



Jyrki Repo

Dieselmoottoritekniikan, ajoneuvo- väylätekniikan ja hydrauliiikan opetuslaitteisto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvo- ja konetekniikka

Insinöörityö

30.11.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Jyrki Repo
Otsikko:	Dieselmoottoritekniikan, ajoneuvoväylätekniikan ja hydrauliiikan opetuslaitteisto
Sivumäärä:	57 sivua + 1 liite
Aika:	30.11.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvo- ja konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat:	Lehtori Pasi Kovanen

Projektissa suunniteltiin ja toteutettiin dieselmoottoritekniikan, väylätekniikan ja hydrauliiikan opetuslaitteisto Pohjois-Karjalan koulutuskuntayhtymä Riverian teknologian osastolle. Laitteisto suunniteltiin ja toteutettiin yhteistyössä Agco Power Oy:n Linnavuoren tehtaalla ja Valtra Oy Ab:n Suolahden tehtaalla kanssa. Opinnäytetyön tekijä toimi projektissa suunnittelijana ja projektipäällikkönä.

Laitteisto koostuu Valtra T154 traktorin Agco 66HD-moottorista, joka irrotettiin Valtra Oy Ab:n lahjoittamasta traktorista. Moottoriin kytkettiin yksinkertainen hydraulikkajärjestelmä, jolla moottoria voidaan kuormittaa. Hydraulikkajärjestelmään rakennettiin tiedonkeruulaitteisto ja hydrauliiikan ohjaukseen asennettiin puolijohdesähkökeskuskella toteutettu logiikka.

Moottorin sekä hydraulijärjestelmän tilojen tarkastelua ja laitteiston käyttöä varten rakennettiin ohjauskonsoli, johon asennettiin kaksi tietokonetta. Tietokoneisiin rakennettiin kolme näyttöä kumpaankin ja näytöt kahdennettiin siten, että tiedonkeruujärjestelmien ja diagnostiikkalaitteistojen tietoja voidaan esittää opiskelijoille kuuden suurikokoisen näytön kautta, jotka asennettiin kontin katosta riippuvaan telineeseen.

Laitteisto asennettiin sivusta aukeavaan rahtikonttiin, joka varustettiin koukkukuljetusvalmiudella. Konttiin rakennettiin opetuslaitteiston lisäksi sähköjärjestelmä, valaistus ja sähkölämmitys.

Projekti valmistui alkuperäisen budjetin mukaisesti ja onnistui teknisesti hyvin. Laitteisto on asiakkaan mukaan laadukkaasti toteutettu, ja sen tulevaisuuden käyttömahdollisuudet ammatillisten aineiden opetuskäytössä ovat laajat.

Avainsanat: dieselmoottorit, väylätekniikka, hydrauliiikka, opetuslaitteisto

Abstract

Author: Jyrki Repo
Title: Learning Environment of Diesel Engine Technology, Vehicle Bus Technology and Hydraulics
Number of Pages: 56 pages + 1 appendix
Date: 30 November 2021

Degree: Bachelor's Degree (UAS)
Degree Programme: Automotive and Mechanical Engineering
Professional Major: Automotive Design Engineering
Supervisors: Pasi Kovanen, Senior Lecturer

In this Bachelor's thesis a learning environment was developed and built to be used for teaching diesel engine technology, vehicle bus technology and hydraulics at the municipal education and training consortium, Riveria, in Joensuu. The project was conducted in co-operation with Agco Power Oy and Valtra Oy Ab. The author of the thesis possessed roles as a main designer and a project manager.

The equipment was built around an Agco 66HD-engine that was disassembled from a fully operational Valtra T154 tractor. A hydraulic system was fitted on to the engine, to be used as an artificial load. Hydraulics were furnished with data acquisition system and a logical control, implemented with a solid state power management unit.

A console was built for the operator to view data and control the system. The console was equipped with two computer units. Three small displays were installed for each computer, for the operator to use. The small displays were duplicated in larger display units that were installed into a rig that was mounted on the ceiling of the container.

The whole system was installed into an open side, swap body type - freight container. The container was equipped with electric grid, lighting and heating systems.

The project was finished within the original budget, and in general, was a success. The commissioner is pleased with the finishing level of the build.

The system can be used as a learning environment for wide range vocational courses and exercises.

Keywords: Valtra, Agco, Riveria, diesel engine, vehicle bus technology, hydraulics, learning environment

Sisälllys

1	Johdanto	7
2	Riveria ja yhteistyöyritykset	8
3	Laitteistolta vaaditut ominaisuudet, budjetti ja aikataulu	9
3.1	Laitteistolle asetetut vaatimukset	10
3.2	Resurssit	10
3.3	Budjetti	11
3.4	Aikataulu	12
3.5	Pohdintoja aikataulusta ja projektijohtamisesta	13
4	Hankinnat ja Riverian hankintaohje	14
4.1	Alle 3000 euron hankinnat	15
4.2	3000 – 10 000 euron hankinnat	15
5	Tekniset osakokonaisuudet ja niiden hankintaan liittyvät prosessit	16
5.1	Hydrauliikka	16
5.2	Esitystekniikka	18
5.3	Tiedonkeruu	21
6	Mekaniikkasuunnittelu	24
6.1	Moottori ja suoraan siihen liittyvät rakenteet	24
6.1.1	Moottoripukki	24
6.1.2	Kytinkoppa ja pumpun kiinnitys	25
6.1.3	Polttoainelaitteisto	26
6.2	Hydrauliikka	26
6.2.1	Pumpun valinta	27
6.2.2	Hydraulikoneikon kannatinkehikko	29
6.2.3	Hydrauliikan jäähdytys	29
6.3	Letkutus ja piirikaavio	30
6.4	Tiedonkeruu	31
6.4.1	Lämpöanturien valinta	32
6.4.2	Paineanturien valinta	32

7	Sähköjärjestelmä	33
7.1	KytKentäkaavio	33
7.2	Liitinrunkojen pinout-kaaviot	34
7.3	Mittaristokonsoli	36
7.4	MaxxECU ja PDM	37
7.5	Käynnistysrele	38
7.6	Sähköjärjestelmän rakentamiseen liittyvät haasteet	39
8	CAN-väylät	41
8.1	Ajoneuvo- ja moottoriväylät	41
8.2	CAN-viestien avaaminen MaxxECUlla	43
8.3	Tietojen allokointi järjestelmämuuttujaksi	44
8.4	Kaasun asennon dekodaus CAN-viestistä	44
8.5	Yleisempi datan dekodaus CAN-analysaattorilla	45
9	PDM:llä toteutettu sähköjärjestelmän ohjaus	46
9.1	Käynnistuksen estoon liittyvät suojaominaisuudet	46
9.1.1	Starttireleen kytkentä	46
9.1.2	Käynnistuksen ohjauksen ja ehtojen kytkentä sekä asetukset	47
9.2	Kuormakytkimen ohjaus	48
9.3	Pohdinnat MaxxECUn käytöstä logiikkaohjaimena	51
10	Laitteiston käyttö ja jatkokehitys	51
10.1	Laitteiston käyttöönotto ja moottorin käynnistäminen	51
10.2	Laitteiston käyttömahdollisuudet opetuskäytössä	52
10.2.1	Dieselmoottoritekniikka	52
10.2.2	Ajoneuvosähkötekniikka	53
10.2.3	Väylätekniikka	53
10.2.4	Hydrauliikka	54
11	Loppupäätelmät	54
	Lähteet	55
	KytKentäkaavio	56

Liite 1: KytKentäkaavio

Lyhenteet

- CAN: *Controller Area Network*, ajoneuvon sähköjärjestelmässä kulkeva tiedonsiirtoväylä
- PDM: *Power Delivery Module*, puolijohteilla toteutettu sähkökeskus, jota voidaan ohjata analogisesti tai digitaalisesti
- PWM: *Pulse Width Modulation*, Pulssinleveysmodulaatio, tapa ohjata pulssin käyttösuhdetta moduloimalla kanttiaallon leveyttä
- OBD: *On Board Diagnostics*, ajoneuvon omaan ohjainlaitejärjestelmään sisäänrakennettu diagnoosijärjestelmä ja vikamuisti
- PID: *Proportional-Integral-Derivative*, osamäärä-integraali-derivaatta, esimerkiksi paineiden ja kierroslukujen ohjauksessa käytetty takaisin-kytketty ohjaustapa

1 Johdanto

Suomessa järjestetään liian vähän raskaan kaluston mekaanikkojen koulutusta. Työpaikoilla on pula osaajista, ja tilanne pahenee, kun suuret ikäluokat eläköityvät. Tämän ovat huomanneet muiden muassa Raskone Oy, joka on lähtenyt ratkaisemaan ongelmaa aktiivisella oppilaitosyhteistyöllä Tampereen Aikuiskoulutuskeskuksen kanssa (1).

Raskaan kaluston tekniikka on haastavaa opettaa, sillä tekniikka on monimutkaista ja laitteistojen kirjo on valtava. Niinpä opetuksen järjestäminen on myös kallista.

Toinen vähintään yhtä merkittävä haaste on se, että raskas kalusto ei ole peruskoulusta tai lukiosta valmistuville nuorille kiinnostava ala. Opiskelijoiden mielenkiintoa yritetäänkin herätellä jokavuotisilla toisen asteen oppilaitosten yhteisillä tapahtumilla, jossa eri alat esittäytyvät kahdeksannen ja yhdeksännen luokan opiskelijoille.

Tässä projektissa toteutettiin traktorin moottorista, hydraulikuormasta ja esitystekniikasta koostuva mobiili laitteisto, joka pyrkii vastaamaan kaikkiin noihin haasteisiin. Yhtäältä laitteisto edustaa modernia teknologiaa Adblue-pohjaisine pakokaasun jälkikäsittelylaitteineen. Laitteisto rakennettiin liikuteltavaksi, jotta sitä voidaan käyttää eri kampuksilla ja erilaisissa koulutuksissa missä tahansa, mihin vaihtolava-autolla pääsee.

Toisaalta laitteisto rakennettiin visuaaliseksi ja näyttäväksi yksiköksi, jolla voidaan houkutella nuoria isojen koneiden pariin esimerkiksi Toisen Asteen Yhteys-tapahtumissa ja erilaisissa tempauksissa.

2 Riveria ja yhteistyöyritykset

Työn tilaaja on Pohjois-Karjalan koulutuskuntayhtymä Riveria, joka on Itä-Suomen suurin ammattioppilaitos. Riveriassa opiskelee yli 14 000 opiskelijaa (2). Riveria tarjoaa opetusta Joensuussa, Kiteellä, Lieksassa, Nurmeksessa, Outokummussa ja Valtimolla. Riverian opetus kattaa yli sata eri toisen asteen tutkintoa.

Projektin opetuslaitteisto toteutettiin Riverian teknologiayksikön auto-, logistiikka-, maatalous- sekä kaivos-, maarakennus- ja infrarakentamisalojen yhteiskäyttöön.

Laitteisto rakennettiin Riverian Autoalan tiloissa. Autoala on jakautunut kahdelle eri kampukselle, Joensuun Peltolaan ja Nurmekseen.

Projektin alkaessa olin töissä Riverian Autoalalla päätoimisena tuntiopettajana ja kansainvälisten asioiden vastaavana.

Agco Power Oy on maatalouskoneiden moottoreita, voimansiirtoja, sekä niiden osia valmistava yritys, jonka Suomen pääkonttori sijaitsee Nokian Linnavuorella. Agco Power Oy on osa Amerikkalaista Agco Corporationia.

Valtra Oy Ab on myös Agco Corporationin omistama maatalouskoneita valmistava yritys, jonka toimipiste sijaitsee Suolahdessa. Agco Corporation on maailman kolmanneksi suurin maatalouskoneiden valmistaja, ja se omistaa Valtran lisäksi lukuisia tehtaita ja tuotemerkkejä ympäri maailman.

Valtra Oy Ab lahjoitti Riverian teknologiayksikölle koeajoissa käytetyn T154-traktorin (kuva 1). Traktorista irrotettiin moottori apulaitteineen sekä Valtran

öljypohja-apurunko ja osa sähköjärjestelmää.



Kuva 1. Valtra T154

Linnavuoren moottoritehdas toimitti projektiin paitsi korvaamatonta konsultointiapua, myös muiden muassa hydraulipumpun kiinnitykseen tarvittavat vauhtipyörän ja kytkinkopan sekä WinEEM-diagnostiikkatyökalut.

3 Laitteistolta vaaditut ominaisuudet, budjetti ja aikataulu

Riverian Autoalan koulutuspäällikkö ja joukko opettajia vierailivat Suolahdessa Valtran vieraana. Minä en vielä tässä vaiheessa kuulunut kyseisen projektin suorittavaan organisaatioon. Vierailun yhteydessä Valtra lahjoitti Riverialle tuotekehitysosaston koeajokäytössä olleen traktorin, joka kuljetettiin Riverian Nurmeksen yksikköön.

Minun osaltani projekti alkoi vierailulla Linnavuoren moottoritehtaalla helmikuussa 2020. Linnavuoressa tutustuimme moottoritehtaan opetusmoottoriin ja sen ympärille koottuun opetuslaitteistoon.

Vierailun jälkeen pidimme palaverin koulutuspäälliköiden kanssa. Palaverissa linjattiin laitteistolta vaadittuja teknisiä ominaisuuksia, määriteltiin rahoitus ja toteutukseen osallistuvan henkilöstön roolit.

Minut valittiin projektipäälliköksi. Samalla minulle annettiin vastuu projektin toteuttamisesta sekä vapaudet toteuttaa laitteisto haluamallani tavalla.

3.1 Laitteistolle asetetut vaatimukset

Laitteistolla on kaksi käyttötarkoitusta. Ensisijaisesti laitteisto toimii liikuteltavana opetus- ja harjoitustyöalustana opetustyössä. Liikuteltavuus on tärkeää, jotta laitteistoa voidaan helposti kuljettaa kampukselta toiselle.

Opetuslaitteistona moottorin tuli olla käyntikuntoinen ja sitä täytyi pystyä kuormittamaan riittävästi. Tämä on edellytys sille, että pakokaasun jälkikäsittelylaitteisto lämpenee ja siten käynnistyy. Moottorin ja jälkikäsittelylaitteiston tiloja täytyisi pystyä esittämään visuaalisesti, joten laitteistoon tuli asentaa suuria näyttöjä.

Toissijaisena vaatimuksena oli visuaalisuus ja viimeistelty kokoonpano. Kun laitteisto olisi näyttävä, sitä voitaisiin käyttää Riverian opiskelijarekrytoinnin välineenä.

Yksi laitteiston käyttökohteista tulee olemaan raskaaseen kalustoon liittyvien koulutusten esittely vuosittaisessa Toisen Asteen Yhteys -tapahtumassa, jossa toisen asteen oppilaitokset esittäytyvät kahdeksannen ja yhdeksannen luokan opiskelijoille.

3.2 Resurssit

Toimin siis itse projektipäällikkönä. Projektipäällikön täytyisi määritelmällisesti koordinoida käytössä olevia resursseja siten, että projekti saadaan valmiiksi, sille asetetun aikataulun ja budjetin puitteissa.

