



Riku Pietilä

# Lännen 8800E:n ohjausjärjestelmä- päivitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

4.10.2021

## Tiivistelmä

Tekijä:	Riku Pietilä
Otsikko:	Lännen 8800E:n ohjausjärjestelmäpäivitys
Sivumäärä:	34 sivua
Aika:	4.10.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Autosähkötekniikka
Ohjaajat:	Tuotekehityspäällikkö Ville Pesonen, Lännen Tractors Oy Lehtori Sanna Heikkinen, Metropolia Ammattikorkeakoulu

---

Tässä työssä suunniteltiin ja toteutettiin Lännen 8800E:n sähköjärjestelmän päivitys. Tavoitteina oli, että muutos olisi tehtävissä, missä tahansa huoltopisteessä, ilman tietokoneyhteyttä, mahdollisimman edullisesti ja niin, että koneen alkuperäiseen johdinsarjaan ei tarvitsisi tehdä muokkauksia. Työssä kuvataan myös tärkeimpiä sähköjärjestelmän suunnitteluun liittyviä asioita.

Lännen 8800E -mallissa käytettiin aiemmin suomalaisen VANSCOn valmistamia ohjainlaitteita, mutta niiden valmistuksen päätyttyä oli Lännen Tractors Oy:llä tarve saada mallisarjaan sähköjärjestelmän muutos, jota voidaan tarvittaessa tarjota asiakkaalle. Piirikaaviot ja johdinsarjakuvat tehtiin käyttämällä Vertex ED -sähkösuunnitteluohjelmistoa.

Työn tuloksena syntyi kolmiosainen tuote, joka koostuu kahdesta muutosjohdinsarjasta sekä asennusohjeesta. Muutos voidaan tehdä missä tahansa huoltopisteessä, sekä se on kohtuuhintainen.

Avainsanat: Ohjainlaite, johdinsarjasuunnittelu, ohjausjärjestelmäpäivitys, VertexED, Lännen

## Abstract

Author: Riku Pietilä  
Title: Electrical system upgrade of Lännen 8800E  
Number of Pages: 34 pages  
Date: 1 October 2021

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Automotive Engineering  
Professional Major: Automotive Electronics Engineering  
Supervisors: Ville Pesonen, R&D Manager, Lännen Tractors Oy  
Sanna Heikkinen, Senior Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences

---

The objective goal of this Bachelor's thesis was to design and implement a Lännen 8800E electrical system upgrade. The purpose was to design the upgrade so that this upgrade could be done in any service point or even at the field, without the need of computer connection and without any modification of the original wiring harness of the machine. Also, some of the most important facts related to electrical design are covered in this thesis.

Earlier control modules made by Finnish VANSCO were used in Lännen 8800 E-series, but since the termination of manufacturing of these control modules Lännen Tractors had a need of an upgrade made to this E-series of machines that could be offered to customers.

As a result of this thesis was a three-part product that includes two wiring harnesses and assembly instructions. The upgrade can be done in any service point at a reasonable price. The wiring diagrams and the harness layout were designed using Vertex ED electrical design software.

Keywords: Control module, Electronics, Wiring harness design, Control system upgrade, VertexED, Lännen

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lännen Tractors Oy	3
3	Piirikaavion suunnittelu	4
3.1	Suunnittelun aloitus	4
3.2	Piirikaavion piirto	7
3.3	Piirikaavioiden yhtenäisyys	9
4	Johdinsarjan suunnittelu	11
4.1	Testikoneen valmistelu	11
4.2	Johdinsarjakuva	12
4.3	Johdinsarjansuojaus	16
5	Johdinsarjan valmistus	19
5.1	Prototyypijohdinsarjojen valmistus	19
5.2	Johdinsarjojen asennus	21
6	Testaus	23
6.1	Testauksen tarkoitus	23
6.2	CAN-väylän toimintavarmuus	25
6.3	CAN-väyläkuorma	26
7	Asennusohjeistuksen valmistaminen	27
8	Yhteenveto	28
	Lähteet	1

## Lyhenteet

CAN: *Controller Area Network*. Ajoneuvoissa ja teollisuudessa käytetty kommunikaatioväylä.

I/O: *Input / Output*. Ohjainlaitteiden toiminnalliset liitännät, joita kutsutaan sisääntuloiksi ja ulostuloiksi, lyhyesti I/O.

SAE: *Society of Automotive Engineers*. Yhdysvaltalainen autoalan standardisointijärjestö.

## 1 Johdanto

Lännen 8800E -sarjan kaivurikuormaajissa käytettyjen VANSCO:n ohjainlaitteiden valmistuksen ja tuotetuen päättymisen myötä on uusien ohjainlaitteiden saatavuus hankaloitunut ja hinnat nousseet merkittävästi. Niinpä 8800E-sarjan koneiden tuotetuen jatkamiseksi Lännen Tractors Oy tarvitsi ratkaisun tähän ongelmaan. VANSCO:n ohjainlaitteita on mahdollisuus korjata, mutta se on usein aikaa vievä prosessi, johon asiakkailta ei välttämättä ole varaa. Ratkaisuna päätettiin vaihtamaan ohjainlaitteet kokonaan edullisimpiin ja todetusti luotettaviin DANFOSSin valmistamiin ohjainlaitteisiin. Myytyjen koneiden tuotetuen ylläpitäminen parantaa asiakastytyvyyttä, mutta päivityspaketin suunnittelu ja toteutus sekä myös lopullinen tuote ovat usein kalliita. Kuvassa 1 olevaa 8800E-mallia on valmistettu yhteensä 47 kappaletta vuosina 2006–2008, ja jokaisen koneen ollessa edelleen vähintään 70 000 euron arvoinen on asiakastytyvyyden kannalta tärkeää pystyä kokonaisvaltaisesti jatkamaan koneiden tuotetukea.

Jotta koneen alkuperäiseen johdinsarjaan ei tarvitse tehdä muutoksia, on tässä opinnäytetyössä tehty koneen alkuperäisen johdinsarjan ja korvaavien DANFOSSin ohjainlaitteiden väliin adapterijohdinsarja, joka voidaan asentaa missä tahansa huoltopisteessä tai jopa maastossa. Piirikaavion tekemiseen ja johdinsarjan suunnitteluun käytettiin kotimaista Vertex Systemsin valmistamaa Vertex ED-sähkösuunnitteluohjelmistoa. Työ tehtiin kokonaisuudessaan Lännen Tractors Oy:n tarjoamissa tiloissa.



Kuva 1. Testikoneena toiminut vuosimallin 2007 Läänen 8800E.

## 2 Lännen Tractors Oy

Lännen Tractors Oy on loimaalainen maanrakennuskoneita valmistava ja kansainvälisesti myyvä yritys, joka on osa LMCE Groupia. Yritys suunnittelee, valmistaa ja myy itse Lännen-monitoimikoneita sekä suunnittelee ja valmistaa kurottavia Meclift-trukkeja, Watermaster-imuruoppaajia sekä Lundberg-kiinteistöhoitokoneita. Yritys työllistää 160 henkilöä. Näistä 120 on Suomessa ja 40 Ruotsissa. Vuonna 2020 Lännen Tractors Oy:n liikevaihto oli 29 miljoonaa euroa. [1]

Lännen Tractorsin koneiden suunnittelussa käytetään samoin kuin tätä työtä tehdessä käytettiin neljää kotimaisen Vertex Systems Oy:n valmistamaa ohjelmistoa:

