

Otto-Pekka Konola

JOHDINSARJOJEN SUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN

JOHDINSARJOJEN SUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN

Otto-Pekka Konola
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka, sähkövoimatekniikka

Tekijä: Otto-Pekka Konola
Opinnäytetyön nimi: Johdinsarjojen suunnittelun kehittäminen
Työn ohjaaja: Pekka Rantala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018
Sivumäärä: 51 + 4 liitettä

Työn tavoitteena oli tutustua raitiovaunun johdinsarjasuunnitteluun ja sen kehittämismahdollisuuksiin E³.series-ohjelmiston käyttöönotossa sekä tuottaa suunnitteluohje ja sitä tukevat esimerkkikuvat ja -dokumentit. Työ tehtiin Transtech Oy:n sähkötekniikan osastolle.

Suunnitteluohjeen laatiminen vaati perehtymistä E³-ohjelmiston toimintaan ja johdinsarjasuunnittelun vaiheisiin. Työssä käsitellään johdinsarjan rakenne, kaikki johdinsarjasuunnittelun vaiheet ja ne perusteet, joilla johtimet ja kaapelit kootaan johdinsarjoiksi. Johdinsarjasuunnittelun pohjustamiseksi myös raitiovaunun tekniikkaa ja sen toimintaa sähkösuunnittelun alustana esitellään työssä. Johdinsarjasuunnittelussa otetaan huomioon myös johdinsarjojen valmistuksen ja asennuksen vaatimukset dokumenteissa ja kuvissa.

Työ perustui menetelmien ja mallien kehittämiseksi E³-ohjelmistolle. Työn tuloksena syntyi johdinsarjasuunnittelun suunnitteluohje, uudelleen määritelty kytkentälistadokumentti ja malleina toimivat johdinsarjakuvat. Luodut ohjeistukset ja dokumentit tulevat Transtech Oy:n sähkötekniikan osaston henkilöstön käyttöön johdinsarjojen suunnitteluun. Työssä selvitettiin myös suunnitteluprosessin vaiheiden automatisointia ohjelmoitavien toiminnallisuuksien muodossa. Toistoa vaativista suunnittelun vaiheista luotiin lista, jonka pohjalta E³-ohjelmistoon voidaan tulevaisuudessa luoda tai tilata ohjelmoitavia toiminnallisuuksia.

Asiasanat: E³.series, johdinsarja, suunnitteluohje, raitiovaunu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical Engineering Programme, Electrical Power Engineering

Author: Otto-Pekka Konola
Title of thesis: Development of Electrical Harness Design
Supervisor: Pekka Rantala
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018
Pages: 51 + 4 appendices

The purpose of this thesis was to learn about electrical harness design in trams and to develop the design methods used in the E³.series design platform. The objective of the thesis work is to produce a systematic design manual and supporting documents for electrical harness design in E³.series. The leading Finnish rolling stock manufacturer Transtech Oy commissioned the thesis.

The thesis required thorough learning of the functions used in electrical harness design in E³.series. Getting to know the overall functions and construction of electrical harnesses was also crucial for the process. The thesis enters the field of electrical harness design by first introducing the important electrical systems in a tram and the basic functions and engineering in tram design. The manufacturing and installation of the harnesses are also taken into account in the process.

As a result of the thesis, a design manual as well as a re-modified wiring list and electrical harness example drawings were added into the Transtech design manual database for electrical engineers to use in the design process. A list of functionalities was also created to be added into the process in the future. The purpose of the functionalities is to cut down time from repetitive steps taken in the design process. As the actual electrical harness design is yet to begin the manual can be updated based on engineer feedback in the future.

Keywords: Design Manual, E³.series, Electrical Harness, Tram

ALKULAUSE

Työ tehtiin Transtech Oy:lle Oulussa ja haluankin kiittää kaikkia Transtechin sähkösuunnitteluosaston rautaisia ammattilaisia kaikesta neuvosta työn aikana. Työn ohjaajana toimi järjestelmäinsinööri Juhani Kähkönen, jota haluankin erityisesti kiittää kaikesta saamastani neuvosta ja opista.

Haluan kiittää myös Oulun ammattikorkeakoulun Pekka Rantalaa, joka on ollut ohjaamassa tekemistäni. Kiitos myös kaikille läheisille, jotka ovat jaksaneet kannustaa opintojen aikana, sekä tietenkin opintojen kautta saaduille hyvälle ystäville.

Oulussa 18.5.2018

Otto-Pekka Konola

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	9
2 MATALALATTIAISEN RAITIOVAUNUN SÄHKÖJÄRJESTELMÄT	11
2.1 Moderni raitiovaunu	11
2.2 Kiskokaluston standardit	12
2.3 Tärkeimmät sähköjärjestelmät	13
2.4 Laittelevyt	15
3 JOHDINSARJAT	17
3.1 Kaapelit ja johtimet	18
3.2 KytKentä ja pistokkeet	20
3.3 Johdinsarjatarvikkeet	21
3.4 Johdinsarjan valmistus	22
3.5 Johdinsarjan asennus	24
4 SUUNNITTELUN OHJELMISTOT	26
4.1 E ³ .series	26
4.1.1 E ³ .series-moduulit	26
4.1.2 Järjestelmän mukauttaminen	29
4.1.3 Tietokannat	30
4.2 Vanha suunnitteluprosessi ja ohjelmistot	32
5 JOHDINSARJASUUNNITTELU	34
5.1 Tilaajan vaatimukset	34
5.2 Sijaintitiedot	35
5.3 XML-tiedosto ja 3D-malli	37
6 E ³ -SUUNNITTELUOHJE	41
6.1 Suunnitteluohjeen rakenne	41
6.2 KytKentälista ja esimerkkikuvat	43
6.3 Suunnittelun yleisohje	44
6.4 Valmistuksen huomiointi suunnittelussa	45
6.5 Asennuksen huomiointi suunnittelussa	46
7 YHTEENVETO	47

LIITTEET

Liite 1 E³ Johdinsarjojen suunnitteluohje (Luottamuksellinen)

Liite 2 Johdinsarjaesimerkki RJ025957 (Luottamuksellinen)

Liite 3 Kytkentälista RJ025957 (Luottamuksellinen)

Liite 4 Johdinsarjaesimerkki: komponenttien esitykset (Luottamuksellinen)

SANASTO

BOM	Bill of Materials, materiaalitietokanta
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
E ³	Suunnitteluohjelmisto
IRIS	International Railway Industry Standard, kansainvälinen kiskokalustoalan standardi
KeVi	keltavihreä, suojamaadoituksen tunnusväri
km/h	kilometriä tunnissa
kW	kilowatti
m	metri
mm	millimetri
mm ²	neliömillimetri
PLM	Project Lifecycle Management, projektin elinkaaren hallinta
Revisio	Tietojen tarkentumisesta johtuva muutos
SQL	Structured Query Language, yleisesti käytössä oleva standardoitu kyselykieli
U	Jännite
UNIFE	Union des Industries Ferroviaires Européennes, Euroopan kiskokalustovalmistajien yhdistys
VAC	Volts Alternating Current, vaihtosähkön jännite voltteina
VDC	Volts Direct Current, tasasähkön jännite voltteina
XML	Extensible Markup Language, rakenteelliseen määrittelyyn käytettävä meta-kieli

1 JOHDANTO

Transtech Oy:n sähkötekniinen suunnittelu on siirtynyt käyttämään Zuken E³.series -suunnitteluohjelmistoa ja vaihdon yhteydessä on ollut tilaisuus tarkastella mahdollisuuksia johdinsarjasuunnittelun kehittämiseen. Uudelle ohjelmalle halutaan kehittää selkeä, kaikki tärkeät vaiheet kattava suunnitteluohje, jonka perusteella uusi tai vähemmän ohjelmaa käyttänyt suunnittelija pystyy luomaan johdinsarjakuvan ja kaikki sen rinnalle tarvittavat dokumentit. Samalla kartoitetaan johdinsarjojen kokoamisen periaatteita eli tarkastellaan perusteita, joilla johtimia kootaan johdinsarjoihin. E³-ohjelmistoon siirryttäessä huomattiin myös tärkeäksi kehittää johdinsarjasuunnittelun prosessia. Tällä hetkellä johdinsarjojen luominen sisältää paljon toistettavia työvaiheita, joita voidaan E³-ohjelmistosta löytyvien ominaisuuksien avulla automatisoida. (1.)

Opinnäytetyössä tavoitteena on tutustua raitiovaunujen johdinsarjojen suunnitteluun ja sen tuloksena luoda suunnitteluohje E³-ohjelmistolle, jonka avulla pystytään luomaan kaikki johdinsarjojen dokumentointiin, tuotantoon ja asennukseen vaadittavat kuvat ja taulukot. Kytkentälistä määritellään uudelleen sisältämään vain prosessin kannalta oleelliset tiedot. Suunnitteluohjeen rinnalle luodaan myös johdinsarjojen esimerkkikuvat, joilla havainnollistetaan kuvan ja komponenttien asetelua ja graafista esitystä. Lisäksi opinnäytetyön tuloksena syntyy listaus aikaa vievistä prosesseista, joita tulevaisuudessa voidaan automatisoida toiston vähentämiseksi ja suunnitteluprosessin nopeuttamiseksi.

Transtech Oy on kotimainen kiskokalustotoimittaja sekä konepajatuotteiden sopimusvalmistaja. Yhtiö on erikoistunut kaksikerroksisten matkustajavaunujen ja matalalattiaisten raitiovaunujen suunnitteluun ja valmistukseen. Keskeisimmät toimipisteet ovat Oulun suunnittelutoimisto ja Otanmäen tehdas, joissa suurin osa kehitys- ja tuotantoprosesseista tapahtuu yhteistyössä tšekkiläisen emäyhtiö Škoda Transportation a.s.:n kanssa. Transtech Oy:llä on myös varikkotoimintaa pääkaupunkiseudulla. (2.)

