



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Sami Ranta

Testialustan kehittäminen trukkisovellukselle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

07.05.2019

Tekijä Otsikko	Sami Ranta Testialusta trukki-sovellukselle
Sivumäärä Aika	54 sivua + 1 liite 07.05.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	ohjelmistokehityspäällikkö Tomi Riipinen sähköinsinööri Ville Sydänmaanlakka lehtori Arja Ristola
Opinnäytetyön keskeisin tarkoitus oli luoda Roclan trukki-sovellukselle testauslaitteisto, jolla voi toteuttaa mahdollisimman kattavasti tarvittavat trukki-sovellukseen liittyvät laitteistolähteiset testit. Raportissa käydään läpi Roclan nykyinen tilanne testialustojen suhteen, ja minkälaisia parannuksia projekti on tuonut mukanaan. Tämän lisäksi raportissa esitetään testialustan luomisessa huomioitavia sähköturvallisuuden ja koneturvallisuuden standardeja. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda testialustojen kehitykseen yhtenäinen toimintatapa ja testilaitteisto, joka vastaa sähköiseltä toiminnoltaan haluttua trukkia ja jota muokkaamalla se soveltuisi muidenkin trukkimallien sovellustestaamiseen. Opinnäytetyötä voidaan käyttää oppaana tulevien testialustojen suunnittelussa ja rakentamisessa. Tästä syystä raportissa on otettu kantaa projektin aikana kohdattuihin hankaluuksiin, jotka täytyy ottaa huomioon tulevien alustojen valmistuksessa. Lisäksi raportissa esitetään jatkokehityskohteita.	
Avainsanat	simulointi, TruckTool, wizard, trukki, ohjelmisto, HIL

Author Title	Sami Ranta Test platform for a Lift-truck Program
Number of Pages Date	54 pages + 1 appendix 7 June 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Tomi Riipinen, Software Development Manager Ville Sydänmaanlakka, Electrical Engineer Arja Ristola, Senior Lecturer
The purpose of this bachelor's thesis project was to create a test platform for a lift-truck program that can be used to perform encompassing lift-truck program tests. This report will review Rocla's current situation regarding the test platforms and the upgrades which were done. Additionally, this thesis will clarify standards, which need to be considered while creating a new testing platform. The process of the project required to interpret the technical specifications of the lift-truck and to emulate the electrical functions as accurately as possible. The result of the project is a functional test platform of the wanted lift-truck model for the program. Additionally the test platform can be used for other lift-truck models with minor changes. This report can be used as a guide when creating new or performing changes to an old testing platform. Therefore this thesis editorializes the issues and remarks encountered during the process, which could transpire in other similar projects.	
Keywords	simulation , TruckTool, wizard, lift-truck, software, HIL

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Trukkien tekniikka ja testaus	2
2.1	Trukit	2
2.2	Vastapainotrukit	3
2.3	Ohjaimet	4
2.4	CAN-yhteys	9
2.5	TruckTool	13
2.6	TruckTool toiminnot	15
2.7	Testialustat	18
2.8	Testaukset	20
2.9	Standardit, säädökset ja ohjeet	22
3	Projektia edeltävät testialustat	24
4	Tehdyt parannukset	27
4.1	Alustan yleinen rakenne	29
4.2	Releohjaus projektissa	31
4.2.1	Hydrauliikkatoimintojen releohjaus	32
4.2.2	Suunnanvalinnan releohjaus	34
4.3	Kaasupolkimet	35
4.3.1	Kaasupolkimien sähköinen kytkentä	37
4.4	Sensoreiden simulointi	39
4.5	Sähkösuunnitelma ja dokumentointi	39
4.6	Lopputestaus ja käyttöönotto	40
5	Tulokset	41
6	Yhteenveto	43
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. Sähköpiirustukset	

Lyhenteet

AGV	<i>Automatic guided vehicle.</i> Automatisoitu laite, joka tekee työn sille määritetyllä toimintatavalla. Tässä raportissa AGV:llä tarkoitetaan automatisoitua trukkia.
CAN	<i>Controller area network.</i> CAN-väylä on yleisesti kulkuneuvoissa käytetty tiedonsiirtomenetelmä.
EEPROM	<i>Electrically erasable programmable read-only memory.</i> Haihtumaton puolijohdemuisti.
FC	<i>Finger-tip control.</i> Trukin hydraulikkaohjauksen toteutustapa.
FNR	<i>Forward, neutral, reverse.</i> Trukeissa käytettävä suunnanvalintatoiminto.
HIL	<i>Hardware-in-the-loop.</i> Tekniikka, jota käytetään reaaliaikaisten sulautettujen järjestelmien kehittämisessä ja testaamisessa.
IGBT	<i>Insulated-gate bipolar transistor.</i> Suuritehoinen bipolaaritransistori, jonka hila on eristetty.
MC	<i>Mechanical control.</i> Trukin hydraulikkaohjauksen toteutustapa.
TDF	<i>Truck Definition File.</i> XML-johdannainen kuvatiedosto.
XML	<i>eXtensible Markup Language.</i> Ohjelmointikieli.

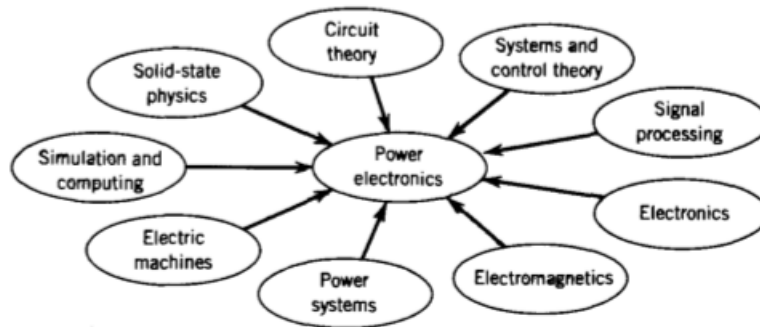
1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda TruckTool-sovelluksen testausta varten testilaitteisto, joka vastaa sähköisesti kehitettävää trukkimallia. Testilaitteistoa tulee voida muokata siten, että se vastaa sähköisesti myös muita haluttuja malleja. Testialustalle asetetut vaatimukset ovat modulaarisuus, kattavuus, helppo liikutettavuus, helppokäyttöisyys ja laajennettavuus. Lisäksi projektin tavoitteena oli tunnistaa olemassa olevien testialustojen heikkoudet ja ongelmat, sekä pyrkiä korjaamaan ne.

Opinnäytetyö tehtiin Roclan Oy toimeksiannosta. Rocla kehittää, valmistaa ja markkinoi sähköisiä varasto- ja vastapainotrukkeja sekä automaatiojärjestelmiä, jotka tehostavat asiakkaiden logistiikkatoimintoja [1]. Rocla on Mitsubishi Logisnext Co.Ltd omistuksessa [2]. Logisnext brändeihin kuuluu Mitsubishi, Unicarriers, Nichiy, CAT ja TCM trukit [3].

Projekti toteutettiin, koska Rocla kehittää Mitsubishi Logisnext brändien käyttöön TruckTool-nimistä trukkien diagnostiikkasovellusta. TruckTool on sovellus, jonka keskeisimmät käyttötarkoitukset ovat asiakasyrityksien trukkien huoltotoimintojen suorittaminen ja valmistuvien trukkien ohjelmointi. Kehitettävä testialusta mallintaa Mitsubishi Caterpillar Forklift America Inc.:n valmistamaa uutta trukkimallia. Projektin testilaitteistolla kehitetään sovelluksen tuki kyseiselle mallille.

2 Trukkien tekniikka ja testaus



Kuva 1. Tehoelektroniikkaan liittyvät sähkötekniikan osa-alueet [4].

Luku käsittelee trukin testilaitteiston ohjaus- ja tehoelektroniikan emulointia trukki-sovelluksessa. Teorian osalta raportti syvenyy trukkien tekniikkaan ja etenkin vastapainotrukkeihin, sillä projektissa valmistunut testialusta simuloi vastapainotrukkimallia. Koska tehoelektroniikka voidaan nähdä monen eri tekniikan alan muodostamana kokonaisuutena, käsitellään tässä työssä ohjauselektroniikkaa, tehopoijujohteita sekä ohjelmistoja. Tehoelektroniikan yksi määritelmä on esitelty kuvassa 1.

2.1 Trukit



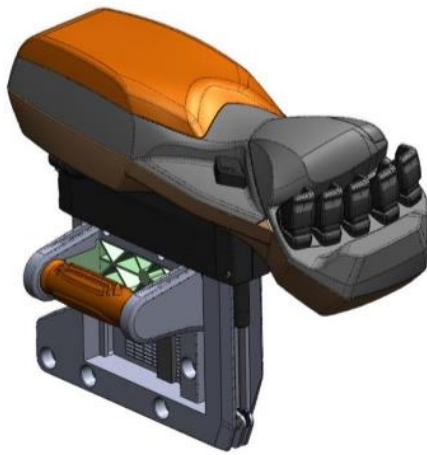
Kuva 2. Erilaisia sähkötrukkeja [5].

Trukit ovat laitteita, joilla voidaan siirtää ja nostaa tavaroita. Käyttökohteet trukeille ovat yleensä tehtaat ja varastot, joissa logistiikan tarve on suuri. Sähkötrukit jaetaan yleisesti kolmeen pääluokkaan: varasto-, AGV- eli Automatic Guided Vehicle ja vastapainotrukit [6]. Kuvassa 2 on vasemmalta oikealle: kaksi lavansiirtotrukkia, keräilytrukki, korkea-keräilytrukki, työntömastotrukki, vastapainotrukki ja AGV-trukkeja. Luokat eroavat toisistaan käyttökohteen ja -tavan mukaan. Varastotrukkeja käytetään nimensä mukaisesti

sisävarastojen logistiikkatehtäviin, kuten tavarankeräilyyn ja hyllyttämiseen. AGV:t ovat varastotrukkeja, jotka toimivat itsenäisesti ilman kuljettajaa. Yleisin trukkityyppi on vastapainotrukki. Tätä trukkityyppiä käytetään nopeutensa sekä tehonsa vuoksi yleisesti painavien kuormien lastaukseen ja purkuun. [7.]

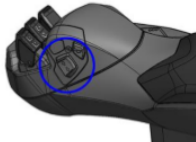
2.2 Vastapainotrukit

Vastapainotrukit voidaan puolestaan jakaa moneen eri ryhmään. Usein ne jaetaan ryhmiin niiden pyörien lukumäärän, teholähteen, nostokapasiteetin ja hydraulikkaohjauksen mukaan [8]. Projektin kannalta olennainen on hydraulikkaohjaus.



Kuva 3. Käsinoja hydraulikkaohjausta varten [9].

Hydraulikkaohjaus jaetaan kahteen ryhmään: mekaaniseen ohjaukseen (MC, Mechanical Control) ja käsinoja-ohjaukseen (FC, Finger-tip Control). Mekaanisen hydraulikkaohjauksen trukeissa trukin hydraulikka on toteutettu vivuilla, joilla ohjataan suoraan hydraulikkanesteen virtausta. Kuvan 3 esittämällä käsinojalla venttiilejä ohjataan epäsuorasti käsinojaan kytketyillä minivivuilla. [10.]

Component	Operating condition		Remark																				
FNR LEVER	Switch the traveling direction by operating the lever. Switch is alternate type. 	<table><tr><th>Forward Switch</th><th>Reverse Switch</th><th>Direction</th></tr><tr><td>ON</td><td>ON</td><td>Fault</td></tr><tr><td>ON</td><td>OFF</td><td>Forward</td></tr><tr><td>OFF</td><td>ON</td><td>Reverse</td></tr><tr><td>OFF</td><td>OFF</td><td>Neutral</td></tr></table>	Forward Switch	Reverse Switch	Direction	ON	ON	Fault	ON	OFF	Forward	OFF	ON	Reverse	OFF	OFF	Neutral	Standard					
Forward Switch	Reverse Switch	Direction																					
ON	ON	Fault																					
ON	OFF	Forward																					
OFF	ON	Reverse																					
OFF	OFF	Neutral																					
FOOT DIRECTION	Switch the traveling direction by stepping on the right and left of one accelerator pedal. Switches are momentary type. 	<table><tr><th>Forward Switch</th><th>Reverse Switch</th><th>Direction</th></tr><tr><td>ON</td><td>ON</td><td>Neutral</td></tr><tr><td>ON</td><td>OFF</td><td>Forward</td></tr><tr><td>OFF</td><td>ON</td><td>Reverse</td></tr><tr><td>OFF</td><td>OFF</td><td>Stay</td></tr></table>	Forward Switch	Reverse Switch	Direction	ON	ON	Neutral	ON	OFF	Forward	OFF	ON	Reverse	OFF	OFF	Stay	Optional					
Forward Switch	Reverse Switch	Direction																					
ON	ON	Neutral																					
ON	OFF	Forward																					
OFF	ON	Reverse																					
OFF	OFF	Stay																					
ARMREST FNR	Switch the traveling direction by switching the FNR switch of the armrest. The switch signal is received with CAN signal. Switch is alternate type. 	<table><tr><th>Forward Switch</th><th>Reverse Switch</th><th>Neutral Switch</th><th>Direction</th></tr><tr><td>ON</td><td>OFF</td><td>OFF</td><td>Forward</td></tr><tr><td>OFF</td><td>ON</td><td>OFF</td><td>Reverse</td></tr><tr><td>OFF</td><td>OFF</td><td>ON</td><td>Neutral</td></tr><tr><td colspan="3">Others</td><td>Fault</td></tr></table>	Forward Switch	Reverse Switch	Neutral Switch	Direction	ON	OFF	OFF	Forward	OFF	ON	OFF	Reverse	OFF	OFF	ON	Neutral	Others			Fault	Optional
Forward Switch	Reverse Switch	Neutral Switch	Direction																				
ON	OFF	OFF	Forward																				
OFF	ON	OFF	Reverse																				
OFF	OFF	ON	Neutral																				
Others			Fault																				

Kuva 4. Vastapainotrukeissa käytettäviä suunnanvalintatyyppejä [11].