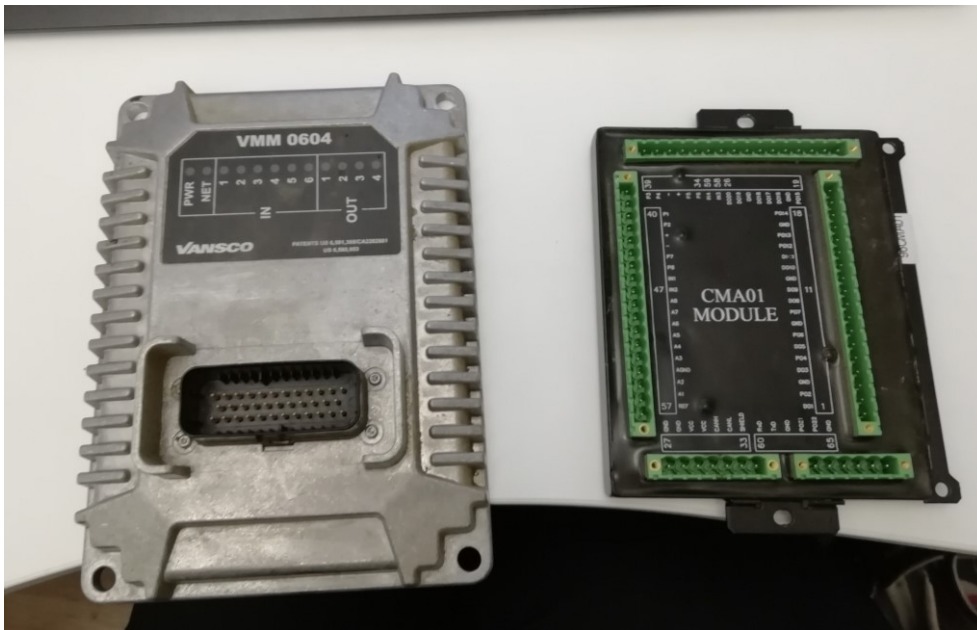
- G4-3D-mallinnusohjelma, jolla valmistettujen ohjainlaitteiden kiinnitystelineitä tarkasteltiin, kun valittiin tähän työhön soveltuvia kiinnitystelineitä
- Vertex Flow -tuotetiedonhallintaohjelmisto, jota tätä työtä tehdessä hyödynnettiin uusien piirustusnumeroiden luontiin sekä osaluetteloiden hallintaan
- Vertex ED -sähkö- ja automaatio suunnitteluohjelmisto, joka oli tätä työtä tehdessä suuressa roolissa. ED:llä toteutettiin piirikaaviosuunnittelu ja johdinsarjasuunnittelu, minkä lisäksi myös johdinsarjan asennuksen ohjeistus tehtiin osittain ED:tä käyttäen
- Vertex HD -hydrauliikkasuunnitteluohjelmisto, jota käytettiin työtä tehdessä, kun tutustuttiin E-mallin hydrauliikkajärjestelmään, joka oli suunniteltu HD-ohjelmistoa käyttäen.



### 3 Piirikaavion suunnittelu

#### 3.1 Suunnittelun aloitus

Piirikaavion suunnittelu aloitettiin tutkimalla 8800E:n alkuperäisiä piirikaavioita, jotta voitiin valita DANFOSSin ohjainlaitteista sopivat korvaamaan VANSCO:n ohjainlaitteet. 8800E-mallin sähköjärjestelmä koostui aikaisemmin viidestä eri ohjainlaitteesta: kolmesta kuvassa 2 oikealla olevasta VANSCO CMA01-I/O-ohjainlaitteesta, VANSCO MCT03 -näytöstä sekä kuvassa 2 vasemmalla olevasta ns. virranmittausmoduulista VANSCO VMM. VANSCO:n CMA01 -ohjainlaitteiden liitännäportit eivät ole vesisuojaattuja, joten hytin ulkopuolisille ohjainlaitteille oli täytynyt rakentaa kuvassa 3 esitetty vesitiivis kotelointi.



Kuva 2. 8800E-mallissa käytetyt VANSCO:n moduulit VMM (vas.) ja CMA01 (oik.).



Kuva 3. Koneen eturungon ja takarungon ohjainlaitteiden vesitiivis kotelo.

Tarvittavien tulojen ja lähtöjen selvittämisen jälkeen valittiin sopivat DANFOSSin ohjainlaitteet. Korvaaviksi ohjainlaitteiksi valittiin kuusi ohjainlaitetta: keskusohjainlaite MC-050 joka on kuvassa 4 oikealla, ajovoimansiirronohjainlaite MC-024, kaivuulaitteen hallintaan ulostulomoduuli OX-024, kuormaajan hallintaan ulostulomoduuli OX-024 ja näyttö DP-610 TM kuvassa 4 vasemmalla, minkä lisäksi lisävarusteellisiin konemalleihin lisätään sisääntulomoduuli IX-024. Moduulien valintaa helpotti se, että E-mallista seuraava G-malli oli sähköjärjestelmältään samankaltainen ja se oli toteutettu DANFOSS:in ohjainlaitteilla.



Kuva 4. Käytettävät DANFOSS-moduulit DP610TM (vas.) ja MC-050 (oik.).

Ohjainlaitteiden valinnan jälkeen vertailtiin ohjainlaitteiden tuloja ja lähtöjä luomalla kuvan 5 mukaisesti Excel-taulukko. Taulukosta käytettiin nimitystä I/O-lista (engl. Input/Output), joka kertoo heti, mitä taulukko käsittelee. Koska uudempi G-malli on samankaltainen kuin E-malli, oli järkevää käyttää jo olemassa olevaa G-mallin I/O-listaa, jonka rinnalle lisättiin E-mallin ohjainlaitteiden tulot ja lähdöt. Mahdollisuuksien mukaan yritettiin liittää E-mallin ohjainlaitteiden toiminnot G-mallin vastaaviin toimintoihin I/O-listassa. Kuvasta 5 on nähtävissä, että muutoksia G-mallin tuloihin ja lähtöihin oli tehtävä. Kuvassa 5 vasemmassa reunassa on merkittynä G-mallin ohjaamossa sijaitsevan MC-050 keskusohjainlaitteen tulot ja lähdöt, ja oikeassa reunassa on yhdistetty E-mallin vastaavia tuloja ja lähtöjä. Oikeassa reunassa on merkitty E-mallin tulot ja lähdöt eri väreillä sen mukaan, mihin ohjainlaitteeseen ne on E-mallissa kytketty; kuvassa 5 punaisella merkityt tulot ja lähdöt ovat E-mallin ohjaamon ohjainlaitteelta ja keltaisella merkityt takarungon ohjainlaitteelta. Tämän I/O-listan avulla ohjelmoitiin ohjainlaitteiden konfiguroinnit ja ohjelmat.