Raitioliikenne Suomessa

Raitiovaunun erottaa junasta sen kyky kulkea muun katuliikenteen seassa. Suomessa raitioliikennettä on vuonna 2018 vain Helsingin kaupungin alueella. Lähivuosina on tarkoituksena ottaa käyttöön kaksi uutta raitioliikenneverkkoa, yksi Tampereella ja toinen Helsingin Itäkeskuksen ja Espoon Keilaniemen välillä. Tampereen raitiotien ensimmäisen

osan rakentaminen on jo aloitettu ja liikennöinnin on suunniteltu alkavan vuonna 2021. Helsingin ja Espoon välille tulevan Raide-Jokerin pikaraitiolinjan rakentamisen aloittamisen alustavaksi ajankohdaksi on annettu vuoden 2019 alku. Kummallakin tulevalla raitiolinjalla kulkevan kaluston tulee suunnittelemaan ja valmistamaan Transtech Oy. (3; 4.)

Raide-Jokeri rakennetaan pikaraitiolinjaksi, mikä tarkoittaa sitä, että se kulkee suurimaksi osaksi erillään muusta liikenteestä omalla rata-alueellaan. Pikaraitiolinjalla voi kulkea tavallista, muun liikenteen lomassa kulkevaa, raitiolinjaa suuremmalla nopeudella. Raide-Jokerin on arvioitu kulkevan tietyillä osuuksilla jopa 80 km/h, kun tavallisella raitiotiellä suurin nopeus on nopeusrajoituksen mukainen, eli Helsingissä 50 km/h. Sen suunnittelussa on otettu huomioon Helsingin olemassa olevan raitiotien ominaisuudet ja sen vuoksi esimerkiksi raideleveys 1000 mm on valittu samaksi. Saman raideleveyden valinnalla on todettu olevan merkittäviä hyötyjä, kuten jo olemassa olevan kaluston ja varikkotilojen jakaminen. (5, s. 5; 6, s. 3.)

Tampereen raitiotiellä tullaan myös ajamaan osittain omalla kaistallaan ja suurimmaksi sallituksi ajonopeudeksi on päätetty 70 km/h. Tampereella raitiovaunulla tulee olemaan myös liikennevaloissa etuajo-oikeus, mikä varmistaa raitioliikenteen sujuvuuden ruuhka-aikoina. Tampereen keskustassa nopeus sovitetaan muuhun liikenteeseen, koska siellä käytössä ovat muun liikenteen kanssa samat kaistat. Raideleveydeksi on Tampereella valittu Keski-Euroopassa yleinen 1435 mm, minkä vuoksi myös raitiovaunu voi olla hie-man Helsingin raitiovaunua tilavampi (7, s. 13). Kummankin tulevan raitiotien vaunukalusto tulee olemaan esteettömyyden takaavaa matalalattiaraitiovaunua. Suomen raitiovaunujen teknisiä tietoja on eritelty taulukkoon 1. (3; 4.)

TAULUKKO 1. Suomen raitioteiden kaluston teknisiä tietoja (4; 7, s.13)

	Artic Helsinki	Tampereen raitiovaunu	Raide-Jokeri (Artic XL)
Ajosuunta	Yksisuuntainen	Kaksisuuntainen	Kaksisuuntainen
Vaunun kok. pituus	27,6 m	38 m	34,5 m
Leveys	2,4 m	2,65 m	2,4 m
Istumapaikkoja	74 + 14 = 88	65 + 40 = 104	76
Kok. kapasiteetti	199 matkustajaa	315 matkustajaa	256 matkustajaa
Raideleveys	1000 mm	1435 mm	1000 mm
Moottoriteho	8 x 68 kW = 520 kW	9 x 100 kW = 800 kW	

2 MATALALATTIAISEN RAITIOVAUNUN SÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Kiskokalustossa ja erityisesti raitioliikenteessä sähköjärjestelmien ja kaapeloinnin suunnittelun suurimmat haasteet ovat käytössä oleva tila ja käyttöolosuhteet. Raitiovaunun sähköjärjestelmät täytyy suunnitella kestämaan ympärivuotiset sääolosuhteet sekä niihin kohdistuvat fyysiset rasitukset. Olosuhteiden lisäksi huomioon täytyy ottaa raitiovaunun perimmäinen käyttötarkoitus julkisen liikenteen kulkuvälineenä, jolloin myös matkustajien ja kuljettajan turvallisuus ja mukavuus ovat ensisijaisen tärkeitä. Sähkötekniisten ominaisuuksien lisäksi kaikki nämä tekijät täytyy ottaa huomioon raitiovaunun sähköjärjestelmiä suunnitellessa.

2.1 Moderni raitiovaunu

Raitiovaunu koostuu nivelosin erotetuista moduuleista. Vaunun ohjattavuus on erityisen tärkeää Helsingin haastavalla rataverkolla. Helsingin rataprofiili on hyvin poikkeuksellinen jyrkkien käännösten, mäkien ja niiden yhdistelmien vuoksi. Huipputekniikalla varustellun raitiovaunun täytyy silti kyetä liikennöimään vuoden kaikkina päivinä. Kaikkiin suuntiin joustava nivelletty rakenne ja telit, jotka kykenevät kääntymään erillään vaunusta, varmistavat sujuvan matkustuksen ja rakenteellisen kestävyden. Luonnos tulevan Raide-Jokerin vaunusta on nähtävillä kuvassa 1. (8, s. 6–7.)



KUVA 1. Luonnos Raide-Jokerin vaunusta (9)

Helsingin nykyinen raitiovaunu ja Suomen tulevat raitiotieprojektit luottavat pitkälti samantyyppisiin teknisiin ratkaisuihin luotettavuuden ja matkustusmukavuuden varmistamiseksi. Vaunut ovat kokonaisuudessaan matalalattaisia nivelraitiovaunuja ja niiden läpi on mahdollista kävellä päästä-päähän samalla tasolla. Raitiolinjan pysäkeillä vaunun lattia on samalla tasolla pysäkin kanssa, jolloin vaunuun pääsy on saatu täysin esteettömäksi. (10.)

Vaunun suunnittelussa on täytynyt ottaa erikseen huomioon liukkaat talviolosuhteet ja turvallisuus täytyy varmistaa myös silloin, kun kiskon ja pyörän välinen pito on huono. Tämän vuoksi vaunun kaikki pyörät ovat vetäviä ja pitoa kyetään parantamaan luistonestojärjestelmän lisäksi myös automaattisella hiekoitusjärjestelmällä. Jään kertyminen lattialle ja kynnyksiin pyritään estämään lattialämmityksen avulla ja matkustamo voidaan lämmittää myös ainutlaatuisella järjestelmällä, joka varastoi jarrutuksesta syntyvää energiaa lämmitykseen. (8, s. 6–7.)

Nykyaikaisen raitiovaunun tekevät myös valaistuksen ja infolaitteiston energiatehokkuus, kevyet ja nykyaikaiset materiaalit ja törmäysturvallisuus (8, s. 12–19). Matkustamisen houkuttelevuutta pyritään lisäämään miellyttävillä sisätiloilla ja käytön helppoudella. Huoltovarmuus ja huoltoaikojen minimointi varmistavat vaunun nopean liikennöinnin jatkumisen ja lisäävät luotettavuutta (8, s. 24). Teknisten ratkaisujen lisäksi on tietysti tärkeää, että raitiovaunu sopii kaupungin katukuvaan sekä muotoilultaan että väritykseltään (8, s. 4).

2.2 Kiskokaluston standardit

Kiskokalustossa laadunvalvonnan tärkein standardi on European Railway Industry UNIFE:n ja johtavien kiskokalustovalmistajien vuonna 2005 kehittämä International Railway Industry Standard IRIS ja sitä pidetään nykypäivänä lähes välttämättömänä kiskokalustoalan toimijoille. IRIS-standardin pohjana toimii kansainvälisesti tunnettu laadunvalvonnan standardi ISO 9001, jota on täydennetty kiskokaluston erityisvaatimuksilla. Standardin mukaisen sertifikaatin voivat myöntää vain harvat sertifiointilaitokset ja sen myöntämiseen on määritelty standardoitu prosessi. Yritykset, joilla on IRIS-standardin sertifiointi, ovat sitoutuneet toimimaan sen vaatimien projektinhallinta- ja auditointimenetelmien

mukaisesti ja myöntäjä valvoo niitä säännöllisesti. Sertifikaatin ansiosta luotettavan yhteistyökumppanin tunnistaminen helpottuu ja lisäselvitysten tarpeen määrä vähenee yhteistyötä aloitettaessa. (11.)

Johdinsarjojen ja yleisen sähköturvallisuuden kannalta tärkeimmät kiskokalustostandardit ovat EN 50153 Railway applications – Rolling stock – Protective provisions relating to electrical hazards, jossa on käsitelty yleisesti kiskokalustossa sähköturvallisuuden ja sähköiskulta suojaamisen toteuttaminen, sekä EN 50343 Railway applications – Rolling stock – Rules for installation of cabling, jossa on käsitelty kaapelointiin liittyvät säädökset. Yleisesti kiskokalustossa suojausten vaatimusten perustana olevat jännitealueet on esitelty taulukossa 2. (12; 13.)