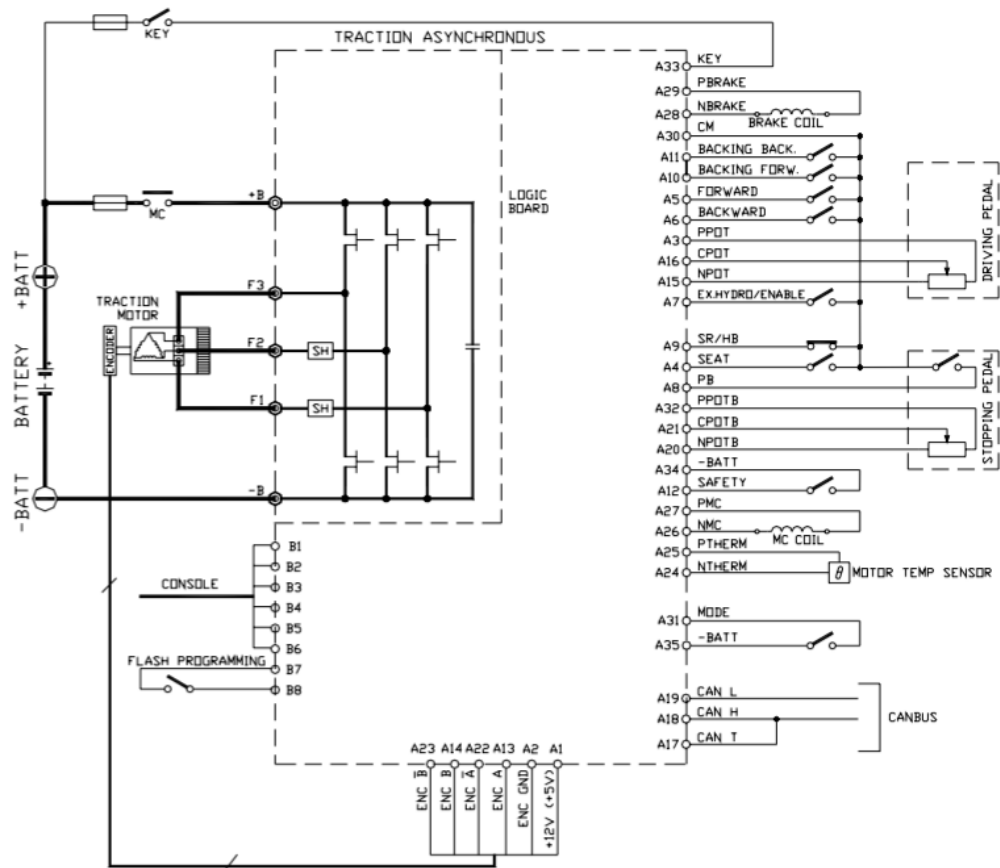
Useisiin vastapainotrukkeihin voidaan asentaa kolme erilaista suunnanvalintatapaa. FNR "forward, neutral, reverse" voidaan toteuttaa kuvan 4 mukaisesti:

- Vivulla, joka sijaitsee lähes aina ratin vieressä. Toteutus on suosittu mekaanisen hydraulikkaohjauksen koneissa.
- Painikkeella, joka sijaitsee käsinojassa. Se on yleisimmin käytössä trukeissa, joissa hydraulikkaohjaus on toteutettu käsinojalla.
- Polkimilla. Kahdella polkimella valitaan sekä ajosuunta että liikenopeus. Tämä on harvinaisin suunnanvalintamenetelmä. [12.]

2.3 Ohjaimet

Ohjaimet (elektroniset ohjausyksiköt) ovat sulautettuja tietokoneita, jotka sisältävät laitteiston ja laiteohjelmiston. Laitteisto koostuu piirilevyistä, joiden pääkomponentti on

mikro-ohjainpiiri (CPU, Central Processing Unit). Ohjelmisto tallennetaan mikrokontrolleeriin [13]. Laiteohjelmisto on laitteistoon kiinteästi asennettu ohjelmisto, joka huolehtii laitteen perustoiminnoista [14].



Kuva 5. Ohjaimen tehoelektroniikka ja logiikka [15].

Kuva 5 esittää esimerkkiä ohjaimen sähköisestä rakenteesta. Ohjain sisältää logiikka- eli pienjännite puolen sekä moottorihjaus puolen. Logiikka puolella on erilaisia tuloja ja lähtöjä käyttäjän ohjaustoimintoja ja sensoreita varten. Moottorihjaus puolella on moottorikäyttöä varten vaihtosuuntaajan tehoelektroniikan komponentteja. IGBT-transistoreita auki ja kiinni kytkemällä ohjain muuttaa akun tasajännitteen vaihtojännitteeksi ja niiden kytkentätaajuudella vaikutetaan moottorin pyörimisnopeuteen. Moottorikämmien virran syöttötaajuutta muuttamalla saadaan moottorin pyörimään nopeammin tai hitaammin. Välipiirin kondensaattorit tasaavat piirin jännitepiikkejä. On kuitenkin muistettava,

että tämä esimerkki käsittelee vain induktiomoottoria ja sähkötrukeissa esiintyy erilaisia sähkömoottoreita. Käytettävän ohjaimen valita riippuu siitä, minkälaisella moottorilla tai moottoreilla trucki suunnitteluvaiheessa päätetään toteuttaa.



Kuva 6. Zapi ACE2 250A ohjain [16].

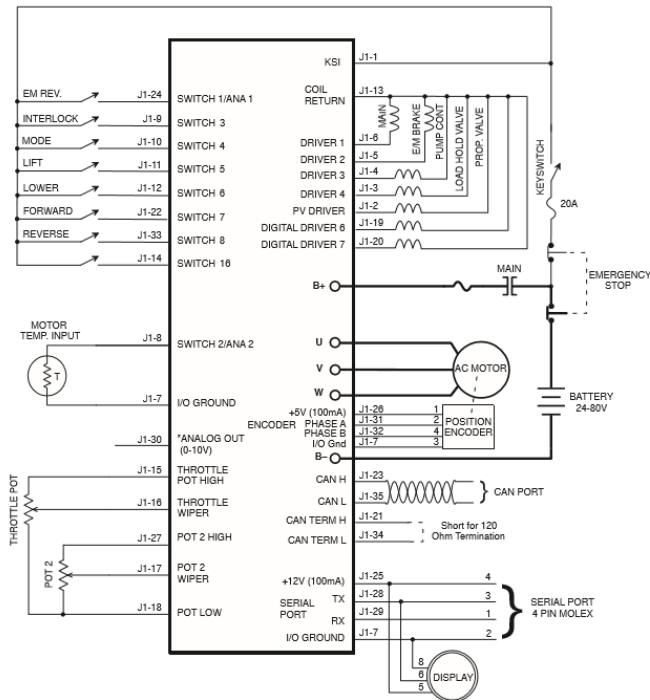
Ohjaimet vaihtelevat truckikohtaisesti ja ne ohjelmoidaan käyttökohteen mukaan. Kuvas-
vassa 6 on Zapi ACE2 250A ohjain, joka yleinen truckikäytöissä. Tässä projektissa käy-
tössä on kaksi ohjainta, jotka toimivat vektoriohjauksella [17]. Vektoriohjauksessa yksi
vektori määrittelee moottorin magneettivuon, ja toinen vektori vääntömomentin [18].
Sähkötrukeissa ohjaimet toimivat trukin inverttereinä akun ja moottorin (tai moottoreiden)
välillä, jos ohjattavat moottorit ovat AC (alternating current) -moottoreita.

SE SERIES

Models 1232SE / 1234SE / 1236SE

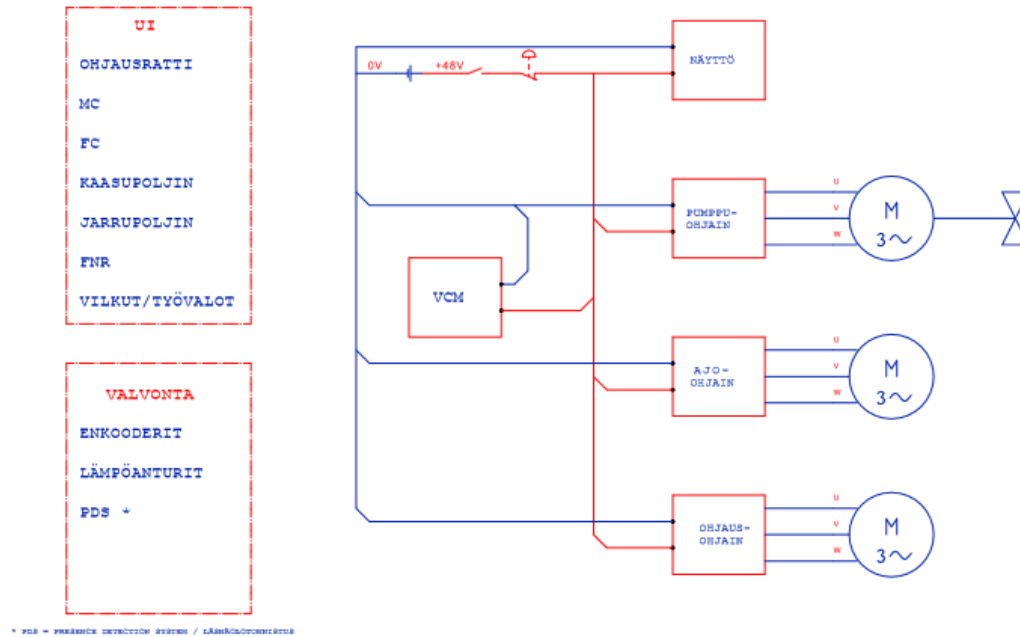


TYPICAL WIRING



Kuva 7. Tyypillinen Curtis ohjainmallin 1232SE/1234SE/1236SE kytkentä [19].

Moottoriohjauksen lisäksi trukki ohjaimet toimivat järjestelmäohjaimina (Integrated System Controller). Ohjaimissa on analogiset ja digitaaliset tulot tulospaikkaan vastaanottamiseen, sekä lähtöjä kontaktoreiden ja venttiileiden ohjaamiseen. [20.] Kuva 7 esittää esimerkikykentää Curtis-ohjainmalleille. Usein ohjaimia on useampia, jolloin eri toimintoille on omat kontrollerinsa (ohjaimensa) [21]. Erilaisia vastuualueita ohjaimille ovat hydraulikkatoiminnot, ajomoottoreiden ohjaus, trukin ohjaus ja koneen yleinen valvonta. Trukin suunnitteluvaiheessa luodaan määrittely, kuinka trukin tekninen toiminta toteutetaan. Määrittelystä tehdään dokumentti, jota kutsutaan usein trukin spesifikaatioksi.



Kuva 8. Esimerkki trukin ohjaimien jännitesyötöt.

Kuvassa 8 on esimerkki kokonaisuudesta, jossa on neljä ohjainta, erilaisia mahdollisia trukeissa esiintyviä ohjauslaitteita (UI, User Interface) ja valvontaa mahdollistavia komponentteja. Ohjauslaitteita käyttämällä käyttäjä ohjaa moottoreita välillisesti. Ohjaimet lukevat ohjauslaitteilta tulevia signaaleja ja ohjaavat moottoreita niiden sekä asetettujen parametrien mukaisesti. Valvontatoiminnot eivät yleensä ole käyttäjän tiedossa, mutta ne ovat olemassa trukin turvallisen toimivuuden vuoksi, joita laitestandardit vaativat. Ohjauslaitteet ja sensorit johdotetaan niiden signaaleja lukevien ohjaimien liittimiin.

Tässä esimerkissä VCM (Vehicle Control Master) valvoo trukin muiden ohjaimien tilaa. Muut ohjaimet säätelevät moottoreita ja vastaanottavat tulosaaleja oman vastuualueen mukaan. Esimerkiksi trukispesifikaatiossa voidaan määritellä pumppuohjaimen tuloksi hydraulikkaohjauksen ohjauslaitteet (MC tai FC), maston korkeutta valvovan pulsianturin ja pumppumoottorin lämpöanturin. Lähtöinä on venttiiliohjaukset sekä moottorin kolmivaihesyöttö.

2.4 CAN-yhteys

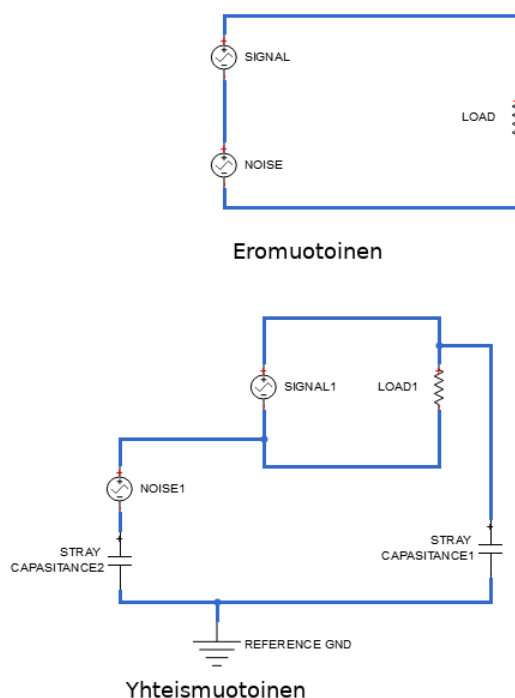
Trukkikäytössä ohjaimien välinen tiedonsiirto tapahtuu usein CAN (Controller Area Network) -väyläyhteydellä. Lisäksi CAN-väylän kautta saadaan yhteys trukin tai testialustan ohjaimiin tietokoneella ja siihen soveltuvan sovelluksen avulla, esimerkiksi TruckToolilla.



Kuva 9. CAN-kaapelin rakenteena on PVC muovisuoja, punottu ja tinattu kupari suojaus, muovikalvo, eristeenä polyeteenivaaho ja kuparikaapelit [22].

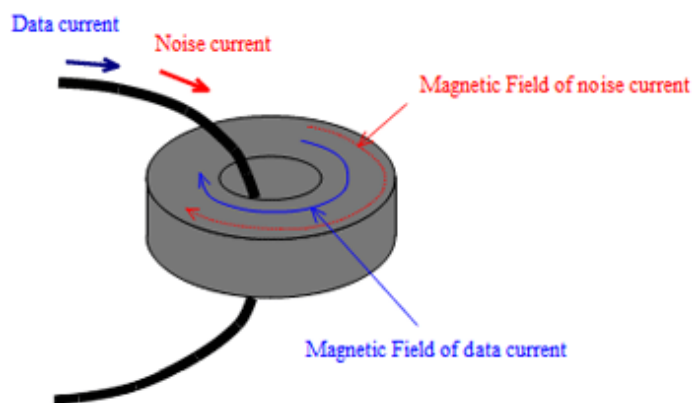
Kuva 9 esittää CAN-kaapelin läpileikkausta. CAN-väylässä käytetään kierrettyä parikaapelia. Johtimien nimityksinä käytetään CAN-high ja CAN-low. Väylässä käytetään 120 Ω :n päätevastuksia väylän molemmissa päissä vähentämään signaalin heijastumisesta johtuvia häiriöitä. CAN-väylän toimintaperiaate perustuu johtimien väliseen jänniteeroon. Koska CAN-high ja -low ovat rakenteeltaan identtisiä, ulkoisista syistä syntyvät häiriöt aiheuttavat kumpaankin yhtä suuren jännitteen. Tämä tekee CAN-väylästä varsin vikasietoisen tiedonsiirtomenetelmän. [23.]

Sähköiseen tiedonsiirtoon johtuvat häiriöt voidaan jakaa differentiaalimuotoiseen (DM, Differential-Mode) ja yhteismuotoiseen häiriöön (CM, Common-mode). Yhteismuotoinen häiriö kytkeytyy piiriin vähintään yhden kytkeytymistien kautta, joka ei ole signaalitie, esimerkiksi jonkun toisen piirin maapotentiaali. Differentiaalimuotoinen häiriö kulkeutuu samoja reittejä pitkin kuin signaalikin. Häiriölähteenä saattaa toimia esimerkiksi tietokoneen hakkuriteholähde, jonka aiheuttamat sähkömagneettiset häiriöt kytkeytyvät muihin tietokoneen sähköisiin osiin. [24.]



Kuva 10. Yhteismuotoisen ja eromuotoisen (differentiaalimuotoisen) häiriön kytkeytyminen piiriin [25].