Optimitilanteessa projektipäälliköllä olisi käytössään suunnittelijoiden, alihankkijoiden ja käytännön toteutukseen tarvittavien työntekijöiden armeija. Käytännössä näin ei kuitenkaan läheskään aina ole, joten projektipäällikkö joutuu hoitamaan monia muitakin tehtäviä, kuten suunnittelu- ja asennustyötä. Niin kävi tämänkin projektin tapauksessa.

Oppilaitosprojektina tarkoitus oli hyödyntää laitteiston rakentamiseen liittyviä töitä opiskelijoiden harjoitustöinä. Kaikki sellaiset työtehtävät, jotka voitaisiin

sisällyttää opetukseen opetussuunnitelman edellyttämällä tavalla, teetettäisiin opiskelijoilla.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan projektiin tulisivat osallistumaan myös opettajakollegat sekä työnjohdollisena että suunnitteluapuna.

Riverialla on toimitussopimuksia lukuisten eri alihankkijoiden kanssa, joten osa hankinnoista ja aliurakoinnista teetettäisiin heillä.

Halusin vielä korostaa hankinnoissa paikallisuutta ja työllistää nimenomaan joensuun alueen yrityksiä.

3.3 Budjetti

Julkisissa projekteissa on tavallista, että tämänkaltaiselle toteutukselle luodaan hanke, jolle järjestetään erillinen rahoitus. Hanke on yleistermi, jolla tarkoitetaan erikseen organisaation toimintasuunnitelmaan määriteltyä projektia, jolla on tarkkaan määritelty aikataulu, henkilökunta ja rahoitus.

Hankkeen perustaminen on aikaa vievä byrokraattinen prosessi. Koska laitteisto toteutettiin usean eri alan yhteistyöprojektina, kulut yksikköä kohden jäivät pieniksi. Näin ollen projektille ei aloitettu uutta hanketta. Tällä tavoin selvittiin merkittävästi kevyemmällä byrokratialla. Tästä tarkemmin luvussa 4, Hankinnat.

Hankkeen perustamisen sijaan projekti toteutettiin suoraan alojen operatiivisesta rahoituksesta. Budjettikatoksi määriteltiin 10 000 euroa (sis alv 24 %) per koulutusala eli yhteensä 50 000 euroa.

Budjetin seuraaminen oli käytännössä mutkikkaampaa kuin voisi luulla. Osa sopimustoimittajista antaa kauppasummat vain eri pyynnöstä, ja silloinkin ne saadaan joskus ja jostain. Käytännössä jouduin pitämään kirjaa pyöristetyillä summilla ja arvioimalla alihankintakuluja.

Kun laitteisto oli luovutettu, haettiin kirjanpidosta projektin viitteellä merkityt laskut ja voitiin todeta, että budjetti piti ja laskujen ja kulujen yhdistetty loppusumma jäi alle 49 000 euron.

3.4 Aikataulu

Varsinainen aloituspalaveri pidettiin maaliskuussa 2020. Alkuperäisen aikatauluhahmotelman mukaan laitteiston olisi pitänyt olla käyntikunnossa vuoden 2020 loppuun mennessä.

Hyvin pian Linnavuoren tehdasvierailun jälkeen koronasulku kuitenkin siirsi sekä opiskelijat että henkilökunnan etätöihin ja kampukset lukittiin. Projektin käytännön toteutus ei siten edennyt lainkaan maaliskuu-kuussa 2020.

Kun lähiopetukseen palailtiin elokuussa 2020, Nurmeksen opiskelijat olivat aloittaneet traktorin purkamisen. Silloin aikataulu määriteltiin uusiksi siten, että laitteisto tulisi valmiiksi toukokuun loppuun 2021 mennessä.

Heti projektin aluksi voimaan tulleen koronasulun takia käytännön toteutusta ei voitu edistää lainkaan lähes puoleen vuoteen. Tänä aikana pystyin tekemään tiettyjä suunnitelmia ja hankintapäätöksiä, mutta varsinainen toteutus viivästyi tämän johdosta useita kuukausia. Niinpä projektille asetettiin uusi deadline, toukokuuhun 2021.

Lokakuussa 2021 koronan uusi aalto pakotti kuitenkin uudelleen etäopetukseen. Tässä välissä traktorin oli jo purettu Nurmeksessa ja moottori osineen toimitettu marraskuussa Riverian Peltolan-kampukselle Joensuuhun.

Vuoden 2020 päätteeksi työsuhteeni Riverian kanssa päättyi ja jatkoin projektin parissa yhden päivän viikossa.

Projekti eteni siten, että suunnittelin perjantain työtehtävät alustavalla viikolla. Jos joku osa puuttui tai homma meni pieleen, asiaa päästiin korjaamaan aina viikon kuluttua. Virheiltä kuitenkin päästiin välttyttyä ja projekti eteni suunnitellusti koko alkutalven.

Itse laitteistoa päästiin rakentamaan helmikuussa 2021, kun sain projektiin avukseni neljän aikuisopiskelijan ryhmän Nurmeksesta.

Tämän työryhmän toimesta rakennettiin koko opetuslaitteiston runkona toimiva metallikehikko. Lisäksi toteutettiin hydraulijärjestelmä letkutus ja letkujen asennus yhteensä kolmen viikon mittaisten lähijaksojen aikana helmi-huhtikuussa.

Samaan aikaan, kun laitteiston teräsrakenteita ja hydraulikkaa toteutettiin, siirryin itse suunnittelemaan laitteiston sähköjärjestelmää.

Olin varannut itselleni toukokuusta kolme viikkoa laitteiston viimeistelyyn. Projekti eteni isoin askelin ja työssä hyödynnettiin paitsi opiskelijoita myös paikallisia yrityksiä. Aika kuitenkin loppui kesken. Lisäksi muutamia tärkeitä komponentteja oli kadonnut kevään aikana kuljetuksessa.

Kesäkuun alussa aloitin uudessa päivätyössä Simpeleellä, joten projekti jäi odottelemaan syksyä. Elokuussa jatkoin projektia päivän viikossa ja syyskuussa sainkin laitteiston siihen pisteeseen, että se toteutti ne asiat, jotka aloituspalaverissa määriteltiin. Laitteisto valmistui siis neljä kuukautta myöhässä, josta kaksi kuukautta kului ammattioppilaitoksen kesälomaan.

3.5 Pohdintoja aikataulusta ja projektijohtamisesta

Projektin edetessä opin, että resurssien varaaminen on avainasemassa aikataulussa pysymiseen. Projektin aikana olisi ollut olennaista kommunikoida kollegoiden kanssa ja järjestellä opiskelijoita työskentelemään laitteiston parissa.

Oppilaitosympäristö on kuitenkin haastava resurssien kannalta, sillä opiskelijoita on vaikea saada sitoutumaan ja poissaolojen johdosta opiskelijavoimin toteutettavien osuuksien aikatauluja on joskus mahdoton suunnitella. Lisäksi opiskelijoiden valmius työskennellä ilman jatkuvaa valvontaa ja opastusta vaihtelee.

Myös opettajakunta on tällä hetkellä ylikuormitettua. Opetushenkilökuntaa on liian vähän ja päivittäisiä työtehtäviä sekä suoranaisesti opetukseen liittymätöntä työtä on liikaa. Opettajien motivaatio sisällyttää mitään ylimääräistä omaan arkeensa on matala.

Käytännössä kaikki tämä olisi ollut ratkaistavissa aikataulutetulla kommunikoinnilla, esimerkiksi sillä, että olisin osallistunut opettajien viikkopalaveriin, joissa projektiin liittyviä tehtäviä olisi voitu käydä läpi kollegoiden kanssa yhdessä.

Nyt päädyin tekemään ison osan asennustöistä itse, eikä tämä ole aina optimaalista. Johtamiskykyinen resurssi täytyisi aina pystyä varaamaan sinne, missä johtamista tarvitaan, ja perustason työtehtävät pitäisi pyrkiä toteuttamaan perustason resursseilla.

4 Hankinnat ja Riverian hankintaohje

Tämän kaltaisten projektien läpiviennissä hankinnoilla on merkittävä rooli. On tasapainoiltava laadun, saatavuuden, hinnan ja teknisten ominaisuuksien välillä. Hankinta- ja kilpailuttamisosaaminen on avainasemassa, kun luodaan tämän opetuslaitteiston kaltaista teknistä kokonaisuutta.

Kun seuraa julkisrahoitteisia hankkeita, moni projekti lähtee väärille raiteille jo hankintavaiheessa. Kilpailutettaessa ei osata asetella hankinnan ehtoja oikein, tai hyväksytään epärealistinen tarjous.

Kuten kaikilla julkisilla organisaatioilla, Riverialla on tarkat hankintaohjeet. Hankintaohjeet määrittelevät siis hankintaan liittyvän byrokratian tason riippuen hankinnan suuruudesta.

Koska koko laitteiston kokonaiskustannus budjetoitiin alle 10 000 euroksi per koulutusala, projekti voitiin toteuttaa pienhankintana. Silloin organisaation ei tarvinnut kilpailuttaa koko laitteiston toteutusta, vaan kaikki voitiin tehdä koulutuspäälliköiden päätöksellä (3).

Kansallinen raja pienhankinnalle on 60 000 euroa, ja siitä määrätään hankintalain neljännen luvun 25. pykälässä (4).

4.1 Alle 3000 euron hankinnat

Hankintaohjeen mukaisesti kaikki, mikä voidaan hankkia Riverian sopimustoimittajien kautta, ostetaan niiltä. Jos tavara hankitaan muualta, hintataso suhteessa sopimustoimittajaan on selvitettävä hintatiedustelumenettelyllä ja hankinta täytyy perustella.

Hintatiedustelu on kevyempi prosessi kuin virallinen kilpailutus. Hintatiedusteluksi riittää puhelinkeskustelujen perusteella tehty muistio. Itse suosin näissä tapauksissa sähköpostia, jolloin muistioksi voitiin liittää sähköpostikeskustelujen osat tai tarjousliitteet.

Alle 100 euron ostoksien osalta Riverian hankintaohje suosittelee, että työntekijä ostaa hyödykkeet omilla rahoillaan ja perii rahat takaisin matkalaskujärjestelmällä (3).

4.2 3000 – 10 000 euron hankinnat

Yli 3000 euron hankinnat voidaan kilpailuttaa hintatiedustelumenettelyllä, jos hankinnan loppusumma jää alle 10 000 euron. Hintatiedustelu ei siis edellytä kilpailutuskierrosta virallisine tarjouspyyntöineen. Kirjallisesta hintatiedustelusta käytettiin kuitenkin projektin aikana nimitystä kilpailutus.

Kuten kaikissa suurissa organisaatioissa varsinainen kilpailutus on aikaa vievä ja monimutkainen prosessi, jonka kulku on määrätty erittäin tarkasti. Menettelyn hyvä puoli on se, että kilpailutus ja sen tulos on avoin ja kaikkien nähtävissä.

Prosessina virallinen kilpailutus byrokratiakerroksineen on kuitenkin hyvin hidas ja kömpelö toimittajien kelpoisuusvaatimustarkasteluineen ja komiteaistuntoineen.

Projektiin liittyen kilpailutin esitystekniikan ja hydrauliiikan toimittajat, sillä ne olivat suurimmat yksittäiset hankinnat. Minulle annetut valtuudet riittivät ostopäätösten tekoon itsenäisesti pääsääntöisesti koko projektin ajan.

5 Tekniset osakokonaisuudet ja niiden hankintaan liittyvät prosessit

Rahtikontti johon laitteisto asennettiin, oli käytännössä hankittu jo ennen minun osallistumistani koko projektiin. Tehtäväkseni jäi vain hyväksyä kauppa myyjän kanssa ja hoitaa kontti maalattavaksi Pro Trucksin Joensuun-toimipisteeseen.

Kontti on lämpöeristetty sivusta aukeava rahtikontti, jossa on omat jalat. Konttiin asennettiin koukkuvarustus vaihtolava-autoa varten ja se siistittiin sekä maalattiin Riverian graafisen ohjeiston mukaisesti punavalkoiseksi.

Riverian sähköasentajaopiskelijat asensivat konttiin 16 A:n voimavirtasyötön, automaattisulakkeilla varustetun pääkeskuksen, valot ja merkittävän lajitelman pistorasioita. Pistorasioiden sijoituksessa huomioitiin myös kattoon asennettavat näytöt, joten kontin katossa on yhteensä kaksitoista pistorasiaa.

Konttiin asennettu opetuslaitteisto puolestaan koostuu neljästä isommasta kokonaisuudesta, joita kannattaa käsitellä hankintamielessä erillisinä, sillä niiden hankintapäätöksiä ohjasivat toisistaan eroavat tekniset vaatimukset.

5.1 Hydrauliiikka

Kun projektin hydrauliiikkaa alettiin suunnitella, en tuntenut hydrauliiikkaa insinööritasolla lainkaan. Konsultoin lehtori Heikki Paavilaista, jonka neuvoilla pääsin nopeasti siihen pisteeseen, että pystyin tarkistamaan kolmen eri Joensuun alueella toimivan hydrauliiikkaliikkeen tarjoukset itsenäisesti.

Tarjouspohjana käytettiin Linnavuoren tehtaalla olevan opetuslaitteiston hydrauliiikkakaaviota, joka skaalattiin suuremmaksi käytössä olevan moottorin suuremman maksimitehon takia.

Valtra T154 -moottori on 6,6-litrainen yhdellä turbolla varustettu dieselmoottori, jonka suuritehoisin ohjelmaversio tuottaa 1000 Nm:n väännön, maksimikierrosten ollessa 2250 r/min.

Pyysin tarjoukset Linnavuoren laitteiston osaluettelolla, ja määriteltynä siten, että moottoria voitaisiin kuormittaa täydellä vääntömomentilla. Pyysin tarjoukset Kit Hydrolta, MPT – Hydraulikalta sekä Joki Hydrolta. Tarjoukset on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Hydrauliiikan toimittajien tarjoamat hinnat (alv 0 %).

Yritys	Hinta 1	Hinta 2
Kit Hydro	7065 €	8135 €
MTP-Hydrauliikka	5347 €	-
Joki Hydro	6738 €	-

Kit Hydro tarjosi laitteistoa kahdella erilaisella pumpulla; vaihtoehtona oli joko 150 cm³:n vakioilavuuspumppu tai 145 cm³:n muuttuvatilavuuksinen pumppu.

Riverian hankintaohjeen mukaan tarjouksista tulee hyväksyä se, joka on kokonaistaloudellisesti edullisin tai hinnaltaan halvin (3). Koska tässä oltiin kuitenkin tekemässä kokonaan uutta ja saumaton yhteistyö varsinaisen hankinnan jälkeen olennaista projektin onnistumisen kannalta, päätin arvioida yrityksiä jättämiä tarjouksia ja yrityksiä kokonaisuutena.

Pyysin tarjouspyynnössäni perusteluja komponenttivalintoihin. Painotin hankintapäätöksessä kommunikaation sujuvuutta sekä myyjän omaa ammattitaitoa. Lisäksi totesin, että työpaikan ja hydraulikkaliikkeen välimatka tulisi olemaan tärkeässä roolissa, kun laitteiston letkutusta alettaisiin toteuttamaan.