TAULUKKO 2. Standardin EN 50153 -mukaiset jännitealueet (12, s. 11)

Jännitealue	Nimellisjännite U_n	
	AC (V)	DC (V)
I	$U \leq 25$	$U \leq 60$
II	$25 < U \leq 50$	$60 < U \leq 120$
III	$50 < U \leq 1000$	$120 < U \leq 1500$
IV	$U > 1000$	$U > 1500$

2.3 Tärkeimmät sähköjärjestelmät

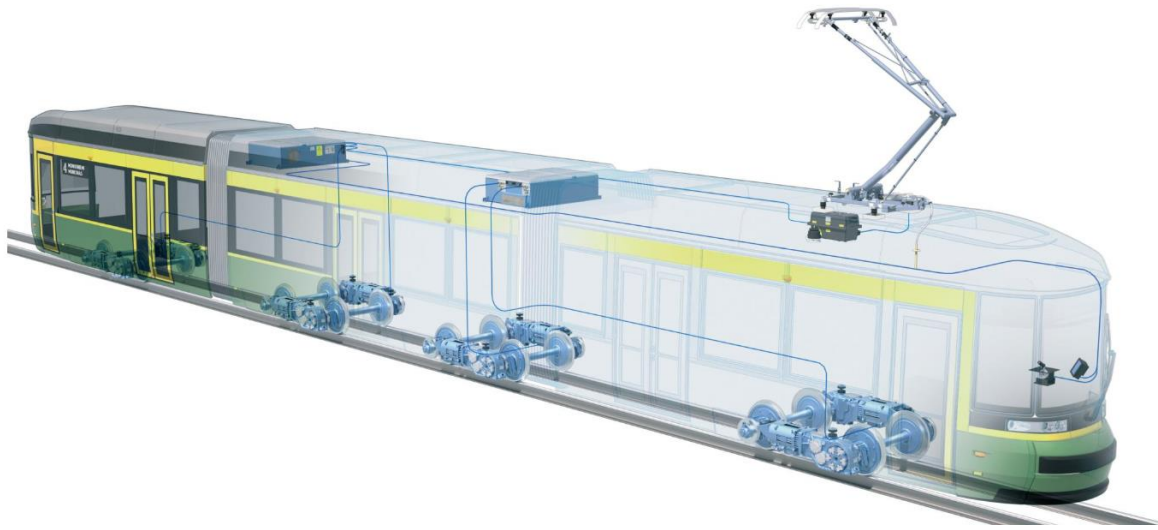
Raitiovaunun sähkönsyöttönä Suomessa toimivat yläpuoliset ajojohdinverkot. Ajojohtimen nimellinen tasajännite on Helsingissä -600 VDC, Raide-Jokerin syöttö tulee olemaan -750 VDC ja Tampereen +750 VDC. 750 VDC:n syöttöjännite on nykyään laajalti ajojohdinverkkojen suositeltu standardijännite. Raide-Jokerin syöttöjännitteen pitäminen miinuspuoleisena mahdollistaa kalustolla ajamisen koko Helsingin raitiotieverkossa. Myös Helsingin nykyinen Artic-raitiovaunu kykenee toimimaan korkeammalla ajojohtimen jännitteellä, joten jännitteen nosto on mahdollista, kun vanhempi kalusto siirtyy pois käytöstä. (14.)

Vaunun katolla oleva virroitin (kuva 2) nostetaan kosketukseen ajojohtimen kanssa. Yhteisen suuntaan ajettavissa vaunuissa virroitin on yleensä ensimmäisen moduulin katolla ja kaksisuuntaisissa vaunuissa virroitin voi olla kummassakin päässä, joista toinen nostetaan aina ajosuunnasta riippuen. Virroittimen sijoittelu on kuitenkin projektikohtaista ja esimerkiksi Tampereen tulevassa vaunussa virroitin on vaunun keskellä.



KUVA 2. Nykyaikainen virroitin (15)

Virroitin syöttää kaikkia vaunun sähkölaitteita. Syöttö jaetaan kolmeen eri jännitetasoon, jotka ovat 600/750 VDC:n päävirtapiiri, 400 VAC:n kolmivaiheinen apukäyttö ja 24 VDC:n järjestelmät, joihin kuuluu signaalien lisäksi moottorikäyttöjä ja laitesyöttöjä (14). Jokaisessa akselissa on ajomoottori, jolle tulee 400 VAC:n kolmivaihesyöttö. Teleissa sijaitsevia ajomoottoreita syöttää kattokotelossa sijaitseva invertteri, joka muuntaa 750 voltin tasajännitteen 400 voltin vaihtojännitteeksi (kuva 3). Jarrutettaessa ajomoottorit voivat toimia generaattoreina ja niillä tuotettua energiaa voidaan syöttää takaisin ajojohtimeen, jos samalla johtimella on toinen vastaanottamaan kykenevä vaunu. Jarrutusenergiaa voidaan käyttää myös matkustamon lämmittämiseen erikoissuunniteltujen lämmönvaihtimien avulla. (16.)



KUVA 3. Raitiovaunun sähkökäyttö (8, s. 26)

400 VAC:n apukäyttöön kuuluvat erilaiset puhallinmoottorit, lämmitykset ja kompressorit. Yleisesti käytössä oleva 24 VDC kattaa silti suurimman osan vaunun kaikista komponenteista ja kaapeloinnista. Se on havaittu käytännölliseksi vaihtoehdoksi turvallisuutensa ja komponenttien kokovaatimusten vuoksi. Sillä käytetään laajasti erilaisia ohjaukseen, valaistukseen ja informaatiotekniikkaan liittyviä laitteita.

2.4 Laitellevyt

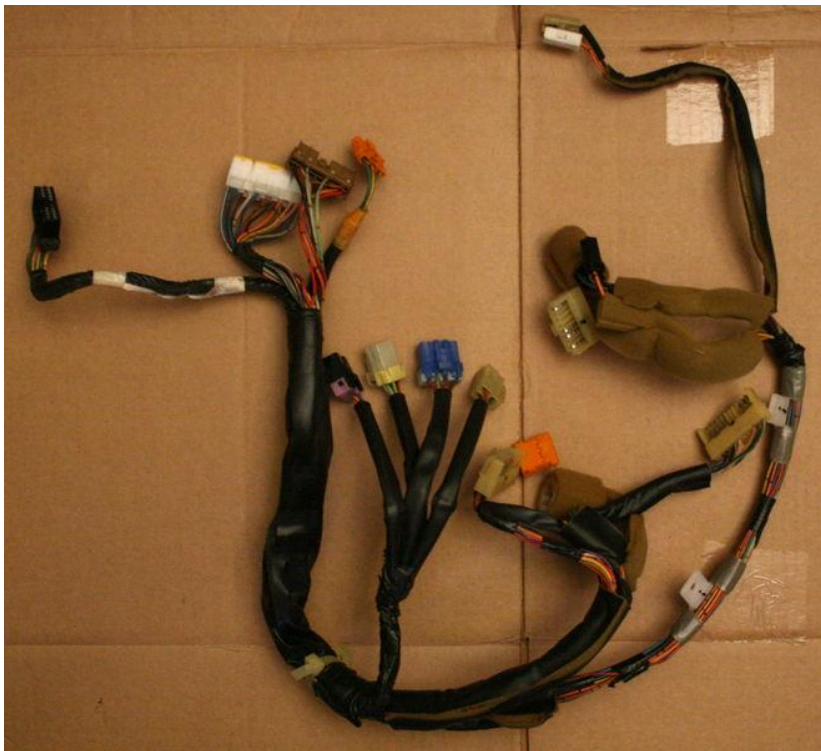
Johtimien ja kaapeleiden kytkentäpisteitä on sijoitettu ympäri moduulia, aina katolta lattian alle ja teliin asti. Johtimet, joita ei kytketä yksittäisiin rasioihin tai komponentteihin, kytketään moduulin katon rajassa oleviin laitelevyihin. Tämä kattaa suurimman osan johtimista. Laitellevyt toimivat käytännöllisenä tapana sijoittaa riviliittimiä, johdonsuojakatkaisijoita, releitä ja muita komponentteja yhdeksi asennuskokonaisuudeksi. Laitellevy voidaan suunnitella annettuun tilaan sopivaksi ja sille tulevien komponenttien asettelu voidaan suunnitella niin, että hyötypinta-alaa on mahdollisimman paljon. Komponenttien sijoittelulla laitelevyn sisäinen kaapelointi voidaan tehdä toimivaksi ja johdinmateriaaleja säästään.

Laittelevyjien asennus kokonaisuutena mahdollistaa niiden valmistamisen asennuspaikan ulkopuolisella valmistuspisteellä. Tämä tekee laittelevyjien valmistuksesta ja asennuksesta nopeampaa ja samalla ergonomisempaa. Laittelevyt testataan ennen asennusta, millä varmistetaan sisäisten kytkentöjen toimivuus.

Laittelevyjä sijaitsee ikkunoiden yläpuolella olevien suljettavien luukkujen takana melkein koko vaunun pituudelta. Laittelevyjä sijoitetaan myös muihin soveltuviin paikkoihin, kuten ohjaamoon ja kattoon vaunun keskelle. Vaikka laittelevyjä jo valmiiksi sijoitetaan kaikkiin mahdollisiin niille sopiviin paikkoihin, on laittelevyjien komponenttiasettelu silti haastava tehtävä tilan rajallisuuden vuoksi. Laittelevyjien komponenttien ja kytkentöjen suojausluokka on oletuksena IP20 ja standardin EN 50153 -mukainen sähköiskulta suojaaminen tapahtuu suljettavan luukun (5.3.1.1), asianmukaisen maadoituksen (6.2.1) ja jännitealueen valinnan avulla (12, s. 10–15).

3 JOHDINSARJAT

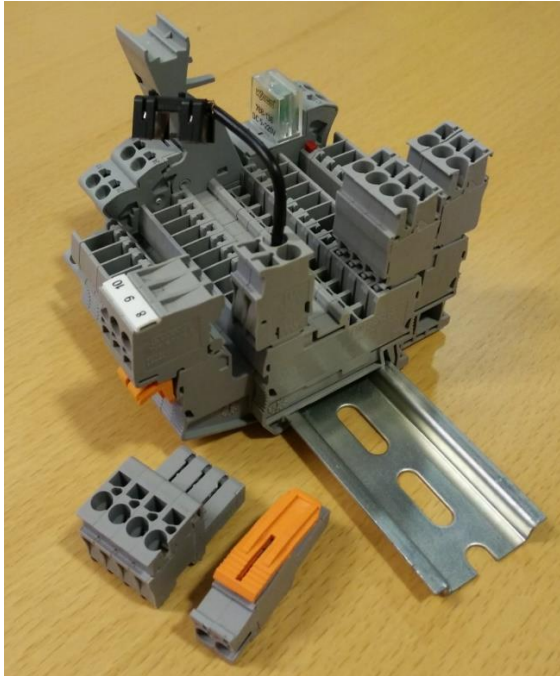
Johdinsarja tarkoittaa joukkoa yhteen niputettuja johtimia ja sen koko voi vaihdella pienen kodinelektroniikan kämmenen kokoisesta johdinsarjasta aina kymmenien, jopa satojen metrien pituiseen teolliseen johdinsarjaan. Johdinsarjoissa voi joissakin tapauksissa olla jopa tuhansia johtimia ja satoja liittimiä. Johdinsarjojen käyttö perustuu niiden asennuksen ja valmistuksen helppouteen verrattuna siihen, että jokainen kytkentä tehtäisiin irtajohtimin yksittäin kytkemällä. Yksinkertaisimmillaan tuotteen, kuten moottoriajoneuvon, kaapelointi voidaan kokonaisuudessaan hoitaa yhdellä johdinsarjalla (kuva 4). (17.)