Kuva 10 havainnollistaa yhteismuotoisen ja eromuotoisen häiriön kytkeytymisen piireihin. Yhteismuotoiseen häiriöön yleisin syy on piirien ja osien yhteinen maadoituspiste. Maajohtimella on impedanssi, joka voi heijastaa muiden piirien virrat häiriönä signaali-johtimeen. [26.] Häiriöiltä välttyminen ja suojautuminen vaativat maadoitusten huolellista suunnittelua ja tarvittaessa ferriittirenkaiden lisäämistä johtimiin, joilla häiriötä saadaan suodatettua pois. Ferriitin käyttäminen perustuu magneettikentän suuntauksen muuttamiseen, eli kaapelissa esiintyvien sähkömagneettisten häiriöiden suodattamiseen. CAN-väylään vaikuttaa yleisemmin differentiaalimuotoiset häiriöt, koska signaalin vastaanottavat laitteet lukevat kaapeleiden välistä jännite-eroa, eikä väylä tarvitse nollajohtoa.



Kuva 11. Ferriittirenkaan toimintaperiaate [27].

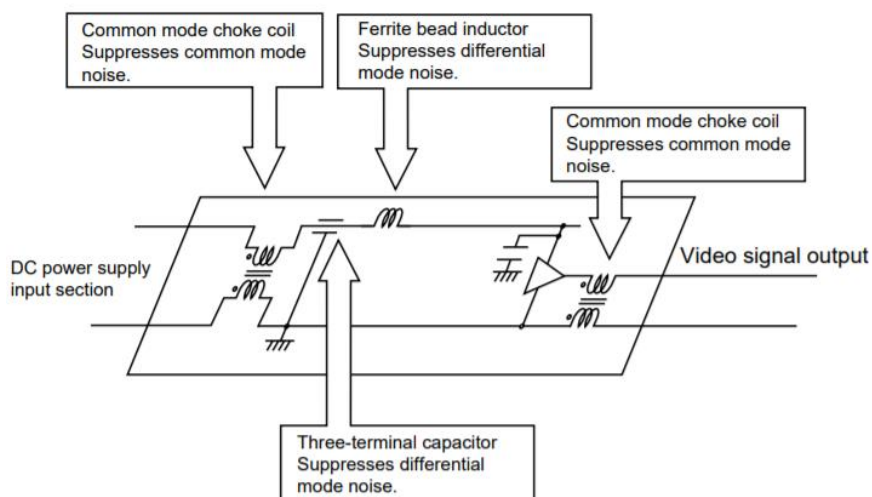
Differentiaalinen häiriö kulkee samassa johtimessa kuin signaali, mutta niiden taajuus poikkeaa toisistaan. Kuvan 11 mukaisella ferriittirenkaalla saadaan suodatettua signaalia korkeampia häiriöitä pois magneettikentän avulla [28].



Kuva 12. PCAN-USB-adapteri [29].

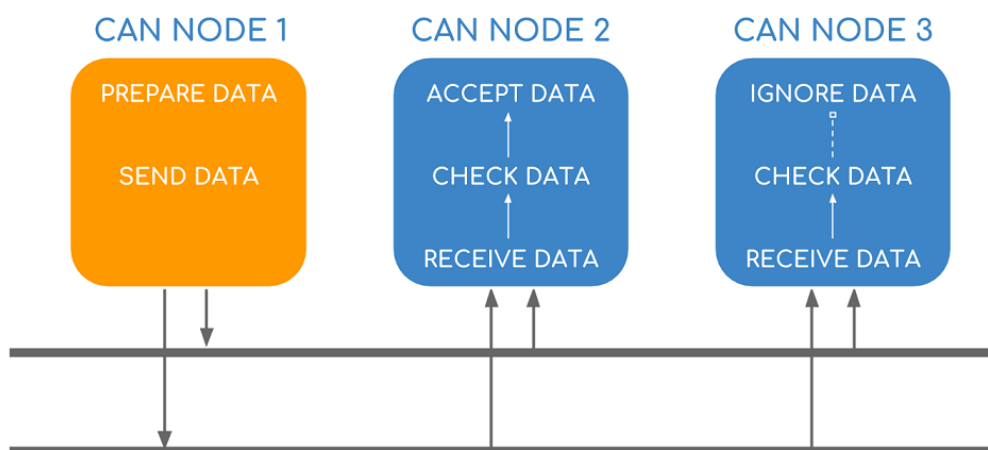
PCAN-USB (USB, Universal Serial Bus) adapteria käytetään yhdistämään tietokoneen USB-portti CAN-väylään [30]. Kuvassa 12 esiintyy PCAN-USB-adapteri. Yksi menetelmä häiriösuojata differentiaalista datansiirtoa on galvaaninen erotus adapterilla. Periaate on sama kuin muuntajalla, energia siirtyy kelojen välisen keskinäisinduktanssin välityksellä ja näin kahden sähköisen piirin välillä ei ole sähköistä kontaktia. PCAN-USB:llä erotus tapahtuu elektronisesti optoerottimella. Optoerotin käyttää valoa siirtämään signaaleja

galvaanisesti erotetun rajapinnan yli. [31.] Testialusta-käytössä erotuksella vältetään tietokoneesta johtuvat häiriöt CAN-väylään.



Kuva 13. Suojautuminen differentiaalimuotoista ja yhteismuotoista häiriötä vastaan [32].

Kuvassa 13 on toteutettu suojautuminen sekä DM- että CM-muotoista häiriötä vastaan. Syötön puolelle on asennettu CM-kuristimet, joka voi olla joko galvaaninen erotus, molempien johtimien häiriönsuodatus identtisillä ferriittirenkailla tai johtimien kietominen magneettisen renkaan ympärille. DM-muotoista häiriötä vaimennetaan ferriittirenkaalla ja suodatinkondensaattorilla.



Kuva 14. Kolme moduulia yhdistettynä CAN-väylään [33].

Kuvassa 14 "Node" tarkoittaa tietokonetta tai muuta laitetta tietoverkossa. Ohjaimet, jotka ovat yhteydessä CAN-väylään, omaavat kukin oman tunnisteensa [34]. Kuvassa esitetään sanomatunnistuksen toiminto. Kuvassa on esimerkki tilanne, jossa moduuli 1 lähettää viestin CAN-väylään. Sanomatunnisteen perusteella moduuli 2 hyväksyy viestin ja moduuli 3 hylkää viestin.

2.5 TruckTool

TruckTool on tietokoneisiin asennettava trukkeihin kehitelty diagnostiikkasovellus, jolla trukin asetuksia voidaan muuttaa sekä diagnosoida trukin toimintaa. TruckTool tuki uudelle trukille määritetään XML (eXtensible Markup Language) -johdannaisella TDF (Truck Definition File) -kuvaustiedostolla.

```

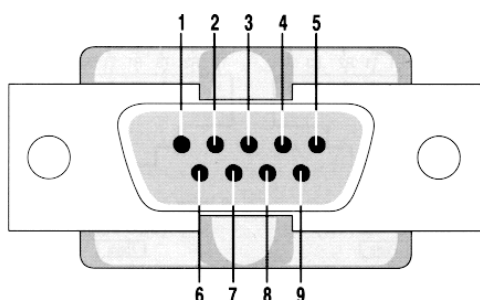
----<Object-Id="Traction_3226sub00_SeatBeltSW">
-----<DeviceId>Traction</DeviceId>
-----<ObjectName-TranslationTextId="Traction_3226sub00_SeatBeltSW_Object_Text_1">Seat-belt-SW</ObjectName>
-----<AliasName>Switches:Sw4</AliasName>
-----<Description>...</Description>
-----<ManufacturerDescription></ManufacturerDescription>
-----<FilterTags>...</FilterTags>
-----<AccessType>Normal</AccessType>
-----<ObjectBehaviourTags>
-----<Tag>Input</Tag>
-----</ObjectBehaviourTags>
-----<GroupHierarchy>...</GroupHierarchy>
-----<CommunicationTypes>
-----<Can-Id="ManualTruckBus">
-----<CanOpenSDO>
-----<Node>38</Node>
-----<Index>0x3226</Index>
-----<Sub>0</Sub>
-----<Access>ReadOnly</Access>
-----<ComFormat>unspecified</ComFormat>
-----<ByteOrder>MSBFirst</ByteOrder>
-----<BytePos>0</BytePos>
-----</CanOpenSDO>
-----</Can>
-----</CommunicationTypes>
-----<Number>...</Number>
----</Object>--

```

Kuva 15. Esimerkki TDF-kuvaustiedostosta.

Kuvassa 15 on turvavyö-objektin määrittely. Objekti määrittelee, kuinka turvavyöhön liittyviä toimintoja kontrollerilla ja trukin ohjauselektronikalla ohjataan.

TruckToolin käyttöön on kaksi vaihtoehtoa: yhteystila ja simulaatiotila. Yhteystilassa tietokone liitetään USB-portin kautta trukin sarjaporttiin, josta TruckTool pyrkii tunnistamaan tietokoneeseen liitetyt ohjaimet CAN-yhteydellä. Simulaatiotilassa tietokonetta ei liitetä trukin tai testilaitteiston sarjaporttiin. Simulaatiotila avaa kaikki toiminnot, kuten oltaisiin trukkiin yhteydessä. Simulaatiotilassa ei voida muuttaa parametriarvoja. Todellista kommunikaatiota trukin ohjaimien kanssa ei tapahdu, eikä sähköisiä rajapintoja huomioida. Simulaatiotila on luotu TruckTool-virheiden tarkasteluun ja TruckTool-kouluttajien käyttöön.



Kuva 16. Sarjaporttina käytetty D9-liitin [35].

Kuvan 16 D9-liitin on yksi sarjaportti vaihtoehtoista. Toteutettavassa testilaitteistossa käytetään tätä liitintyyppiä.

2.6 TruckTool toiminnot

TruckToolin toiminta jakaantuu seitsemään eri osa-alueeseen riippumatta trukkimallista: info, settings, I/O, events, wizards, flash ja record.

Info-toiminto antaa trukista yleistä tietoa, kuten trukin ohjelmistoversion, käyttötunnit sekä akun ja ohjaimien tilat. Settings avaa trukin kaikki parametrit, ja niiden arvoja voi muuttaa. I/O (input ja output) -toiminto avaa trukin kaikki ohjaimien tulojen ja lähtöjen arvot ja näin trukin sensoreiden signaaleja voidaan seurata.

Events kertoo ohjaimien vikahistorian ja nykyisen tilan. Toisin kuin info, events-toiminnolla saadaan tarkempaa tietoa trukin mahdollisista vikatiloista. Erilaiset viat ilmoitetaan koodisarjoina, joiden merkitys on varmistettava trukin spesifikaatioista. Vikakoodit on toteutettu ohjaimien laiteohjelmistoon.

Wizardit ovat lyhyitä ohjelmia, jotka ajamalla saadaan useita eri parametrimuutoksia, ilman, että käyttäjän tarvitsee tietää kaikki toimintoon vaikuttavat parametrit. Wizardeilla tehdään yleensä myös kaikki trukkeihin liittyvät kalibroinnit. Kalibroittavien toimintojen määrä on trukikohtainen, mutta ne liittyvät poikkeuksetta käyttäjän toiminnan suhteen trukin toimintaan.

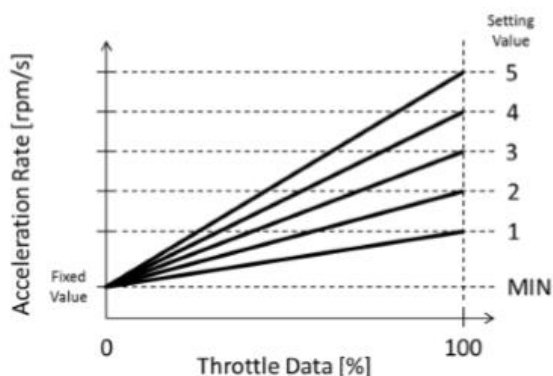
Yksinkertaisimpana esimerkkinä voidaan pitää kaasupolkimen kalibrointia. Kaasupolkimen kalibroinnissa määritetään vaste, jolla saavutetaan trukin ajomoottorien tietty teho suhteessa trukin kaasupolkimen painamiseen.

Table 3-3 Accelerator sensor input and accelerator value

Throttle Pot Wiper Input					
Operating Voltage [V]	0.15	1.40	2.25	3.10	4.20
Analog Input	31	287	461	635	860
Accelerator value [%]	0	0	50	100	100
Error condition	Low voltage	None			High voltage

Kuva 17. Esimerkkitaulukko trukin kaasupolkimen jännitearvojen suhteesta analogia- ja kiihdytsarvoihin [36].

Sähköisesti TruckTool-testialustassa tämä tarkoittaa kaasupoljinta simuloivan potentiometriltä tulevan jännitearvojen (operating voltage) muuttamista ohjaimella analogia- (analog input) ja kiihdytsarvoiksi (accelerator value) simuloiduissa tilanteissa, jossa kaasupoljin on lepoasennossa ja pohjaan painettuna. Ohjain tallentaa nämä arvot. Kuva 17 on esimerkki arvojen suhteista toisiinsa.



Kuva 18. Esimerkkikuvaaja, jossa on viisi eri kiihdytsramppia [37].

Tallennettujen jännitearvojen mukaan ohjain laskee polkimen asennon vasteen trukin haluttuun liikenopeuteen (ajomoottoreiden kierrosnopeuteen) asetetuilla esimerkkikuvan 18 kiihdytsramppiparametreilla (setting value).



Kuva 19. Kaasupoljinta emuloiva potentiometri.

Testialustassa tilanne simuloidaan kaasupoljinta emuloivilla kuvan 19 mukaisilla potentiometreillä. Potentiometrin vipua kääntämällä saadaan ulostulosta signaaleja 0,5 V - 4,5 V välillä. Wizard-toimintoa käyttäessä TruckTool-ohjelmisto voi pyytää käyttäjää ensin pitämään kaasupolkimen ylä-asennossa. Kun arvo on hyväksytty käyttäjän toimesta ohjain tallentaa tämän signaaliarvon ja suorittaa edellä mainitut laskutoimitukset. Tämän jälkeen Wizard pyytää käyttäjää painamaan kaasupolkimen pohjaan ja sama asia toistetaan eri signaaliarvoilla. Wizardia käyttäessä käyttäjä seuraa kirjallisia ohjeita ja parametrimuutokset tehdään toimintojen perusteella.

Flash tarkoittaa ohjaimen pysyvän haihtumattoman puolijohdemuistin (EEPROM, Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory) uudelleenkirjoittamista [38]. Flash toiminnolle on käyttöä, kun truckiin luodaan uusi ohjelmistopäivitys ja se halutaan tallentaa trukin ohjaimeen. Ohjelmistopäivityksiä tehdään korjattaessa trukissa olemassa olevia vikoja, tai kun truckiin lisätään uusia toimintoja. Esimerkiksi uuden sensorin asentaminen truckiin täytyy ohjelmoida myös ohjaimelle, jotta ohjain pystyy käsittelemään signaaliarvoa oikein. Lisäksi tuotannossa valmistunut trucki on ohjelmoitava trukille oikealla ohjelmistoversiolla.