Arvioin myyjien ammattitaitoa sen pohjalta, tarjoavatko he lähtökohtaisesti taroitukseen sopivaa pumppua ja muuta laitteistoa. Pyytäessäni hintoja painotin, että en itse tunne hydraulikkaa tekniikkana lainkaan, ja että olen kokonaan myyjien ammattitaidon armoilla. Sillä hetkellä tämä piti myös paikkansa.

Lopuksi laskin tarjouksille pisteet Ulrichin ja Eppingerin pisteytysmenetelmää löyhästi mukailen (5). Pisteytyksen merkitsin taulukkoon 2.

Taulukko 2. hydraulikkatoimittajien pisteytys

	Sijainti	Osaaminen	Hinta	Yht.
Joki Hydro	3	6	4	13
Kit Hydro	1	4	2	7
MTP-Hydrauliikka	2	2	6	10

Taulukon pisteytyksen perusteella valittiin hydraulikan toimittajaksi Joki Hydro. Palvelu Joki Hydroilta olikin erinomaista läpi koko projektin.

5.2 Esitystekniikka

esitystekniikalle asetettiin lähtökohtaisesti vaatimukseksi se, että laitteistossa tulisi olla riittävästi suuria näyttöjä, joilla voitaisiin esitellä kattavasti moottorin ti-loja ja tehdä erilaisia diagnostiikkaharjoitteita.

Vaikka loppukäyttäjien puolesta esitystekniikalle ei ollutkaan enempää kriteereitä, laitteiston asennus rahtikonttiin asettaa tiettyjä vaatimuksia käytettävälle tekniikalle.

- Näyttöjen täytyy olla tarpeeksi suuria, jotta niiden kautta esiteltäviä kuvaajia ja numeroarvoja voidaan lukea muutaman metrin etäisyydeltä. Käytännössä tämä tarkoittaa noin 40-tuumaista näyttöä.
- Näyttöjen pitää olla laitteiston käyttäjän eli opettajan tai harjoitusta tekevän opiskelijan saavutettavissa siten, että käyttö on vaivatonta ja ergonomista.
- Näyttöjen täytyy kestää kontin olosuhteet, lämpötilojen vaihtelut ja moottorin käytöstä syntyvät värinät.
- Näyttöjen valovoiman tulee olla riittävä, jotta esityksiä voi katsella myös kirkkaina päivinä.

Jo näiden pohjalta päätin, että konttiin rakennettaisiin ohjauskonsoli, johon asennettaisiin kiinteästi pienet näytöt. Pienten näyttöjen kanssa identtistä kuvaa näyttävät, suuret kaksoiskappaleet ripustettaisiin kontin sivulle.

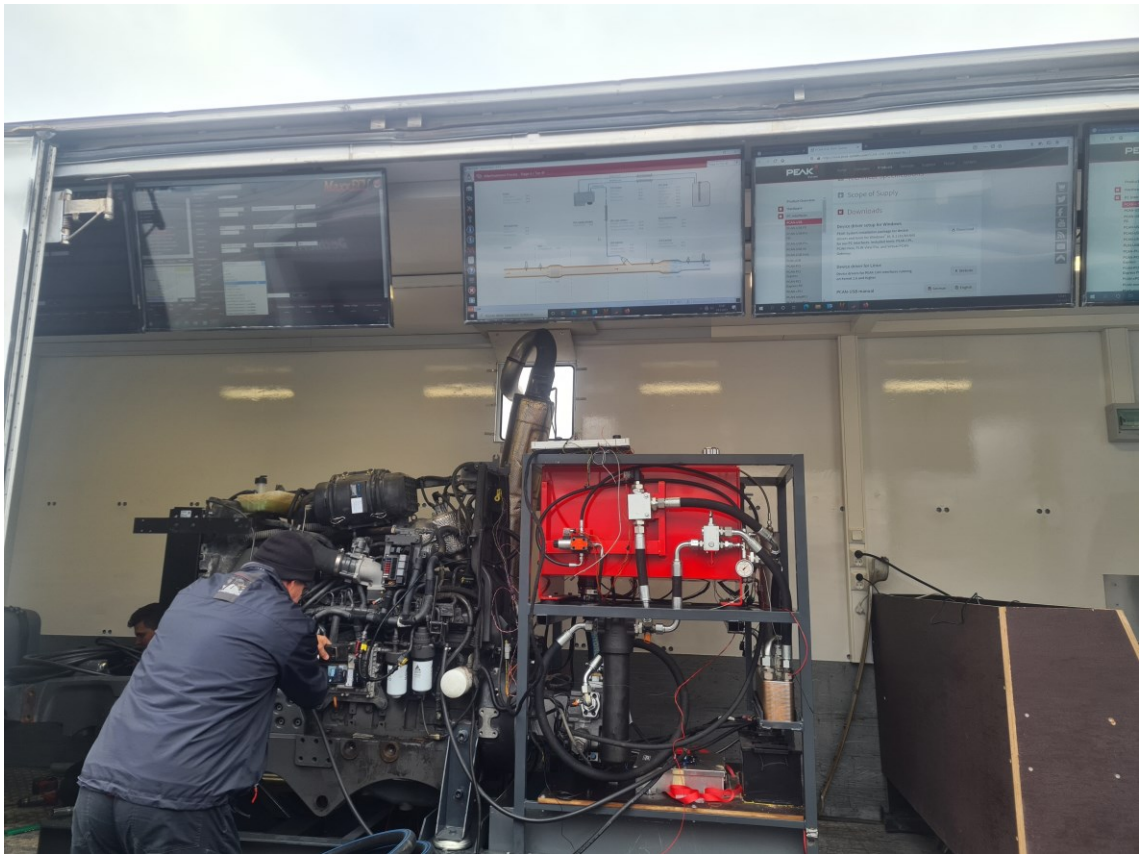
Ratkaisu ei ole edullisin, mutta se on käyttömukavuudeltaan optimaalinen. Opettaja voi istua työpöydän ääressä, ja opiskelijat voivat seurata tapahtumia suurilta näytöiltä.

Näillä tiedoilla lähetin tiedustelun viiteen eri paikkaan, joista sain vastauksen vain kahdesta. Molemmat paikat tarjosivat ulkokäyttöön tarkoitettuja infonäyttöjä, joiden pakkasenkesto- ja valovoimaominaisuudet olisivat olleet luonnollisesti ihanteellisia tähän tarkoitukseen.

Ongelmaksi ulkonäyttöjen kanssa muodostui hinta. Kun tarve oli lähtökohtaisesti ainakin kolmelle näytölle, ja niiden kaksoiskappaleille, tulisi esitystekniikalle hinnaksi yli puolet kokonaisbudjetista, sillä ulkokäyttöön tarkoitettut 40 tuuman kokoluokan näytöt maksavat yli 5000 euroa kappale.

Kun säänkestävien näyttöjen hintahaarukka oli todettu liian kovaksi, valikoitiin näytöiksi Samsung QBR -sarjan ammattikäyttöön tarkoitettut näytöt. Tämän johdosta päätettiin myös, että konttiin asennetaan ylläpitolämmitys, jotta kovilla-kaan pakkasilla näyttöjen ei tarvitse selvitä jäätymisestä. Laitteet hankittiin Riverian hankintapalvelun kautta sopimustoimittajalta.

Koska QBR-sarjan näytöt ovat edullisia, voitiin koko kontin aukeavan sivun yläreuna kattaa näyttöpaneeleilla. Suunnittelin kattoon teräskehikot, joihin molempiin asennettiin kolme 43-tuumaista näyttöä (kuva 2.). Kehikko leikattiin ja hitsattiin ammatillisen erityisoppilaitos Luovin opiskelijoiden toimesta metallialan hitsaamossa, joka sijaitsee kätevästi Peltolan kampuksella, vain muutaman sadan metrin päässä Autoalasta.



Kuva 2. 43-tuumaiset näytöt kontin katossa

Varsinaiseksi käyttäjän näytöiksi valikoitiin 13-tuumaiset näytöt, jotka asennettiin filmivanerista valmistettuun konsoliin (kuva 3). Konsoli rakennettiin Riverian puualalla opiskelijavoimin.



Kuva 3. Ohjaukonselä

Suunnittelin ohjauskonsolin Solidworksilla, ja toimitin työkuvat puualan opettajalle DXF:nä. Näyttöjen reiät tehtiin CNC-jyrsimellä.

Konsoliin asennettiin vielä kaksi HP Mini Workstation -tietokonetta, joihin sai valittua liitännät kolmelle näytölle. Näyttöjen portit kahdennettiin DP-jakajilla, jolloin konsolissa olevilla pienillä näytöillä on sama näkymä kuin kontin kattoon asennetuilla isoilla näytöillä.

Kokonaisuudesta tuli näyttävä ja mukava käyttää. Valovoima on aurinkoiselle säälle vaatimaton, mutta asia on korjattavissa esimerkiksi markiisilla.

5.3 Tiedonkeruu

Koska Agco Powerin WinEEM-diagnostiikkatyökalu on erittäin kattava, ei moottorin tilojen esittämiselle tarvittu erillistä tiedonkeruuta. Kumpaankin konsolin tietokoneeseen asennettiin WinEEM-ohjelmistot ja laitteiston sähköjärjestelmään rakennettiin kaksi 250 kbit/s CAN-väyläpistoketta, jotta molemmilla koneilla voidaan työskennellä yhtä aikaa.

Sen sijaan hydrauliiikan opetuksen kannalta paineiden ja lämpötilojen mittaaminen on tärkeää. Lisäksi järjestelmään tulisi ehdottomasti rakentaa erittäin kattavat ylikuormitus- ja ylikäynnemissuojat, sillä oppilaitosympäristössä väärinkäytön mahdollisuus on suuri.

Itse perushydrauliikan ohjaus on hyvin yksinkertainen, sillä laitteistossa ei ole kuin kaksi solenoidia. Niinpä tähän ei teknisistä syistä olisi tarvittu minkäänlaista ohjelmoitavaa logiikkaa. Koko laitteisto olisi ollut mahdollista toteuttaa suoralla ohjauksella.

Sen sijaan paineiden ja lämpötilojen mukaan asennettujen turvarajojen ohjaukseen vaaditaan jonkinlainen ohjausyksikkö. Jotta ohjausyksikkö voisi toimia saumattomasti moottorin kanssa, olisi toteutus yksinkertaisin, jos laitteisto pystyisi lukemaan dataa moottorin väylästä.

Oli siis järkevää hankkia sellainen laitteisto, joka voisi suoriutua sekä hydraulii-
kan ohjauksesta että paineiden ja lämpötilojen mittaustulosten tallennuksesta eli
tiedonkeruusta.

Tiedonkeruulle asetettiin seuraavat vaatimukset:

- 12 V:n käyttöjännite, mahdollisuus käyttää laitteistoa myös ilman verkko-
virtaa.
- säänkestävyys, niin että laitteisto sietää kontin lämpötilanvaihteluita ja
värinöitä ja kosteutta
- CAN-yhteensopivuus sovittimella tai natiivisti
- soveltuvuus moninaisille antureille
- helppokäyttöisyys
- tiedonkeruun visuaalinen analysointi käyrinä, kuvaajina ja/tai animaati-
oina

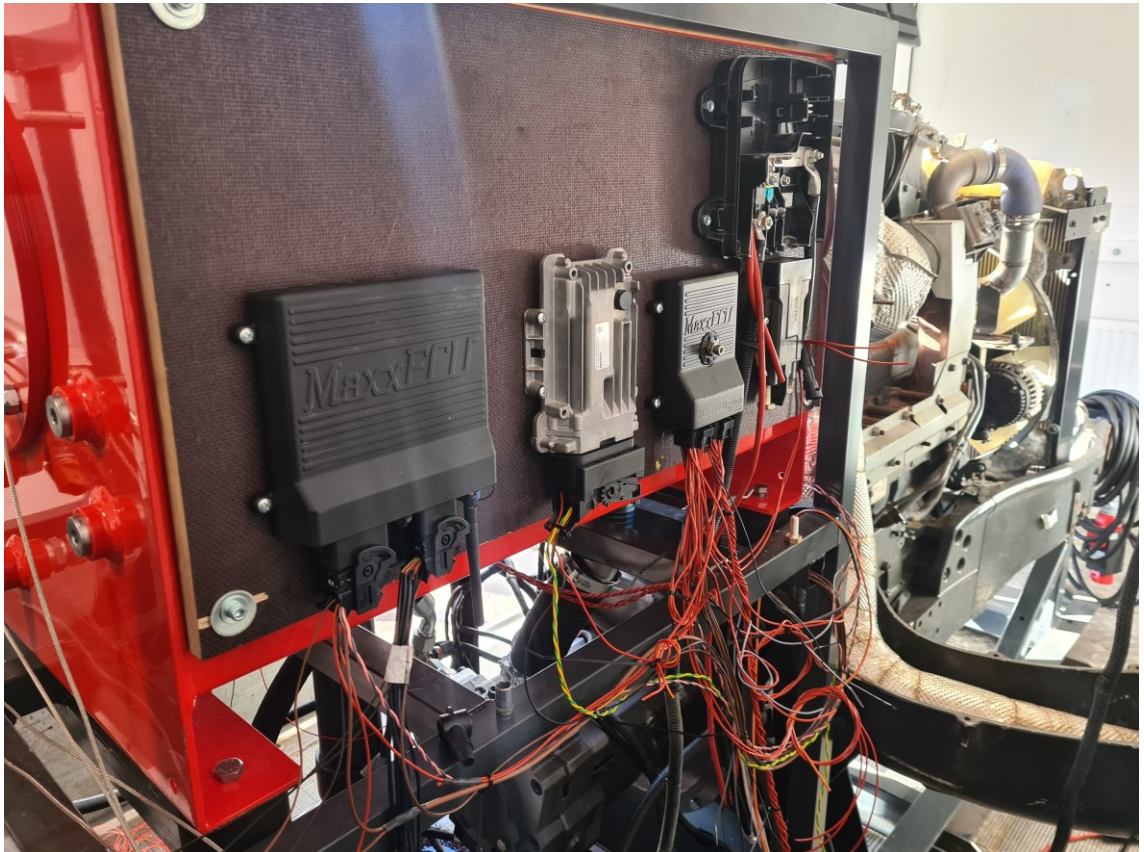
Tutustuin pikaisesti Siemens Simatic -logiikkayksiköiden maailmaan ja totesin
ensisilmäyksellä, että laitteisto olisi varmasti vähintäänkin kyvykäs suoriutu-
maan kaikesta, mitä tässä yhteydessä tarvittaisiin. Laitteistosta tulisi monimut-
kainen erillisine tiedonsiirtoyksiköineen, analogitulolaajennuskortteineen ja kote-
lointeineen.

Olen kuitenkin työskennellyt paljon autourheiluun tarkoitettujen moottorinohjain-
laitteiden kanssa ja tiesin, että ruotsalaisen MaxxECUn ohjainlaitteella pystyy
suoriutumaan kaikesta, mitä tässä projektissa vaaditaan ja laitteistoon jäisi vielä
runsaasti laajennusvaraa tulevaisuutta ajatellen.