KUVA 4. Moottoriajoneuvon johdinsarja (18)

Yhden raitiovaunun sähköistämiseen tarvitaan erilaisia johtimia ja kaapeleita, joiden yhteispituus voi olla kymmeniä kilometrejä (1). Samaa kaapelireittiä kulkevien johtimien niputtaminen johdinsarjoiksi säästää jo valmiiksi haastavasta asennustyöstä huomattavasti resursseja. Johdinsarjan johtimet suojataan suojasukalla tai -putkella, jonka tehtävänä on suojata johtimia erilaisilta ympäristön rasituksilta, kuten hankaamiselta tai vedolta, mutta ne voivat materiaalivalinnasta riippuen suojata johtimia myös suoralta kuumuudelta, ku-

ten avotulelta. Johtimet päätetään kytkentävaatimuksista riippuen erilaisiin pistokeliittimiin tai ammattikielessä ”plugeihin” (kuva 5). Joissain tapauksissa johdin vain kuoritaan, jos se tullaan liittämään kiinteästi asennusvaiheessa.



KUVA 5. DIN-kiskokiinnitettävä pistokeriviliitin ja pistokeliittimiä

3.1 Kaapelit ja johtimet

Raitiovaunussa käytettävien kaapelien ja johtimien valintaan vaikuttavat sekä tilaajan antamat että kiskokaluston kaapeloinnin standardissa EN 50343 mainitut vaatimukset. Yleinen käytäntö on, että standardia pidetään suunnittelun pohjana ja tilaaja vaatimuksillaan muokkaa sitä haluttuun suuntaan. Standardi EN 50343 ei kuitenkaan anna tarkkoja vaatimuksia kaapelointiin, vaan on enemmän listaus huomioon otettavista asioista. (13, s. 6.)

Projektikohtaisten tilaajavaatimusten lisäksi raitiovaunun kaapeli- ja johdinvalinnoissa tärkeimmiksi tekijöiksi nousevat fyysiset ominaisuudet, jännitteenkesto sekä palonkesto. Standardin EN 50343 luvun 4.1 mukaan tulee kaapeleiden ja johtimien valinnassa ottaa huomioon kaikki olosuhteiden niihin kohdistamat vaikutukset kuten lämpötila, dynaamiset vaikutukset liikkeen, värinän ja iskujen muodossa sekä eristeen mahdolliset pintapurkaukset (13, s. 10). Standardin luvuissa 4.4 ja 4.5 viitataan kaapelien valitsemiseen poikki-

pinta-alaltaan ja joustavuudeltaan sopiviksi. Raitiovaunun toimintaolosuhteissa kaapeleihin ja johtimiin voi kohdistua poikkeuksellista vääntöä, erityisesti vaunuvälin tai telin kaapeloinnissa. (13, s. 19–20.)

Raitiovaunussa on kaapeloinnille hyvin vähän tilaa ja sen vuoksi standardin EN 50343 luvun 4.11 mukainen eri jännitetasojen erottaminen välimatkalla tai seinällä voi olla paikoittain mahdotonta. Tämän vuoksi ongelmapaikoissa kaapeleiksi valitaan suojattuja kaapeleita ja johtimien eristystasoksi valitaan korkeimman esiintyvän jännitteen mukainen eristys. Kuvassa 6 on vaihtoehtoja jännitetasojen erottamiselle ja eristämiseksi. Kuvan vaihtoehto C on sopivin asennukseen, jossa kaapelit risteävät ja kulkevat paljon rinnakkain. Päävirtapiirin ollessa 750 VDC valitaan pienimmätkin johtimet eristystasoltaan riittäväksi ($U_0/U = 0,6/1$ kV). (13, s. 23–24.)

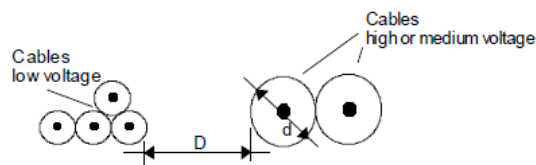
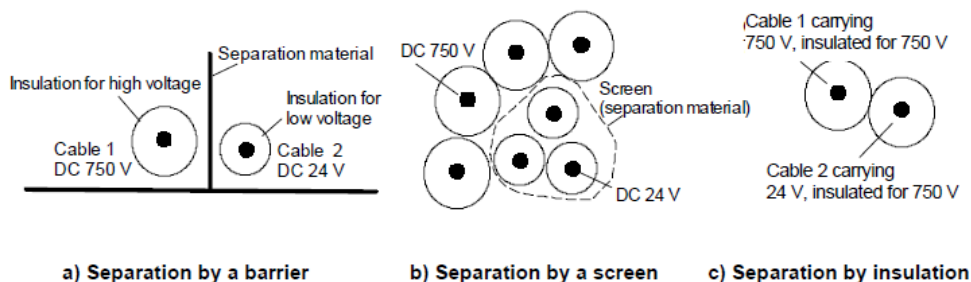


Figure 6 – Separation of cables by required distance: $D > 2 d$ and $D > 0,1$ m



KUVA 6. Eri jännitetasojen erottaminen ja eristäminen (12, s. 24)

Standardin EN 50343 luvun 4.12 mukainen tilan varaus huollolle ja korjaukselle on raitiovaunukohteissa sovitettu tilan vaatimukseen sopivaksi. Johtimien lukumäärän ja johdinsarjojen suojasukan vuoksi johdinta ei kaikissa tapauksissa kyetä vaihtamaan. Johdin voidaan korvata uudella vanhan jäädessä kuitenkin paikalleen kytkemättömänä. Jos kaapeloinnissa päätetään asentaa kytkemättömiä varajohtimia, tulee nekin testata valmiiksi muun kaapeloinnin tavoin. (13, s. 24–25.)

3.2 KytKentä ja pistokkeet

Vaunussa olevien kaapelien ja johtimien poikkipinta-alat vaihtelevat paljon. Johdinsarjaan voidaan koota muutamia 50 mm²:n kaapeleita tai vaihtoehtoisesti kymmeniä 1,5 mm²:n kaapeleita. Kaikkia suuremman poikkipinta-alan kaapeleita ei välttämättä koota johdinsarjoihin ollenkaan, vaan ne vedetään yksitellen. Kaapelin tai johtimen poikkipinta-ala, sen kuljettava signaali ja kytkentäkohde määräävät myös sen kytkentätavan. Yhteisenä tekijänä kaikilla kytkennöillä on kuitenkin luotettavuus rasituksen alla.

Kytkenässä pyritään luotettavuuteen vaikeissa olosuhteissa, joissa fyysiset rasitukset ovat jatkuvia ja kytkennän odotetaan pysyvän luotettavana jopa vuosikymmeniä. Näissä olosuhteissa parhaita vaihtoehtoja ovat varmat kiinteät kytkennät ja luotettavat liittimet. Suuremman poikkipinta-alan kaapelit, joita harvemmin kootaan johdinsarjoihin, voivat seurata kytkentätavoiltaan paljolti perinteisten sähköasennusten kytkentätapoja. Ne voidaan kytkeä suoraan rasiaan, riviliittimeen tai kaapelikenkään. Ruuvi- ja jousikiinnityksissä on tärkeää varmistaa kytkennän luotettavuus rasituksia kestäville osilla. Vaihtoehtoisesti lukittavien tiiviiden moninapaliittimien avulla voidaan useita kytkentöjä tuoda esimerkiksi koteloihin, joihin pitäisi muuten tehdä useita läpivientejä (kuva 7).



KUVA 7. Lukittava moninapaliitin (19)

Johdinsarjat kootaan pääasiassa yksittäisistä johtimista ja niitä on huomattavasti kaapeleita enemmän. Johtimet kulkevat useimmiten vaunun sisäpuolella, joten tiiviyttä tärke-

ämpiä tekijöitä ovat kytkennän luotettavuus, nopeus ja helppous. Pitkille laitelevyillä sijaitseville riviliitinrimoille kytkennät tehdään pistokeriviliittimien avulla. Tämä mahdollistaa nopean ja pysyvän, mutta myös helposti irrotettavan kytkennän jopa kymmenelle johtimelle kerrallaan. Kun riviliitinkytkentöjä tehdään vaunussa tuhansia, on tärkeää, että kytkentä voidaan tehdä nopeasti ja kerralla luotettavasti. Pistokeliittimet ovat myös tarvittaessa muokattavissa erilaisilla varmuutta lisäävillä kiinnitinhakasilla ja eri kulmiin käännettyillä pistokemalleilla. Lisäksi riviliittimet ja pistokkeet ovat koodattavissa niin, että pistokkeen voi laittaa vain sille tarkoitettuun liittimeen.

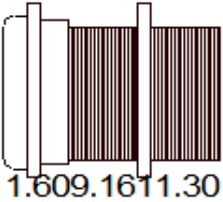



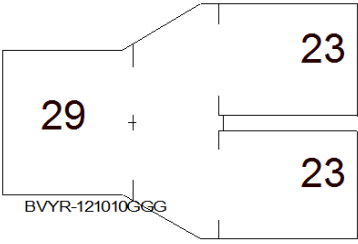
Tiedonsiirtoon käytetyissä kaapeleissa täytyy olla käytössä pelkkää painettavaa liittintä luotettavampi ratkaisu. Näissä tärkeissä tiedonsiirtoon liittyvissä liitännöissä on käytössä kierrettävät tai ruuveilla kiinnitettävät liittimet. Kiskokalustoon on saatavilla tarkoitukseen suunniteltuja liittimiä ja kytkimiä, joilla liitintä voidaan toteuttaa rasituksen kestäväksi.