Lopuksi recording, jolla voidaan seurata sensoreiden signaaleja, piirtää niistä kuvaajia ja tallentaa ne. Tämä TruckTool-toiminto on yleisesti trukkitestaajien käytössä. Se voidaan tulkita hitaaksi oskilloskoopiksi tai dataplotteriksi.

2.7 Testialustat

Testialustat ovat laitteistoja, joita käytetään trukin laiteohjelmiston tai trukki-sovelluksen testaamiseen. Testialustat Roclalla voidaan jakaa kahteen kategoriaan. Roclalla on käytössä TruckTool-testialustoja sekä yksi HIL (hardware-in-the-loop). HIL on trukkien laiteohjelmistojen testialusta ja sitä käytetään TruckTool-testauksen sijaan automaattiseen trukkitestaukseen. Sähköisellä tasolla trukeissa on ohjaimia, moottoreita, sensoreita sekä sähkökytkimiä ja säätimiä. Testialustojen tyypistä riippuen osa edellä mainituista jätetään pois. Osia jätetään kytkemättä, mikäli ne eivät ole tarpeellisia TruckTool-testaukselle. Moottorit ja niiden syöttöä ohjaavat kontaktorit ovat esimerkiksi tarpeettomia. TruckTool-testialustoissa ei ole tarvetta moottorikäytölle, ja kyseiset osat ovat käyttötarkoitukseen vain ylimääräisiä kustannuksia.

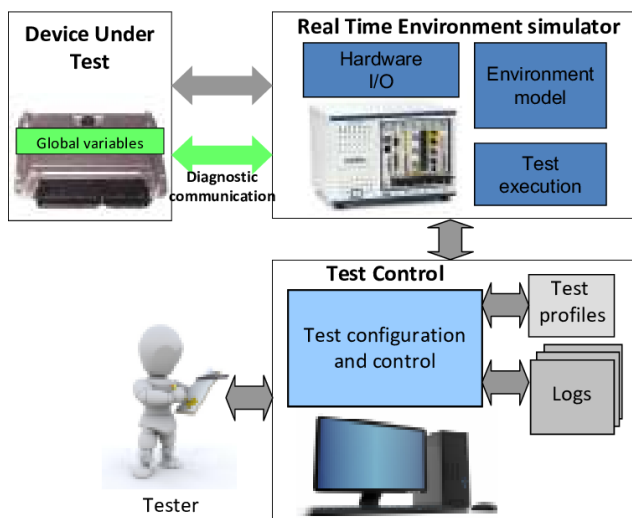
TruckTool-testialustoja rakennetaan, koska ne ovat helpompi ja edullisempi ratkaisu testaamiseen kuin todellisen trukin hankkiminen. Rocla valmistaa vain osan Mitsubishi Logisnext Co.Ltd:n trukkimalleista. Muut kuin Roclalla valmistuvat trukit ovat taloudellisesti kannattavampaa korvata testialustoilla, kuin järjestää jokainen haluttu trukkimalli tehtaalte.

TruckTool-testialustat (ohjelmistotestialustat) ovat laitteistoja, joilla pyritään jäljittämään trukin sähköisiä ja loogisia ominaisuuksia mahdollisimman tarkasti. TruckTool-testialustoihin ei ole tarkoitus kytkeä samoja laitteita kuin simuloitavassa trukissa lukuun ottamatta ohjaimia. Moottorit, masto, runko ja testialustalle tarpeeton mekaniikka jätetään pois. Moottoreita valvovia arvoja, kuten lämpötilaa ja pyörimisnopeutta simuloidaan passiivisilla komponenteilla tai sensoreilla. Testialustoilla simuloidaan kolmea erilaista signaalia: digitaalista signaalia kytkimillä, analogista signaalia potentiometreillä ja pulssien lukumäärien laskentaan käytetään pulssiantureita.

Suurikokoiset ohjauslaitteet (ratti, kaasu- ja jarrupolkimet sekä MC-hydrauliikkavivut vastapainotrukeissa) pyritään korvaamaan pienemmillä komponenteilla. TruckTool-testialustoja suunniteltaessa keskitytään yksinkertaisuuteen, tilankäyttöön sekä sähköisen signaalin vastaavuuteen.

HIL-testialustat ovat testialustoja, joilla testataan testattavan laitteen ohjelmistoa käyttäen todellisia komponentteja. Automatisointi tapahtuu logiikalla sekä testausta varten suunnitellulla tietokoneohjelmalla. HIL-testit ovat tehokas tapa laitteiden systemaattiseen testaukseen. HIL on suosittu nopeuden ja tehokkuutensa ansiosta. [39.] Ero projektissa valmistuvan testialustan ja HIL:in välillä on testattava kohde. Roclalla HIL:illä testataan trukkeja eli ohjaimien ohjelmistoja ja TruckTool-testialustoilla testataan tietokonesovelusta.

HIL-testilaitteiston tulee sisältää antureiden ja toimilaitteiden sähköistä emulointia. Emulaatiot toimivat rajapintana laitoksen simuloinnin ja testattavan upotetun järjestelmän välillä. Tämän määritelmän perusteella molemmat testialustatyypit voidaan määritellä HIL-testialustoiksi. Tässä raportissa on jaettu testialustat kahteen eri tyyppiin, koska testikohde on eri.



Kuva 20. HIL yksinkertaistettuna [40].

HIL:iin asennetaan testattavan laitteen osat ja tietokoneen ohjelmalla läpikäydään testiprosessit automaattisesti. Kuva 20 esittää HIL-toimintoa yksinkertaistettuna. Kuvassa

esiintyy testaaja (tester), testejä suorittava ohjelmisto (test control) ja siihen tarvittava testilaitteisto (real time environment simulator) sekä testattavan kohteen todellinen laitteisto ja laiteohjelmisto (device under test). HIL tehokkuus voidaan havainnollistaa esimerkiksi vikaturvallisuus- (fail-safe) testillä. Kyseisessä testissä kytketään pois ja ristiin signaaleja, jolloin trukin pitää virhetilanteessa lopettaa turvallisesti asianmukaiset toiminnot. HIL-testialustalla sovellus kytkee signaalit testin mukaisesti automaattisesti. Testeistä saadaan lokitiedot ja muu informaatio reaaliaikaisesti. Testaajalla kytkentöjen suorittaminen ja turvallisuuden varmentaminen oikealla trukilla vie huomattavasti enemmän aikaa.

HIL-testialusta on huomattavasti kalliimpi ja resursseja kuluttavampi järjestelmä valmistaa kuin TruckTool-testialustat. HIL-testialustassa on oltava luotettavien testien saavuttamiseksi moottorit ja vaihteistot sekä suuri määrä ohjaavaa logiikkaa.

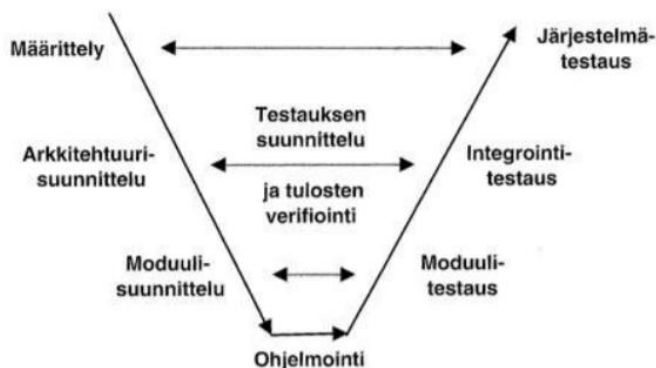
HIL:illä testataan trukin toimivuutta, mutta sillä ei voida testata käyttäjämukavuutta ja lisäksi HIL-testiohjelmistoa suunnitellessa ei tule aina mietittyä todellisen käytön eri tilanteita. Tästä syystä HIL-testien lisäksi trukeille suoritetaan testiajoja eri olosuhteissa (Debug-test).

2.8 Testaukset

Laiteohjelmistotesteissä (trukkitestauksissa) varmistetaan trukin ohjelmiston haluttu oikeanlainen toiminta. TruckTool-testauksessa (trukkisovellus testauksissa) puolestaan varmistetaan, että sovelluksella voidaan muokata trukin asetuksia luotettavasti.

Testauksen työvaiheet ovat testauksen suunnittelu, testiympäristön luonti, testin suorittaminen ja tulosten tarkastelu. Testauksen määrä on kompromissi käytettävien resursien ja saavutetun ohjelmisto-luotettavuuden välillä. Testauksen avulla voidaan osoittaa, että ohjelmassa on virheitä, mutta ohjelman täydellistä virheettömyyttä sillä ei ole mahdollista osoittaa. Erilaisia vikatilanneyhdistelmiä on yleensä lähes lukematon määrä ja vain osa vioista havaitaan. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, ettei testausta kannata tehdä, vaan myös ohjelmoinnin laatuun on syytä panostaa ennen testien suorittamista. Testaus on resursseja vievä prosessi ja se on syytä suunnitella huolellisesti ja suorittaa järjestel-

mällisesti. Testituloksien perusteella tehtyjen korjauksien seurauksena voi aiheuttaa uusia vikoja tai olemassa olevien vikojen korjaantumisen. Tästä syystä testidokumentointi on äärimmäisen tärkeä osa testausta, jotta mahdolliset uudet viat voi paikantaa.



Kuva 21. Testauksen V-malli [41].

Kuvan 21 testauksen V-malli kuvaa erilaisia testaustasoja. Tasot ovat moduulitestaus (yksikkötestaus), integrointitestaus ja järjestelmätestaus. Järjestelmätestaus suunnitellaan määrittelyvaiheessa, integrointitestaus suunnitteluvaiheessa ja moduulitestaus moduulis suunnitteluvaiheessa. Moduulitestauksessa testataan yksittäistä moduulia. Moduuli koostuu yleensä ohjelmiston pienempi osa ja sen toimintaa verrataan moduulis suunnittelun ja arkkitehtuurisuunnittelun tuloksiin (yleensä tekniseen määrittelydokumenttiin) [42.].

Integrointitestauksessa yhdistetään moduuleita yhteen. Tämän testin painopiste on moduulien välisten rajapintojen toimivuuden tutkiminen. Integrointitestaus etenee usein moduulitestauksen kanssa rinnan, mutta lyhyemmän koodin tarkastelu (moduulitestaus) tuottaa usein luotettavampaa testitulosta [43.].

Järjestelmätestauksessa tarkastellaan koko järjestelmää ja tuloksia verrataan määrittelydokumentaatioon ja asiakasdokumentaatioon. Järjestelmätestaukseen voi myös kuulua kenttätestaus ja hyväksymistestaus. Järjestelmätestaukseen pyritään yleensä saamaan mahdollisimman puolueettomia testaaajia. Mitä korkeammalla ollaan V-mallin testautasolla, sitä kalliimmaksi virheiden korjaaminen tulee. On myös yleistä, että korkean tason virheen korjaaminen myös aiheuttaa vikoja alemmilla tasoilla. Esimerkiksi järjestelmätestauksessa havaitun vian korjaus voi aiheuttaa moduulitasolla uuden vian. Tästä

syystä joka korjauksen jälkeen olisi syytä suorittaa uudelleentestausta, eli regressiotestausta [44.].

Testitapausten valintaan on kaksi lähestymistapaa: lasilaatikkotestaus (white-box testing) ja mustalaatikkotestaus (black-box testing). Mustalaatikkotestauksessa toteutetaan testit tutustumatta ohjelman toteutukseen ja lasilaatikkotestauksessa testaukseen käytetään hyväksi tietoa ohjelman tietoja. Yleensä V-mallin tasoja ylöspäin noustessa siirrytään enemmän lasilaatikkotestauksesta mustalaatikkotestaukseen [45].

2.9 Standardit, säädökset ja ohjeet

Testialustan kehittämisessä täytyi huomioida sähköturvallisuuden ja sähkötyöturvallisuuden lainsäädäntö, ohjeet ja standardit sekä koneturvallisuuden määräykset ja suositukset.

Testialustoiden asennukset, käyttö ja ylläpito tehdään sähköturvallisuus standardin SFS 6002 mukaisesti [46]. Asennustyöt on tehtävä jännitteettömänä ja jännitesyöttö on syytä katkaista työn ja muutoksien ajaksi sekä virtapainikkeesta että verkkovirrasta. Tässä projektissa AC/DC (Alternating current, vaihtojännite / Direct current, tasajännite) -tasasuuntaaja saa syötön verkosta silloinkin, kun virta on katkaistu testialustasta käynnistyspainikkeella. On myös syytä muistaa, että ohjaimissa on kondensaattoreita, jotka purkautuvat oman aikavakionsa määräämässä ajassa. Turvallisuuden takia on hyvä varmistaa yleismittarilla jännite ohjaimien navoista ennen muutoksien aloittamista.

Testialustassa on sulakkeet kaikille kytketyille laitteille ylivirtasuojauksia varten. Testialustan tasasuuntaajassa on ylijännitesuojaus 58,4 V – 68 V jännitealueelle ja ylikuormasuojaus 105- 135 % tasasuuntaajan nimellisestä 321,6 W tehosta. Testialustan nimellinen jännite on 48 VDC (Direct Current Volt). Ylikuormitussuojien ja johtimien kuormittavuudet täyttävät standardin SFS 6000-433 :2007 mukaiset mitoituskriteerit.

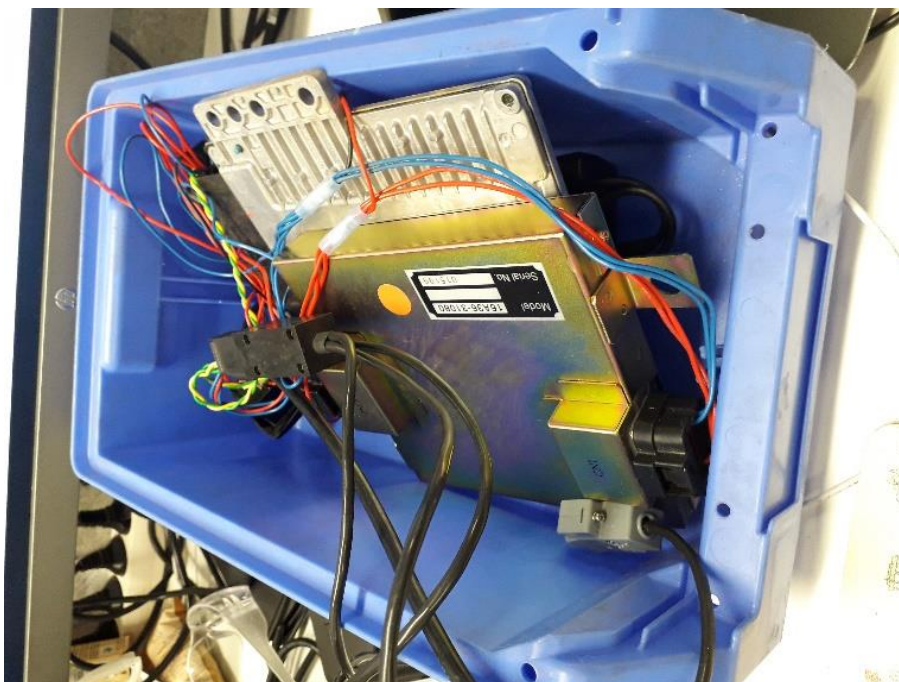
Testialusta on IP20-kosketussuojattu standardin SFS-EN 60529 mukaisesti. Laitteiston sähkökomponentit ovat suojattuja kosketukselta 12,5 mm ja isompia kappaleita kohtaan. Testilaitteisto on suunniteltu siten, ettei kosketuksesta voi aiheutua sähköistä vaaraa.