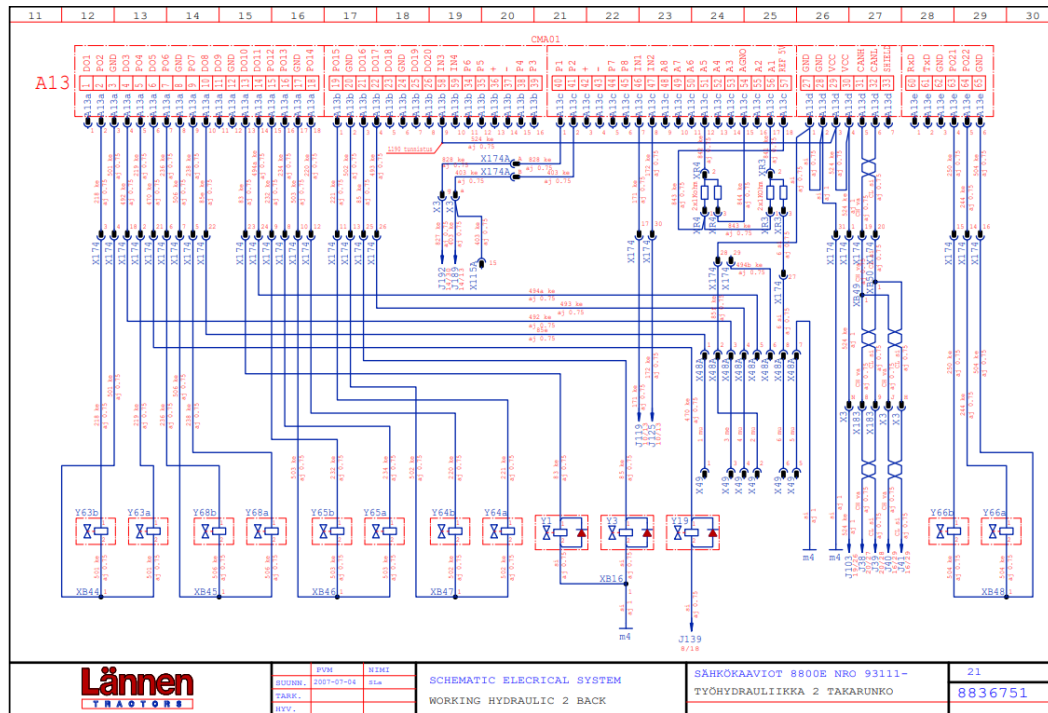
C1-P10	DIN	S31	KYTKIN, TOIMINTOJEN ESTO	AII	Cabin		IN1	46	S31	+24V	KYTKIN, KUORMAAJAN TOIMINNAN ESTO
C1-P11	DIN	S195	KYTKIN, HENKILÖNOSTIN KÄYTOSSÄ	8600Ge/8800G	Cabin	X					
C1-P12	DIN										
C1-P13	DIN						P2	X174a/B	S74	+24v	ETUTYÖLAITE VAIHTOVENTTIILIN OHJAUS
C1-P14	DIN	S28	IND.KYTKIN, TOIMINNAN ESTO ISTUIN	AII	Chair		P8	45	S28	+24V	IND.KYTKIN, TOIMINNAN ESTO
C1-P15	DIN	S155B	KYTKIN, KAIVUKAASU KAA SUN LUKITUS	AII	Cabin		P2	41	S155B	+24V	KYTKIN, KAIVUKAASU KAA SUN LUKITUS
C1-P16	DIN	S155A	KYTKIN, KAIVUKAASUAUTOMATIikka	AII	Cabin		P3	39	S155A	+24V	KYTKIN, KAIVUKAASUAUTOMATIikka
C1-P17	DIN	S54	KYTKIN, ROTOTILTIN VIRTA/PIKAKIINNITYS	AII	Cabin		P4	38	S54	+24V	KYTKIN, ROTOTILTIN VIRTA/PIKAKIINNITYS
C1-P18	DIN/AIN	S26A	KYTKIN, KÄSIJARRU KEINUVIUKYTKIN	AII	Cabin		P7	44	S26/S98	+24V	KYTKIN, KÄSIJARRU (RAJAKYTKIN)KEINUVIUKYTKIN
C1-P19	DIN/AIN	S7/S16	KYTKIN, PIKAKIINNITYS ETEEN/TAAKSE	8600Ge/8800G	Cabin		IN4	A51/30	S7/S16		
C1-P20	CAN2 +										
C1-P21	CAN2 -										
C1-P22	AIN/CAN2 shield	R15	VASTUS, MOOTTORHYDRAULIIKAN SÄÄTÖ		Cabin		A4	52	R15	0-5V	VASTUS, MOOTTORHYDRAULIIKAN SÄÄTÖ
		S60A	KYTKIN, MOOTTORHYDRAULIIKKA SUUNTA A	AII	Cabin		IN4	59	S60A	+24V	KYTKIN, MOOTTORHYDRAULIIKKA SUUNTA A
C1-P23	DIN/AIN	S60B	KYTKIN, MOOTTORHYDRAULIIKKA SUUNTA B	AII	Cabin		IN3	58	S60B	+24V	KYTKIN, MOOTTORHYDRAULIIKKA SUUNTA B
C1-P24	DIN/AIN	R36	VASTUS, YLEIS/SYLINTI-HYDRAULIIKAN KAHDENNUS SÄÄDIN		Cabin		A3	53	R36	0-5V	VASTUS, YLEIS/SYLINTI-HYDRAULIIKAN KAHDENNUS SÄÄDIN
C1-P25	DIN/AIN/FreqIN	R25	VASTUS, KAA SUPOLJIN EDESSÄ	AII	Cabin		A7	49	R25	0-5V	VASTUS, KAA SUPOLJIN EDESSÄ
C1-P26	DIN/AIN/FreqIN	R26	VASTUS, KAA SUPOLJIN TAKANA	AII	Cabin		A6	50	R26	0-5V	VASTUS, KAA SUPOLJIN TAKANA
C1-P27	DIN/AIN/FreqIN	S219A	KYTKIN, AJOVAIHDE NOPEUS 1	8800G	Cabin		IN1	46	S219A	+24V	KYTKIN, AJOVAIHDE 1
C1-P28	DIN/AIN/FreqIN	S219B	KYTKIN, AJOVAIHDE NOPEUS 2	8800G	Cabin		IN2	47	S219B	+24V	KYTKIN, AJOVAIHDE 2
C1-P29	DIN/AIN/FreqIN	S131	KYTKIN, NOSTON RAJOITUKSEN OHITUS	8600Ge/8800G	Cabin	X	IN4	59	IQAN / XP	+24V	HENKILÖNOSTIN VAATI LS-PAINETTA ( LISÄ)
C1-P30	DIN/AIN/FreqIN	X48/8	ENGCON PISTOKKEEN TUNNISTUS	8600Ge/8800G	Rear frame	X	A1	56	X49/6	0-5V	ENGCON PISTOKKEEN TUNNISTUS + (VASTUS)
C1-P31	AIN/Temp/Rheo	B1	ANTURI, POLTTOAINE MITTARI (VASTUSMITTARI)	AII	Rear frame		A2	55	B1	0-5V	ANTURI, POLTTOAINE MITTARI
C1-P32	AIN/Temp/Rheo	B5	ANTURI, HYDRAULIIKKA ÖLJYN LÄMPÖ ( VASTUSMITTARI)	AII	Front frame		A1	56	B5	0-5V	ANTURI, HYDRAULIIKKA ÖLJYN LÄMPÖ
C1-P33	DOUT	H13	PERUUTUSHÄLYTIN	AII	Cabin		DO3	4	H13	+24V	PERUUTUSSUMMERI
C1-P34	DOUT	KK34	RELE, VAIHTO ETUTYÖLAITE/VAIHTOVENTTIILI	AII	Cabin		DO1	1	KK34	+24V	RELE, VAIHTO ETUTYÖLAITE/VAIHTOVENTTIILI

Kuva 5. Ohjainlaitteiden I/O-.vertailua Excelissä.

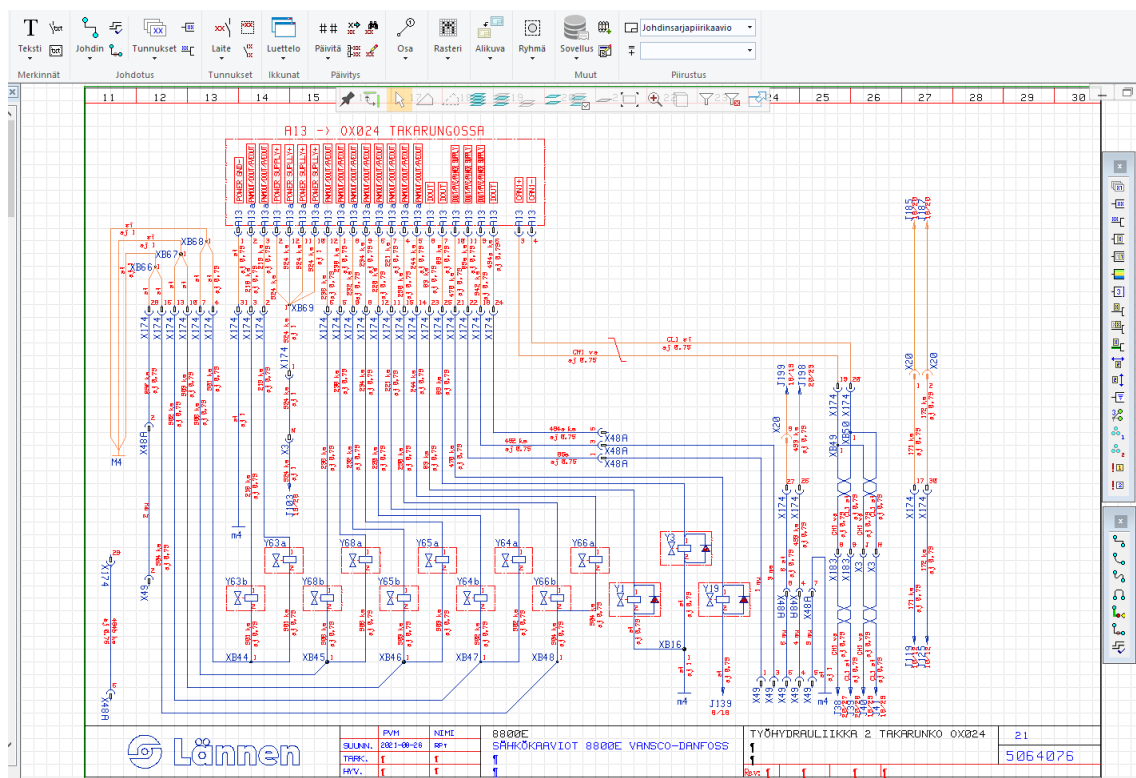
### 3.2 Piirikaavion piirto

Käytettävien ohjainlaitteiden valinnan ja niiden tulojen ja lähtöjen vertailun jälkeen aloitettiin piirikaavioiden piirto. Piirikaavioiden muokkaukseen käytettiin Vertex ED -sähkösuunnitteluohjelmistoa. Vertex ED:ssä kopioitiin 8800E:n piirikaaviot alkuperäisestä projektista, joille annettiin uusi tunnus. Tähän kopioituun piirikaavioon sitten tehtiin muokkaukset muutosjohdinsarjojen valmistusta varten. Muutokset tehtiin kopioituihin alkuperäisiin piirikaavioihin ajan säästämiseksi.

Kuvassa 6 on E-mallin takarungon ohjainlaitteen alkuperäinen piirikaavio, josta poistettiin VANSCO:n ohjainlaite ja johon piirrettiin uusi DANFOSSin ohjainlaite. Muutoksia tehdessä tehtiin piirikaavioista myös helpommin luettavia; eron näkee kuvasta 7. E-mallin alkuperäisessä piirikaaviossa ohjainlaitteiden pinnit ovat numerojärjestyksessä, mikä aiheuttaa piirikaaviossa ristiin kulkevia hankalasti seurattavia johtimia. Uusissa piirikaavioissa pyrittiin huomioimaan kaavioiden luettavuus laitteiden sijoittelulla siten, että johtimet olisivat suoraviivaisia eivätkä menisi ristiin toistensa kanssa. Muutokset piirrettiin eri värillä, jolloin alkuperäinen ja muutosjohdinsarja ovat helposti erotettavissa toisistaan.