MaxxECUn valintaa puolsi hankintahinnan lisäksi toteutuksen yksinkertaisuus ja
käyttöliittymän visuaalisuus sekä integroitu tiedonkeruuohjelmisto. Lisäksi
MaxxECU on monipuolinen ja helposti konfiguroitavissa, joten laitteistossa voi-
tisiin käyttää edullisia autotekniikan antureita.

Yhtenä tärkeimmistä tekijöistä, jonka takia päädyin juuri MaxxECUun, voidaan pitää maahantuojaan erinomaista asiakaspalvelu- ja tukitoimintaa. Maahantuoja tarjoaa muun muassa etäsäätö- ja konfigurointipalvelua, jonka avulla voidaan säästää valtavasti aikaa ja rahaa.

Tiedonkeruulaitteeksi valittiin MaxxECU Race H2O, joka on vesitiivis (kuva 4). Laitteet hankittiin suoraan MaxxECUn maahantuojalta.



Kuva 4. MaxxECU Race H2O, Valtran vaihteiston ohjainlaite sekä MaxxECU PDM

Ohjainlaitteen laajennusosaksi hankittiin MaxxECUn 20-kanavainen PDM-yksikkö, jolla ohjataan hydrauliihin lisäksi Agco Power -moottorin Bosch EEM4-ohjainlaitteen virtoja sekä käynnistysmoottorin ohjausrelettä.

6 Mekaniikkasuunnittelu

Laitteiston valmistus piti sisällään monenlaista mekaanista suunnittelua, josta esitetään tässä pääosat. Merkittävä osa tarvittavista komponenteista tehtiin opiskelustyönä tekemieni Solidworks-mallinnusten mukaan.

Aina osia ei kannata tehdä itse, vaikka se olisikin mahdollista. Joskus on kokonaistaloudellisesti järkevämpää käyttää valmiita osia. Niinpä osa teknisistä ratkaisuista syntyi olemassa olevia komponentteja soveltaen.

6.1 Moottori ja suoraan siihen liittyvät rakenteet

Koko laitteiston tärkein kokonaisuus on Valtra T154 -traktorista irrotettu Agco HD 66 -dieselmoottori. Moottori purettiin irti ajokuntoisesta traktorista kaikkine apulaitteineen.

Maansiirto- ja maatalouskoneille on ominaista, että moottorin lohko ja apulaitteet toimivat osana koneen runkorakennetta. Valtran tapauksessa öljypohja on samalla traktorin rungon etuosa.

6.1.1 Moottoripukki

Linnavuoren opetusmoottorissa on käytössä metsäkonekäyttöön tarkoitettu peltinen öljypohja, jonka ansiosta koko moottori on voitu asentaa aavistuksen matalampaan pukkiin, kuin Valtran tuhti valuteräksinen öljypohja mahdollistaa. Koska koko moottori apulaitteineen painaa yli tonnin eikä käytössä ollut järkevää nostinta, jolla moottoria olisi voinut siirrellä, päädyttiin kuitenkin käyttämään Valtran omaa öljypohjaa.

Lisäksi sain valmiit piirustukset moottoripukista, jota Suolahden traktoritehtaan tuotekehitysosasto käyttää. Pukki on suunniteltu siten, että moottori kiinnitetään kytkinkopan kehäpulteistaan kiinni massiiviseen teräslevyyn. Totesin rakenteen kuitenkin erittäin vaativaksi valmistaa, joten päädyin mukailemaan Linnavuoren opetusmoottorin pukkia.

Pyysin moottoripukista tarjouksen neljästä konepajasta, mutta en saanut yhtään tarjousta. Lopulta pukki tehtiin kokonaan oppilastyönä Riverian metallialalla Luovin opiskelijoiden toimesta.

Moottorin alle rakennettiin kelkaksi nimetty kehto kahdesta 100 mm:n UPE-palkista ja 100 x 70 mm:n RHS-palkeista. Kelkan ”jalaksiin” polttoleikattiin paikat trukkipiikeille ja jalasten yläpuoliseen laippaan reiät 16 mm:n nostolenkeille.

Moottori sovitettiin kelkkaan neljällä kannakkeella. Kannakkeet varustettiin Trelleborg Novibra RAEM -värinänvaimenninkumeilla.

6.1.2 Kytkekoppa ja pumpun kiinnitys

Pumpun kiinnitys **moottoriin vaihteiston tilalle osoittautui** mutkikkaaksi ratkaista. Valtran käyttämä pulttijako on epäsymmetrinen ja monimutkainen. Sen selvittäminen ilman mittavartta, skanneria tai muuta sofistikoitunutta mittalaitetta olisi haastavaa.

Ajatus oli, että mittaan reiät, ja leikataan sopiva sovitelevy vesileikkauksella tai laserilla, ja viimeistellään kohdistustappien kohdat CNC-jyrsimellä. Tämä kuitenkin edellyttää kymmenesosamillimetrien mittatarkkuutta, johon perustyöntömitalla ei luotettavasti pääse, kun kyseessä on mutkikas ja epäsäännöllinen kappale.

Sain pienen suostuttelun jälkeen Valtralta moottorin pintamallin PVZ-tiedostona. Tiedosto oli valtavan suuri, eikä kannettavaan tietokoneeseeni asennettu Solidworks kyennyt aukaisemaan sitä kuin vaivoin. Kyseisen tiedoston kanssa työskentely oli mahdollista mutta erittäin hidasta.

Samaan aikaan keskustelimme Linnavuoren tuotekehitysosaston kanssa vauhtipyörän ja pumpun väliin tulevasta kytkimestä. Linnavuoresta ehdotettiin, että saisimme heiltä SAE3-standardin mukaisen kytkinkopan ja vauhtipyörän. SAE-standardin vauhtipyörään löytyikin sopiva kytkin sekä kytkimelle sopiva napa, jossa oli pumpun boori.

Kun pumpun kiinnitys oli dokumentaation mukaan SAE D 4-hole (SAE J 744 ISO 3019-1), oli loppu helppoa, ja sovitinlevy saatiin tilattua Joki Hydron kautta ilman piirustuksia.

6.1.3 Polttoainelaitteisto

Agco HD66:n ulkoinen polttoainejärjestelmä voi olla hyvin yksinkertainen, sillä polttoainepumppu on imevä. Siirtopumppuja ei siis tarvita. Hankin polttoainetankiksi 20-litraisen ATL-turvatankin, jonka sai valmiiksi alumiinisella asennuskotelolla.

Tankissa ei vakiona ole vapaata paluulinjaa, vaan kannessa olevan AN6-standardin "outlet"-liittimen vieressä olevassa liittimessä on huohottimen kuulaventtiili. Jos paluulinjan kytkee siihen, järjestelmä ei saa korvausilmaa ja tankki imeytyy alipaineen johdosta ruttuun, kun moottori kuluttaa polttoainetta, tai voi vastaavasti haljeta, kun polttoaine lämpiää.

Kansilevyyn porattiin siis ylimääräinen läpivienti paluulinjalle ja Valtran alkupe räiset polttoaineletkut liitettiin tankkiin JIC-kulmilla. AN- ja JIC-standardin liittimet sopivat fyysisesti toisiinsa, koska JIC-liitin on hydrauliiikan koville paineille tarkoitettu teräksinen vastine lentokoneteollisuudessa käytetyille alumiinisille AN-standardin liittimille.

Standarditasolla JIC- ja AN-liittimet eivät ole suoraan vaihtokelpoisia, mutta niissä käytetään samoja kierteitä, nousuja ja 37 asteen tiivistekulmaa (7). Paineettomassa linjassa, kuten tässä, osia voi käyttää sekaisin.

Tankki varustettiin vielä lopuksi kohomallisella polttoainetason varoitusvalon kytkimellä. Tasoanturille en nähnyt tässä sovelluksessa tarvetta.

6.2 Hydrauliiikka

Ihan ensimmäisissä keskusteluissa, ennen minun osallistumistani koko projektiin, laitteistoon suunniteltiin keinokuormaksi pyörrevirtajarrua. Pyörrevirtajarrussa jarruteho luodaan sähkövirralla ja voimakkailla sähkömagneeteilla.

Pyörrevirtajarru päätettiin kuitenkin korvata hydraulipumpulla monestakin syystä:

- Laitteisto ei ole tehonmittauslaitteisto, eikä suoralla vääntömomentin mitauksella saavuteta lisäarvoa.
- Pyörrevirtajarru vaatii ohjainlaitteen ja virtalähteen, joten laitteisto olisi joko varustettava aggregaatilla tai sen täytyisi olla aina kytkettynä verkkovirtaan.
- Hydraulijärjestelmä olisi käytettävissä myös hydrauliiikan opetukseen. Pyörrevirtajarrun hyödyntämismahdollisuudet olisivat rajallisemmat
- Linnavuoren laitteisto on toteutettu hydraulisella kuormalla, ja se toimii mainiosti.

Pohdinnat saivat siis tukea, kun tutustuin Linnavuoren opetuslaitteistoon ja näin, kuinka yksinkertaisesta järjestelmästä oli kyse. Systeemissä on vapaakierto, jota pitkin öljy kiertää kuristamattomana linjassa eikä juuri kuormita moottoria.

Kun vapaakiertoventtiili suljetaan, öljy pakotetaan kulkemaan paineenrajoitinventtiilin kautta, jolloin syntyy hydraulinen kuorma. Sopivasti mitoitettuna pelkällä paineen muutoksella voidaan säätää kuormituksen tasoa.

6.2.1 Pumpun valinta

Linnavuoren laitteistossa on pieni kiinteätilavuuksinen pumppu. Moottori on uudempi ja iskutilavuudeltaan suurempi malli, mutta sitä on ohjelmallisesti kuristettu pienitehoisemmaksi. Kuormitus kuitenkin riittää siihen, että moottoriin kytketty pakokaasujen puhdistuslaitteisto käynnistyy.

Koska halusin alusta asti, että rakentamaani laitteistoa voitaisiin käyttää myös hydrauliiikan opetusvälineenä, halusin mitoittaa hydrauliiikan siten, että sillä voitaisiin käyttää moottorin koko tehoaluetta.

Käytössäni olleella konfiguraatiolla Agco HD66 -moottorin tehokkain versio tuottaa 185 kW:n tehon ja 1000 Nm:n väännön maksimitehon kierrosten ollessa noin 2100 r/min. Mitoituksen apuna käytin Heikki Paavilaisen Hydraulikka-luennomonistetta (6, s. 22).

Kun moottorin maksimivääntömomentin tiedetään olevan 1000 Nm, voidaan pumpun tilavuuden likiarvo ratkaista käyttämällä kaavaa 1:

$$M_t = \frac{v_p \cdot \Delta p}{2\pi} \quad (1)$$

M_t on pumpun teoreettinen vääntömomentti [Nm]

V_p on pumpun kierrostilavuus [m^3/r]

Δp on aineen muutos pumpun yli [Pa].

Tavanomaisen hydraulikan maksimipaineina pidetään 350 baria, jota voidaan käyttää tässä mitoituspainena. Kun momentin kaavasta lasketaan ulos kierrostilavuus ja sijoitetaan tunnetut arvot, saadaan kierrostilavuuden laskukaava

$$V_p = 1000 \times 2\pi \div 3,5 \times 10^7 \quad (2)$$

Yksikkömuunnosten jälkeen saadaan pumpun kierrostilavuudeksi $V_p = 0,179$ l.

Kun ajatellaan pumppua ja hydraulikkajärjestelmää pelkkänä kuormana, olisi tässä laitteistossa pärjännyt kiinteätilavuuksisella pumpulla. Koska pumpun hankintahinta kuitenkin määritteli projektin kokonaisbudjetista varsin pienen osan, päätin käyttää laitteistossa muuttuvatilavuuksista pumppua. Tällä tavalla toteutettuna systeemillä on monipuolisemmat käyttömahdollisuudet hydraulikan opetuslaitteistona.

Pumpuksi valikoitui Linde HPR 165 -pumppu, jonka kierrostilavuus on 165 cm^3/r . Pumpulla pystytään moottoria kuormittamaan siis 350 barin paineilla hyvin lähelle maksimiväännöllä.

Moottorin maksimivääntöä on mahdollista rajoittaa ohjelmallisesti tarpeen tullen, joten en lähtenyt väkisin mitoittamaan hydraulikkaa juuri käytössä olevalle moottorin maksimimomentille.

6.2.2 Hydraulikoneikon kannatinkehikko

Koneikkoa kannattelemaan suunniteltiin kehikko 30 x 30 mm:n huonekaluputkesta. Kehikkoon tehtiin kaksi tasoa, joista ylemmälle tasolle sijoitettiin 180-litrainen öljysäiliö siten, että pumpun vaatima kolmetuumainen imuputki saatiin vedettyä pumpulle mahdollisimman lyhyenä ja suorana. Tällä vältytään pumpun kavitoinnilta maksimivirtauksilla.

Kavitoinnilla tarkoitetaan tilannetta, jossa pumppu ei täyty kokonaan, vaan sinne jää tyhjiökuplia, jotka aiheuttavat haitallisia paineiskuja ja värinöitä, kun kuplat luhistuvat paineen noustessa. Kavitointi on erittäin haitallista hydrauliiikan laitteille, erityisesti pumpuille.

Hydrauliikkasäiliö on valmistettu paksusta teräksestä, joten hydrauliiikan komponenttien kiinnikkeet ja kannakkeet voitiin hitsata suoraan säiliön kylkeen. Koko hydrauliikkajärjestelmä pyrittiin sijoittamaan siten, että koko laitteisto on opiskelijoiden nähtävillä kontin sivustalta.

Säiliö varustettiin lämpömittarilla ja tirkistyslasilla sekä täyttökorkkiin asennettiin paineistava hattu. Hatun tarkoitus on muodostaa säiliöön pieni ylipaine, kun öljy lämpiää. Paineella pyritään varmistamaan, että pumppu ei missään olosuhteissa kavitoi. Säiliö kiinnitettiin kehikkoon neljällä värinänvaimenninkumilla.

Kehikko maalattiin Riverian punaiseksi ja pultattiin kiinni sekä moottorin kelkkaan että kontin lattiaan.

6.2.3 Hydrauliiikan jäähdytys

Laitteisto siis siirtää kaiken moottorin tuottaman tehon lämmöksi hydrauliiöljyyn. Koska tehoa on paljon, öljy myös lämpiää verrattain nopeasti. Jotta moottoria voitaisiin kuormittaa riittävän pitkiä jaksoja, on öljyä jäähdytettävä.

Jäähdytyksen voi toteuttaa hyvin monella tavalla. Tässä laitteistossa olennaista olisi kuitenkin se, että koko systeemiä voidaan käyttää ilman verkkovirtaa ja toisaalta ilman mahdollisuutta kytkeä laitteisto vesijohtoverkkoon.