Suora kosketus kaapeleihin ja sähkölaitteisiin on estetty muovilevyllä. Muutama sähkölaite on kytketty testauslaitteiston ulkopuolelle, näiden laitteiden kaapelit ovat suojattu kosketukselta kutistesukilla ja kaapelisuojoilla.

Testialustassa ei ole liikkuvia osia, jotka voisivat aiheuttaa puristumis- tai leikkaantumisvaaraa. Alustaan kytketty hätä-seis-painike ei pysäytä kappaleiden liikettä, vaan varmistaa laitteiston jännitteettömyyden.

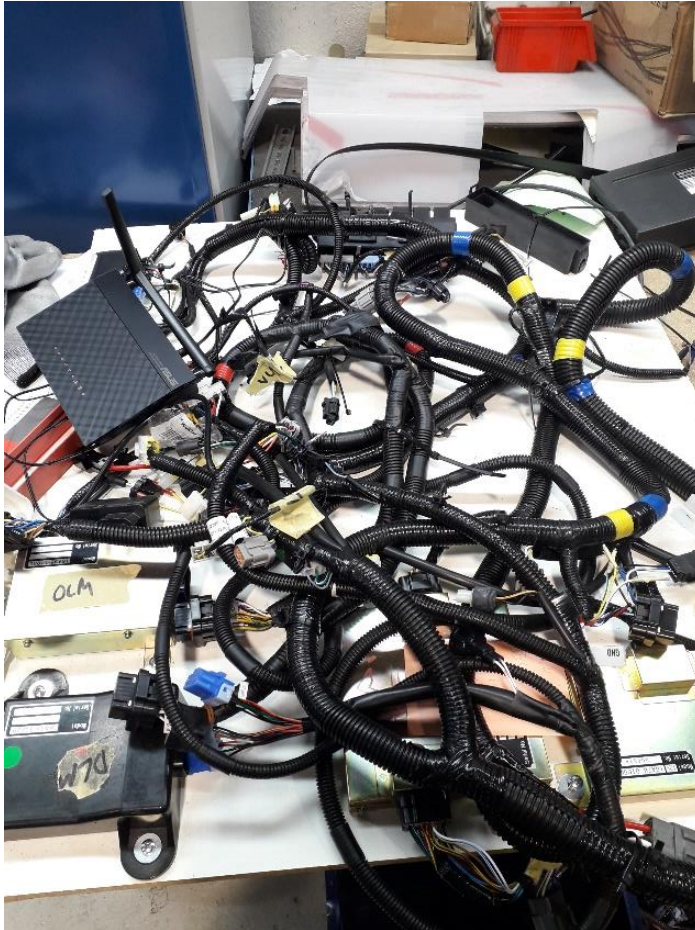
3 Projektia edeltävät testialustat

Toistaiseksi trukkien testialustojen rakentamiseen ei ole ollut määriteltyä toimintamallia. Osa valmistuneista testialustoista on laatikoitu ja suojattu, osa taas rakennettu puualustalle ja tilatut johtosarjat kiinnitetty liittimiin. Aikaisempien alustojen rakennustapojen takia ja puutteellisten suunnittelujen seurauksena osa testausalustoista on vioittunut. Syynä on ollut huonosti eristettyjen kaapeleiden yhteen osuminen, ja siitä on seurannut oikosulku. Muita riskejä vikaantumisille ovat olleet heikosti puristetut liitokset, suojauskien laiminlyöminen ja väärä syöttöjännite.



Kuva 22. TruckTool-testialusta yksinkertaisimmillaan.

Kuvassa 22 esiintyvällä testialustalla voidaan testata parametrisäädöt kyseisillä ohjaimilla, parametrien tarkistelu sekä TruckTool-sovelluksen yleistä toimivuutta. Yleinen toimivuus koostuu kaikesta TruckTool-toiminnosta, jossa ei kirjoiteta eikä lueta ohjaimen parametreja. Yleistä toimivuutta on sovelluksen ulkonäkö ja eri näkymien toimivuus. Yleiseen toimivuuteen liittyy myös ohjelman vakaus, eli kaatuileeko sovellus, onko hitautta ja vastaavia käyttäjäkokemukselle tärkeitä ominaisuuksia.



Kuva 23. Vikaantunut testialusta.

Kuvan 23 testialusta todettiin vikaantuneeksi, kun ohjaimiin ei saatu yhteyttä TruckToolilla, eikä muilla käytössä olevilla työkaluilla. Mittauksista kävi ilmi, etteivät ohjaimet saaneet käyttöjännitettä monen vikaantuneen releen takia. Alustan tehrolähteestä tulevat kaapelit oli juotettu kiinni alustan kaapeleihin. Juotosta ei ollut suojattu asianmukaisesti ja johtimien yhteen osuminen oli aiheuttanut kosketuksen seurauksena oikosulun, joka poltti releiden kelat. Palaneiden kelojen seurauksena releiden koskettimet eivät enää sulkeutuneet ja ohjaimet eivät saaneet käyttöjännitettä.

Kuvat 22, 23 ja 24 esittävät tyypillisiä TruckTool-testialustoja. Lukuun ottamatta kuvan 24 ohjaussauvaa, kytkennöistä puuttuu kaikki trukin toimintaa ohjaavat elementit. Tämä tarkoittaa sitä, ettei alustoilla voi testata mitään trukkitoiminnon kalibrointeja ja ohjaimet tulvivat virheilmoituksia puuttuvista sensoreista ja signaaleista. Tavoite on, ettei testialustassa ilmene lainkaan virheilmoituksia. Ajoittain TruckTool-testauksessa on tarpeen

aiheuttaa virhekoodi, jotta voidaan varmistua, että ohjaimien antama virhekoodi näkyy oikein myös TruckTool-sovelluksessa. Virhekoodin aikaansaamiseksi tehdään sähkö-asennuksiin muutos, esimerkiksi kytketään jokin valvova anturi irti.

Asennuksista ei ole olemassa sähköpiirustuksia, joten vikojen sattuessa vian paikantaminen vie aikaa.

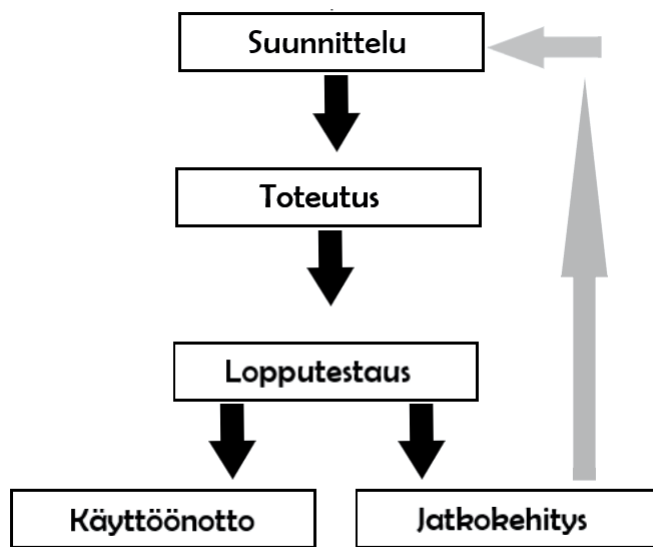


Kuva 24. Toimintakuntoinen testialusta tilaa vievällä vanerialustalla.

Kuvan 24 alustan ongelmana on sen tilaa vievä rakenne ja I/O-toimintojen puute. Alustaan on tilattu suoraan valmistajalta johtosarjat, ohjaimet, näyttö ja ohjaussauva. Tämän jälkeen johtosarjan liittimet on asennettu paikalleen, sulakkeet lisätty piiriin ja jännitelähde kytketty kaapeleihin kiinni. Testialusta on testauksen kannalta yhtä toimiva kuin kuvan 22 testialusta, mutta testattavia ohjaimia on enemmän.

4 Tehdyt parannukset

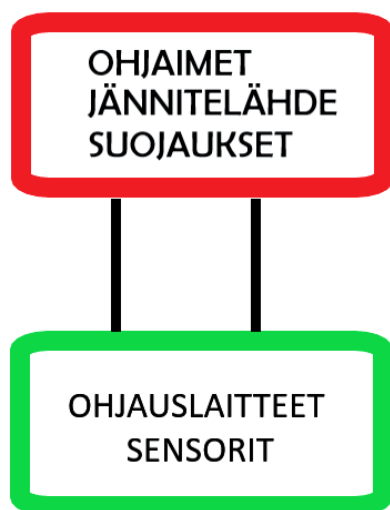
Parannukset tehtiin tavoitteiden ja havaittujen ongelmien perusteella. Projektin aikana huomioitiin testialustojen käyttäjien eli TruckTool-testaajien toiveet ja ehdotukset. Aikaisempien testialustojen ongelmat ovat olleet tilaa vievät ratkaisut, käyttöepävarmuus ja asennuksien vajaavaisuudet TruckTool-testauksen kannalta.



Kuva 25. Projektin vaiheet.

Kuva 25 esittää projektin eri vaiheet. Ennen sähköasennuksien aloittamista täytyi perehtyä annettuihin trukkimallin dokumentteihin. Niiden perusteella suunniteltiin trukkitoimintojen emulointien toteutustapa. Ennen sähköpiirustuksen luontia tehtiin luonnos, jonka perusteella hahmoteltiin komponenttien sekä osien sijoitus tilankäytön hahmottelemista ja johtoreittien suunnittelua varten. Koska tavoitteena oli luoda edellisiä testialustoja kattavampi laitteisto, suunnitteluvaiheessa täytyi erityisesti kiinnittää huomiota, mihin komponentit sijoittuvat. Myös käyttäjän käyttömukavuuden takia ohjauslaitteita simuloivat komponentit täytyi suunnitella loogisiin paikkoihin.

Suunnitteluvaiheessa sulakesuojaus mitoitettiin Ohmin lakia käyttäen ja valitsemalla laskennallista arvoa suurempi sulake. Suojattavien laitteiden resistanssit mitattiin tai katsottiin laitespesifikaatiosta. Sulakekoot ja testilaitteiston virta ovat pieniä, koska testialustassa ei ole suuria kuormia.



Kuva 26. Fyysinen jako alustojen kesken.

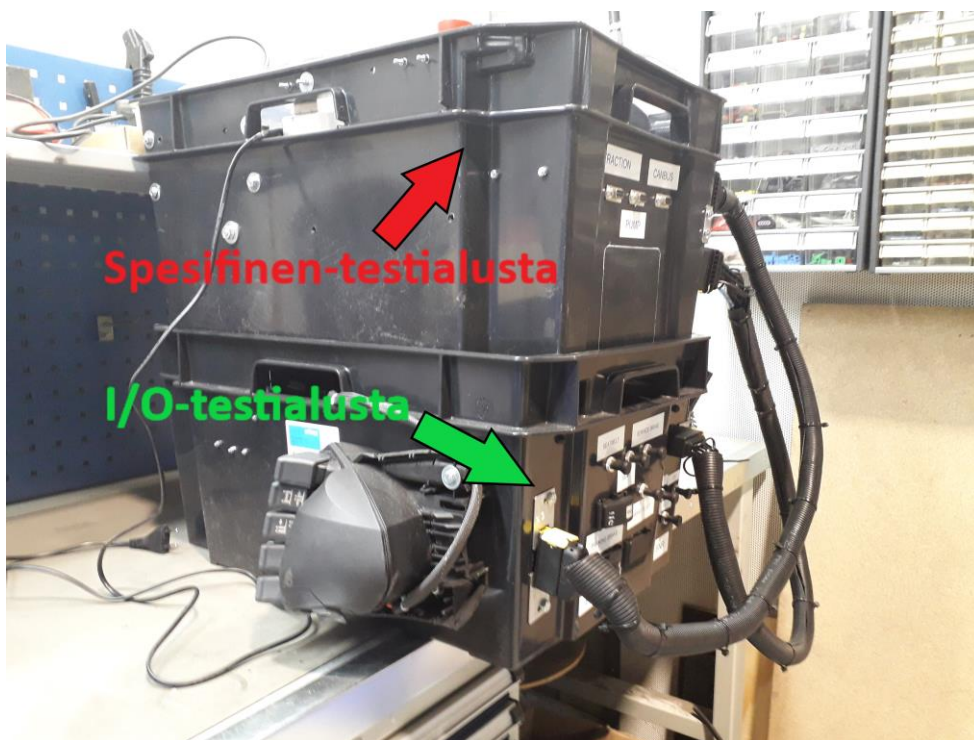
Projektin tavoitteena oli luoda standardoitu tapa luoda testialustoja. Jotta myös tulevat simuloitavat trukkimallit saadaan kattavasti TruckTool-testattua, projektin fyysinen osuus jaettiin kuvan 26 esittämällä tavalla kahteen osaan, jotka ovat yhteydessä toisiinsa irrotettavilla jatkokaapeleilla. Näitä alustoja kutsutaan spesifinä- ja universaali-testialustoiksi. Universaalia testialustaa kutsutaan myös I/O-alustaksi.

Spesifiseen testialustaan asennettiin tämän projektin trukkimallin omat osat, kuten ohjaimet, jännitelähde ja suojaukset. Tähän laitteistoon asennettiin laitteet ja komponentit, jotka eivät toimisi toisten trukkimallien kanssa. Testialustan spesifisiä osia ovat ajo- ja pumppuohjaimet ja ulostuloyksikkö. Niitä ei voi käyttää muiden trukkien kanssa, koska ne ovat ohjelmoitu vain kyseistä trukkimallia varten. Jännitelähde ja suojaukset ovat tässä laitteistossa, koska jännitetasot vaihtelevat trukkimalleittain. Ohjaimille asennettiin

tuuletin erillisen kytkimen taakse. Yleensä tuulettimien toiminta on sidoksissa ohjaimien logiikkaan. Tuuletin kytkeytyy trukeissa päälle ohjaimien lämpötilan noustessa tietyn raja-arvon yli tai vikatilanteen sattuessa. TruckTool-testaajien pyynnöstä tuuletin saa syötön vain käyttäjän toimesta.

I/O-testialustaan asennettiin osat, joilla käyttäjä simuloi trukin toimintoja. Tähän laitteistoon kytkettiin trukeissa yleisesti käytössä olevia ohjauslaitteita emuloivia komponentteja.

4.1 Alustan yleinen rakenne



Kuva 27. Testialustan rakenne.

Testialusta koostuu kuvassa 27 näkyvistä kahdesta muovilaatikosta. Muovia on helppo käsitellä, sen rakenne on kestävä, laatikoita on helppo siirtää ja muoto mahdollistaa koko pinta-alan hyödyntämisen. Laatikot ovat kustannusystävällisiä, sekä niitä voidaan tarvittaessa pinota päällekkäin. Lisäksi laatikko on helposti kosketussuojattavissa.