3.3 Johdinsarjatarvikkeet

Johdinsarjat vaihtelevat rakenteeltaan riippuen niiden reitistä. Sarjat kulkevat olosuhteiltaan erittäin vaihtelevissa paikoissa esimerkiksi katolla, telissä, nivelväleissä ja ohjaimossa. Olosuhteille altistuminen luo omat vaatimuksensa johdinsarjojen rakenteelle ja niiden tiiviille suojaamiselle ja kytkennälle. Tämän vuoksi johdinsarjoihin lisätään jo valmistusvaiheessa komponentteja, joiden avulla varmistetaan tiiveys ja eristys toiminnassa.

Telille tai alustaan menevään johdinsarjaan voidaan lisätä joustavaa suojaputkea, erilaisia haarakappaleita ja holkkitiivisteitä, joilla kytkentävaiheessa saavutetaan tiivis kytkentä. Suojaus tehdään etenkin, jos johdinsarja kulkee korin ulkopuolella ja voi altistua kosteudelle. Johdinsarjatarvikkeet ja sarjojen suojaamisen tarve tulee niiden reittien suunnittelun yhteydessä suunnittelijoilta, jotka korin 3D-mallin avulla päättävät johdinsarjalle sopivimman reitin. Tarvikkeisiin lukeutuvat myös kaikki kiinnittämiseen tarvittavat välineet kuten nippusiteet ja kiinnitysankkurit. Esimerkkejä johdinsarjatarvikkeista ja niiden graafisesta esityksestä on nähtävissä taulukossa 3.

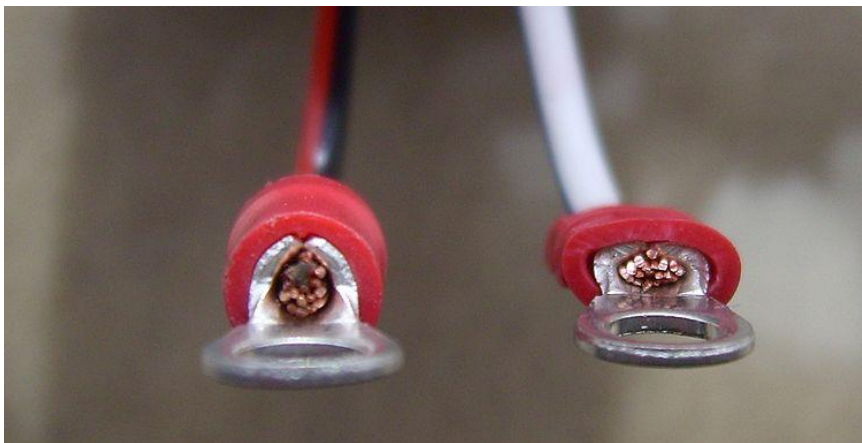
TAULUKKO 3. Esimerkkejä johdinsarjatarvikkeiden esityksistä E³-ohjelmasta

Komponentti	Esimerkkisymboli E ³ -ohjelmasta
Holkkitiiviste M16x1,5	 <p>1.609.1611.30</p>
Kutistesukka B2 12,7 - 6,5mm KeVi	<p>-U9 B2 12.7-6.5 KEVI</p> 
Suojasukka 16mm	 <p>C.66.16GR 16 mm</p>
Taipuisa muovinen suojaputki 16mm	<p>M24861 16mm</p> 
Y-haara 12 / 2x10	 <p>BVYR-121010GGG</p>

3.4 Johdinsarjan valmistus

Tällä hetkellä johdinsarjojen valmistus tapahtuu pääosin alihankintana. Yhteen raitiovaunuun tulee noin 150 johdinsarjaa. Kun projektikohtaisesti raitiovaunuja valmistetaan useita kymmeniä, tulee johdinsarjavalmistuksen työkuormasta huomattava. (1.)

Johdinsarjan valmistus on moniosainen prosessi, joka alkaa johdinten katkonnasta. Katkontaan käytetään moderneja automaattisia katkontakoneita, joilla johtimet voidaan tarvittaessa myös krimpata (kuva 8). Krimppaus tarkoittaa hienosäikeisten johtimien päättämistä liittimeen mekaanisesti puristamalla (20). Krimppaus tarkistetaan vetolujuutensa ja paksuteensa puolesta sopivaksi. Krimppaamattomat kaapelit kuoritaan annettujen kuorintatietojen mukaisesti. Johdinmerkinnät painetaan katkottuihin kaapeleihin haaleasti, jotta valmistuksen myöhemmissä vaiheissa voidaan johtimien varmistaa tulevan oikeisiin johdinsarjoihin. (21.)



KUVA 8. Liitin ennen krimppausta ja krimppauksen jälkeen (22)

Katkotut, merkityt ja mahdollisesti päätetyt johtimet kerätään johdinsarjojen mukaan niputukseen. Niputus tapahtuu pitkällä niputuspyödyllä, jolla johtimet asetellaan pituussuuntaan puolesta oikeisiin kohtiin johdinsarjassa. Tällä varmistetaan, että johdinsarjan haarat tulevat oikeisiin kohtiin. Johtimet vedetään suojasukkaan, jonka halkaisija vaihtelee johtimien määrän mukaan eri haaroissa. (21.)

Liittimet ja johdinmerkinnät kiinnitetään sukutettuun johdinsarjaan käsityönä. Liittimen tiedot sekä liitinkohtaiset johtimien kytkentätiedot käyvät ilmi johdinsarjan kuvasta. Kokoonpanovaiheessa johtimien kutistettavat johdinmerkinnät jätetään kutistamattomana paikalleen, jotta ne voidaan kääntää osoittamaan oikeaan suuntaan vielä asennusvaiheessa. Valmistaja testaa kaikkien valmiiden johdinsarjojen jännitteenkeston ja eristysvastuksen testilaitteistollaan, jonka jälkeen ne merkitään hyväksytyiksi ja pakataan kuljetusta varten (kuvat 9 ja 10). (21.)



KUVA 9. Johdinsarjoja ja valmiskaapeleita liittimillä



KUVA 10. Johdinsarjoja pistokeliittimillä

3.5 Johdinsarjan asennus

Johdinsarjat asennetaan vaunun muun kokoonpanoprosessin rinnalla ja suurin osa johdinsarjoista asennetaan kaapelointivaiheessa laitelevyjen asennuksen jälkeen. Jotkut

johdinsarjat voidaan asentaa eri kokoonpanovaiheessa. Katolle tuleva kaapelointi voidaan asentaa kattokomponenttien kanssa samaan aikaan ja telin kaapeleita kytketään omalla kokoonpanoalueellaan.

Vaunun sisällä lankahyllyillä kulkevat laitelevyjä yhdistävät johdinsarjat asennetaan kaikki samassa vaiheessa. Asennustapa voi vaihdella johdinsarjan rakenteesta riippuen, mutta peruserätyyteenä on aloittaa asennus joltain johdinsarjan keskivaiheen solmukohtalta. Näin varmistetaan johtimien pituuksien riittävyys ja samanlainen väljyys kaikkiin kytkentöihin. Johdinsarjan reitti on määritelty sähkömekaanisen suunnittelun tekemisissä kuvissa, mutta sen tarkkaa paikkaa lankahyllyillä ja risteyskohdissa ei ole määrätty. Johdinsarjat kiinnitetään nippusiteillä ja standardin EN 50343 mukaisesti, jolloin kiinnitysten suurin väli saa olla 300 mm horisontaalisissa ja 500 mm vertikaalisissa asennuksissa (13, s. 26).

Johdinsarjat tuodaan laitelevyille ja johtimien pituudet tarkastetaan. Jos plugille tulevat johtimet eivät ole kaikki yhtä pitkiä tai pituutta on liikaa, ne katkotaan sellaiseen pituuteen, että asennuksesta tulee siisti ja johtimille ei tule liikaa turhaa lenkkiä. Lämpökutistettavat johdinmerkinnät ovat vielä tässä vaiheessa siirrettävissä ja ne käännetään kaikki samaan suuntaan lukemisen helpottamiseksi, jonka jälkeen ne kutistetaan paikalleen.

Johdinsarjoissa voi myös olla komponentteja, jotka vaikuttavat sarjan asennukseen tai jotka laitetaan paikalleen vasta asennusvaiheessa. Ahtaiden läpivientien vuoksi esimerkiksi holkkitiivisteet ja kaapelikengät voivat vaikuttaa asennukseen. Jos johdinsarjassa on holkkitiivisteitä, täytyy sarjan asennus suunnitella niin, että holkkitiiviste tulee oikeasta suunnasta paikalleen. Jos asentaminen kaikki komponentit paikallaan ei ole mahdollista, voidaan niitä lisätä myös johdinsarjan asentamisen aikana. Sama pätee myös johdinsarjoihin, joissa on kaapelikengille liian ahtaita läpivientejä. Kaikki ylimääräinen työ asennusvaiheessa lisää kuitenkin aina asennukseen menevää kokonaisaikaa ja kustannuksia.

4 SUUNNITTELUN OHJELMISTOT

Suunnittelussa käytettävät ohjelmistot vaikuttavat huomattavasti suunnitteluprosessin monimutkaisuuteen ja siihen vaadittavaan aikaan. Paras ohjelmisto on sellainen, jolla voidaan karsia toistoja aiheuttavia työvaiheita. Prosessin yksinkertaistamisella on myös suora vaikutus siihen kykenevien suunnittelijoiden lukumäärään ja uusien suunnittelijoiden perehdytykseen vaadittavaan aikaan.

4.1 E³.series

E³.series on saksalaisen CIM-Team GmbH -ohjelmistokehitysyhtiön kehittämä Windows-käyttöjärjestelmäpohjainen sähkösuunnitteluohjelmisto. Vuonna 2006 saksalaisyritys siirtyi japanilaisen Zuken Inc. -yrityksen omistukseen ja kolme vuotta myöhemmin, vuonna 2009, CIM-Team GmbH:n uudeksi nimeksi tuli Zuken E3 GmbH. (23.)