Halvin tapa toteuttaa jäähdytys olisi öljysäiliöön asennettava kierukka, jossa kierrätettäisiin jäähdytysvettä. Tämä olisi kuitenkin vaatinut sellaisia suunnittelu- resursseja, joita ei ollut käytössä. Lisäksi kierukan luotettavuus liikuteltavassa laitteistossa voi olla kyseenalainen.

Tutkittavaksi vaihtoehtoiksi jäivät suuri ilmajäähdytin ja puhallin sekä vesijäähdytteinen lämmönvaihdin ja vesisäiliö. Koska laitteisto on tehokas, ilmajäähdyttimestä tulisi todella suuri ja se vaatisi erittäin suuren jäähdytinpuhaltimen.

Oppilaitosympäristön kyseessä ollen suuri – ja samalla erittäin kallis – jäähdytin on riskialtis, sillä jäähdytin on arka mekaanisille rasituksille. Ennen kuin tarvittavan jäähdyttimen kokoa kunnolla laskettiin, huomattiin tarvittavan kokoisien jäähdyttimen maksavan useita tuhansia euroja. Näin ollen jäähdytystavan valinta oli lopulta helppo.

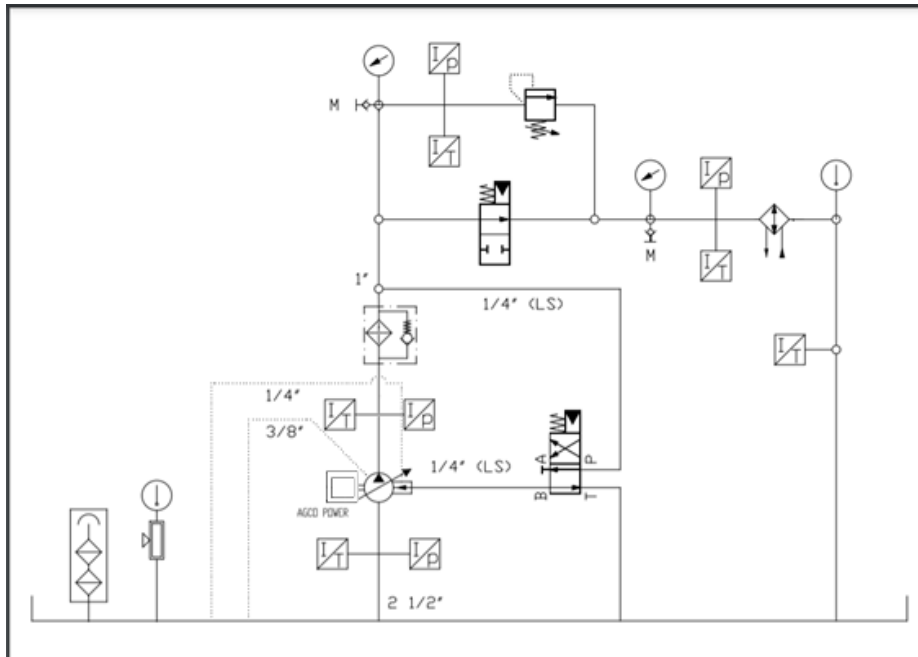
Sen suurempia laskelmia tekemättä tilasin samanlaisen vesijäähdytteisen Swep SSP G8 -lämmönvaihtimen kuin Linnavuoren opetuslaitteistossakin. Lämmönvaihtimelle rakennettiin vesikierto ja 570-litrainen vesisäiliö.

Vesipumpuksi valitsin autokäyttöön tarkoitetun Tecomotive CWA-200 pumpun, jota ohjataan MaxxECUn GP Out -ohjauslähdöllä ja PDM:llä. Pumppuun syötetään jatkuva virta PDM:n kautta ja ohjauspinniin ajetaan PWM-signaalia, jolla pumpun kierroksia voidaan säätää. Pumpun ohjaukselle PWM-signaalilla ei sinänsä ole tarvetta, mutta sitä on turvallinen käyttää opetuskäytössä tutustuttaessa PWM-ohjaukseen tai vaikka PID-takaisinkytkentään.

Kytkenän avulla öljypumppua voidaan ohjata öljynlämmön mukaan, joten laitteisto ei tarvitse erillistä termostaattia.

6.3 Letkutus ja piirikaavio

Laitteisto on hyvin yksinkertainen, ja toteutus myötäilee Linnavuoren opetuslaitteiston ratkaisuja. Piirikaavio löytyy kuvasta 5.



Kuva 5. Hydrauliiikan piirikaavio

Linnavuoren laitteistosta poiketen tässä käytettiin painesuodatinta. Linnavuoren laitteistossa on säiliöön asennettu paluusuodatin.

6.4 Tiedonkeruu

Laitteistoon piti alkuperäisen suunnitelman mukaan tulla myös sylinteripaineen mittausta. Alusta asti minulle oli kuitenkin selvää, että vaikka sylinteripaineen mittausta olisikin tyylikäs ominaisuus, sen käytännön arvo toisen asteen oppilaitoksen opetuslaitteistossa olisi minimaalinen. Sylinteripaineen mittaukseen budjetissa varattu reilu 11 000 euron summa toimikin hyvänä välineenä alusta asti pitämään kuluja kurissa.

Kun projektin edetessä päätettiin, että sylinteripaineen mittausta voitaisiin korvata kevyemmällä tiedonkeruulla, saatiin budjettiin muutama tonni lisää liikkumavaraa.

Valitsin tiedonkeruuksi MaxxECUn ja sähköjärjestelmän ohjauslaitteeksi MaxxECU PDM:n muiden muassa sillä perusteella, että MaxxECUn vapaasti

konfiguroitavan CAN-väylän ja puolijohdesähkökeskuksen hinta suhteessa ominaisuuksiin on ylivoimainen.

Kilpailevat tuotteet maksavat vähintäänkin kaksinkertaisen summan, eikä esimerkiksi Motecin PDM-yksiköissä niiden merkittävästi MaxxECU:n PDM:ää kalliimmasta hinnasta huolimatta ole esimerkiksi PWM-ohjausta.

6.4.1 Lämpöanturien valinta

MaxxECU on helposti konfiguroitavissa monenlaisille antureille. Moottorinvalvontayksikkönä siinä on runsaasti vapaita analogituloja, joita voidaan käyttää paineiden ja lämpötilojen mittaukseen.

Kun teollisuuden ja automaation anturit ovat suuria ja kalliita, autotekniikan anturit ovat usein pieniä ja edullisia. MaxxECU Race-ohjainlaitteessa on vakiona kahdeksan K-tyyppin termoelementille tarkoitettua pakolämpöjen mittaukseen tarkoitettua kanavaa.

K-tyyppin termopari soveltuu mainiosti hydraulijärjestelmän lämmön mittaamiseen eikä vähiten siksi, että 2,4 mm paksu puikkoanturi tyypillisesti asennetaan helminipalla, joka kestää helposti hydraulijärjestelmässä vallitsevat paineet.

Leikkasin nipoista jalkakierteet poikki, ja hitsasin ne TIG-hitsillä hydraulijärjestelmän liittimiin. Lämpötilan mittauksia tuli nyt ensiasennukseen neljä kappaletta: yksi säiliöön, yksi heti pumpun jälkeen, yksi ennen lämmönvaihdinta ja yksi lämmönvaihtimen jälkeen.

Käyttämättä jääneitä kanavia voidaan käyttää vielä lämmönvaihtimen vesipumpun ja vesisäiliöön mahdollisesti asennettavan jäähdyttimen flektin ohjaukseen.

6.4.2 Paineanturien valinta

Eriyksen edulliseksi MaxxECU:n käytön hydrauliiikan tiedonkeruuna teki paineanturien valinta. Kun tavallinen logiikkaohjauksessa käytettävä paineanturi maksaa yli 100 euroa, MaxxECU:n voidaan konfiguroida mikä analogisignaalia tuottava autosähkötekniikan anturi tahansa.

Valitsin tiedonkeruun paineanturiksi noin 30 euron hintaisen Boschin polttoaineen paineanturin osanumero 06J906051D, jonka mitta-alue ulottuu nolasta yli 200 bariin.

Anturissa on m10x1-kierre ja 45 asteen tiivistepinta, joten jarruputken jatkoalasta sai sopivasti keskeltä poikki leikkaamalla kätevän sovitteen, jolla kytkin anturit hydraulikkaan. Hitsasin nipan puolikkaat kiinni tigillä, ja porasin pohjaan reiän 1 mm:n poranterällä.

7 Sähköjärjestelmä

Traktori purettiin Nurmeksessa, enkä itse osallistunut purkutyöhön mitenkään. Moottori, apulaitteet ja koko traktorin sähköjärjestelmä tuotiin Joensuuhun marraskuussa 2020.

Koko traktorin sähköjärjestelmä on siis monen kymmenen kilon painoinen vyyhti johtoja ja ohjainlaitteita. Koska opetuslaitteistossa ei ole oikeastaan mitään ohjaamoon tai voimansiirtoon liittyvää, suurin osa alkuperäisestä sähköjärjestelmästä oli tarpeetonta.

7.1 Kytkenäkaavio

Rakensin koko sähköjärjestelmä epäinsinöörimäisesti, ilman varsinaista ennakkosuunnittelua, samalla muistiinpanoja tehden. Kun sähköjärjestelmä oli todettu toimivaksi, piirsin siitä kytkentäkaavion Microsoft Visiolla.

Visiolla on vaikea tehdä insinöörimäistä sähkösuunnittelua ja ammattimaisen näköistä kytkentäkaaviota, mutta sen hankinta- ja oppimiskynnykset ovat matalia.

Visiolla toteutettu kytkentäkaavio sopi hyvin Riverian tarpeisiin, ja sähköjärjestelmää pääsee nyt jalostamaan hyvin kevyen oppimiskynnyksen ohjelmalla tästä eteenpäin, sillä luovutin kytkentäkaavion Riverialle myös Vision .VSDX-tiedostona.

Piirikaavion tuloste löytyy liitteestä 2.

7.2 Liitinrunkojen pinout-kaaviot

Valtra T154:ssä moottorin johtosarja yhtyy muuhun traktoriin tulipeltiin kytketyn 64-napaisen runkoliittimen ”X2M” kautta. Samassa liittimessä kulkevat paitsi moottorin tarvitsemat muutamat ohjausvirrat ja -signaalit myös kaikki moottori-paketin väylät ja sekalainen lajitelma ajoneuvosähköjä, kuten ajovalojen ohjausvirtoja sekä varoitusvalojen johtimia.

Kun johtosarjasta oli poistettu tarpeeton, oli alun perin täyteen kalustetun 64-napaisen runkoliittimen kontakteista käytössä yhdeksän (kuva 6).

väri	selite	väri	selite	väri	selite	väri	selite
1		2	sininen START	3		4	violetti start ok
5	keltainen 250 kbit/s CAN-H	6	vihreä 250 kbit/s CAN-L	7	musta +15	8	
9		10		11		12	
13		14	musta tps	15		16	punainen TPS
17		18		19		20	
21		22		23		24	
25	harmaa tps sig maa	26		27		28	
29		30		31		32	
33		34		35		36	
37		38		39		40	
41		42		43		44	
45		46		47		48	Harmaa lataus
49		50		51		52	
53		54		55		56	
57		58		59		60	
61		62		63		64	

Kuva 6. X2M-liittimen pinout

Pinout-listauksesta nähdään X2M-liittimen kontaktien eli liitinpinnien numerot, johtimien värit, ja niiden tarkoitus.

X2M-liittimeltä jatkoin johtosarjaa noin puoli metriä, jonka jälkeen tein runkoliittoksen 24-napaisella Deutsch DTM-liittimellä. DTM-liittimeltä niputin johtimet napanuoraksi ristimäkseni kaksi metriä pitkäksi nipuksi, jonka päähän kytkin mittaristokonsolin. DTM-liittimien pinnijärjestys ja johtimien värit löytyvät kuvasta 7.

Moottorin puoli				Mittarikonsoolin puoli							
1	vihreä	CAN L	7	violetti	start ok	1	vihreä	CAN L	7	turkoosi	start ok
2	keltainen	CAN H	8	musta	+15	2	keltainen	CAN H	8	musta	+15
3	sininen	start	9	harmaa		3	punainen	start	9		
4			10	harmaa	tps	4			10	valkoinen	tps
5			11	musta	tps	5			11	keltainen	tps
6			12	punainen	tps	6			12	ruskea	tps

Kuva 7, DTM12-liitinparin pinout-kaavio

DTM 12-liitimessä melkein kaikkien johtimien väri vaihtuu. Tämä ei tietenkään ole täysin optimaalista. Käytännössä on kuitenkin vaikeaa luoda uutta sähkölaitteistoa siten, että johtimien paksuudet ja värit täsmäävät kautta koko virtapiiriin.

Pienen paikkakunnan autosähkötarvikeliikkeet eivät yksinkertaisesti varastoi kaikkia johtimien värejä kaikissa eri paksuuksissa. Näin ollen tässäkin tapauksessa kytkennät toteutettiin niillä johtimilla, joita oli noutaen sopimustoimittajalta saatavilla.

Tavallaan nyt rakennettu sähköjärjestelmä on prototyypinjohtosarja, ja tästä olisi nyt kohtalaisen helppoa toteuttaa ja dokumentoida toimivaksi todettu kytkentä oikeasti mitoitetuilla ja värikoodatuilla johtimilla.

Väylille tein vielä oman liitinnrunгон, johon ymppäsin lisäksi ne PDM:n ohjaustulot, jotka saavat ohjauksen napanuoran kautta(Kuva 8).

	väri	selite		väri	selite
1	keltainen	250 kbit/s CAN H	4	vihreä	250 kbit/s CAN L
2	musta	PDM in1	5	pinkki	1 Mbit/s CAN L
3	musta	PDM +15	6	harmaa	1 Mbit/s CAN H

Kuva 8. DTM6-väyläliittimen pinout

Teknisesti näitä DTM-liittimiä ei olisi tarvinnut sähköjärjestelmään rakentaa lainkaan. Johtimet olisi voinut vetää suoraan X2M-liittimeltä mittaristokonsolille ja MaxxECUn ohjainlaitteille.

Mittaristokonsoli on nyt kuitenkin irrotettavissa laitteistosta yksinään huolto- ja täydennystöitä tai muita harjoitteita varten. Se on hyvä asia, jos mittaristoon halutaan kytkeä lisäpainikkeita tai muita toimintoja.

Lisäksi liittimillä on taipumus vaurioitua, jos niitä irrotetaan ja kiinnitetään riittävän monta kertaa. Erityisesti ne ovat vaarassa vaurioitua silloin, kun liitinpinnejä käsitellään tai siirrellään.

Valtran X2M-liittimen tyyppiset isot liitinrungot ovat kalliita, ja niitä on vaikea saada. DTM-liittimiä sen sijaan saa paikallisesta autotarvikeliikkeestä tai teollisuuspalvelumyymälöistä, eivätkä ne maksa paria kymppiä enempää.

Tulevaisuuden kannalta onkin ehdottoman järkevää käyttää DTM-liittimiä tai vastaavia, jonka asentaa heti MaxxECUn liitinrunгон jälkeen lyhyen johtimen päähän. Tällä tavalla harjoitteita tehdessä ei kuluteta laitteiston omia, kalliita liitinrunkoja, joiden rikkoutumisen johdosta koko laitteisto muuttuu käyttökelvottomaksi.