AC/DC-tasasuuntaaja muuntaa verkkojännitteestä yhden vaiheen 48 voltin tasajännitteeksi ja DC/DC-konvertteri laskee jännitteen 24 volttiin käsinojalle ja ulostuloyksikölle. Ulostuloyksikkö on moduuli, joka ohjaa solenoideja, kun hydraulikkaohjaus tehdään käsinojalla. Monissa nykyaikaisissa trukeissa ulostuloyksikön toiminto on toteutettu pumppuohjaimella. Tilansäästö syystä tätä moduulia ei kytketty I/O-testialustaan, koska tämä moduuli ei ole vakiolaite trukeissa. Muuntaja ja tasasuuntaaja asennettiin spesifiseen alustaan, koska trukkien käyttöjännitteet vaihtelevat mallien mukaan, ja monissa mal-
leissa ne veisivät I/O-testialustassa turhaa tilaa.

Kaikki trukin I/O-toiminnot asennettiin I/O-alustaan. Kaasupolkimien analogiset signaalit toteutettiin potentiometreillä. Mekaanisen hydraulikkaohjauksen vivut ja digitaaliset anturit korvattiin vetokytkimillä. Lisäksi alustaan kytkettiin kaksi käsinojaa vaihtoehtoiselle hydraulikkaohjaukselle. Käsinojen hydraulikkaohjaus viestitetään CAN-väylän kautta ulostuloyksikölle ja pumppuohjaimelle. Koska CAN-väylän tiedonsiirtonopeus (Baud rate) vaihtelee trukkimalleittain, käsinojia asennettiin sekä 500 kbps:n että 250 kbps:n nopeuksille. Tämän testialustan ohjaimien tiedonsiirto tapahtuu 500 kbps:n nopeudella.

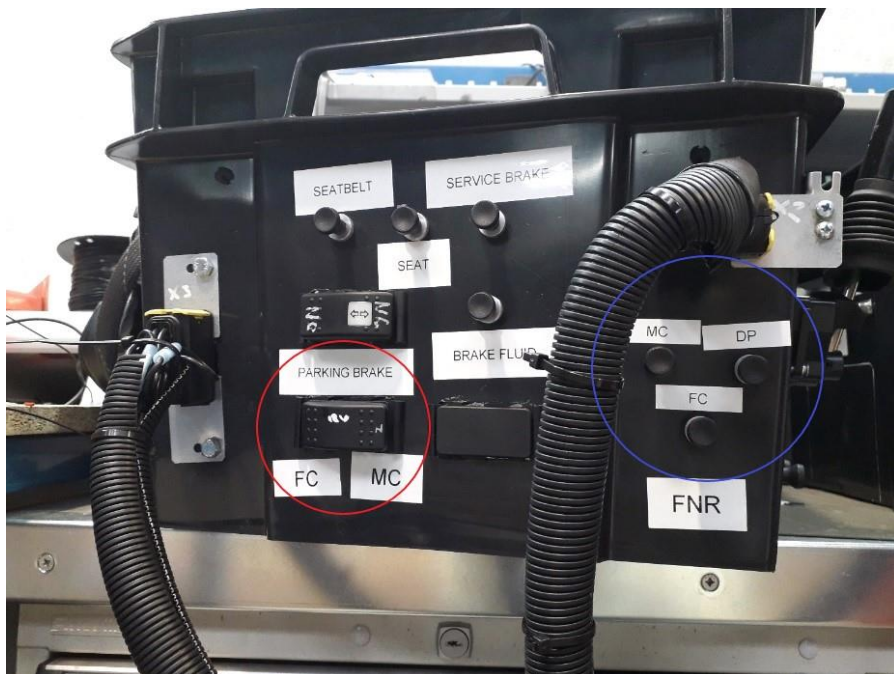


Kuva 28. Baud rate 500 kbps:n ja 250 kbps:n käsinojat.

Kuvan 28 punaisten nuolten osoittamat vivut ovat hydraulikkaohjaus vipuja. Kukin vipu liikuttaa trukin mastoa eri tavoin. Testialusta käytössä ne lähettävät signaalin, mutta pumppumoottorin ohjausta ei toteuta.

Käsinojen tiedonsiirtonopeus on laitekohtainen, eikä niitä voi ohjelmoita toimimaan eri nopeuksilla. Kaksi käsinojaa vie paljon tilaa alustalta, mutta käsinoja on yleinen hydraulikkaohjaus tapa vastapainotrukeissa. Yleisyyden takia ne asennettiin I/O-testialustaan, jotta niitä voidaan käyttää tulevien testialustojen kanssa.

4.2 Releohjaus projektissa

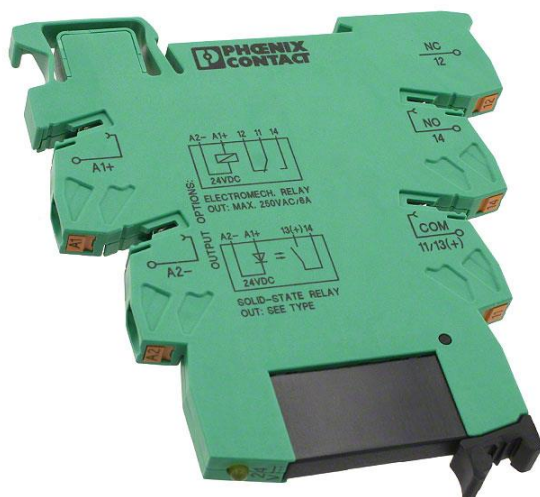


Kuva 29. I/O-alustan releohjauksien kytkimet.

I/O-testialustaan kytkettiin yhteensä 2 moniasentoista kytkintä, 13 vetokytkintä ja 19 relettä. Näillä komponenteilla emuloidaan trukin hydraulikkaohjaus ja suunnanvalinta. Kuva 29 esittää I/O-testialustaa kuvattuna etupuolelta.

4.2.1 Hydraulikkatoimintojen releohjaus

Käsinojan (FC) ja mekaanisen (MC) hydraulikkatoimintojen valinta tehdään kuvan 29 punaisella ympyröidyllä kaksiasentoisella kytkimellä. FC-asento kytkee käsinojan releiden ohjausjännitteen. Kaksi puolijohderelettä kytkevät käsinojan CAN-väylään, yksi te-horele kytkee käsinojan käyttöjännitteen päälle.

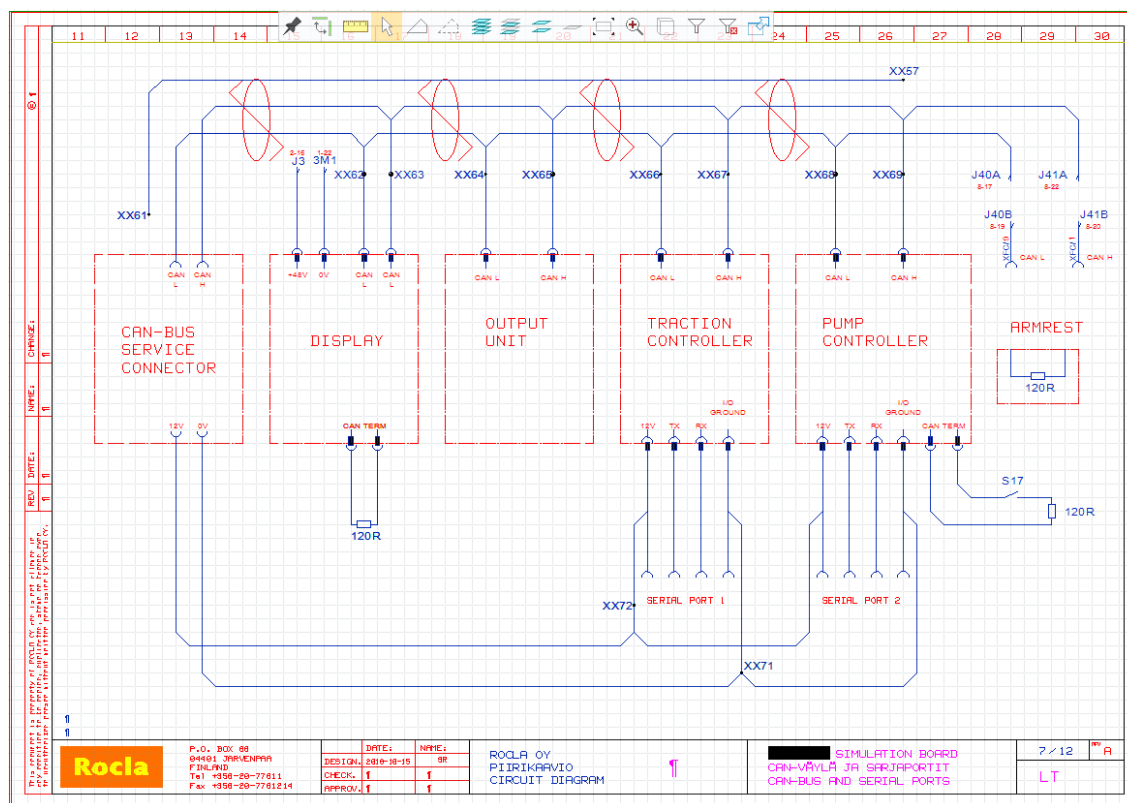


Kuva 30. 24VDC puolijohderele.

CAN-väylän ohjaamiseen valittiin puolijohdereleet, koska vikasietoisuudestaan huolimatta CAN-väylän signaali on kuitenkin herkkä ja kosketinrele aiheuttaisi mahdollisia häiriöitä. Puolijohdereleet mahdollistavat CAN-väylän ohjaamisen ilman laitteiston uudelleenkäynnistystä. Projektissa käytettiin kuvan 30 mukaisia 24 VDC:n puolijohdereleitä.

Trukeissa ohjaimet ovat kiinteästi kiinni CAN-väylässä, eikä sitä haluta muuttaa. Testialustakäytössä CAN-väylän ohjaaminen ei tuota samoja riskejä kuin liikkuvalla trukilla. Puolijohdereleen positiivinen puoli on se, ettei koskettimia ole. Koskettimien aukeamiset ja sulkeutumisets epäiltiin häiritsevän CAN-yhteyttä. Negatiivinen puoli on, että tavoiteltava resistanssi väylässä on 120 Ω ja puolijohdereleet aiheuttavat pientä häviötä. Määrä on pieni, eikä sen ole todettu aiheuttavan häiriöitä. Tämä on kuitenkin syytä huomioida, jos testialustaa laajennetaan ja CAN-väylään suunnitellaan lisää ohjaavia releitä.

Kuvassa 29 näkyvä FC/MC-kytkimen ollessa MC-asennossa puolijohdereleet ja tehorele menettävät ohjausjännitteensä ja käsinoja poistetaan virtapiiristä. MC-asennossa kuusi tehorelettä sulkevat koskettimensa ja kuusi vetokytkintä kytkeytyvät piiriin mukaan. Nämä vetokytkimet emuloivat mekaanisia hydraulikkaohjausvipuja.



Kuva 31. Projektin CAN-väylän sähköpiirustus.

Kuva 31 esittää projektin CAN-väylän sähköpiirustusta. Testausalustalla on yksi terminointivastus näyttöohjaimessa, yksi pumppuohjaimessa ja kolmas käsinojassa (kuvan 120 Ω vastukset), kun molemmat laitteistot ovat kytkettynä toisiinsa jatkokaapeleilla.

Kun I/O-testialustaa käytetään ilman käsinojaa (käytetään mekaanista hydraulikkaohjausta) kytkeytyy CAN-väylään korvaava 120 Ω:n vastus. I/O-testialustassa on aina yksi terminointivastus kytkettynä CAN-väylään. Näin ollen jokaiseen spesifiseen testialustaan on kytkettävä yksi terminointivastus kytkimen taakse, ja käyttäjän on kytkettävä yksi terminointivastuksista pois piiristä alustojen ollessa kiinni toisissaan. Pumppuohjaimen terminointivastus pidetään kytkimen takana, koska on mahdollista, että käyttäjä haluaa testata TruckTool-toimintoja ilman I/O-alustaa.

CAN-väylä, jossa on yksi ylimääräinen terminointivastus, on herkempi häiriöille ja yhteyskatkoksille, etenkin tilanteessa, jossa väylää kuormitetaan TruckToolilla.

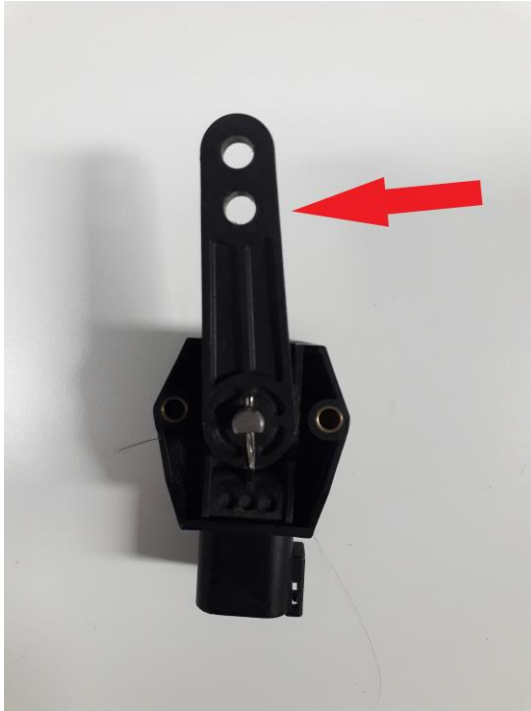
4.2.2 Suunnanvalinnan releohjaus

Suunnanvalinta vaihtoehtoja aktivoidaan kuvan 29 sinisellä ympyröidyllä kolmella vetokytkimillä. Jokaisella suunnanvalinnalla on omat releensä, joihin saadaan ohjausjännitteet vetämällä vetokytkimiä.



Kuva 32. Mikrosensorit tuplapedaali potentiometrin eteen ja taakse signaaleille.

Poljin suunnanvalinta on toteutettu kuvan 32 punaisilla ympyröidyillä kahdella mikrokytkimellä, kiinnitettyinä etummaisen potentiometrin akselin molemmin puolin. Näin akselia kääntäessä se koskettaa mikrokytkintä ja riippuen akselin kääntösuunnasta joko eteen tai taakse signaali saa arvon 1.



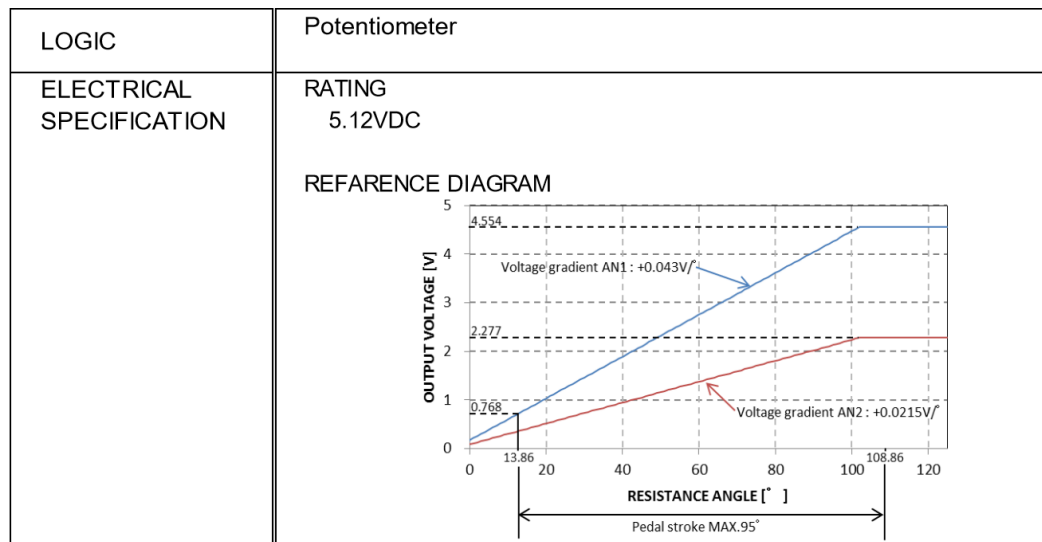
Kuva 33. Projektissa käytetty kaksi kanavainen 5 VDC potentiometri.