Kuva 6. E-mallin takarungon ohjainlaitteen alkuperäinen piirikaavio.



Kuva 7. Piirikaavio, jossa VANSCO:n ohjainlaite korvattiin DANFOSSin ohjainlaitteella ja jota muokattiin siistimmäksi.

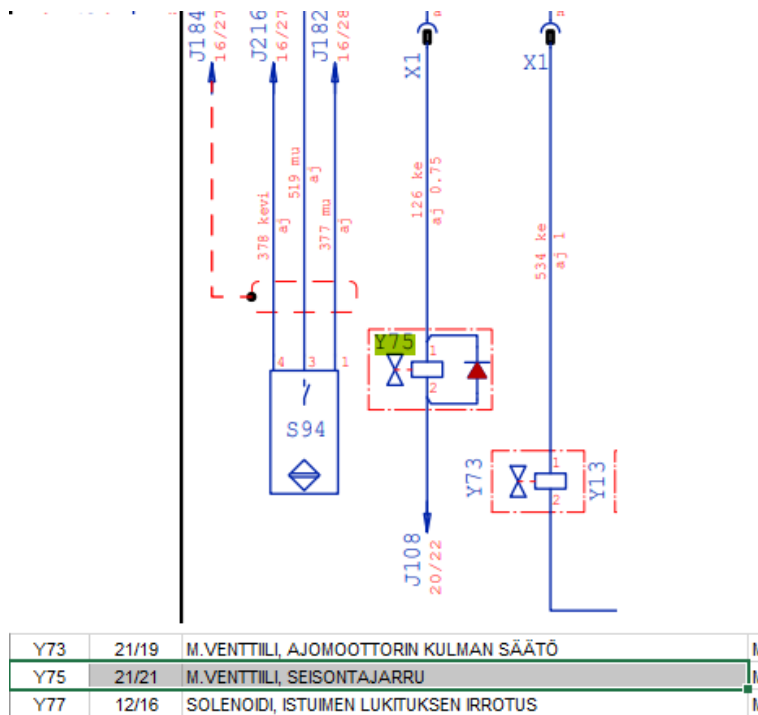
### 3.3 Piirikaavioiden yhtenäisyys

Toistettavuuden säilyttämiseksi ja suunnittelijoiden ja vianmäärittäjiä tekevien huoltohenkilöiden työn helpottamiseksi ei suunnittelija voi tehdä piirikaavion suunnittelua aivan mielivaltaisesti. Lännellä on joitakin vakioituja käytäntöjä, joita on hyvä noudattaa varsinkin piirikaaviota suunniteltaessa. Ensimmäisenä on johdintunnukset. Johtimien numerokoodausta ei tehdä numerojärjestyksessä, vaan jokaiselle johdinnumerolle on ennalta määritelty tarkoitus suunniteluoston jaetussa Excel- taulukossa kuten kuvassa 8. Tätä käytäntöä noudatetaan helpottamaan vianmäärittäystä, kun jokaisessa koneessa on johdinnumerointi vakioitu.

94	PUHALLINRELE VIRTA PYSÄKÖINTILÄMMITIN	94	FLÄKTRÄSTRÖMMEN, PARKERINGSVÄRMARE
95	LISÄTAKATYÖVALOT, LAMPUILLE	95	EXTRA ARBETSLJUS BAKTILL, TILL LAMPORNA
96	KELLUNTA 1 TAKATYÖLAITE	96	FLYTLÄGE 1 BAKRE ARBETSREDSKAP
97	KELLUNTA 2 TAKATYÖLAITE	97	FLYTLÄGE 2 BAKRE ARBETSREDSKAP
98	TAKA / ALALASINPYYHIN VIRTA	98	STRÖM TILL NEDRE TORKARE
99	KÄYNNISTYS STARTTIMOOTTORILLE	99	START TILL STARTMOTORN
100	MERENKULKUVALOT VIRTA / RATAVALOT	100	NAVIGERINGSLJUS STRÖM
101	PYSÄKÖINTILÄMMITIN VIRTA	101	PARKERINGSVÄRMARE STRÖM
102	MERENKULKUVALOILLE, TYÖVALOT ETUPÄÄSSÄ / RATAVARUSTUS RATAVALOT	102	TILL NAVIGERINGSLJUS
103	MERENKULKUVALOILLE, TYÖVALOT ETUPÄÄSSÄ / RATAVARUSTUS RATAVALOT	103	TILL NAVIGERINGSLJUS
104	MERENKULKUVALOILLE, TYÖVALOT KATOLLA / RATAVARUSTUS RATAVALOT	104	TILL NAVIGERINGSLJUS
105	MERENKULKUVALOILLE, TYÖVALOT KATOLLA / RATAVARUSTUS RATAVALOT	105	TILL NAVIGERINGSLJUS
106	MOOTTORIVALOT VIRTA	106	STRÖM TILL MOTORHUSBELYSNING
107	YLEISVAROITUSVALOLLE	107	TILL UNIVERSALVARNINGSLJUSSET
108	PYSÄKÖINTILÄMMITIN KELLOLTA OHJAUS	108	MANÖVERSTRÖM FRÅN TIDUREN AV PARKERINGSVÄRMAREN
109	HYDRAULIIKKA ÖLJYN PINNAN TASO MERKKIVALOLLE	109	TILL SIGNALLJUSSET AV HYDRAULOLJENIVÅN
110	MOOTTORIVEDEN PINNAN TASO	110	KYLARVÄTSKENIVÅ I MOTORN
111	RUOPPAUSRUMMUN PYÖRINTÄ MYÖTÄPÄIVÄÄN	111	ROTERING AV MUDDRINGSTRUMMAN MEDSOLS
112	RUOPPAUSRUMMUN PYÖRINTÄ VASTAPÄIVÄÄN	112	ROTERING AV MUDDRINGSTRUMMAN MOTSOLS

Kuva 8. Johdintunnukset kirjattuna jaettuun .xlsx-tiedostoon, jota päivitetään jatkuvasti, kun luodaan uusia toiminnallisuksia koneisiin.

Toinen piirikaaviota suunniteltaessa huomioon otettava asia, jota suunnittelijan ei kannata mielivaltaisesti tehdä, on laitteiden tunnukset. Jokaisella liitinkotelolla, kytkimellä, haaroituspisteellä, releellä ja muilla toimilaitteella on johdonmukainen laitetunnus. Kuten johdintunnukset nämä tunnukset eivät ole johdinsarjassa järjestyksessä vaan on jokaiselle tunnukselle päätetty, mitä laitetta kyseinen tunnus tarkoittaa. Tällä tavalla helpotetaan vianmäärittäystä, kun tiedetään ennalta, mitä piirikaaviossa jollakin laitetunnuksella merkitty laite tarkoittaa. Kuvassa 9 esimerkkinä piirikaaviossa ”Y75” tarkoittaa aina seisontajarrun magneettiventtiiliä.



Kuva 9. Esimerkki jokaiselle laitteelle ennalta päätetyistä laitetunnuksista, jotka määräytyvät toimintojen mukaan.

## 4 Johdinsarjan suunnittelu

### 4.1 Testikoneen valmistelu

Piirikaavion muokkauksien jälkeen aloitettiin johdinsarjakuvan piirtäminen. Jotta johdinsarjoille saadaan pituustiedot ja vaadittavat muodot, prototyypin johdinsarjojen valmistuksessa on oltava 8800E-sarjan kone käytettävissä. Testikoneeksi saatiin vaihtokoneena tullut vuosimallin 2007 8800E, johon oli käyttötunteja kertynyt 16 000 tuntia. Testikoneeksi saatu kone oli yleiskunniltaan hyvin tyypillinen muutoksen vaatima yksilö. Kahvojen kytkimet olivat hajalla, ja koneen aikaisempi omistaja oli vaihtanut oikeassa kahvassa olevan potentiometrin väärinpäin, jolloin sen ohjaava toimintokin toimi väärinpäin. Nämä viat ovat tyypillisiä, ja testikoneessa ne korjattiin vaihtamalla kahvat uusiin. Kahvojen kytkinten heikon kunnon näkee kuvasta 10, jossa on vanha kahva oikealla ja uusi vasemmalla.