7.3 Mittaristokonsoli

Askartelin Valtran Proline-mittariston kiinni tavalliseen sähkölaitekoteloon (kuva 9). Lisäsin kotelon oikeaan yläkulmaan Valtran alkuperäisen virtalukon, ja vasempaan yläkulmaan asensin painonapin, johon johdotin traktorissa kytkinpolkimen kautta kulkevan käynnistyslupajohdon.

Mittariston alle asensin Fendt-traktorista kotoisin olevan käsikaasun potentiometrin, jonka vasemmalle puolelle asensin 80-lukulaisen sumuvalokatkaisijan kuormasolenoidin ohjauskytkimeksi.



Kuva 9. Mittaristokonsoli

Kaasupotentiometrin oikealle puolelle asensin Valtran alkuperäisen diagnostiikkapistokkeen.

7.4 MaxxECU ja PDM

MaxxECU on moottorinohjainlaite. Sellaisena siinä on paljon erilaisia ohjaustuloja eli inputteja, joita tässä sovelluksessa jää käyttämättä. Se on hyvä asia, sillä se mahdollistaa laitteiston erittäin monipuolisen käytön ja laajennettavuuden tulevaisuudessa.

MaxxECUn toimituspaketit sisälsivät täyteen kalustetut liitinrungot ja niin sanottu flying leads -johdot, joissa johtimien toisessa päässä ei ole liittimiä pakolämpöanturien kanavia lukuun ottamatta.

Aloitin purkamalla liittimistä selvästi tässä ensiasennuksessa tarpeettomat johtimet pois molempien laitteiden liitinsuonoista. Sen jälkeen johdotin PDM:n

syöttövirtajohdon, kaikki maajohtimet ja väyläjohtimet sekä ohjainlaitteen virran-syötön, jotta sain laitteistoon virrat.

Kun käyttöjännitteet ja väylät oli kytketty, asensin lämpö- ja painetunnistimet yksi kerrallaan. Lopuksi syötin korkeapainelinjaan kytketyn paineanturin konfi-gurointitiedot lukemalla painetiedot hydraulijärjestelmään asennetusta painemit-tarista, kun laitteistoa kuormitettiin. Nostin painetta 20 barin askelin ja syötin lu-kemat käyttöliittymän kalibroititaulukkaan. Kopioin kalibroititiedot myös muihin antureihin.

Suuret syöttökaapelit kytkin Valtran oman sulakerasian avulla. Pääsulakkeeksi laitoin 250 A:n sulakkeen, moottoriyksikön syöttövirtajohtimeen 75 A:n sulak-keen, PDM:n syöttöön 150 A:n sulakkeen, ja virtalukolle 15 A:n sulakkeen. Koko systeemissä on siis vain neljä sulaketta. MaxxECU PDM:n asennusohje suosittelee PDM:n syöttöjohtimen sulakekooksi maksimissaan 200 A (8).

Konfiguroin PDM:n vielä ajamaan päävirtakytkimen asiaa siten, että kytkin low-power-moden eli matalan energiakulutuksen tilan kytkeytymään 120 sekunnin viiveellä, kun signaali virtalukon +15-syötöstä katkeaa. Silloin PDM pitää oman ohjauselektroniikkansa virroissa, mutta katkaisee kaikista niistä syötöistä jännit-teen, jotka on ohjelmallisesti asetettu low power-tilaan. Low power -tilassa PDM:n virrankulutus on alle 0,1 A.

Viive on olennainen, jos Valtran moottorinohjainlaite kytketään saamaan käyttö-virtansa PDM:ltä, koska ohjainlaite ajaa tiettyjen toimilaitteidensa perusasetuk-set ja servojen lepoasennot, sekä tyhjentää AdBlue-järjestelmän moottorin sam-mumisen jälkeen. Tämä ottaa aikaa maksimissaan noin 90 sekuntia, joten 120 sekunnin viive on riittävä. Nykyisessä kytkennässä Valtran ohjainlaitteen oh-jausvirta kytketty suoraan virtalukolta.

7.5 Käynnistysrele

Valtran omassa järjestelmässä moottorinohjainlaite ohjaa kelluvana 75 A:n re-lettä, jolla ohjataan starttimoottorin solenoidia. Olisin halunnut eroon kyseisestä releestä, mutta jos sen ohjausnastat irrotetaan, ohjainlaite sammuu.

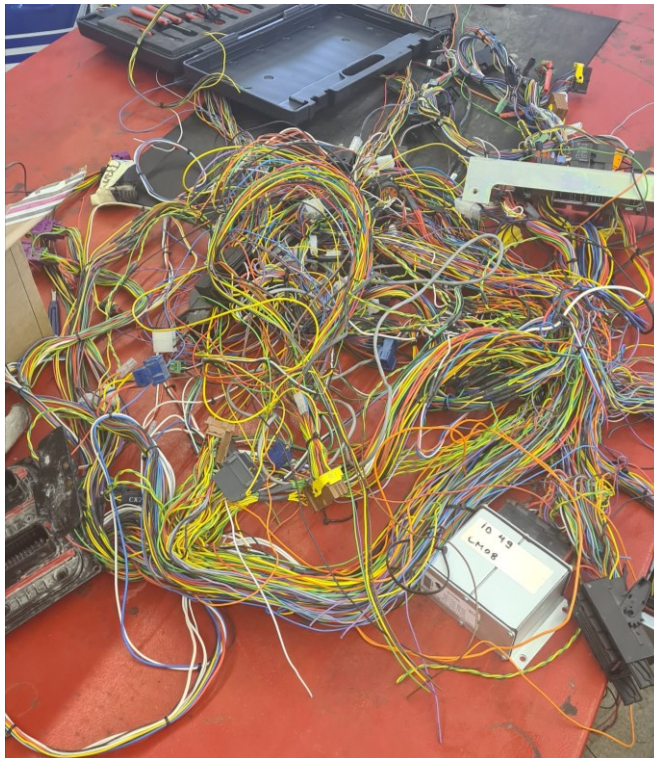
Käytössä ollut dokumentaatio ei anna mitään selitystä sille, miksi näin tapahtuu. Itse pohdin, että tämä voi olla turvajärjestelmä, jolla estetään, että moottori voisi käynnistyä pelkkää starttia pyörittämällä.

Rele oli siis pakko jättää paikalleen, joten jätin sen myös ohjaamaan startin solenoidia. Kytinkin kuitenkin releen syötön vielä PDM:lle, jotta sain syöttövirtaan konfiguroitua suojaominnon, joka estää starttimoottorin pyörimisen esimerkiksi silloin, jos kaasu on liiaksi auki tai kuormasolenoidin ohjausvirta on aktiivinen.

7.6 Sähköjärjestelmän rakentamiseen liittyvät haasteet

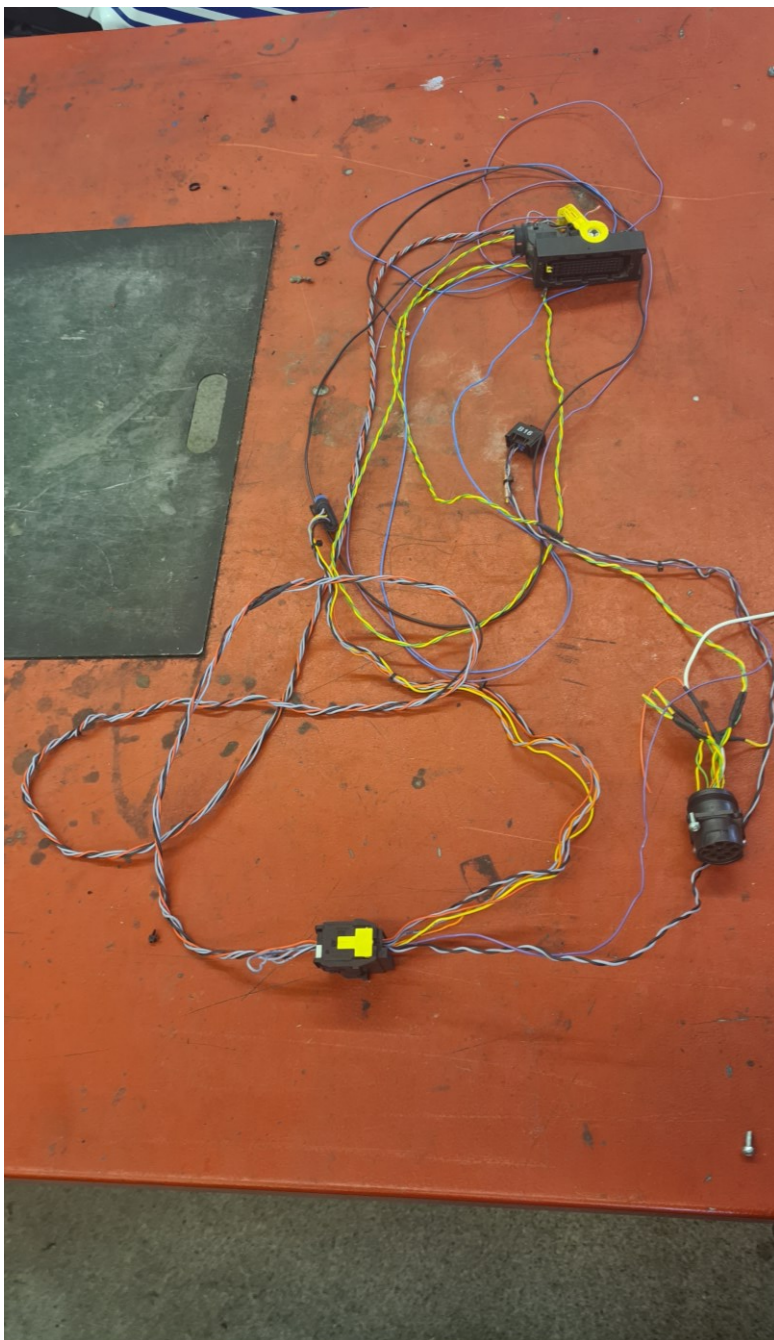
Sähköjen toteutus vei paljon oletettua kauemmin, sillä minulle toimitetut sähkökuvat eivät pitäneet paikkaansa.

Sähköjärjestelmän pohjana toimi koko traktorin johtosarja, joka on siis noin 40 kilogramman painoinen nippu johtoa ja ohjainlaitteita (kuva 10).



Kuva 10. Traktorin johtosarja

Johtosarjasta ei kuitenkaan ollut tarkoitus käyttää kuin ne johtimet, jotka olivat välttämättömiä moottorin käynnistykselle ja kuormituksen ohjaamiselle sekä diagnostiikalle (kuva 11).



Kuva 11. Johtosarjasta käyttöön jäänyt osa

Kuulostaa yksinkertaiselta, mutta johtoja on valtavasti eikä kytkentäkaavio pitänyt paikkaansa. Pitkän ja uuvuttavan yksin yrittämisen jälkeen pyysin apua Valtaran tuotekehitysosastolta, josta lähetettiin avukseni tuotekehitysosaston sähköasentaja.

Saavuttuaan paikalle asentaja huomasi välittömästi, että käytössä olleet tuotantoversion kytkentäkaaviot eivät olleet oikeat, sillä projektin elintenluovuttajana toiminut traktori oli prototyyppi.

Kun arkistosta löydettiin paikkansa pitävät kytkentäkaaviot, moottori saatiin käyntiin huhtikuun lopussa 2021.

8 CAN-väylät

CAN-väylien tehokas käyttö on yksi koko opetuslaitteiston tärkeimpiä ominaisuuksia opetuskäytön kannalta. Laitteistossa on nyt tiedonkeruukäytössä kaksi CAN-väylää, moottori- ja ajoneuvoväylät.

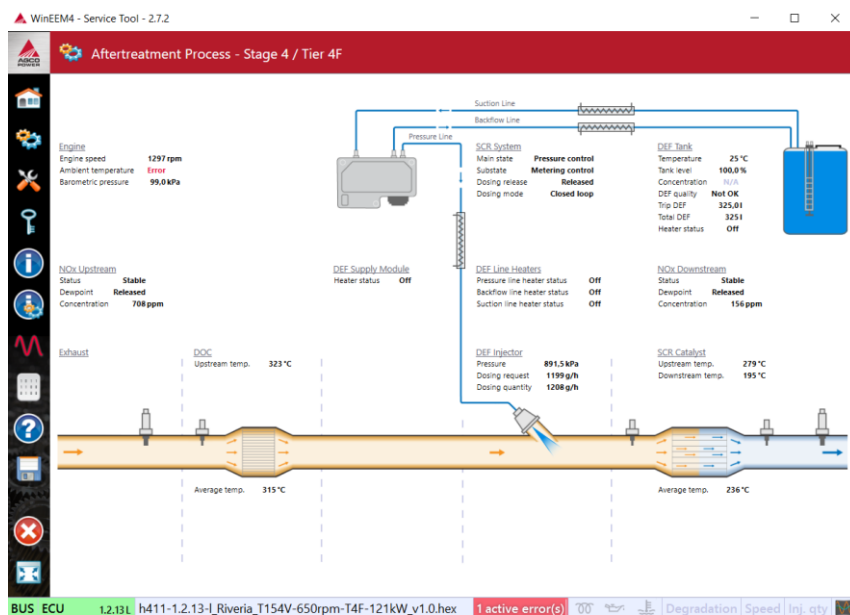
Lisäksi ajoneuvoväylää käytetään viskokytkimellä varustetun jäähdytinpuhaltimen ohjaukseen. Pakokaasun jälkikäsittelylaitteiston anturit ovat omassa CAN-väylässään. Opetuslaitteistossa on siis käytössä yhteensä kolme väylää.

8.1 Ajoneuvo- ja moottoriväylät

Valtra T154:n tuotantoversiossa on neljä CAN-väylää eri tarkoituksiin. Niistä ajoneuvoväyläksi kutsuttu 250 kbit/s väylä on diagnostiikkaväylä, johon WinEEM-diagnostiikkatyökalu kytketään.

WinEEM on Agco Powerin diagnostiikkaohjelmisto, jolla voidaan päivittää moottorinvalvontayksikön ohjelmistoja, tutkia moottorin lämpöjä, paineita, nopeuksia ja toimilaitteiden tiloja sekä lukea laitteen OBD-diagnostiikkaa.

WinEEM-ohjelmistossa on tyylikkääts graafiset esitykset esimerkiksi pakokaasunpuhdistuslaitteistolle, josta näkyy pakokaasuvirran lämpötilat eri kohdissa sekä esimerkiksi AdBlue-ruiskutusjärjestelmän toiminta animoituna (kuva 12). Näitä animaatioita tullaan hyödyntämään opetustyössä, sillä animaatio havainnollistaa pakokaasun puhdistusjärjestelmän toiminnan erinomaisesti.