Zuken Inc. oli jo iso toimija Aasian markkinoille kehittämillään sähkösuunnitteluohjelmistoilla, mutta saksalaisyhtiön hankinnan myötä se laajensi toimintaansa myös Euroopan ja Yhdysvaltain markkinoille. Yrityksellä on tuotekehitystä, maahantuontia ja käytöntuki-toimintaa ympäri maailmaa ja sen E³-ohjelmisto onkin laajasti käytössä autoteollisuuden lisäksi myös kiskokalustoa ja johdinsarjoja suunnittelevilla ja valmistavilla yrityksillä. (24.)

Suomessa E³.series-ohjelmistoa toimittaa CCS Group, joka tarjoaa samalla myös käyttöönottoon ja käytöntukeen liittyviä palveluita. Halutessaan ohjelmiston käyttäjät voivat tilata yritykseltä muita käyttöön liittyviä palveluita, kuten koulutuksia ohjelmiston tai sen osien käyttöön tai suunnittelun automatisoinnin ja mukauttamisen ohjelmointipalveluita. (25.)

4.1.1 E³.series-moduulit

E³.series-ohjelmisto tarjoaa mahdollisuudet kokonaisvaltaiseen sähkötekniseen suunnitteluun yhden järjestelmäkokonaisuuden avulla. Moduuleista koostuvassa kokonaisuudessa käyttäjälle on työkaluja kaapeloinnin, ohjausjärjestelmien, hydrauliiikan ja pneumaatiikan suunnitteluun samalla ohjelmistolla. Kokonaisuus muodostuu viidestä päämoduulista (taulukko 4). (26, s. 2.)

TAULUKKO 4. E³.series-ohjelmiston päämoduulit (26, s. 2)

Moduuli	Toiminnot
E ³ .schematic	Sähkötekniisten järjestelmien kaaviosuunnittelu ja dokumentointi
E ³ .cable	Kaapeloinnin suunnittelu ja dokumentointi
E ³ .fluid	Hydrauliikka-, pneumatiikka-, jäähdytys- ja voitelujärjestelmien suunnittelu
E ³ .panel	Keskusten ja paneelien layout-suunnittelu 2D- ja 3D-malleihin
E ³ .formboard	Kaapeloinnin tuotannon dokumenttien luonti

Päämoduulien alle on lisättävissä lisämoduuleita (taulukko 5). Moduulien ytimenä toimiva E³.schematic sisältää kaikki suunnittelun ja dokumentoinnin pääominaisuudet ja toimii jo sellaisenaan kattavana suunnittelutyökaluna. Lisämoduulien avulla voidaan ohjelmistoon lisätä yksilöllisesti suunnittelussa tarvittavia toimintoja ja ominaisuuksia. (26, s. 2.)

TAULUKKO 5. E³.series-ohjelmiston lisämoduulit (26, s. 3-8)

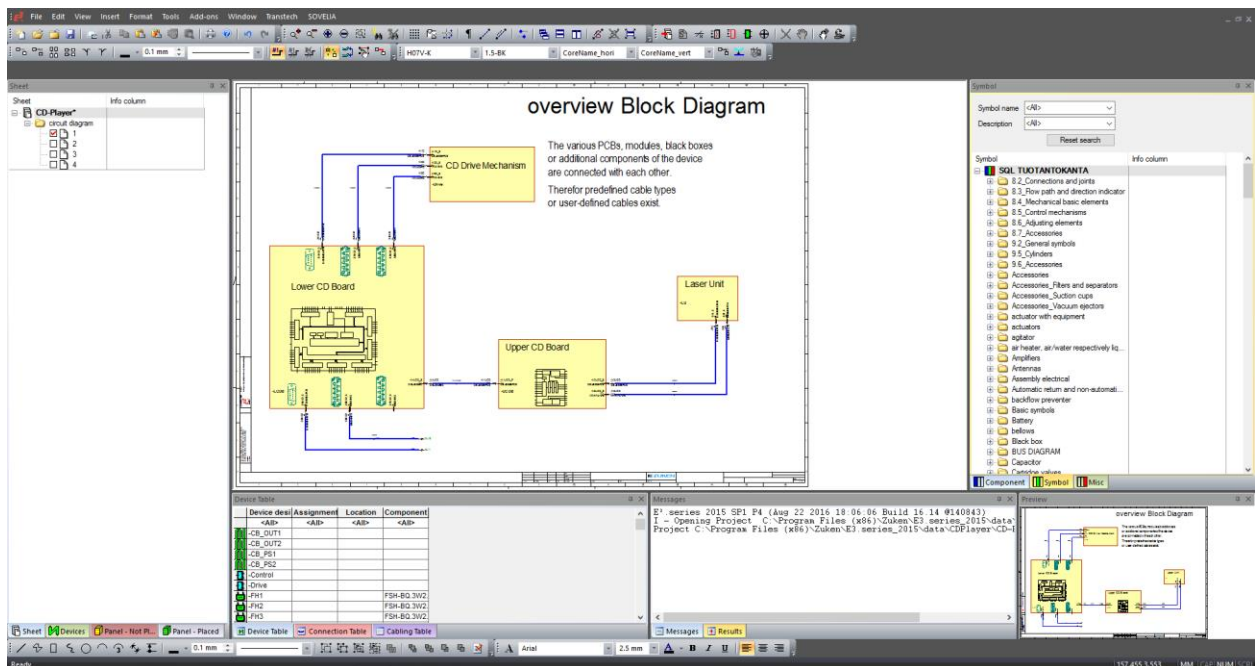
Lisämoduuli	Toiminnot
E ³ .Functional Design	Aikaisempien luonnosten käyttämisen suunnittelussa mahdollistava lisäosa
E ³ .eCheck	Komponenttien sähkötekniisten ominaisuuksien sopivuuden tarkastus reaaliajassa
E ³ .ExtendedConnectorHandling	Erikoisliitinkuvien automaattinen luonti
E ³ .3D Routing Bridge	Kaapelointikuvien tietojen siirtäminen 3D-suunnitteluohjelmiin
E ³ .Revision Management	Revisioiden tietojen seuraaminen ja dokumentointi
E ³ .HarnessAnalyzer	Tiedon vaihtamiseen johdinsarjojen suunnittelun ja valmistuksen välille
E ³ .Redliner	Reaaliaikaisten muutosten seuraamiseen suunnittelun ja asennuksen aikana
E ³ .DatabaseEditor	Komponenttien luomiseen ja muokkaamiseen komponenttikirjastossa

E³.series-ohjelmistosta on tarjolla useita erilaisia lisenssiversioita. Ilmaisella E³.View-versiolla on mahdollista tarkastella dokumentteja muokkaamatta ja kaikki ominaisuudet saa käyttöönsä kattavimmalla E³.Enterprise-versiolla. Yrityskäyttöön tarkoitettulla E³.Enterprise-lisenssiversiolla on mahdollista työstää projekteja ns. Multi-User -tilassa, jolloin useampi käyttäjä voi työskennellä samassa projektikansiossa samanaikaisesti. Yksittäiset

kuvat tai kaaviot ovat muokattaessa muilta käyttäjiltä lukittuina. Tämän ominaisuuden ansiosta kaikille suunnittelijoille on jatkuvasti käytössä projektin tuorein versio ja päivitykset tulevat kaikkien näkyville välittömästi. E³.series tarjoaa myös kaikki ominaisuudet sisältävää E³.Educational-versiota oppilaitoskäyttöön. (26, s. 2; 27.)

4.1.2 Järjestelmän mukauttaminen

E³.series-ohjelmisto on kokonaisuudessaan hyvin muokattavissa suunnittelijan tarpeisiin. Suunnitteluohjelman näkymä ja käyttöliittymä (kuva 11) on mahdollista muuttaa aina sen hetkisen työkohteen tai projektin vaatimuksien mukaiseksi ja näkymän vaihtaminen onnistuu nopeasti suunnittelun sitä vaatiessa. Valikoiden ja ikkunoiden asettelut ja muokkaukset ovat suoraviivaisia ja suurtenkin projektien selaaminen onnistuu vaivatta lyhyen perehdytyksen jälkeen. Näkymä voidaan myös levittää kahdelle tai useammalle näytölle, jolloin työstettävälle kovalle tai kaavioille saadaan enemmän tilaa. Tehokäyttäjällä olisikin hyvä olla käytössään ainakin kaksi näyttöä, jolloin valikot ja rakennennäkymät voidaan pitää toisella näytöllä ja työskentelyalue toisella.



KUVA 11. E³-ohjelmiston käyttöliittymä

E³-ohjelmistoa voidaan mukauttaa myös ohjelmoitujen toiminnollisuuksien eli skriptien avulla. Skriptin avulla ohjelmisto voi automaattisesti nappia painamalla suorittaa toimin-

non, listauksen tai luetteloinnin ja siten säästää suunnittelijan aikaa toistuvalla työllä. Esimerkkejä skriptien toiminnoista on nähtävillä taulukossa 6. Niiden avulla työprosessia voidaan myös yksinkertaistaa ja samalla lyhentää sen tekemiseen vaadittavaa perehdyttämistä.

TAULUKKO 6. Esimerkkejä mahdollisista skripteistä

Skriptin nimi E³-ohjelmassa	Sen ohjelmoitu toiminto
Bundle Wires and Cables into Harnesses	Skripti kerää piirikaavioista kaikki nimetyt johtimet nippuihin alku- ja lähtösijaintiensa perusteella ja kokoaa nämä niput Alustavat niput -kansioon
Wire List for Harness	Skripti luo kytkentälistadokumentin kaikista johdinsarjan johtimista E ³ -kuvana tai Excel-tilukkona
BOM Position numbering – Give BOM positions	Skripti antaa kaikille johdinsarjan kansiossa oleville komponenteille BOM-osapallonumeron

4.1.3 Tietokannat

E³.series-ohjelmiston suunnittelutietokanta on täysin muokattavissa yrityksen tai projektin tarpeisiin. Tietokannoista voi olla olemassa useita versioita ja niiden vaihtaminen käy nopeasti sulkematta projektia. Projektiin tarvittavien komponenttien ja symbolien määrittely ja tietokannan kokoaminen voidaan tehdä itse yrityksessä suunnittelijan toimesta tai sen kokoaminen voidaan tilata ohjelman toimittajalta. CCS Group tarjoaa palveluna valmiita suunnittelutietokantoja yrityksen omien vaatimusten mukaisiksi koottuna. (1; 25.)