Koneet, joihin muutossarja suunniteltiin, ovat vähintään 12 vuotta vanhoja ja ovat päivittäisessä käytössä, joten ei vikaantumisilta voida välttyä. Tyypillisiä protokoneestakin löytyneet viat ovat johdinvauriot ja käytöstä johtuneet kulumisvauriot, kuten ohjaukahvojen kytkimien rikkoontuminen. Ennen muutosjohdinsarjan asennusta on koneen kuormaimien liikkeet, kuormaimien lisätoiminnot, voimansiirron käyttäytyminen, kahvojen toiminnot sekä kytkinten toiminta testattava ja dokumentoitava huolella. Jos jotkin toiminnot eivät toimi tai toimivat väärin, täytyy ne korjata tai dokumentoida. Huolellisen dokumentoinnin avulla tiedetään lopuksi, onko vika ollut koneessa jo ennen muutossarjan asentamista.





Kuva 10. Vanha kahva oikealla ja uusi kahva vasemmalla. Vanhojen kahvojen heikon kunnon takia ei valtaosa niiden toiminnoista enää toiminut.

## 4.2 Johdinsarjakuva

Johdinsarjakuva on tärkeä merkitys, jos johdinsarja on tarkoitus teettää ulkopuolisella valmistajalla. Oikein tehtyyn johdinsarjakuvaan on merkitty johdinsarjan osuuksien pituudet, osuuksien suojaputkien koko tai muun suojauksen tyyppi, liitetyt laitteet ja muut tärkeät johdinsarjan valmistukseen liittyvät asiat. Esimerkiksi haarapisteiden sijoittelu johdinsarjan suojauksen sisällä on merkittävä johdinsarjakuvaan. Oikein tehdystä johdinsarjakuvaasta saadaan siten yhdessä kunnollisen piirikaavion kanssa ajettua johdinluettelo sekä liitettyjen laitteiden osaluettelo.

Johdinsarjakuvaa suunniteltaessa on selvitettävä käytettävät liittimet, johtosarjan muoto sekä osuuksien pituudet. Johdinsarjaa suunniteltaessa on huomioitava myös sen asennukseen liittyvät seikat, joihin pätee vahvasti Murphyn laki: Kaikki mikä voi mennä pielen, se myös menee pieleen. Murphyn laki korostuu varsinkin käytettäviä liittimiä valittaessa. Kahta samanlaista liittintä ei saa laittaa johdinsarjassa vierekkäin, olisivat ne miten hyvin merkittyjä tahansa, aina ne

kytketään väärin päin. Pelkkä liittimien merkitseminen ei riitä, vaan on liittimien oltava fyysisesti erilaisia, niin että väärin kytkemiseltä vältytään.

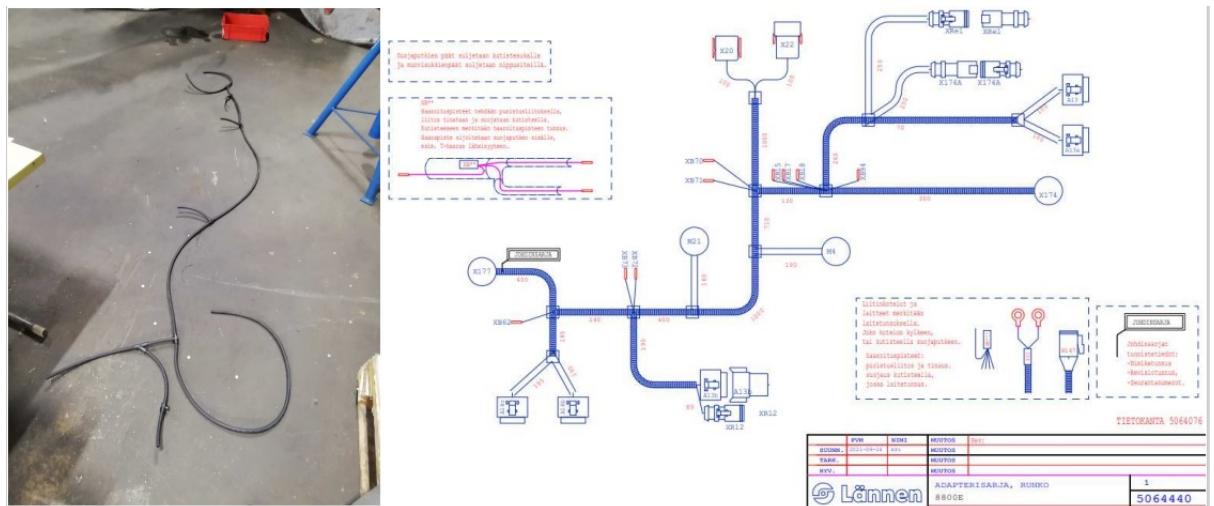
Testikoneen valmistelun jälkeen varmistettiin ohjainlaitteiden tarkka sijoittelu ja kiinnitys koneeseen. Ohjainlaitteiden kiinnitykseen käytetään alkuperäisten ohjainlaitteiden kiinnityspisteitä ja osaan ohjainlaitteiden kiinnityksestä voitiin käyttää G-mallin ohjainlaitteiden kiinnitystelineitä. Ohjainlaitteiden asettelussa täytyy huomioida liitäntöjen suuntaus. Ohjainlaitteet olisi mahdollisuuksien mukaan hyvä saada niin, että liitännät osoittaisivat alaspäin, jolloin vesi ja lika eivät pääsisi kerääntymään niihin. Kuvassa 11 on eturungon ohjainlaitteen kiinnitykseen käytetty G-mallin vastaavan ohjainlaitteen kiinnitystelinettä.



Kuva 11. Ohjainlaitteiden kiinnitys varmistettuna niin, että liitännät osoittavat alaspäin.

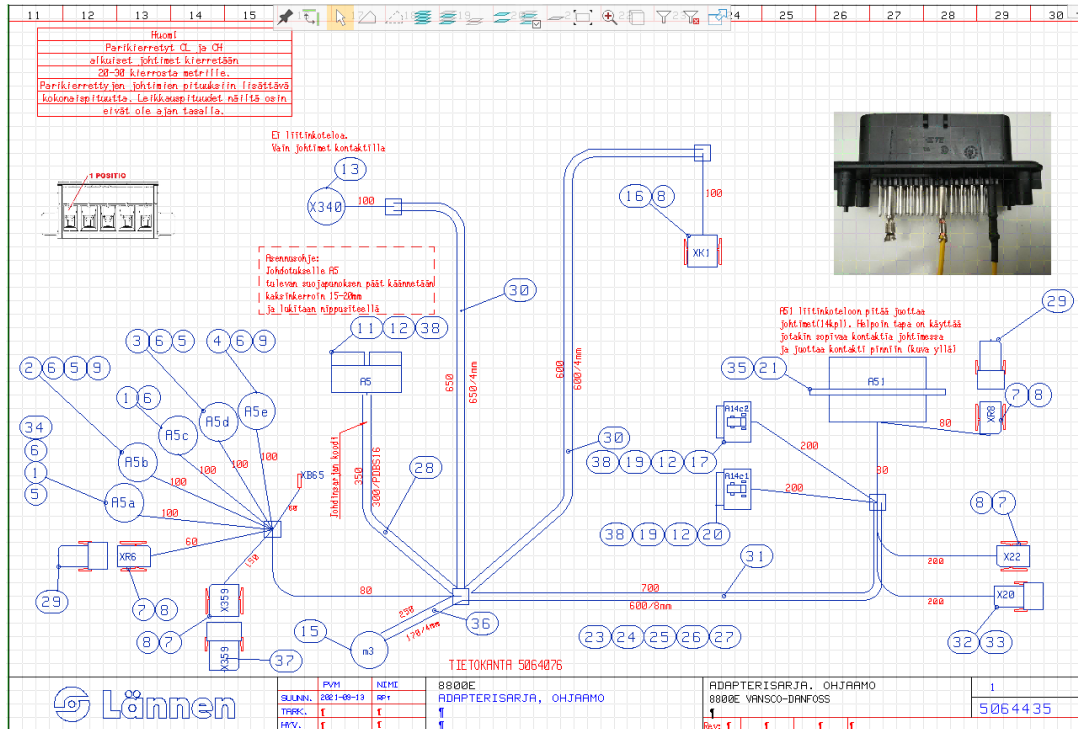
Ohjainlaitteiden paikkojen varmistamisen jälkeen mitattiin johdinsarjan osuuk-sien pituudet ja päätettiin maadoituskohdat. Johdinsarjan pituus ja malli tehtiin samalla kertaa käyttämällä 10 mm johtosarjan suoja-putkea ja siihen sopivia haaroja. Suoja-putki asetettiin kulkemaan koneeseen, niin kuin haluttaisiin johto-sarjankin siellä kulkevan. Haaroituskohtiin laitettiin sopivat haarat, ja täten saa-tiin haluttu muoto johdinsarjalle. Tämän tuloksena syntyi kuvassa 12 vasem-manpuoleisen mukainen rautalankamalli. Rautalankamallin avulla mitattiin

tarkat pituudet ja muodot johdinsarjakuvalle, joka on kuvassa 12 oikealla puolella. Protokoneessa ei ollut lisävarusteena ratapyörästä tai L190-henkilönsointia, joten lisävarusteiden vaatimien liitosten johdinpituudet täytyi tehdä riittävän pitkäksi. Johdinpituuksien arviointiin laitteille, joita ei koneessa ollut, käytettiin konesarjan tuotannon kokoonpano-ohjeita. Kokoonpano-ohjeista saatiin selville laitteiden ja liitinten suurpiirteiset sijainnit, joiden avulla saatiin arvioitua johdinsarjan haaroitukset näille laitteille.