Kuvan 33 nuolen osoittaman vivun läpi asennettiin pitkä pultti, joka ulottuu alustan ulkopuolelle. Pulttia kääntämällä potentiometrin vipu osuu jommankumman puoleiseen mikrokytkimeen. Toinen sensori antaa trukin ohjaimelle "eteenpäin" signaalin ja toinen "taaksepäin" signaalin. Samalla potentiometri simuloi kaasupoljinta.

Käsinojan ja FNR-vivun suunnanohjauksien toteutukset ovat yksinkertaisempia. Releet kytkvät toiminnot päälle kytkintä vetäessä. FNR-vipu on mekaaninen kytkin, jolla valitaan joko eteen-, taakse- tai lepoasento. Käsinojan suunnanvalinta signaalit kulkevat CAN-väylän kautta.

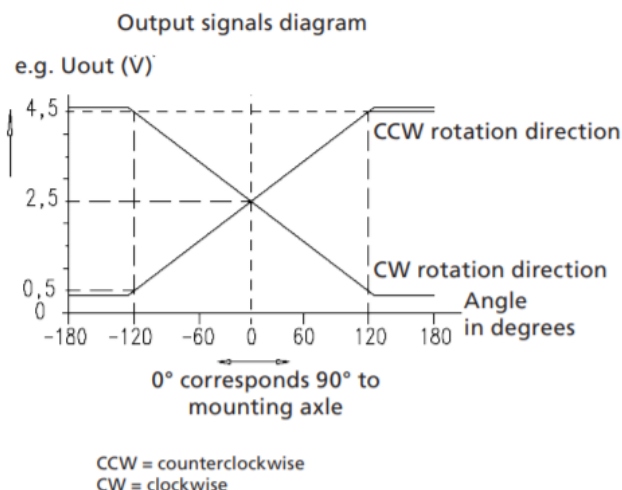
4.3 Kaasupolkimet

Potentiometrissä riippuen ulostulojännite on joko lineaarinen tai kolmiomallinen akselin liikkeeseen nähden. Tässä projektissa kaasupolkimien simuloimiseen käytettiin kolmioaaltoista signaalia tuottavia potentiometreja, joissa on lisäksi kaksi kanavaa. Toinen kanava on tarkoitettu toisen signaalin valvomiseen.



Kuva 34. Simuloitavan trukkimallin kaasupolkimen sähköinen toimintaperiaate [47].

Simuloitavan trukkimallin ajo-ohjain osaa tulkita vain kuvan 34 mukaisesti lineaarista signaalia siten, että valvova signaali on aina puolet toisesta signaalista. Poikkeavuudet aiheuttavat virhetilan. Systeemiin asennettiin sekä yksittäiselle kaasupolkimelle että kaksoispolkimelle kaksi potentiometriä. Näin ohjain ei tunnista eroa, kun toisen potentiometrin akselia liikutetaan aina puolet toisen liikkeestä. Potentiometreiltä tulevia signaaliarvoja on helppo seurata TruckToolilla.



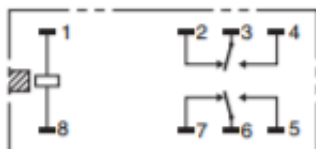
Kuva 35. Projektissa käytettyjen potentiometrien ulostulojännitteiden (luettavien signaalien) kuvaaja [48].

Kuva 35 esittää projektissa käytettyjen potentiometrien ulostulojännitteiden arvoja suhteessa potentiometrin vivun kulmaan. Potentiometrin kanavien signaaliarvot muuttuvat toisiinsa nähden käänteisesti. Monen trukkimallin kaasupolkimen toiminta on määriteltä tämän potentiometrin signaalien mukaisesti. Koska simuloitavan trukkimallin kaasupolkimen toimintaperiaate on harvinaisempi, kaasupolkimet simuloitiin kuvan 33 esittämällä potentiometreilla.

Potentiometrien asennot, jotka vastaavat kaasupolkimien lepoasentojen (polkimen mekaanista ylärajaa) signaaleja on merkitty alustaan. Merkkaukset ovat tehty käynnistyksen aikana tapahtuvan ajo-ohjaimen suorittaman tarkistuksen takia. Yksi tarkistuksen vaiheista on kaasupolkimien lepoasennon varmistaminen. Tästä poikkeaminen antaa virheilmoituksen.

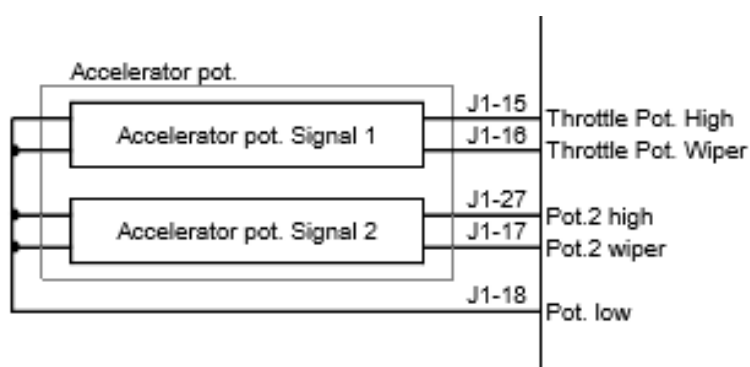
4.3.1 Kaasupolkimien sähköinen kytkentä

Simuloitavia kaasupolkimia on kolme kappaletta. Kahta kaasupoljinta käytetään, kun testialustalla testataan poljin suunnanvaihtoa. Poljin suunnanvaihto aktivoidaan sekä parametrilla että kuvassa 29 näkyvän "DP" vetokytkintä vetämällä. "DP" tulee englanninkielen sanoista Dual Pedal. Kolmas simuloitava kaasupoljin on ilman tätä suunnanvalinta toimintoa ja on lähtökohtaisesti käytössä.



Kuva 36. Kaasupolkimia emuloivien potentiometrien ohjaavan releen koskettimet.

Kytkeäntä on toteutettu kahdella tehoreleellä. Kummallakin tehoreleellä on kuvan 36 mukaisesti kuusi kosketinta, joista 3 ja 6 ovat tuloja, 2 ja 7 normaalisti kiinni koskettimia sekä 4 ja 5 normaalisti auki koskettimia. 1 ja 8 ovat releiden ohjausjännitteitä varten.

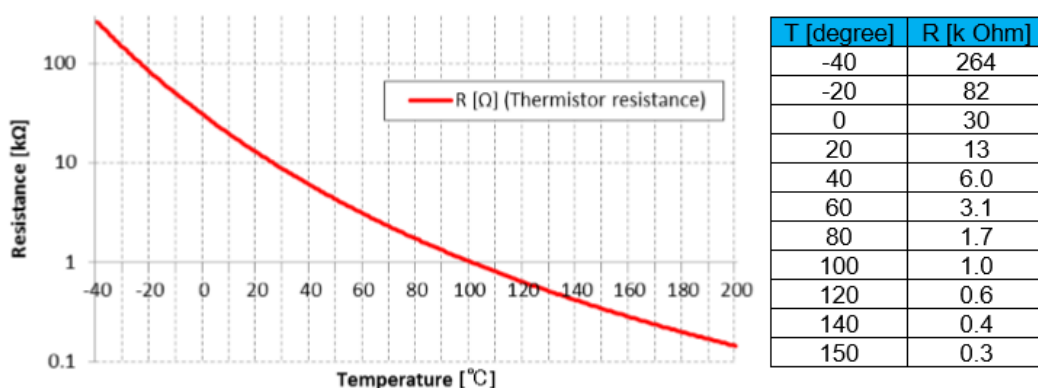


Kuva 37. Simuloitavan trukkimallin kaasupolkimien määritelmä systeemiagrammissa. Pot. High ja Pot.2 high ovat syöttöjännitteet ja Pot. Wiper ja Pot.2 wiper ovat potentiometrien ulostulot [49].

Kuva 37 esittää ohjaimen logiikan tulot ja lähdöt liittyen kaasupolkimien toimintoihin. Molemmille potentiometreille on omat vaiheensa ja ulostulosignaalin. Potentiometreilla on yhteinen nollajohdin. Releiden normaalisti kiinni koskettimet ovat yksittäistä poljinta emuloivan potentiometrin ulostulosignaalille ja syöttöjännitteelle. Normaalisti auki koskettimet ovat kaksoispolkimelle. Releiden ohjausjännitteitä ohjataan "DP" vetokytkimellä. Tämä tarkoittaa sitä, että kaksoispolkimia emuloivia potentiometreja ei voida kytkeä päälle kytkemättä samalla FNR-mikrokytkimiä piiriin.

4.4 Sensoreiden simulointi

Sensorien emuloimisen tavoitteena on karsia mahdollisimman paljon ohjaimien virhetiljoja. Penkin painoanturin, turvavyö-anturin ja jarrunesteen puimurin korvattiin vetokytkimillä. Trukkimalli on varustettu surisevalla äänimerkillä, joka indikoi kuljettajan paikalla oloa. Testialustassa kaiutin korvattiin LED-valolla ja etuvastus korvattiin suuremmalla vastuksella, jottei LED ylikuumene. Pumppumoottorin solenoidi, elektromagneettiset jarrut ja moottoreiden lämpöanturit korvattiin vastuksilla.



Kuva 38. Projektissa valmistuneen trukkimallin ohjaimien tulkinta lämpöanturien resistanssivaihteluun [50].

Moottorin lämpöantureita emuloivat vastukset mitoitettiin kuvan 38 taulukon mukaisesti siten, ettei virheilmoituksia tule. Molempien moottoreiden lämpöanturit emuloitiin 13 kΩ:n vastuksilla. Mikäli näiden arvojen muuttamiselle tulee tarvetta, korvataan vastukset potentiometreilla.

4.5 Sähkösuunnitelma ja dokumentointi

Projektin sähköpiirustukset on dokumentoitu Vertex-tietokantaan projektikansioon ”software testboards”. Tulevat TruckTool-testialusta sähköpiirustukset luodaan tähän projektikansioon. Sähköpiirustuksissa noudatettiin samanlaista piirustustapaa, kuin muissakin Roclan tietokanassa olevissa piirustuksissa. Lisäksi testialustan toimivuudesta ja ominaisuuksista on luotu dokumentti Roclan Confluenceen eli organisaatiowikiohjelmistoon.

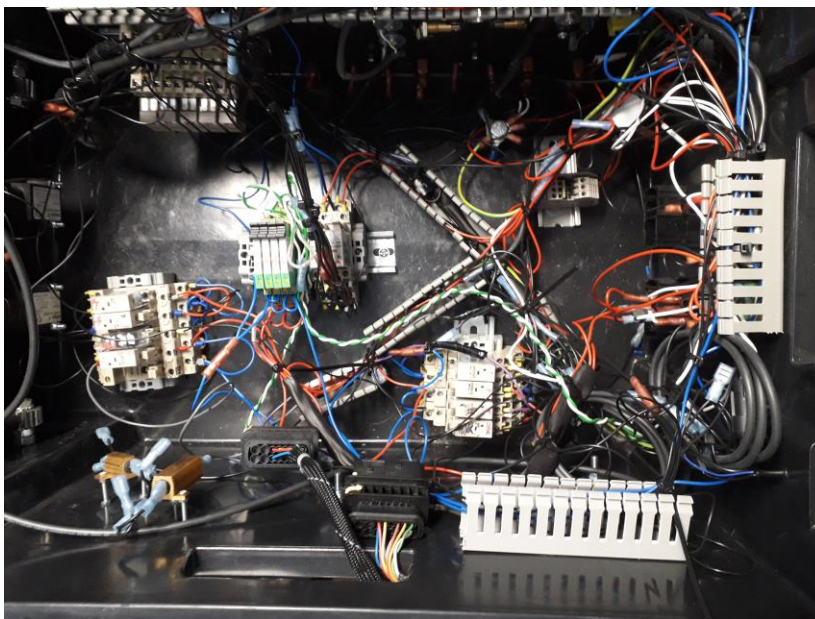
Saman projektikansion käyttäminen helpottaa uusien alustojen suunnittelua ja olemassa olevien testialustojen kytkentöjen tarkastamista, sekä muutoksien tekemistä. Uusien testialustojen suunnittelussa avaintekijänä on alustoja yhdistävien jatkokaapelien liittimien kytkennät I/O-testialustan puolelta. Liittimien pinnityksien ja trukki spesifikaatioiden mukaan varmistetaan, mitkä toiminnot ovat mahdollisia liittää uuteen testialustaan. Jatko-kaapeleita on kaksi kappaletta ja I/O-alustan puoleiset liittimet ovat nimetty X2 ja X3. Esimerkiksi X2-liittimen pinnit 5,8 ja 17 sekä X3-liittimen pinnit 1- 6 ovat varattuja digitaalille signaaleille.

4.6 Lopputestaus ja käyttöönotto

Työ on lopputestattu ja hyväksytty. Ohjaimien antamat vikakoodit on tarkastettu ja todettu, etteivät jäljelle jääneet vikakoodit vaikuta TruckTool-testaukseen.

5 Tulokset

Projektilla saavutettiin TruckTool-testeille kattava testialusta, joka emuloi kattavasti todellista trukkimallia. FC/MC- ja FNR-releohjaus mahdollistaa sähköisen muutoksen hydraulikkaohjauksessa ja suunnanvalinnassa yhdellä kytkin painalluksella. Näin ei synny enää ristiriitaa sähköisen kytkennän ja ohjaimiin asetettujen parametriarvojen välillä.



Kuva 39. I/O-testialustan sähköistys

Kuvassa 39 on I/O-testialustan sähköistys. Testilaitteiston sähköistyksessä on pyritty selkeyteen. Johtimet on vedetty kaapelikouruista, niputettu yhteen johdinsiteillä ja mahdollisuuksien mukaan kutistesukilla. Johtimien värit on valittu yleisesti käytössä olevien värien mukaisesti: vaiheet punaisilla, nollat sinisillä ja simuloitavat signaalit mustilla johtimilla.

Kattavan I/O-toimintojen lisäksi testialustasta on pyritty tekemään käyttäjäystävällinen. Kaikki alustan ohjauslaitteet on nimetty selkeästi, asennettu loogisiin paikkoihin ja toimintoista on luotu kirjalliset ohjeet.

