinööriyössä käytettiin yli 150 metriä kaapelia.



Kuva 10. Moottorin ECU johdotettuna. Kuvan edustalla väliaikainen välikappale/riviliitin.



Johdottaessa on hyvä noudattaa piirrettyjä sähkökuvia ja merkitä jokainen liitetty kaapeli järjestyksen ylläpitämiseksi. Deutz-pinnien ja ECU-liittimien rakentamisessa on käytössä omat työkalut, joiden käyttäminen on välttämätöntä kestävien liittimien rakentamista varten. Johdottaessa on myös tärkeä varmistaa, etteivät kaapelit tule hankaamaan lopullisen sijoituksen jälkeen teräviä kulmia ja etteivät johdot ole liian lähellä liikkuvia osia. Moottorin käymisestä johtuva värinä voi tällöin aiheuttaa kaapeloinnin katkeamista tai liittimien irtoamista. Tarvittaessa on kaapelit hyvä suojata johtimien suojaputkella.

#### 5.4 PGN-koodien lukeminen ja diagnosointi

Kun johdottaminen on saatu valmiiksi, voidaan moottoriin laittaa sähköt päälle ja alkaa lukemaan ohjaimen kautta ECU-viestejä ja vikakoodeja. Koska insinööriyössä oli käytössä ComApin ID-DCU-Industrial-ohjain, ohjaimelle täytyi ensin konfiguroida käytettäväksi ECU:ksi Doosanin EDC17 ECU. ID-DCU-Industrial-ohjaimelle ECU:n konfigurointi tehdään DriveConfig-nimisellä ohjelmalla ja vikakoodien lukeminen IntelliMonitor-ohjelmalla.

Vikakoodien diagnosointi aloitetaan lukemalla vikakoodit moottoriohjaimen kautta ja vertaamalla vikakoodien numeroita valmistajan manuaalissa oleviin vikakoodeihin. Näiden ohjeistusten perusteella selvitetään mahdolliset johdotus- tai komponenttiviatiat ja pyritään korjaamaan ne ohjeistuksen mukaan. Ohjelmistosta johtuvia vikoja voidaan korjata tekemällä muutoksia ECU:n ohjelmaan esimerkiksi ECU Value Editor -ohjelmalla.

Kun kaikki vikakoodit on korjattu, voidaan moottori koekäyttää. Jos moottori käynnistyy ongelmitta, on moottorin sähköistäminen onnistunut. Tilanteessa, jossa vikakoodit on korjattu mutta moottori ei kuitenkaan käynnisty, voidaan yrittää ongelmaa diagnosoida HMI:n kautta esimerkiksi käynnistyneen aikaisen historiatietojen tulkitsemisellä.

## 6 Yhteenveto

Toimiva prototyyppi moottorin sähköjärjestelmälle sekä sen sähkökuvat onnistuttiin luomaan insinööriyössä käytyjen ohjeistusten mukaan. Insinööriyössä moottoriin sähköistämiseen käytettiin yli 150 metriä johtoa sekä useita kymmeniä eri liittimiä ja pinnejä. Ohjain, sekä vaaditut kytkimet, riviliittimet, sulakkeet ja releet asennettiin omaan sähkökaappiin, joka kiinnitetään moottorin jalustaan. Kuvassa 10 on nähtävillä valmiiksi johdoitettu sähkökaappi ohjaimen suojalasilla varustettuna. Sähköjärjestelmän sähkökuvat löytyvät liitteestä 1.