Kuva 12. Rautalankamalli sekä sen avulla tehty johdinsarjakuva.

Kuvassa 13 olevaan johdinsarjakuvaan lisätään tunnuksilla merkityt liitäntäpisteet ja haaroituspisteet, joiden väliin piirretään yhteysviivat ja näille yhteysviivoille annetaan pituudet aikaisemman rautalankamallin mukaan. Kuvaan merkitään myös johdinsarjansuojaukseen liittyvät merkinnät, tässä tapauksessa suojaputken tyyppi, halkaisija ja pituus. Johdinsarjakuvasta kerätään kuvan 14 mukainen johdinluettelo, jossa on listattu jokaisen johtimen pituus, koko, väri ja liitäntäpisteet. Tämänkaltaista muutosjohdinsarjaa suunniteltaessa on huomioitavaa, ettei johdinsarjaa tee liian tarkasti riittävän pitkäksi. Kaikkiin koneisiin johdinsarjaa ei saa asennettua samaan tapaan niihin asennettujen lisävarusteiden takia, joten johdinsarjassa tulee olla ylimääräistä pituutta. Tarkoituksella liian pitkäksi valmistettu johdinsarja on mahdollista niputtaa, mutta liian lyhyeksi jäävän johdinsarjan jatkaminen on hankalaa.



Kuva 13. Valmis ohjaamonjohdinsarjakuva, jossa osamerkinnt, johdinpituudet, suoja putkien tyypit sekä ohjeistusta johdinsarjan valmistajalle.

Lännen		JOHDINLUETTELO		Pvm: 2021-10-01						
Projekti:	8800E	Johdinsarja	5064435							
Nimitys:	ADAPTERISARJA, OHJAAMO	Revisio								
Mistä		Minne		Johdin						
Laite	Liitin	Laite	Liitin	Tunnus	Tyyppi	Väri	Ala	Pituus	Pari	HUOM
A5	1	A5d	2		aj	si	1	530		
	2	A5d	4	66	aj	ke	1	530		
	3	XR6	1	CH0	aj	va	0.75	490		
	4	XR6	2	CL0	aj	si	0.75	490		
	5	A5c	9	379	aj	ke	0.75	530		
	6	A5b	12	589	aj	ke	0.75	530		
	7	A5b	11	174	aj	ke	0.75	530		
	8	A5c	18	377	aj	ke	0.75	530		
	9	A5c	15	378	aj	ke	0.75	530		
	10	A5c	6	344a	aj	ke	0.75	530		
	14	A5c	7	584	aj	ke	0.75	530		
	15	A5c	2	693	aj	ke	0.75	530		
	16	A5b	16	692	aj	ke	0.75	530		
	17	A5b	15	496	aj	ke	0.75	530		
	18	A5c	5	20	aj	ke	0.75	530		
	19	A51	30	531a	aj	ke	0.75	1130		
	20	A5d	5	CH1	aj	va	0.75	530		
	21	A5d	6	CL1	aj	si	0.75	530		
	22	A5c	13	593	aj	ke	0.75	530		
	23	X359	5	271a	aj	ke	0.75	580		
	24	A5c	14	206a	aj	ke	0.75	530		

Kuva 14. Johdinsarjakuvasta .xlsx-muotoon kootut johtimien pituudet laitekohtaisesti.

### 4.3 Johdinsarjansuojaus

Työkone on ympäristönä johdinsarjoille ankara: värinöitä, lämpötilamuutoksia, kosteutta ja kemikaaleja on paljon. Työkoneessa johdinsarjan kiinnitys on ehdottoman tärkeää. Johdinsarja ei saa roikkua työkoneen ulkopuolella, sillä irtomainen johtosarjan lenkki tarttuu helposti johonkin ja pahimmassa tapauksessa se lamaanuttaa koneen paikalleen ja keskeyttää työtehtävän. Kunnollinen johtosarjan kiinnitys myös estää värinöiden aiheuttamien johtimien väsymismurtumien ja hankaumien syntymistä. Kunnollinen vedeneristys liittimissä ja haaroituskohdissa kuten myös tarkkaan mietityt liittimien ja ohjainlaitteiden asennot estävät korroosion muodostumista liitoksiin. Johdinten kuorien ja suojaputkien materiaaleja valittaessa on mietittävä, mitä kemikaaleja johtimien ja suojaputkien täytyy kestää, työkoneissa esiintyy poikkeuksellisen paljon eri kemikaaleja, mutta öljyt ja vahvat pesuaineet ovat yleisimpiä, joten materiaalit on valittava kestäväksi niitä.

Johdinsarjoja tehtiin kaksi: toinen ohjaamon sisälle ja toinen koneen runkoon. Ohjaamossa ei esiinny kosteutta tai kemikaaleja, mutta johdinsarja on suojattava hankaumilta ja se on pidettävä tiukasti nipussa. Ohjaamon johdinsarjassa käytettiin kahta menetelmää hankauksien suojaamiseksi. Polyamidi suoja-punosta käytettiin johtosarjan näkyviin jäävissä kohdissa, joissa johdinsarjan haluttiin pysyvän siististi nipussa kuten kuvassa 16. PVC-suojaletku taas suojaa hyvin mekaaniselta kulumiselta sekä sitoo johdinsarjan helposti eriteltäviksi haaroiksi kuten kuvassa 15.



Kuva 15. Ohjaamon johdinsarjan suojaamiseen käytetty PVC-letku.



Kuva 16. Suojapunosta johdinsarjan suojaamiseen ohjaamossa.

Rungon puolella johdinsarjan suojaamiseen käytettiin polypropeeniyhteisuoja-putkea, joka kestää yleisimmät öljyt ja pesuaineet sekä antaa hyvän mekaanisen suojauksen. Johdinsarjan suojausta päättäessä oli tässä tapauksessa otettava huomioon myös taivutuksen kesto, sillä johdinsarja kulkee koneen runkonivelen läpi ja siinä kohdassa johdinsarjaan kohdistuu paljon taivutusta. Käytetyt johtimet kestävät taivutusta kohtalaisesti, mutta johdinsarjansuojaputkena on käytettävä muualla johdinsarjassa käytettyä suoja-putkea paremmin taivutusta kestävä polyamidisuoja-putkea. Suoja-putken sisälle ei saa päästä vettä tai likaa, joka voisi yhdessä värinöiden kanssa kuluttaa johdinsarjan johtimien kuoret rikki paljastaen kuparijohtimen. Lian ja veden pääsyn estämiseksi suljetaan suoja-putkien päät liimalla sisältävällä kutistesukalla kuten kuvassa 17. Kutistesukka myös lukitsee johtimet ja johdinsarjan suoja-putken toisiinsa, mikä estää johtimien liikkumista suoja-putken sisällä.



Kuva 17. Johdinsarjan suoja-putken pää suljettuna kutistesukalla.

## 5 Johdinsarjan valmistus

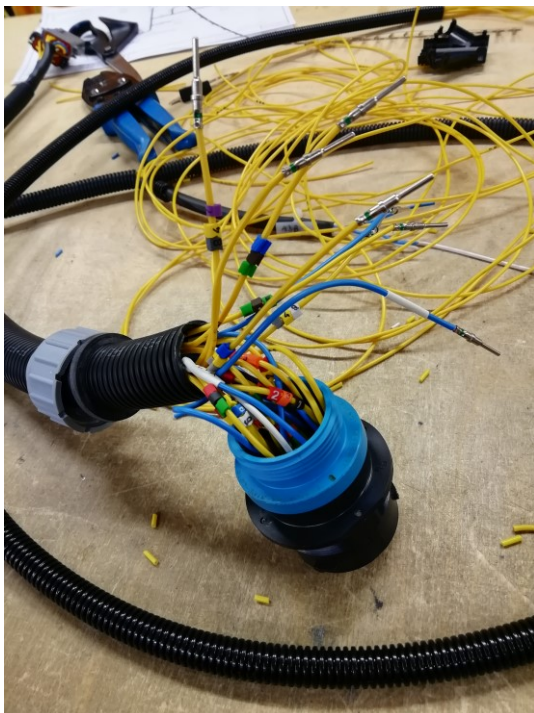
### 5.1 Prototyypijohdinsarjojen valmistus

Prototyypijohdinsarjan valmistuksen tarkoituksena on selvittää suunnittelussa syntyneet virheet, jolloin ne voidaan korjata, ennen kuin johdinsarja siirtyy ulkopuoliselle valmistajalle. Prototyypijohdinsarjan valmistamisella myös selvitetään valmistusteknisesti paras mahdollinen johdinsarjan muoto. Prototyypijohdinsarjaa valmistaessa on hyvä ottaa kuvia johdinsarjavalmistajan ohjeistusta varten. Johdinsarjaan tarvittavien tarvikkeiden dokumentointi on varmintä tehdä vasta, kun johdinsarja on valmis.