Kuva 12. Pakokaasun puhdistuslaitteisto graafisena esityksenä, kuvakaappaus WinEEM-ohjelmistosta

Asensin kumpaankin ohjauskonsolin Mini Workstation -tietokoneeseen WinEEM-ohjelman. Molemmille koneille on oma diagnostiikkasovitin, ja laitteiston ajoneuvoväylässä on kaksi diagnostiikkaporttia, joten molemmilla koneilla voidaan esittää animaatioita tai tehdä harjoitteita yhtäaikaisesti.

MaxxECU Race -ohjainlaitteen CAN-väylä on vapaasti muokattavissa, mutta PDM-yksikön väylä on kiinteällä 1 Mbit/s -nopeudella. Jos väylään kytketään eri nopeuksilla toimivia laitteita, kommunikaatio osaan laitteista tai koko väylä lakkaa toimimasta.

Moottorin johtosarjassa on kuitenkin 1 Mbit/s -moottoriväylä, johon moottorin ohjainlaite lähettää kaikki olennaiset moottorin tiedot ja tilat. MaxxECU kytkettiin 1 Mbit/s -moottoriväylään, jolloin PDM-yksikköä ja sitä kautta myös hydraulikka voidaan ohjata moottorin tilojen mukaan samalla, kun 250 kbit/s ajoneuvoväylää voidaan käyttää tavalliseen tapaan riippumatta siitä, mitä 1 Mbit/s -väylässä tapahtuu.

Samalla analogitiedonkeruun data voidaan yhdistää väylää pitkin saataviin moottorin kuormitus- ja lämpötilatietoihin ilman ylimääräistä anturointia. Väylädata on myös olennaista tiettyjen turvaominaisuuksien ohjelmoinnissa, joista lisää luvussa 9.

8.2 CAN-viestien avaaminen MaxxECUlla

Jotta MaxxECU voi käyttää CAN-väylästä luettuja viestejä, viesti täytyy prosessoida eli dekodata.

CAN-viesti on paketti, joka yleensä sisältää useita eri tietoja. Tietojen saattamiseksi ymmärrettävään muotoon paketti täytyy purkaa.

MaxxECUn käyttöliittymässä on CAN-analysaattori, joka näyttää väylässä liikkuvan datan taulukkomuotoisena. Koska 1 Mbit/s -väylässä ei ole MaxxECUn lisäksi muita laitteita, kaikki väylään saapuvat viestit tulevat Valtran EEM4-ohjainlaitteelta.

Koska dataa kuljetetaan väylässä ykkösinä ja nollina, on tavallista, että viestissä kuljetettavaa dataa kerrotaan ja jaetaan ja arvoa muutetaan lisäämällä tai poistamalla siitä vakioarvo. Tällä tavalla koko 8- tai 16-bittisen datakentän koko alue saadaan skaalattua siten, että anturiarvo tai muu tieto voidaan ilmaista tarvittavalla tarkkuudella.

MaxxECUn käyttöliittymän mukaan viestin arvo lasketaan kaavalla 3:

$$Value = Resolution \times (indata + offset) \times multiplier \div divider \quad (3)$$

MaxxECUn käyttöliittymän byte offset alkaa bitistä 1. Kenttään syötetään viestin datan paikka paketissa siten, että luku ilmaisee tavun järjestysnumeroa, joka kasvaa siirryttäessä vasemmalta oikealle. Datatavu D0 saa siis offsetiksi arvon 1.

MaxxECUn konfiguroinnissa on erikseen value conversion kohdassa offset, joka puolestaan tarkoittaa kiinteää viestin arvoon lisättävää tai siitä poistettavaa lukuarvoa. Tällä tavoin voidaan skaalata anturiarvoa ylös tai alas.

Esimerkkinä signaalin offsetiksi voidaan asettaa -40. Kun signaali on nolla, dekodattu mitta-arvo on -40. Tämä on hyvin tyypillinen lukema, joka näkyy lämpöanturin mittaustuloksena esimerkiksi testerillä, jos anturi rikkoutuu tai sen mitajohto on irti.

MaxxECU:n asetuksissa on vielä kerrottava, onko viesti 8- vai 16-bittinen. Jos 16-bittinen arvo on sellainen, että se ei voi saada negatiivisia arvoja, kuten esimerkiksi pyörintänopeus, arvo on tavallisesti unsigned eli etumerkitön.

8.3 Tietojen allokointi järjestelmämuuttujaksi

MaxxECU hyväksyy omaksi järjestelmämuuttujakseen CAN-viestinä saadun tiedon, jos se asetetaan CAN-viestin value usage-kohdasta. Järjestelmämuuttujat näkyvät käyttöliittymän päänäytön alareunassa niille varatuissa kentissä, joten kaikkia tietoja ei tarvitse erikseen analysoida tiedonkeruun kautta.

8.4 Kaasun asennon dekodaus CAN-viestistä

Kaasun asennon paikallistaminen viesteistä oli verrattain helppoa, sillä CAN-viesteistä vain kaksi muuttuu kaasun asennon mukaan, jos moottori ei käy. Näistä toinen oli suurella varmuudella kaasun asento, ja toinen joku kaasun asennon mukaan muuttuva muuttuja, kuten vääntömomentin pyynti tai kierros-
lukupyynti.

Tutkimus aloitettiin ID:stä 0xCF00300, jossa näkyi selvästi 8-bittinen viesti, joka muuttui orjallisesti kaasun asennon mukaan. Data sijaitsee kyseisen paketin ensimmäisessä datatavussa, joten data offsetiksi asetetaan 1.

Kaasun asento kannattaa luonnollisesti konfiguroida siten, että tyhjäkäynnillä asento on 0 ja täyskaasulla joko 99 tai 100, ja yksikkönä on silloin järkevää käyttää prosentteja.

Koska data on 8-bittinen, sen desimaaliarvo vaihtelee välillä 0–255. Jotta tuo skaala saadaan muutettua välille 0–100, se voidaan esimerkiksi kertoa ensin 100:lla ja jakaa sen jälkeen 255:llä. Multiplier-arvoksi asetetaan siis 100 ja divider-arvoksi 255.

Kun resoluutioksi laittaa näillä asetuksilla 0,1, kaasun asento näkyy tiedonkeruussa vaihtelevan siististi noin nolasta noin sataan. Arvolle annettiin nimeksi PedalPos, yksiköksi prosentti ja se asetettiin value usage -kohdan destination-kentässä järjestelmämuuttujaksi throttle position eli kaasun asento.

”Little endian / big endian” käyttöliittymässä tarkoittaa datan lukusuuntaa pakettissa, joten se on pidettävä tässä yhteydessä koskemattomana.

8.5 Yleisempi datan dekodaus CAN-analysaattorilla

Jos käytävissä on kattava CAN-viestidokumentaatio, tiedonkeruun konfigurointi on helppoa, sillä kaikkien viestien kaikki tarvittavat tiedot löytyvät sieltä. CAN-dokumentaatio on kuitenkin useimmiten ajoneuvovalmistajien salassa pidettävää aineistoa, eikä sellaista yleensä ole saatavilla.

Tietojen purku CAN-analysaattorilla vaatii kokemusta ja perusasioiden ymmärtämistä, mutta esimerkiksi moottorin pyörintänopeus paikallistui melko nopealla tutkimuksella esimerkiksi IDCF00400-paketin D4-tavusta eteenpäin kuusitoistabittisenä.

Koska laitteiston käydessä tarkkaa kierroslukua voi lukea WinEEMillä, voitiin kyseisen datan kerroin ja jakaja määritellä melko nopeasti. Helpointa tämä on sitten, että asettaa moottorin käymään tasaista käyntinopeutta 1000 r/min, jolloin viestissä olevan lukuarvon ja kierrosluvun välinen kerroin tai jakaja on helppoa haarukoida tai laskea päässä.

Nopeasti kokeilemalla jakajaksi saatiin 8 ja resoluutioksi 0,1. Näillä asetuksilla kierrosluku näkyy oikein. Arvolle annettiin nimeksi EngSpeed ja se asetettiin järjestelmämuuttujaksi RPM.

Tämänkaltaisen dekodauksen suurin ongelma on se, että vaikka data näyttää kierrosluvulta, se ei välttämättä ole sitä vaan kyseessä voi olla joku muu kierrosluvun mukaan muuttuva viesti.

Ilman dokumentaatiota tapahtuvassa CAN-viestien dekodauksessa on etua, jos tuntee yleisesti käytössä olevien CAN-viestien rakenteita ja ID-tietoja. Usein ohjainlaitevalmistajien CAN-viestintä myötäilee ainakin osittain yleisesti käytettyjä protokollia.

9 PDM:llä toteutettu sähköjärjestelmän ohjaus

Hydrauliikka on yksinkertainen. Siinä on vain kaksi solenoidia ja mekaaninen paineensäädin. Silti laitteistoon on hyvä rakentaa erinäisiä suoja mekanismeja, sillä oppilaitosympäristössä pitää pystyä varautua odottamattomaan.

Todennäköisyys, että laitetta käytetään jossain vaiheessa tahallisesti väärin, on suuri. Niinpä kaikkiin komponentteihin täytyy jättää runsaasti varmuuskerrointa. Kutsun PDM-yksiköllä toteutettuja ohjausehtoja logiikaksi, sillä siitähän tässä lopulta kuitenkin oli kyse.

Hydrauliikan lisäksi PDM syöttää starttireleen solenoidille jännitteen. Starttisolenoidin ohjaukseen lisättiin ehtoja, jotka ovat tarpeellisia, koska moottori ei ole asennettuna traktoriin vaan kelkkaan, jossa kaasupoljin on korvattu jousittamattomalla potentiometrillä.

9.1 Käynnistyksen estoon liittyvät suojaominaisuudet

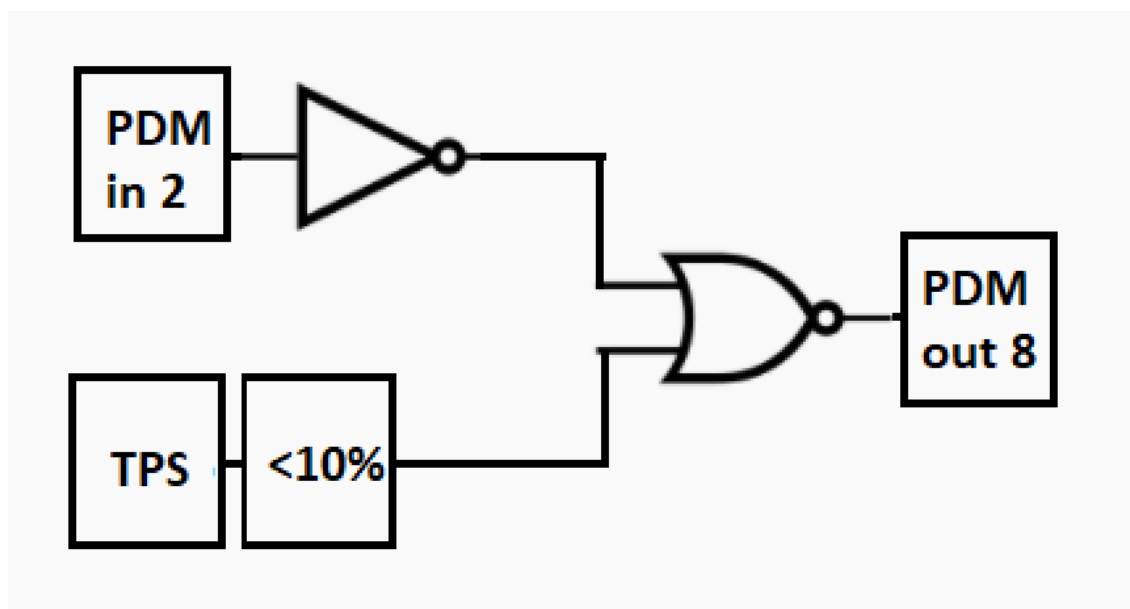
Kytkin käynnistysmoottorin siten, että virtalukko ohjaa käynnistysvirran moottorin ohjainlaitteelle. Ohjainlaite puolestaan kytkee virran käynnistysmoottorin solenoidia ohjaavalle releelle.

9.1.1 Starttireleen kytkentä

Starttireleen syöttö kytkettiin PDM-yksikön 25 A:n lähtöön, jolle asetettiin seuraavat ehdot:

- Kaasun asennon on oltava alle 10 %.
- Kuormakytkin ei saa olla päällä.

Tämä on helppo esittää kuvan 13 mukaisilla loogisilla operaattoreilla.



Kuva 13. Käynnistyksen esto logiikkakaaviona

MaxxECUn käyttöliittymä on graafinen, ja suunniteltu pienen oppimiskynnyksen järjestelmäksi, joten sen käyttö ei edellytä loogisten porttien tai symbolien tunte-
musta.

9.1.2 Käynnistyksen ohjauksen ja ehtojen kytkentä sekä asetukset

Aluksi PDM-yksikköön johdotettiin hydraulikan solenoidien ohjauksen liipaiseva kytkin, joka on asennettu mittaristokonsoliin. Kytkentä on maadoittava, joten PDM in 2 -ännite laskee lähelle nollaa, kun kytkin maadoittaa.

Tämän jälkeen konfiguroitiin PDM:n output functions -välilehdeltä PDM-out-kanava siten, että se aktivoituu User Output 2 -ehdolla. Kun tämä oli tehty, PDM-yksikön advanced-valikkoon ilmestyi User Output 2 -välilehti.

User Output 2 -välilehdellä annettiin toiminnolle nimi "Starttirele". Tämän jälkeen määriteltiin ehdoksi A, että Throttle position < 10,0 %. (Kuva 14)

Kun Output configuration -kohdasta valitsi Output functioniksi A or B, ilmestyi valikkoon myös Condition B, joka asetettiin siten, että PDM in 2 eli solenoidin ohjauskytkin-nimisen inputin jännite on pienempi tai yhtä suuri kuin 2,0 V.

PDM User Output 2

Function name

Description Starttirele

Condition A

Variable Throttle position < (less than) 10.0 % [inactive]

Condition B

Variable PDM In 2 (solenoidi kytki) <= (less than or equal to) 2.000 V [inactive]

Output configuration

Output function A or B

Kuva 14. PDM-yksikön ohjauslähdön ehtojen asetusvalikko

Tällä tavoin asetettuna starttirele ei saa syöttövirtaa, jos kaasun asento on yli 10 % tai kuormakytkin on päällä. Jos kaasu on vaikkapa puoliksi auki, painaa käynnistyslupapainiketta ja yrittää startata, moottorin ohjainlaitteen ohjaama starttirele vetää, mutta solenoidi ei.

9.2 Kuormakytkimen ohjaus

Hydraulinen kuorma siis kytkeytyy päälle, kun kumpaankin systeemiin kytkettyyn solenoidiin kytketään ohjausvirta ja vapaakiertoventtiili sulkeutuu. Jos solenoideihin ei tule virtaa, öljy kiertää vapaakierron kautta eikä järjestelmä kuormita moottoria juuri lainkaan.

Koko laitteisto on mitoitettu siten, että sekä moottori että hydraulijärjestelmän korkeapaineosa kestävät 400 bar:n paineet. Silti on järkevää rajoittaa painetta muutoinkin kuin pelkällä mekaanisella rajaventtiilillä. Koska käytössä on monipuolinen ohjainlaite, voitiin toteuttaa ohjelmallinen ylipainesuojaus.