Käyttämällä yhtä I/O-testialustaa kaikille tuleville trukkimalleille säästetään rahaa, työresursseja, komponentteja ja käyttäjien tarvitsevat käyttää aina vain yhtä testialustaa trucki

toimintojen simuloimiseen. I/O-testialustan releohjaukset on toteutettu sekä 24 V:n että 48 V:n ohjausjännitteillä. 48 V ja 24 V ovat yleisimmät sähkötrukeissa esiintyvät käyttöjännitteet. Näin varmistetaan, että kummallakin jännitetasolla toimivat trukit voidaan ainakin osittain simuloida I/O-testialustalla.

Laitteisto on edeltäjiään sähköturvallisempi. Oikosulkuriski on vältetty huolellisilla liitoksilla ja eristyksillä, liittimien puristukset on tehty asianmukaisilla liittimillä ja työkaluilla. Kosketussuojaus estää johtoihin kohdistuvaa mekaanista rasitusta ja estää tahattoman virrallisten johtimien kosketuksen. Ylivirta- ja ylijännitesuojaukset ovat otettu huomioon, väylän mitoitus ja häiriösuojaus on toteutettu huolellisesti teoriaosuudessa todettujen asioiden mukaisesti.

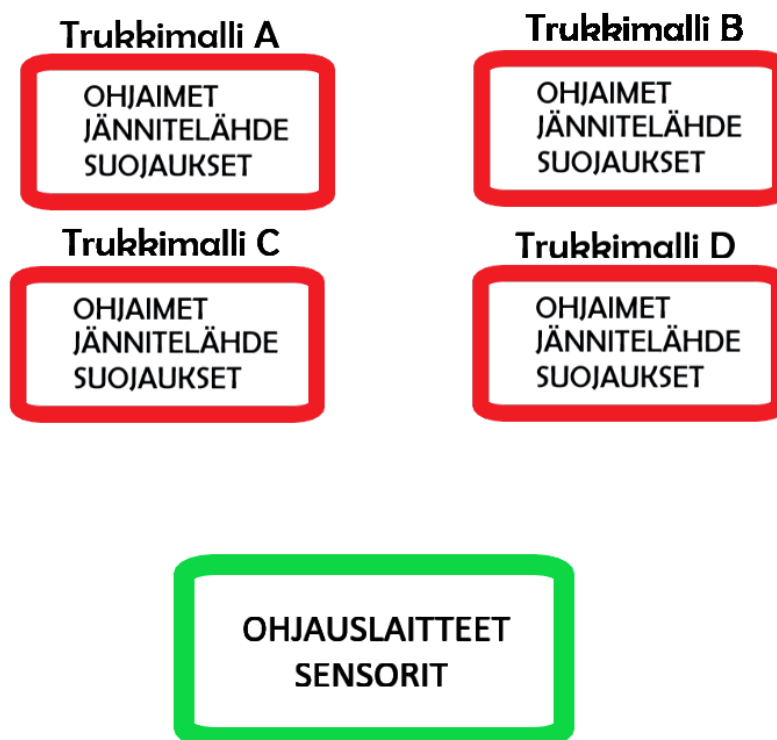
Testialustan käyttöönoton jälkeen I/O-testialustaan on tehty useita eri muutoksia ja lisäyksiä, kuten ohjauskulma-anturi ja maston korkeutta laskeva pulssianturi. Tämän lisäksi uusia potentiometrejä eri jännitearvoille on lisätty alustaan. Tällä hetkellä I/O-testialustaan on liitettävissä alkuperäisen trukkimallin lisäksi kaksi muuta mallia. Molemista trukkimalleista on tehty oma spesifinen-testialusta ja valtaosa käyttöön liittyvistä toiminnoista on asennettu I/O-testialustaan.

6 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö on osa suurempaa projektia, jonka tarkoitus on luoda kaikille Mitsubishi Logisnext yritysten uusille trukkimalleille TruckTool-yhteensopivuus. Ensimmäinen asia tuotekehitykselle on tiedostaa ja tutkia olemassa olevia heikkouksia. Opinnäytetyössä tehtiin taustatutkimusta aikaisempien testialustojen puutteista ja ongelmista. Ongelmat olivat testialustojen suppeus TruckTool-testaukselle, vikaantumisriskit, dokumentoinnin puute ja tilaa vievät ratkaisut.

Olemassa olevien TruckTool-testialustojen ongelmien perusteella asetettiin työlle tavoitteet ja suunniteltiin tavat, kuinka heikkoudet korjataan. Tavoitteita silmällä pitäen luotiin yhdelle trukkimallille sähköturvallisuuden ja koneturvallisuuden standardit täyttävän TruckTool-testialustan ja arvioitiin tavoitteissa onnistuminen.

Projektin valmistuttua jatketaan standardoitua tapaa valmistaa TruckTool-testialustoja. Tulevat trukkimallit emuloidaan kahdella eri alustalla, joista käyttäjä käyttää I/O-testialustaa. I/O-testialustaan on tehty ja tullaan tekemään vielä paljon lisäyksiä, jotta halutut trukkimallit saadaan sitä käyttämällä simuloitua.



Kuva 40. Mahdollinen tavoitetilä tulevaisuudessa.

Kuva 40 on visio tilanteesta, jossa testialustoihin luodaan langaton yhteys. Testialustat voidaan siirtää pois toimistosta, esimerkiksi samaan tilaan missä HIL on. Ongelmia tässä ratkaisussa tuottaa se, että tällä toteutuksella jokainen trukkimalli on liitettävä jatkokaapelilla käsin I/O-testialustaan. Mikäli testialustoihin luodaan langaton yhteys, TruckTool-testit jäävät suppeaksi, ellei alustojen läheisyydessä ole joku kytkemässä jatkokaapelia haluttuihin trukkimalleihin ja käyttämässä I/O-alustan ohjauslaitteita. Langattomalla yhteydellä varustetulla logiikkayksiköllä ja releillä voidaan toteuttaa spesifisien-alustojen kytkeytymisen I/O-testialustaan etänä. Tämän voi toteuttaa siten, että kaikki spesifiset testialustat liitetään I/O-testialustaan ja tietokoneella ohjataan etänä logiikkayksikköä ja sitä kautta releohjausta alustojen välillä. Tämä ei kuitenkaan poista ongelmaa siitä, ettei I/O-testialustan ohjauslaitteita voida käyttää etänä.

I/O-testialustan ohjauslaitteiden etänä käyttäminen vaatii perusteellisen muutoksen testialustaan. Digitaaliset signaalit voidaan kytkeä etänä samalla releohjaus periaatteella, kuin edellä mainitun testialustojen valinnalla. Analogiset signaalit tuottavat suuremman

ongelman. Analogisien signaalien ohjaus etänä on toteutettavissa PLC-logiikkayksiköllä, mutta toteutuksen kustannukset nousevat haluttua korkeammaksi.

Jatkossa CAN-väylän ylimääräisestä terminointivastuksesta käsinojan puolella voi toteuttaa siten, että käsinojan kytkeytyessä päälle, spesifisen-alustan ohjaimen terminointivastus kytkeytyisi pois. Tilanne on toteutettavissa puolijohdereleellä spesifisessä-testialustassa, joka saa ohjausjännitteen hydraulikkavalinta kytkimeltä. Näin käyttäjän vastuu CAN-väylän terminointivastuksien määrästä saadaan pois. Ongelman tuo vapaiden pinnien rajallinen määrä alustoja yhdistävien jatkokaapeleiden liittimissä.

Yhteenvetona voidaan todeta projektin onnistuneen tavoitteiden saavuttamisessa. Kehitetty testialusta otettiin käyttöön ja on toiminut TruckTool-testeissä hyvin. Raportissa esitetyt opinnäytetyötä edeltävät testialustat on korjattu, paranneltu ja liitetty I/O-testialustaan. Visio I/O-testialustan liittämistä muihin alustoihin on toiminut toistaiseksi moitteetta.

Lähteet

1. Tietoa Roclasta. Verkkoaineisto. Rocla Oy. <http://www.rocla.com/fi/tietoa-roclasta>. Luettu 16.09.2018.
2. Logisnext brands. Verkkoaineisto. Mitsubishi Logisnext Co. <https://www.logisnext.com/en/>. Luettu 16.09.2018.
3. Logisnext products. Verkkoaineisto. Mitsubishi Logisnext Co. <https://www.logisnext.com/en/product/mitsubishi.html>. Luettu 21.01.2019.
4. Mohan, Ned; Undeland, Tore & Robbins, William. Second Edition. Power Electronics. s. 14.
5. Erilaisia sähkötrukkeja. Verkkoaineisto. Rocla Oy. <http://www.rocla.fi/trukit>. Luettu 29.03.2019.
6. Trukkityypit. Verkkoaineisto. Rocla Oy. <http://www.rocla.com/en/products>. Luettu 16.09.2018.
7. Trukit. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Trukki>. Luettu 16.09.2018.
8. Vastapainotrukit. Verkkoaineisto. Rocla Oy. <http://www.rocla.fi/trukit/cat-vastapainotrukit-roclasta>. Luettu 19.09.2018.
9. Yrityksen sisäinen dokumentti.
10. Sähkökäyttöiset vastapainotrukit 48V, 1,4-2,0 tonnia tekninen erittely. Rocla Oy. http://www.rocla.fi/sites/default/files/content/attachments/ep13-20cpnt_esite_fin_cfisc1463_03_12_1_1.pdf
11. Yrityksen sisäinen dokumentti.
12. Sähkökäyttöiset vastapainotrukit 48V, 1,4-2,0 tonnia tekninen erittely. Rocla Oy. http://www.rocla.fi/sites/default/files/content/attachments/ep13-20cpnt_esite_fin_cfisc1463_03_12_1_1.pdf
13. Engine control unit. Verkkoaineisto. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Engine_control_unit. Luettu 23.01.2019.
14. Firmware. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Firmware>. Luettu 29.01.2019.

15. Kuva. Verkkoaineisto. COMBIAC0 & ACE0 user manual. Zapi S.p.A. <https://www.zapiinc.com/sites/default/files/ZAPI%20AC3-AC4%20Manual.pdf>. Connection drawing. s. 29. Haettu 10.04.2019.
16. Kuva. Verkkoaineisto. Zapi ACE2 250A ohjain. <https://www.emcelectricvehicles.com.au/emc-controller-zapi-ace-2.html>. Haettu 22.03.2019.
17. Curtis SE-series controller technical specifications. Tekninen erittely. Curtis. https://cdn.curtisinstruments.com/products/datasheets/SESeries_datasheet_en.pdf. Luettu 22.03.2019.
18. Motor vector control. Verkkoaineisto. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_control_\(motor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_control_(motor)). Luettu 23.01.2019.
19. Curtis SE-series controller technical specifications. Tekninen erittely. Curtis. https://cdn.curtisinstruments.com/products/datasheets/SESeries_datasheet_en.pdf. Luettu 22.03.2019.
20. Curtis SE-series controller technical specifications. Tekninen erittely. Curtis. https://cdn.curtisinstruments.com/products/datasheets/SESeries_datasheet_en.pdf. Luettu 12.02.2019.
21. Engine control unit. Verkkoaineisto. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Engine_control_unit. Luettu 12.11.2018.
22. Kuva. Verkkoaineisto. <https://www.teslacables.com/en/product/323>. Haettu 15.11.2018.
23. Can-bus. Verkkoaineisto. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus, Electrical properties. Luettu 14.11.2018.
24. Galvaaninen kytkeytyminen. Verkkoaineisto. Wikipedia. https://fi.wikipedia.org/wiki/Galvaaninen_kytkeytyminen. Luettu 20.03.2019.
25. Yhteismuotoinen ja eromuotoinen kytkeytyminen. Verkkoaineisto. Wikipedia. https://fi.wikipedia.org/wiki/Galvaaninen_kytkeytyminen#/media/File:DMCmsijais.png. Luettu 21.03.2019.
26. Galvaanisesti kytkeytyvät häiriöt. Verkkoaineisto. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. <https://docplayer.fi/12091691-Johtuvat-hairiot-eli-galvaanisesti-kytkeytyvat-hairiot.html>. Luettu 21.03.2019.
27. Kuva. Verkkoaineisto. Murata Manufacturing. <https://www.murata.com/en-us/products/emc/ferrite/basic/reason>. Haettu 11.04.2019.

28. Ferrite bead. Verkkoaineisto. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Ferrite_bead. Luettu 11.04.2019.
29. Kuva. Verkkoaineisto. Peak Systems Inc. www.peak-system.com. Haettu 19.03.2019.
30. Peak-USB-adapteri. Verkkoaineisto. Peak-systems Inc. <https://www.peak-system.com/PCAN-USB.199.0.html?&L=1>. Luettu 20.03.2019.
31. Galvaaninen erotus. Verkkoaineisto. Wikipedia. https://fi.wikipedia.org/wiki/Galvaaninen_erotus. Luettu 20.03.2019.
32. Noise suppression basic course. Verkkoaineisto. Murata Manufacturing. <https://www.murata.com/~media/webrenewal/products/emc/emifil/know-how/26to30.ashx>. Luettu 10.04.2019.
33. Can bus explained. Verkkoaineisto. CSS electronics. <https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-to-can-bus/language/en>. Haettu 14.11.2018.
34. Term node. Verkkoaineisto. Vangie, Beal. <https://www.webopedia.com/TERM/N/node.html>. Luettu 07.03.2019.
35. Kuva. D9-liitin. <https://www.db9-pinout.com/>. Haettu 20.02.2019.
36. Yrityksen sisäinen dokumentti.
37. Yrityksen sisäinen dokumentti.
38. EEPROM definition. Verkkoaineisto. <https://whatis.techtarget.com/definition/EEPROM-electrically-erasable-programmable-read-only-memory>. Päivitetty 03.2010. Luettu 19.11.2018.
39. What is Hardware-in-the-Loop (HIL) Testing?. Verkkoaineisto. VanGilder, Todd. <https://www.winemantech.com/blog/what-is-hardware-in-the-loop-hil-testing>. Luettu 22.03.2019.
40. Kuva. 2014. Verkkoaineisto. https://www.researchgate.net/figure/A-typical-HIL-test-environment_fig1_266353197. Haettu 22.03.2019.
41. Haikala, Ilkka & Märijärvi, Jukka. 2003. Ohjelmistotuotanto. 9., uudistettu painos. Helsinki: Talentum. s. 286.
42. Haikala, Ilkka & Märijärvi, Jukka. 2003. Ohjelmistotuotanto. 9., uudistettu painos. Helsinki: Talentum. s. 287.

- 43. Haikala, Ilkka & Märijärvi, Jukka. 2003. Ohjelmistotuotanto. 9., uudistettu painos. Helsinki: Talentum. s. 287-288.
- 44. Haikala, Ilkka & Märijärvi, Jukka. 2003. Ohjelmistotuotanto. 9., uudistettu painos. Helsinki: Talentum. s. 288.
- 45. Haikala, Ilkka & Märijärvi, Jukka. 2003. Ohjelmistotuotanto. 9., uudistettu painos. Helsinki: Talentum. s. 287.
- 46. SFS 6002. Sähkötyöturvallisuus. 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 47. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 48. Angle sensor 424D technical specifications. Verkkoaineisto. Elobau GmbH.
<https://www.elobau.com/en/sensors/angle-sensor-424d>. Luettu 5.3.2019.
- 49. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 50. Yrityksen sisäinen dokumentti.



mars-kai circuit diagram.pdf