Kun johdinsarjakuvat olivat valmiita ja johdinluettelot oli tehty, aloitettiin prototyypijohdinsarjan valmistus keräämällä kaikkien käytettävien laitteiden liittimet. Johtimet katkotaan johdinluettelon mukaan oikeaan mittaan ja ne merkitään numerotunnuksin Lännen Tractorsin käytännön mukaan, kuten kuvassa 19 on esitetty. Johdinsarjan rakentamisen aloitus kannattaa aloittaa suurimmasta liittimestä, sillä suurien liittimien johdotus muuten valmiissa johdinsarjassa on hankalaa, koska johtimia ei pääse enää vetämään ulos johdinsarjasta tarpeeksi kuten kuvassa 18. Johtimet pujotetaan oikeankokoisiin ja -pituisiin suojaputkiin johdinsarjakuvan mukaisesti ja päätetään lopuksi liittimiin, kun ollaan tyytyväisiä suojaputkien pituuksiin. Lännellä on käytäntönä käyttää kolmea väriä johtimia:

- Sininen. Siniset johtimet ovat lähes poikkeuksetta maapisteeseen kytkettyjä johtimia, poikkeuksena on, että väylien johtimista CAN LOW on sininen.
- Valkoinen. Valkoista johdinta käytetään ainoastaan CAN HIGH johtimen värinä.
- Keltainen. Kaikki toiminnalliset johtimet ovat keltaisia, ja ne ovat numerokoodattuja.



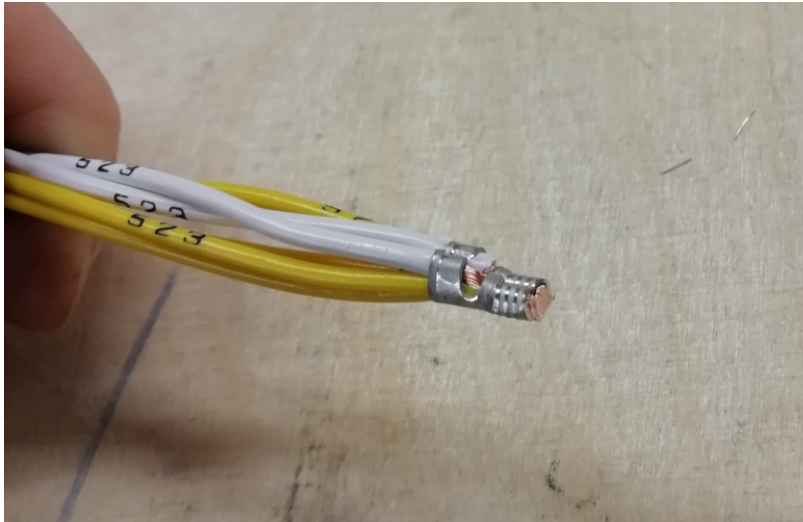


Kuva 18. Merkittyjen johtimien liittäminen liittimeen. Johdinsarjan valmistus kannattaa aloittaa suurimmasta liittimestä. Koska suurien liittimien johdotus muuten valmiissa johdinsarjassa on hankalaa, sillä johtimia ei pääse enää vetämään ulosjohdinsarjasta.



Kuva 19. Haaroituspisteiden merkinnät. Haaroituspisteet merkitään yksilöllisesti. Tämä helpottaa vianhakua, kun haaroituspisteiden sijainnit ovat dokumentoituina.

Jotta voidaan varmistua luotettavasta kontaktista kuten kuvassa 20 sekä häiriötömästä toiminnasta, on tärkeää, että jokaiselle johdinkoolle on oikean kokoinen liitintyyppi ja jokaiselle liitintyypille on oikeat puristuspihdit. Kuvan 20 luotettavassa puristusliitoksessa johtimen säikeet ovat kaikki puristuksen sisällä, liitin ei ole murtunut mistään ja johtimen kuori on vedonpoiston sisällä.



Kuva 20. Onnistunut puristusliitos

## 5.2 Johdinsarjojen asennus

Prototyypijohdinsarjat asennetaan koneeseen ja reititetään kulkemaan turvallista reittiä pitkin, missä se ei pääse hankautumaan mihinkään, ei jää puristuksiin eikä niihin kohdistu vetovoimia, mutta kuitenkin niin, että ne on helppo asentaa. Johdinsarjaa asentaessa kuvataan johdinsarjan reititykset asennusohjeeseen liitettäväksi. Asennuksessa myös päätettiin, mihin adapterisarjojen ja koneen alkuperäisen johdinsarjan liitospisteet sijoitetaan, niin että ne olisivat mahdollisimman suojassa kuten kuvassa 21, jottei niihin pääsisi kerääntymään kosteutta.



Kuva 21. Adapterijohdinsarjan ja koneen alkuperäisen johdinsarjan välisen liitoksen sijoitus niin, että se olisi tukevasti kiinnitettävissä ja suojassa.

## 6 Testaus

### 6.1 Testauksen tarkoitus

Johdinsarjojen valmistuksen ja asentamisen jälkeen kiinnitettiin ohjainlaitteet paikoilleen ja testattiin väylien vastukset. Sen jälkeen ladattiin ohjainlaitteisiin ohjelmat, jotka sisältävät ohjainlaitteisiin ladattavat konfigurointitiedot sekä päivitetyt CAN-väyläviestit ja -osoitteet. Ohjainlaitteiden konfiguroinnin jälkeen testattiin kaikkien ohjainlaitteiden tulojen ja lähtöjen toimivuus. Ohjainlaitteiden ohjelmien pohjana käytettiin G-mallin ohjelmia, joihin tehtiin tarvittavat muutokset. E- ja G-malli poikkesivat toisistaan ohjelmallisesti merkittävästi, joten ohjainlaitteiden itsediagnostiikka oli testattava ja parametrit päivitettävä. Ohjelmiin ja johdosarjoihin tehtiin muokkauksia, jotka dokumentoitiin, ja piirikaaviot päivitettiin.

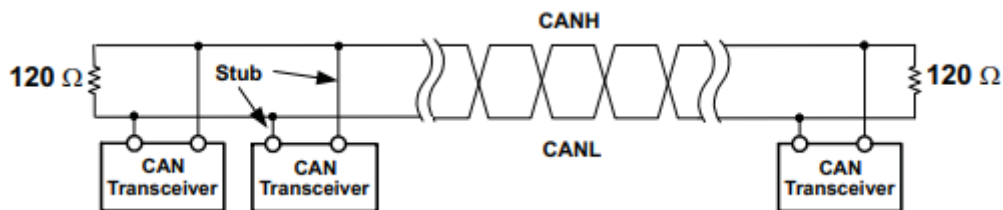
Testausvaiheessa huomattiin, järjestelmän käynnistysajan olevan pitkä ja että kaikki toiminnot eivät toimineet oikein, varsinkaan jos testattiin useampaa toimintoa samanaikaisesti. Syyksi havaittiin väylän kuormituksen taso, joka oli yli 90 %, mikä tarkoittaa, ettei väylälle mahtunut enempää toimintoja ohjaavia viestejä ja tapahtui niin sanotusti CAN-viestien törmäystä. Törmäykset johtuvat siitä, että kaksi moduulia yrittää lähettää samalla prioriteetilla olevaa viestiä samaan aikaan. Niinpä päädyttiin muuttamaan väylän arkkitehtuuria ja lisäämään toinen CAN-väylä kuvassa 23 esitetyllä tavalla. Toiseen väylään liitettiin osa ohjainlaitteista ja silloin saatiin väylien kuormat sopivalle < 50 %:n tasolle [2]. Kuvan 22 mukaisessa ensimmäisessä CAN-väyläarkkitehtuurin versiossa olisi hyödynnetty koneessa jo olemassa olevaa CAN-väylää, joten johdinsarjan valmistuskustannus olisi ollut hieman pienempi johdinten sekä liitinten lukumäärän ollessa pienempi.