Lisäksi järjestelmä on hyvä suojata komplikaatioilta, joita syntyy silloin, jos hydraulikan momentti ylittää moottorin momentin, ja moottori sammuu. Silloin on hyvä saada paineventtiili auki, kun pumppu vielä pyörii, jotta pumpun pesään ei jää kovaa öljynpainetta laitteiston pysähtyessä.

Ohjelmallisen ylipainesuojan konfigurointi aloitettiin luomalla MaxxECUn Advanced-välilehdellä User Table, jolle annettiin nimi "ylipainesuoja". Taulukon pysty-akseliksi valittiin kanava AIN5, johon olin määritellyt käytetyn paineanturin

kalibrointi-arvot nolasta 25 MPa:iin. Vaaka-akseliksi valitsin järjestelmämuuttujan RPM, jonka skaalasin viiden pisteen välein nolasta 2250:een.

Turvallisuussyistä on hyvä, jos kuormitus-solenoidi kytkeytyy auki aina, kun kierrosluku on alle 850 rpm. Tämän johdosta taulukon kaikille soluille, joiden rpm on alle 850, asetettiin arvoksi 0. Maksimipaineeksi asetetaan 180 bar, joten kaikkien solujen, joiden paine-akselin arvo on yli 17,9, arvoksi asetettiin 0 (kuva 15).

		(output value)				
User AIN5 [hiPress] [MPa]	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	17.9	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
	14.3	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
	10.7	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
	7.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
	3.6	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
		0	850	1100	1650	2200
		RPM (rpm)				

Kuva 15. Ylipainesuojan säätökartta paineen ja kierrosluvun mukaan

Tämän jälkeen konfiguroitiin ylipainesuoja-taulukon arvo CAN output 1:een, jolloin ohjainlaite lähettää taulukon solun arvon väylään (kuva 16).

CAN Output 1

CAN output Value 1

Enable ? Disabled

Description

CAN Bus ? CAN 1

CAN Message ID Type ? Standard

CAN Message ID ? 0x299

Message rate ? 50Hz

Endian ? Little endian

Values in this package ? 6

Data value 1

Type ? Variable - unsigned 8 bit

Variable ? User table 4 (ylipainesuoja)

Offset ? 0 Output = (Indata * Multiplier / Divider) + Offset

Multiplier ? 1

Divider ? 1

Kuva 16, Ylipainesuojan tila, CAN-viesti

Kun ylipainesuojan CAN-viesti oli konfiguroitu PDM-yksikön CAN input -asetuksiin, voitiin luoda PDM User Outputille ehto, joka totelee juuri tehtyä ylipainesuojan karttaa (kuva 17).

PDM User Output 1

Function name

Description solenoidi ohjuu

Condition A

Variable PDM In 2 (solenoidi kytki) < (less than) 2 V [inactive]

Condition B

Variable PDM User CAN1 (ylipainesuoja) > (greater than) with hysteresis 0.0 [inactive]

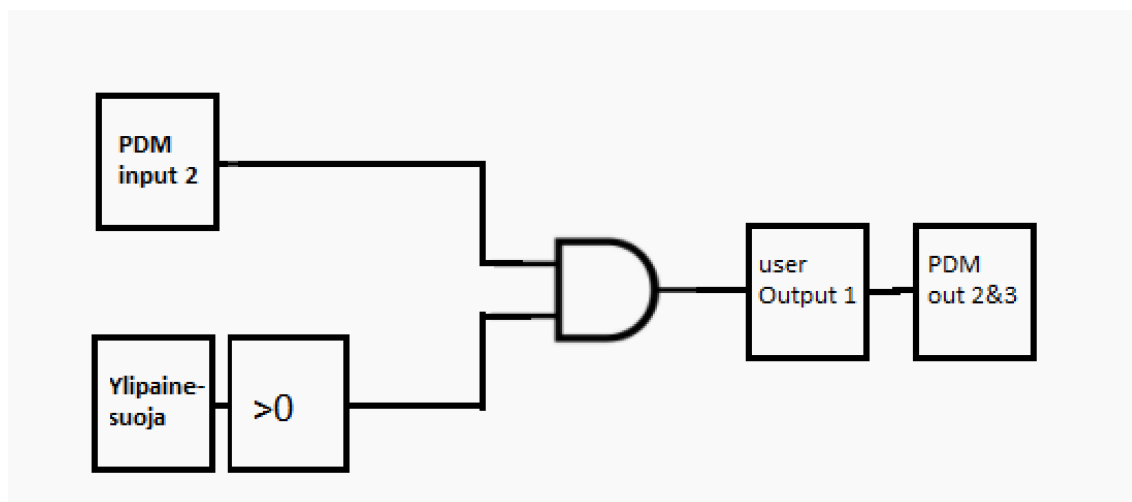
Hysteresis 5.0

Output configuration

Output function A and B

Kuva 17. Solenoidin ohjauksen ehdot

Solenoidien ohjauslähtö User Output 1 aktivoituu siis, jos PDM input 2 on madoitettu ja CAN-viestinä MaxxECU:ltä saatava ylipainesuojakartan arvo on enemmän kuin 0. Ylipainesuojan toiminta voidaan esittää kuvan 18 logiikkakaaviona.



Kuva 18. Ylipainesuoja logiikkakaaviona

Järjestelmään on järkevää rakennella kaikenlaisia ohjelmallisia suojauksia ja rajakytkimiä. Sellaisista saa hyviä harjoitteita edistyneemmille opiskelijoille.

9.3 Pohdinnat MaxxECU:n käytöstä logiikkaohjaimena

Tämä on tietävästi ensimmäinen kerta, kun MaxxECUa ja sen PDM-yksikköä käytetään tällä tavoin logiikkaohjaimena. Laitteistovalinta oli tietoinen riski, mutta jo tällä kokemuksella uskallan sanoa, että riski kannatti ottaa. Laitteisto on selkeä ja helppotajuinen, kunhan on perillä perusasioista.

MaxxECU taipuu mainiosti tällaisen hydrauliiikan ohjaukseen. Matematiikkakanaavia ja User Output -karttojen avulla voidaan yhdistää moottorin väylään lähettämiä tietoja hydrauliiikan tietoihin.

Jos hydrauliiikkaan asennetaan proportionaaliventtiili kuormituksen säätöä varten, voidaan MaxxECU ohjelmoida lähettämään moottorille vääntömomenttipyyntiä sen mukaan, miten hydrauliiikka kuormittuu.

10 Laitteiston käyttö ja jatkokehitys

Vaikka laitteisto olikin luovutushetkellä teknisesti valmis, oli se vielä viimeistelemätön. Vaaditaan paljon työtä, että laite voidaan ottaa opetuskäyttöön. Olenaisista kuitenkin on se, että laitteiston käyttökynnys on hyvin matala.

10.1 Laitteiston käyttöönotto ja moottorin käynnistäminen

Kun laitteisto halutaan ottaa käyttöön, avataan kontin kaikki ovet ja pakoputken luukku. 400 V:n syöttövirtakaapeli kytketään sähköverkkoon, jotta saadaan valot ja virrat pääkeskukseen sekä siitä valoille ja pistorasioihin. Ohjauskonsolin tietokoneet käynnistyvät itsestään.

Laitteistossa ei ole muuta 12 voltin päävirtakytkintä kuin PDM-yksikkö. Jos akun maakaapeli on irrotettu, se pitää kiinnittää. Kun akku kytketään, moottorinohjain ajaa parin eri toimilaitteen perusasetusajon ja tästä kuuluu narahtavia ja naksahdelevia ääniä. Tämän jälkeen moottorin voi käynnistää painamalla käynnistyslupapainiketta mittaristokonsolin vasemmasta ylänurkasta ja kääntämällä virta-avaimesta.

Jos startti ei pyöritä, mutta ohjaussolenoidi naksahdaa, kuormakytke on päällä tai kaasupotentiometri on liiaksi auki.

Jos kuorman kytkee päälle moottorin ollessa tyhjäkäynnillä, mitään ei tapahdu. Kuorma kytkeytyy, kun kierrokset nousevat yli arvon 850 r/min, ja vapautuu, kun kierrokset laskevat alle arvon 850 r/min. Moottorin lämpötila- ja kierroslukutiedot näkyvät mittaristokonsolin näytöiltä.

Kontin sivuilla olevassa kuudessa näytössä näkyvät samat asiat kuin ohjauskonsoliin asennetuista pienistä näytöistä. MaxxECUn graafiset näytöt saa toiseen tietokoneeseen MaxxECU Mtunen kautta, ja toisen tietokoneen yhteen näyttöön Bluetoothin välityksellä MaxxECU-aplikaatiolla.

10.2 Laitteiston käyttömahdollisuudet opetuskäytössä

Laitteisto on monipuolinen ja mahdollistaa hyvin erilaisten ja kiinnostavien harjoitteiden tekemisen, kunhan sen ympärille tehty opetusmateriaali tuotetaan hyvin.

10.2.1 Dieselmoottoritekniikka

Moottoritekniikkaa laitteistolla voi opettaa siinä missä toimivan traktorinkin kanssa. Moottori on kuitenkin helpommin saavutettavissa, ja komponenttien tunnistaminen, irrottaminen, kiinnittäminen tai vaikkapa mittaaminen on helpompaa kuin kokonaisesta traktorista.

Jos moottorinohjainlaitteen ja johtosarjan väliin asennetaan ns. breakout-boksi, tai tutkittavan anturin tai toimilaitteen ja johtosarjan väliin rakennetaan breakout-johto, voidaan järjestelmästä mittailla erilaisia anturisignaaleja ja tutkia eri laitteiden toimintaa suhteessa anturitietoihin.

WinEEM-ohjelmiston käyttöharjoituksiin laitteisto sopii erinomaisesti. Projektia tehdessä sainkin Linnavuorelta kaksi eri moottorin ohjelmistoversiota, joista toisessa tyhjäkäynti on 650 r/min ja toisessa 850 r/min. Tästä saa hyvän harjoitteen.

Moottorissa on toimiva euro stage 4 / tier 4f -pakokaasujenpuhdistusjärjestelmä, jonka toiminnan opettaminen on laitteistolla erittäin helppoa, sillä WinEEM-ohjelmistossa on tätä varten kauniit ja animoidut visualisoinnit ja tiedonkeruu.

10.2.2 Ajoneuvosähkötekniikka

Laitteistoon on helppo lisäillä valoja, pumppuja, toimilaitteita sekä antureita ja ohjailta niitä MaxxECUlla ja PDM-yksiköllä. PDM-laitteisto mittaa ohjauslähtöjen virtoja, joten sitä kautta voidaan opettaa virran, jännitteen ja resistanssin suhdetta eli Ohmin lakia käytännön kautta.

Anturien kalibrointi ja signaalien analysointi on yleensä hankalaa. Tähän laitteistoon erilaisten anturien kytkeminen ja tarkastelu on helppoa. Esimerkiksi lämpöantureita MaxxECUn kirjastoihin on valmiiksi tallennettu iso kirjo.

Mittausten ja analysoinnin lisäksi anturointiharjoituksissa pääsee tutustumaan johtimien mitoitukseen ja liittimiin sekä niiden asennukseen ja liitinpihtien käyttöön.

10.2.3 Väylätekniikka

Väylät ovat tätä päivää. Väyliin liittyvän tiedonsiirtotekniikan opettaminen on ammattioppilaitosympäristössä kuitenkin haastavaa. Tällä laitteistolla väylämaailmaan pääsee tutustumaan käytännön harjoitteiden kautta.

Esimerkiksi laitteistoon jo rakennettu ylipainesuoja oli palkitseva tehdä, sillä siinä yhdistettiin perinteinen mekaanisesti johdotettu ohjaustulo ja väyläviestinä digitaalisesti saatava tulo konkreettiseksi ohjaussolenoidin naksahdukseksi.

Samankaltaisia harjoituksia laitteistolla voi kehittää lähes loputtomiin. Hydraulii-kan voi asettaa kytkeytymään päälle, vasta kun moottori on lämmin, tai hydraulii-kan jäähdyttimen pumppua voi ohjata PWM-signaalilla öljyn tai veden lämpötilan mukaan.

10.2.4 Hydrauliiikka

Hydraulijärjestelmä on tässä vaiheessa hyvin yksinkertainen. Laitteistossa on kuitenkin kaksi vapaata kierreltiosta, toinen korkeapainepuolella ja toinen säiliössä. Näihin on helppo asentaa pikaliittimet, jolloin laitteistoa voidaan käyttää hydraulisena teholähteenä mihin tahansa.

Laitteiston anturointia voidaan hyödyntää hydrauliiikan perusasioiden, kuten kierrostilavuuden, paineen ja vääntömomentin yhteyden havainnollistamiseen.

11 Loppupäätelmät

Vaikka laitteisto valmistui aikataulustaan myöhässä, projekti onnistui mielestäni hyvin. Insinööriyöksi projekti oli erittäin laaja, eikä tämäkään raportti kata läheskään kaikkea, mitä laitteiston rakentaminen ja suunnittelu piti sisällään.

Projekti oli hyvin opettavainen ja haasteineen palkitseva. Koko projektin päätteeksi sain lisätä omaan ansioluettelooni lisätä parikin uutta taitoa.

Laitteiston luovutus- ja esittelytapauksessa minun annettiin ymmärtää, että Riverian autoalan opettajat ja ohjaajat, jotka olivat ottamassa laitteistoa ja esittelyä vastaan, olivat positiivisesti yllättyneitä laitteiston kaikista ominaisuuksista sekä viimeistelyn tasosta.

Lähteet

- 1 RekryKoulutuksesta vastaus raskaan kaluston mekaanikkopulaan. 2021. Verkkoaineisto. Tampereen Aikuiskoulutuskeskus. <<https://www.takk.fi/fi/koulutukset/ammattialat/autoala/rekrykoulutuksesta-vastaus-raskaan-kaluston-mekaanikkopulaan>>. Luettu 23.11.2021.
- 2 Organisaatiokaavio 2021. 2021. Verkkoaineisto. Pohjois-Karjalan koulutuskuntayhtymä, Riveria. <https://www.riveria.fi/files/Riveria_organisaatiokaavio-1.pdf>. Luettu 23.11.2021.
- 3 Hankintaohje 2020. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Pohjois-Karjalan koulutuskuntayhtymä, Riveria.
- 4 Hankintalaki. 2016. 1397/29.12.2016.
- 5 Ulrich, Karl & Eppinger, Steven. 2012. Product Design and Development 5th edition. New York: McGraw Hill.
- 6 Paavilainen, Heikki. 2020. Hydrauliiikka. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 7 SAE J514/1. Metallic Tube Connections for Fluid Power and General Use – Part 1: 37° Flared Fittings. Warrendale: SAE-Industry Technologies Consortiumia.
- 8 MaxxECU PDM Wiring. 2020. Verkkoaineisto. MaxxTuning ab. <www.maxxecu.com/files/Documentation/Wiring/MaxxECU%20PDM%20-%20Wiring-en.pdf>. Luettu 23.11.2021

Kytöntäkaavio