Suunnittelutietokannasta löytyvät kaikki sähkösuunnittelussa käytössä olevat komponentit. Tietokantaa voidaan myös muokata suunnittelutyön edetessä. Käytössä olevan ja hyväksytyin tietokannan helppous tulee siitä, että kaikkien kantaan lisättyjen komponenttien tiedetään olevan projektiin hyväksytyjä ja sopivia. Suunnittelijoiden kesken jaetun yhteisen tietokannan käyttäminen parantaa suunnittelun yhtenäisyyttä ja tuotannon hankintaa.

Transtech Oy:n tuotantokanta on SQL-pohjainen ja se on jaettu kaikille E³-ohjelmistoa käyttäville suunnittelijoille suoran palvelinyhteyden kautta. Tuotantokanta haetaan verkkolevyltä ja lisätään komponenttivalikkoon. Komponentit on jaoteltu kuvauksensa mukaan muokattavaksi valikoksi, jolloin tarvittavan komponentin etsiminen on helppoa ja erilaisia tarkoitukseen sopivia komponentteja voidaan vielä vertailla (kuva 12). Yksittäisiä komponentteja lisätään ja muokataan E³.DatabaseEditor-moduulin kautta ja muutokset tulevat voimaan tuotantokantaan välittömästi.

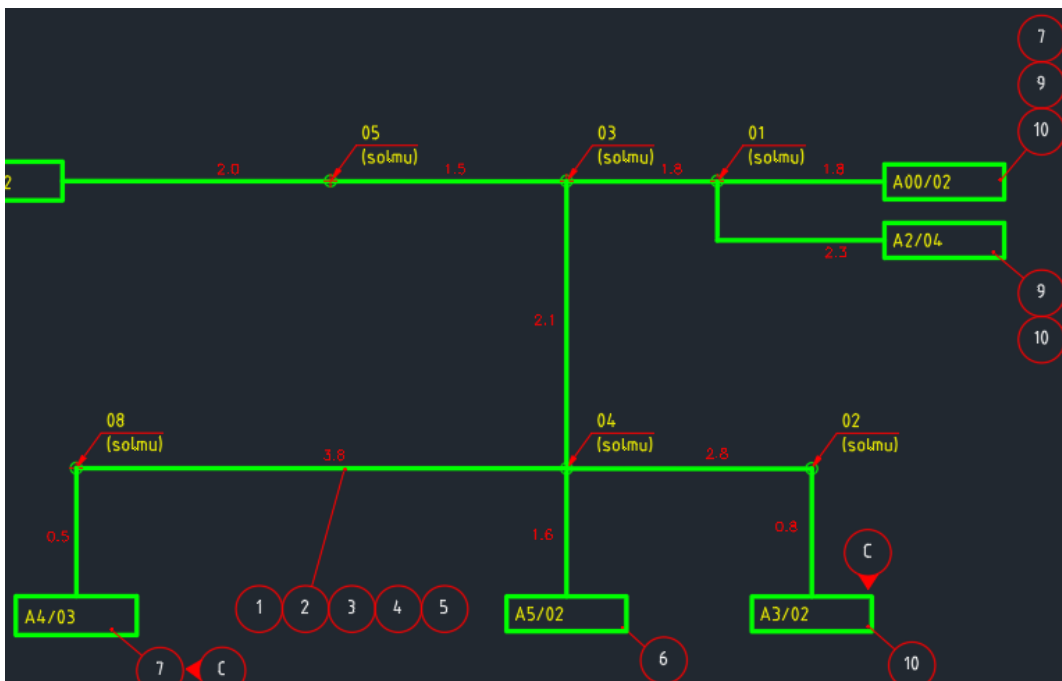
Component	Info column
SQL TUOTANTOKANTA	
0424 Sähkötärvike	
Akku	
Antenni	
Anturi	
Asennuskisko	
Black box	
Diodi	
Ethemet	
Holkkitiiviste	
Kansi	
M16	
1.609.1611.30	M16 x 1.5 , 5-10mm , pitkäkierteinen , 1.6...
1.691.1600.30	M16x1.5 , 5-10mm, Hummel HSK-M-EMV ...
1.695.1600.51	M16x1.5 , 3-7mm , Hummel HSK-INOX 1...
216220901	M16X1.5 , 9-6,5mm, PFLITSCH UNI EMC...
KVM M16 T	M16 , niklattu messinki, lukkomutteri
M20	
M25	
M32	
M40	
M50	
M63	
Roxtec	
<no entry>	
Johdinkouru	
Johdinsarjatarvikkeet	
Johdinsuoja	
Johtimet	
Kaapeli	

KUVA 12. Tuotantotietokannan rakenne

4.2 Vanha suunnitteluprosessi ja ohjelmistot

Ennen Zukenin E³.series-ohjelmistoon siirtymistä oli suunnittelun käytössä useita eri CAD-ohjelmia. Piirikaavioiden suunnitteluun ja piirtämiseen käytettiin kotimaista CADS-suunnitteluohjelmaa ja johdinsarjakuviin Autodesk-ohjelmistovalmistajan AutoCAD-suunnitteluohjelmistoa. AutoCAD on erittäin monipuolinen vaihtoehto kaikenlaiseen suunnittelutyöhön, mutta laajassa yhden kokonaisuuden ympärille rakentuvassa projektissa siitä puuttuivat mahdollisuudet samanlaisten ristiviittausten tekemiseen kuin E³-ohjelmistolla on mahdollista tehdä. AutoCAD-ohjelmalla tehdyt johdinsarjakuivat olivat täysin manuaalisesti tehtyjä ilman minkäänlaisia toiminnallisuuksia tai ristiviitauksia piirikaavioihin. Johdinsarjan kuvasta ei siis voinut siirtyä muutamalla napinpainalluksella piirikaavion tarkasteluun kuten E³-ohjelmistolla on mahdollista. (28.)

Johdinsarjakuivat ennen E³-ohjelmistoon siirtymistä olivat hyvin yksinkertaistettuja ja niistä puuttuivat mahdollisuudet yksittäisten johtimien ja pinnien tarkasteluun. Myös johdinsarjojen osat olivat kuvassa esitettynä pelkästään osapallojen avulla ilman graafisia esityksiä (kuva 13), eli kuvan tulkitseminen vaati rinnalleen listauksen sen osapallonumeroinnista. Uusien E³-ohjelmistossa tehtävien kuvien hyviin puoliin kuuluvatkin selkeät graafiset esitykset ja esimerkiksi liittimien helppo hahmottaminen kunkin kytkentäpisteen kohdalla. (28.)



KUVA 13. Esimerkki AutoCAD-johdinsarjakuvasta

AutoCAD-kuvan lisäksi tehtävä nippulista tehtiin myös aiemmin kokonaan manuaalisesti Excel-taulukkona. Tämä vaati sen, että suunnittelija tarkasti ja syötti kaikki taulukon kohdat taulukkoon. Mitään taulukon automaattisesti täyttävää toiminnallisuutta ei ollut käytössä, joten nippulistadokumentin täyttäminen vei suunnittelijalta hyvin paljon aikaa. E³-ohjelmistossa suunnittelijan käytössä on toiminnallisuus, jolla johdinsarjan nippulista luodaan automaattisesti ennalta määritellyyn Excel-taulukkoon. (28.)

Sovelian PLM -ohjelman käyttö jatkuu uuden suunnitteluohjelman rinnalla. Sovelia on projektin elinkaaren hallintaan käytetty ohjelma, jonne kaikki projektin dokumentit kerätään. Suunnittelun kehittyessä myös Sovelian käytön hallinta helpottuu. (28.)

5 JOHDINSARJASUUNNITTELU

Johdinsarjasuunnittelu aloitetaan sen jälkeen, kun sähkötekniinen suunnittelu on piirikaavioiden ja kaapelivalintojen osalta saatu valmiiksi. Johdinsarjojen avulla pyritään tehostamaan tuotannon toimintaa. Johdinsarjojen avulla tuotteen rakennetta voidaan yksinkertaistaa, mikä on aina positiivinen tekijä ottaen huomioon mahdollisen tulevan huollon ja uusimisen tarpeen. (28.)

Johdinsarjasuunnittelu voi vaihdella tilaaja- tai projektikohtaisesti, mutta on tärkeää luoda suunnittelulle pysyvät vaiheet. Kun nämä saadaan hiottua kuntoon, voidaan paremmin varmistua siitä, että kaikki tärkeät tekijät on otettu huomioon ja lopputuotteen tiedetään olevan vaatimusten mukainen. Johdinsarjasuunnittelua voidaan tehdä osalle tuotetta kerrallaan, muiden osien ollessa vielä suunnittelun osalta kesken. Johdinsarjojen tasalaatuisuus täytyy pystyä varmistamaan ensimmäisistä sarjoista lähtien.

5.1 Tilaajan vaatimukset

Projektin alussa tilaaja antaa tuotteelle tietyt vaatimukset eli ”speksit” toiminnan, suorituskyvyn, materiaalien ja muiden ominaisuuksien suhteen. Tilaajan vaatimukset linjaavat ne standardit, joita suunnittelussa tulee seurata. Tuote on vielä suunnitteluvaiheessakin tilaajan muokattavissa ja kun uusia vaatimuksia tulee, tilaaja keskustelee yhdessä suunnittelijoiden kanssa, kuinka mahdolliset muutokset olisivat parhaimmin toteutettavissa. (28.)

Tilaajan vaatimukset projektin yksityiskohtien tavoin ovat normaalisti luottamuksellista tietoa. Kuten jo aiemmin mainittiin, kiskokaluston standardeihin on kerätty turvallisuuden ja toimintavarmuuden kannalta vakiintuneita käytäntöjä, joita usein pidetään suunnittelun lähtökohtina. Näitä lähtökohtia muokkaamalla tilaaja voi määritellä käyttökohteeseen ja -tarkoitukseen sopivan tuotteen. Suunnittelun tehtävänä on toimia tilaajan toiveiden mukaisesti ja mahdollisesti opastaa valinnoissa kokemuksen pohjalta lopullisen päätösvallan ollessa aina tilaajalla. (28.)