## 6.2 CAN-väylän toimintavarmuus

CAN-väylän toimintavarmuuteen varmistamiseksi on johdinsarjan muodot ja ohjainlaitteiden sijoittelu otettava huomioon CAN-väylää suunniteltaessa. Väylän  $120\ \Omega$ :n päätevastusten tulisi olla väylän kauimmaisissa pisteissä ja maksimissaan 200 metrin etäisyydellä toisistaan. Kuvassa 24 väylästä haarautuvien osien päät eivät ole vastuksella päätettyjä, joten etäisyyden väylästä olisi suositeltavaa olla alle 0,3 m (Stub Length) [3]. Väylän päätevastuksien tehtävänä on estää väylän viestien "kimpoaminen" väylän päiden kautta takaisin väylälle. Väylästä haarautuvien osien (Stub) pituus on pidettävä suositeltavissa rajoissa viestien "kimpoamisen" vähentämiseksi. Väylän maksimikokonaispituus sekä ohjainlaitteiden haaroitusten maksimipituus määräytyvät käytettävän väylän nopeuden mukaan. Taulukossa 1 on kuvattu väylän maksimipituus suhteessa väylän nopeuteen. [2]

Väylän johtimet kiedotaan toisiinsa kuten kuvassa 19, jolloin vähennetään sähkömagneettista häiriötä. Lännellä käytetään 20–30 kierrosta metrille. Työssä käytetyt väylät ovat hyvin anteeksi antavia fyysisten etäisyyksien suhteen väylän käytetyn nopeuden 250 kb/s ansiosta, mutta ne on silti huomioitava johdinsarjaa suunniteltaessa.



Kuva 24. CAN-Väylän ohjainlaitehaara, josta käytetään nimitystä Stub [2, s. 7].

Taulukko 1. CAN-väylän suositeltu pituus suhteessa tiedonsiirtonopeuteen [2, s. 5].

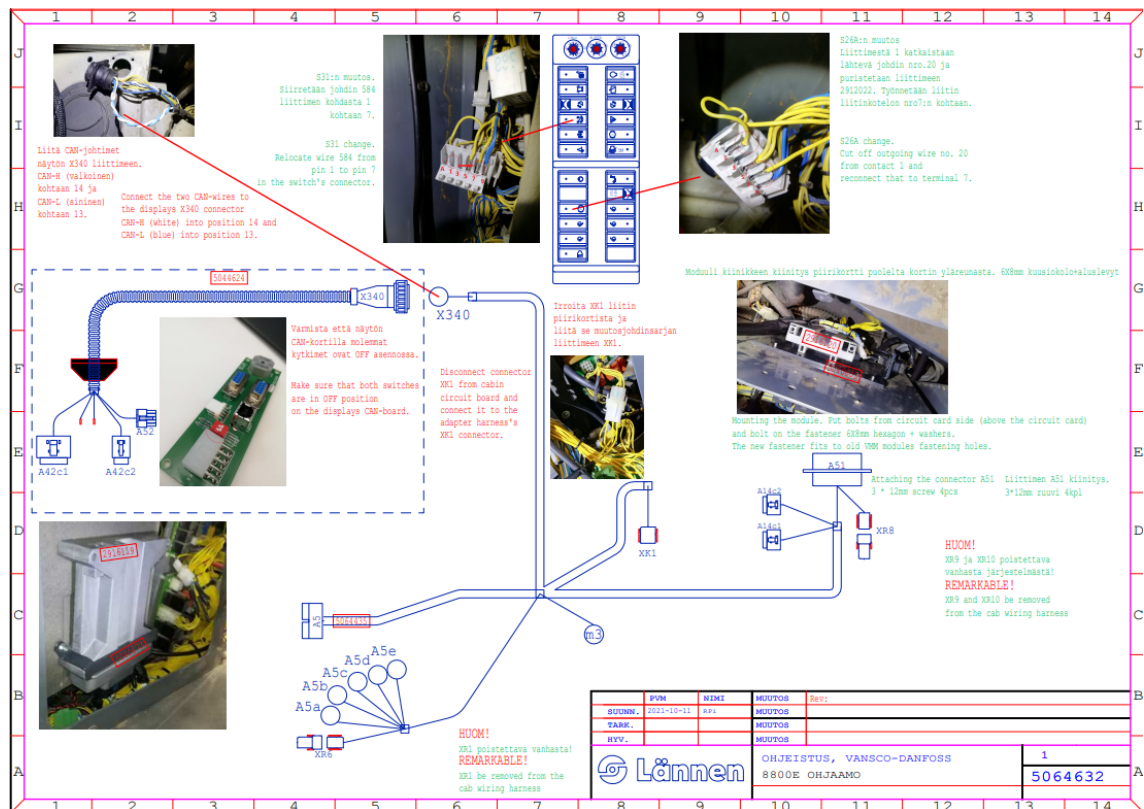
Väylän pituus (m)	Tiedonsiirtonopeus (Mbps)
40	1
100	0,5
200	0,25
500	0,1
1000	0,05

### 6.3 CAN-väyläkuorma

DANFOSS-ohjainmoduulit käyttävät kommunikointiin toistensa kanssa SAE J1939:n standardin mukaista CAN 2.0 B -väylää. Koneessa on väylän nopeus rajoitettu 250 kilobittiin sekunnissa väylän luotettavuuden varmistamiseksi. Käytännössä 70 %:n väyläkuormaa pidetään toimivana maksimina, jolloin J1939-standardin mukaisen väyläviestin pituudella voi väyläviesti esiintyä 0,77 millisekunnin välein nopeuden ollessa 250 kb/s. SAE J1939:n standardin mukaan CAN-väylän on pystyttävä toimimaan myös 100 %:n väyläkuormalla, mutta virheettömän ohjainlaitteiden välisen kommunikoinnin varmistamiseksi on tarpeellista pitää väylän kuorma maltillisena. [3]

## 7 Asennusohjeistuksen valmistaminen

Jotta varmistutaan oikeasta muutossarjan asennuksesta, tarvitsee muutossarjasta tehdä ohjeistus. Projektisuunnitelmassa oli varauduttu ohjeistuksen tekemisen pois rajaamiseen, mutta aikaa säästy sen verran, että ehdittiin valmistaa myös asennusohjeistus, jonka avulla jälkimarkkinointitiimi tekee lopullisen asennusohjeistuksen. Asennusohjeistuksia tehtiin kaksi A3-kokoista sivua, joihin sisällytettiin moduulien sijoittelut niiden kiinnityksen ohjeistus, kahden kytkimen johdotuksen muuttamisen ohjeistus, johdinsarjan maadoituskohtien ohjeistus sekä johdinsarjan reitityksen ja kiinnityksen ohjeistus. Kuvassa 25 on ohjaamon johdinsarjan asennusohje.



Kuva 25. Asennusohjeistus, josta selviää moduulien sijainnit sekä tarvittavat muutosta tukevat kytkimien kytkentämuutokset.



## 8 Yhteenveto

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin 8800E-mallisarjan koneisiin ohjausjärjestelmäpäivitys. Ohjausjärjestelmäpäivitys tapahtui suunnitteleamalla mallisarjaan kaksi muutosjohdinsarjaa, joiden avulla ohjausjärjestelmän saa päivitettyä nopeasti ja kustannustehokkaasti. Muutosjohdinsarjan avulla Lännen Tractors Oy pystyy jatkamaan mallisarjan tuotetukea jatkossakin.

Työn tavoitteina oli suunnitella ohjausjärjestelmäpäivitys siten, ettei koneen alkuperäiseen johdinsarjaan tarvitsisi tehdä muutoksia. Päivityksen pystyy tekemään missä tahansa huollontoimipisteessä, eikä tietokoneyhteyttä vaadita päivitystä tehdessä.

Työ valmistui alle suunnitellussa aikataulussa, sekä työn alkuperäisestä rajauksesta poiketen saatiin tuotettua myös asennusohjeistus muutosjohdinsarjojen asennukseen.

Suurin ongelma työtä tehdessä oli, ettei protokoneessa ollut riittävästi lisävarusteita. Tämä aiheutti ylimääräistä dokumenttien tutkimista.

## Lähteet

- 1 Taloustiedot, Lännen Tractors Oy. Verkkoaineisto. Kauppalehti. <<https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/lannen+tractors+oy/09368602>> Luettu 8.10.2021.
- 2 Corrigan, Steve. 2008 Texas Instruments Controller Area Network Physical Layer Requirements. Verkkoaineisto. Texas Instruments, Inc. <[https://www.ti.com/lit/an/slla270/slla270.pdf?ts=1634630610987&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/an/slla270/slla270.pdf?ts=1634630610987&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)>. 1.2008. Luettu 20.10.2021.
- 3 Voss, Wilfried. 2019. SAE J1939 Bandwidth, Busload And Message Frame Frequency. Verkkoaineisto. Copper Hill, Co. <<https://copperhilltech.com/blog/sae-j1939-bandwidth-busload-and-message-frame-frequency/>>. 22.1.2019. Luettu 11.10.2021.