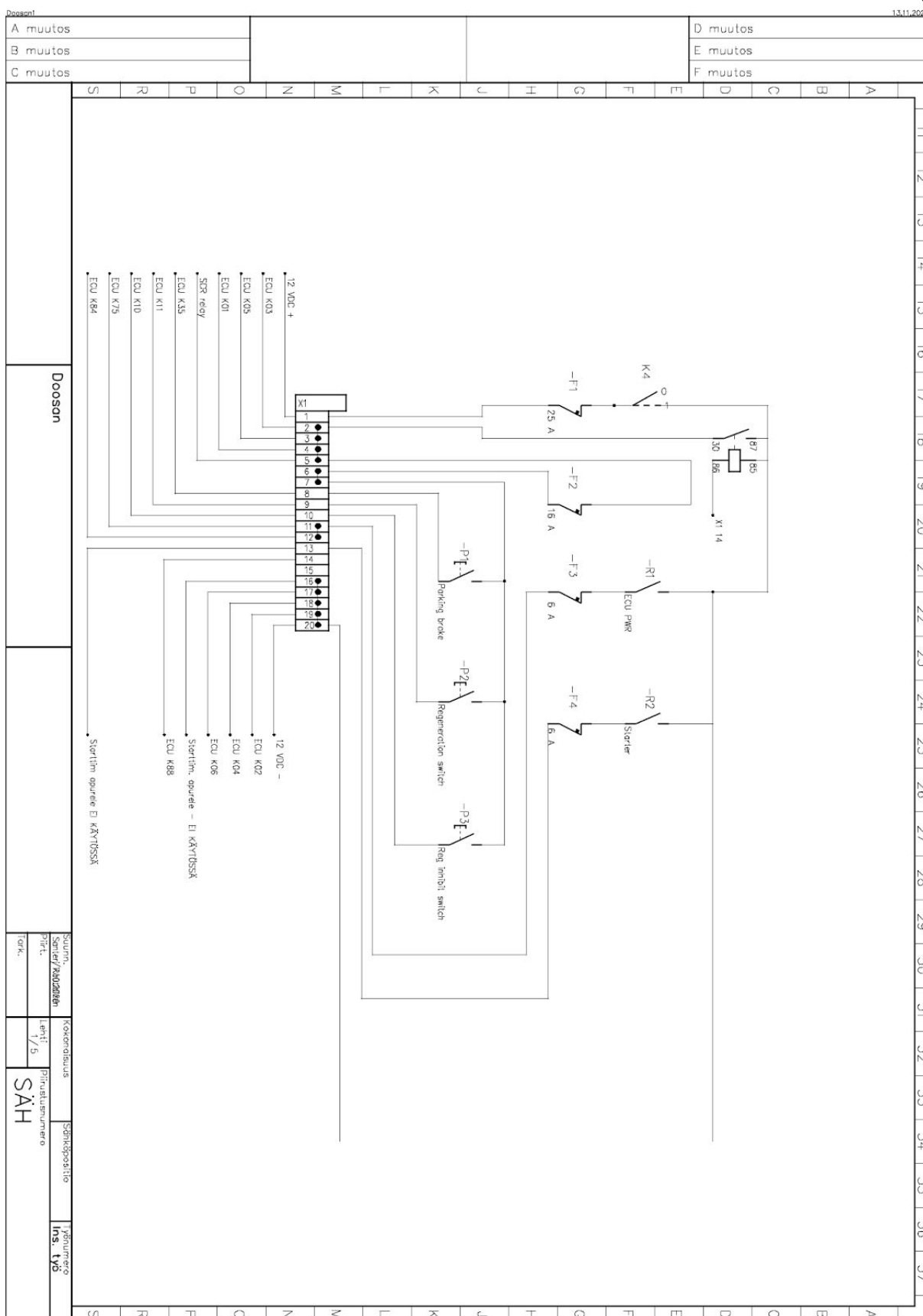


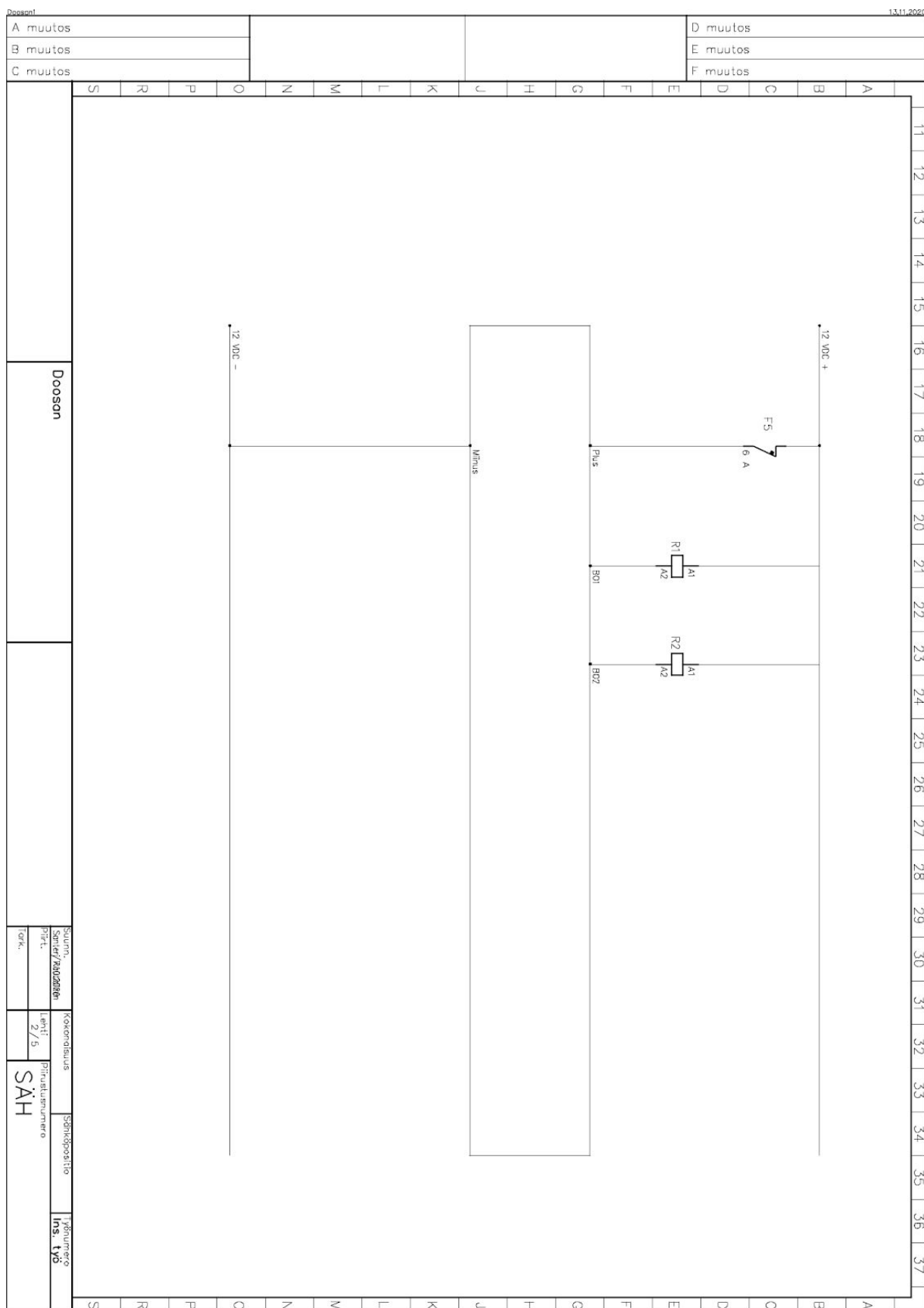
Kuva 11. Moottorin ECU johdotettuna. Kuvan edustalla väliaikainen välikappale/riviliitin.

Sähköjärjestelmän ohjelmallinen osuus onnistui ilman suurempia ongelmia johtuen ComAp-ohjainten monipuolisuudesta ja helppokäyttöisyydestä. ECU:sta luetut virhekoodit johtuivat pääasiassa johdoitus sekä liittimien kontaktivirheistä. ECU:n omaa ohjelmistoa ei tarvinnut muuttaa.

## Lähteet

- 1 Regulaatio 2016/1628, Lex-Europa 2020 Euroopan Unioni 2016.  
<<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016R1628>> 16.11.2020.
- 2 Direktiivi 97/68/EC, Lex-Europa 2020. Euroopan komissio 1998.  
<<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31997L0068>> 16.11.2020.
- 3 Lisäys 1 COM(2014)581/F1, Euroopan komissio 2014. Verkkoaineisto.  
<<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/EN/1-2014-581-EN-F1-1-ANNEX-1.Pdf>> 16.11.2020.
- 4 Kovacka, Jan & Becka, Lukas 2020. InteliDrive DCU Industrial 3.4 Global Guide Revision 10. Verkkoaineisto.  
<<https://www.comap-control.com/support/download-center/documentation/man/i-d-dcu-industrial-global-guide?lang=en-GB>> 19.11.2020.
- 5 Vydra, Tomás 2020. IGS-NT 3.1.0 Installation Guide, Revision 4. Verkkoaineisto.  
<<https://www.comap-control.com/support/download-center/documentation/man/igs-nt-3-1-0-installation-guide?lang=en-GB>> 19.11.2020.
- 6 Doosan 2019. Doosan Infracore G2 Stage 5 Engine Installation Guide. Luettu 19.11.2020.
- 7 Doosan 2019. G2 Check Sheet for D34\_rev07-Stage5\_20190425. Luettu 19.11.2020.
- 8 Vavra, Jakub 2020. Electronic Engines Support Guide 7.3.0. Verkkoaineisto.  
<<https://www.comap-control.com/support/download-center/documentation/man/electronic-engines-support-guide-7-0-0?lang=en-GB>> 19.11.2020.









Doosan!		13.11.2020	
A muutos		D muutos	
B muutos		E muutos	
C muutos		F muutos	
S		A	
R		B	
P		C	
O		D	
N		E	
M		F	
L		G	
K		H	
J		I	
I		J	
H		K	
G		L	
F		M	
E		N	
D		O	
C		P	
B		Q	
A		R	
		S	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	
		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	
		37	
		S	
		R	
		P	
		Q	
		N	
		M	
		L	
		K	
		J	
		I	
		H	
		G	
		F	
		E	
		D	
		C	
		B	
		A	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	
		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	
		37	
		S	
		R	
		P	
		Q	
		N	
		M	
		L	
		K	
		J	
		I	
		H	
		G	
		F	
		E	
		D	
		C	
		B	
		A	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	
		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	
		37	
		S	
		R	
		P	
		Q	
		N	
		M	
		L	
		K	
		J	
		I	
		H	
		G	
		F	
		E	
		D	
		C	
		B	
		A	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	
		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	
		37	
		S	
		R	
		P	
		Q	
		N	
		M	
		L	
		K	
		J	
		I	
		H	
		G	
		F	
		E	
		D	
		C	
		B	
		A	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	
		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	
		37	
		S	
		R	
		P	
		Q	
		N	
		M	
		L	
		K	
		J	
		I	
		H	
		G	
		F	
		E	
		D	
		C	
		B	
		A	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	
		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	
		37	
		S	
		R	
		P	
		Q	
		N	
		M	
		L	
		K	
		J	
		I	
		H	
		G	
		F	
		E	
		D	
		C	
		B	
		A	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	
		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	
		37	
		S	
		R	
		P	
		Q	
		N	
		M	
		L	
		K	
		J	
		I	
		H	
		G	
		F	
		E	
		D	
		C	
		B	
		A	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	
		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	
		37	
		S	
		R	
		P	
		Q	
		N	
		M	
		L	
		K	
		J	
		I	
		H	
		G	
		F	
		E	
		D	
		C	
		B	
		A	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	
		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	
		37	
		S	
		R	
		P	
		Q	
		N	
		M	
		L	
		K	
		J	
		I	