Johdinsarjoissa tilaajan vaatimukset yleensä liittyvät huollettavuuteen ja vianpoiston helpottamiseen. Johdinsarjojen suunnittelussa tilaajan vaatimukset voivat olla asioita, joita pyritään jo valmiiksi tehostamaan tuotannon kannalta. Itse johdinsarjojen rakenteeseen

tilaajalla ei välttämättä ole vaatimuksia, vaan vaatimukset koskevat enemmän niiden reitteihin, sijoitteluun ja käsiteltävyyteen vaikuttavia tekijöitä, jotka ovat tärkeitä myös tilaajan omia huoltotoimenpiteitä silmällä pitäen.

5.2 Sijaintitiedot

Johdinsarjojen kokoamisessa ja reittien määrittelyssä on tärkeää tuntea vaunun sijaintitietojen määrittely. Sijaintitiedot ja niiden merkitsemistapa määritellään standardissa SFS-EN 15380-3 Railway applications - Designation system for railway vehicles – Part 3: Designation of installation sites and locations. Standardissa sijaintitieto on jaettu kirjainosaan ja sitä seuraavaan numero-osaan. Kirjainosassa määritellään yleisesti kaluston tyyppi ja numerolla ilmaistaan tarkka sijainti. Standardissa vaunu on jaettu osiin ja jokaiselle osalle on annettu sitä vastaava numero (taulukko 7). (29.)

TAULUKKO 7. Sijaintien numerojaottelu vaunussa (29)

Main group	Subdivision	Name of the location
00		Roof, outside
	01 to 09	Roof, outside; subdivision according to the situation
10		Driver's cab
	11	Driver's desk
	12	Cubicle in the driver's cab, left-hand side
	13	Cubicle in the driver's cab, right-hand side
10	14	Driver's cab, rear wall, left-hand side
	15	Driver's cab, rear wall, right-hand side
	16	Driver's cab, floor
	17	Driver's cab, ceiling
	18	Vehicle head, left-hand side
	19	Vehicle head, right-hand side
20		Side wall, right-hand side (with cove)
	21 to 29	Subdivision according to the situation (e.g. windows)
30		Side wall, left-hand side (with cove)
	31 to 39	Subdivision according to the situation
40		Interior, right-hand side
	41 to 49	Subdivision according to the situation
50		Interior, left-hand side
	51 to 59	Subdivision according to the situation
60		Interior ceiling
	61 to 69	Subdivision according to the situation, e.g. intermediate ceiling in double-decker coaches
70		Underframe (framework of a locomotive)
	71 to 79	Subdivision according to the situation
80		End wall, rear wall, intercommunication gangway, driver's cab 2 of single-unit vehicles (e.g. in locomotives)
	81 to 89	Subdivision according to the situation
90		Reserved

Sijaintitunnuksen osien merkitys on esitetty kuvitteellisen esimerkin +REA.17.1 avulla taulukossa 8. (29.)

TAULUKKO 8. Sijaintitunnuksen osat

+REA.17.1

Merkki	Selitys (SFS-EN 15380-3)
+	Vakiomerkki
R	Rautatiekaluston tunnus
E	Raitiovaunun tunnus
A	Vapaa määrittely (vaunumoduulin tunnus)
17	Sijaintitieto taulukon 7 mukaan
1	Alisijaintitieto (haluttaessa)

Kuvitteellinen esimerkksijainti +REA.17.1 sijaitsee siis raitiovaunun A-vaunumoduulin ohjaamon katossa alisijainnissa 1. Sijaintitieto ja mahdollinen alisijaintitieto erotetaan toisistaan ja kirjainosasta pisteen avulla (29). Alisijaintia voidaan käyttää, jos sijainti halutaan jakaa tarkemmin useampaan osaan. Standardin mukainen sijaintitieto on tärkeä osa johdinsarjan pisteiden ja reitin määrittelyssä.

5.3 XML-tiedosto ja 3D-malli

Osana sähkötekniistä suunnittelua on sähkömekaaninen suunnittelu. Sähkömekaniikan tehtävänä on suunnitella sähkötekniisten varusteiden sopivuus fyysisten ominaisuuksiensa puolesta. Sähkömekaniikan suunnittelijat työskentelevät 3D-mallien avulla ja heidän vastuullensa kuuluvat muun muassa laitteiden ja kaapeloinnin todellisten mittojen ja reittien määrittely. Johdinsarjojen suunnittelussa sen todellisten ominaisuuksien määrittely on tärkeää. Niitä tarvitaan pituus- ja reittitarkastelussa sekä tarvittavien johdinsarjatarvikkeiden valinnassa.

Kun johdinsarjan johtimet on päätetty ja niiden alku- ja loppupisteet ovat tiedossa, johdinsarjasta tehdään XML-tiedosto. XML-kieli on tarkoitettu tiedon tallentamiseen ja siirtämiseen ja sen suunnittelun perustana on ollut varmistaa luettavuus sekä ihmisille että tietokoneohjelmille (30). Tiedostosta käyvät ilmi johtimen nimi ja tunnus, sekä tarkat alku- ja loppupisteet. Kuvassa 14 on esimerkki XML-tiedoston sisällöstä.

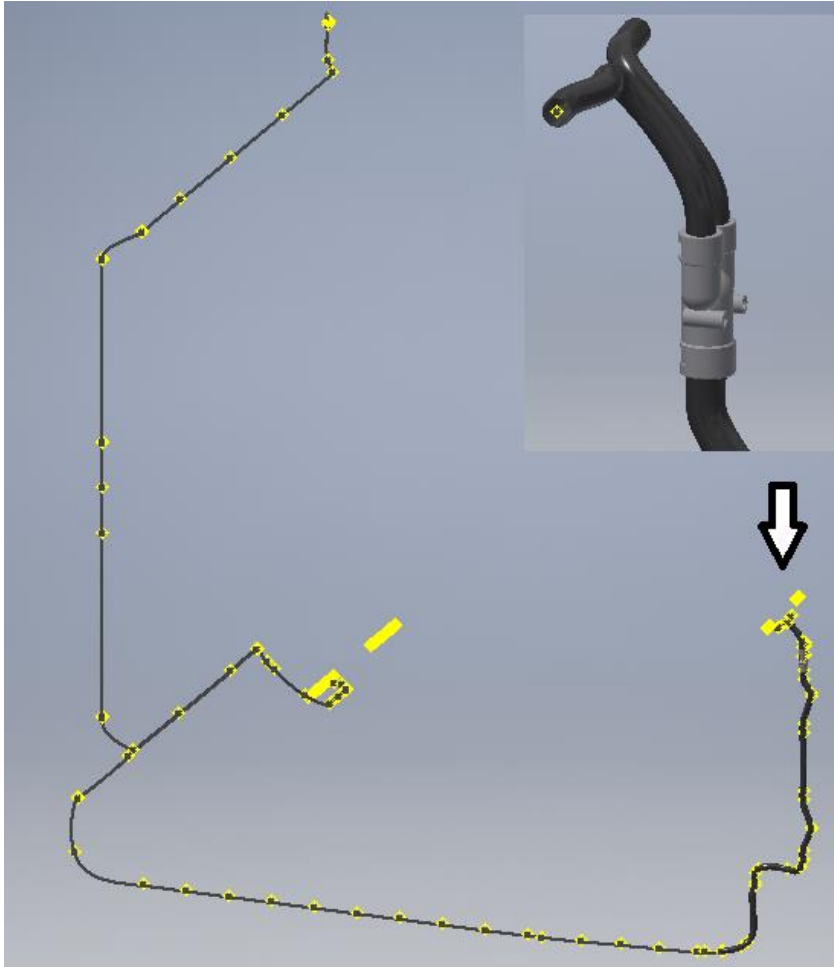
```

- <Wire Name="0297" Length="0" Definition="M20954">
  <Pin1 ConnectorPin="9" ConnectorRefDes="M23455, =UX+REA.23.3-X02B"/>
  <Pin2 ConnectorPin="9" ConnectorRefDes="LC+REA.41-E02-X01"/>
</Wire>
- <Wire Name="0298" Length="0" Definition="M20955">
  <Pin1 ConnectorPin="10" ConnectorRefDes="M23455, =UX+REA.23.3-X02B"/>
  <Pin2 ConnectorPin="PE" ConnectorRefDes="LC+REA.41-E02-X01"/>
</Wire>
- <Wire Name="0296" Length="0" Definition="M20953">
  <Pin1 ConnectorPin="8" ConnectorRefDes="M23455, =UX+REA.23.3-X02B"/>
  <Pin2 ConnectorPin="8" ConnectorRefDes="LC+REA.41-E02-X01"/>
</Wire>
- <Wire Name="0306" Length="0" Definition="M20953">
  <Pin1 ConnectorPin="21" ConnectorRefDes="M23455, =UX+REA.23.3-X02B"/>
  <Pin2 ConnectorPin="8" ConnectorRefDes="LC+REA.42-E01-X01"/>
</Wire>
- <Wire Name="0295" Length="0" Definition="M20953">
  <Pin1 ConnectorPin="7" ConnectorRefDes="M23455, =UX+REA.23.3-X02B"/>
  <Pin2 ConnectorPin="2" ConnectorRefDes="LC+REA.41-E02-X01"/>
</Wire>
- <Wire Name="0305" Length="0" Definition="M20953">
  <Pin1 ConnectorPin="20" ConnectorRefDes="M23455, =UX+REA.23.3-X02B"/>
  <Pin2 ConnectorPin="2" ConnectorRefDes="LC+REA.42-E01-X01"/>
</Wire>
- <Wire Name="0294" Length="0" Definition="M20953">
  <Pin1 ConnectorPin="6" ConnectorRefDes="M23455, =UX+REA.23.3-X02B"/>
  <Pin2 ConnectorPin="1" ConnectorRefDes="LC+REA.41-E02-X01"/>
</Wire>

```

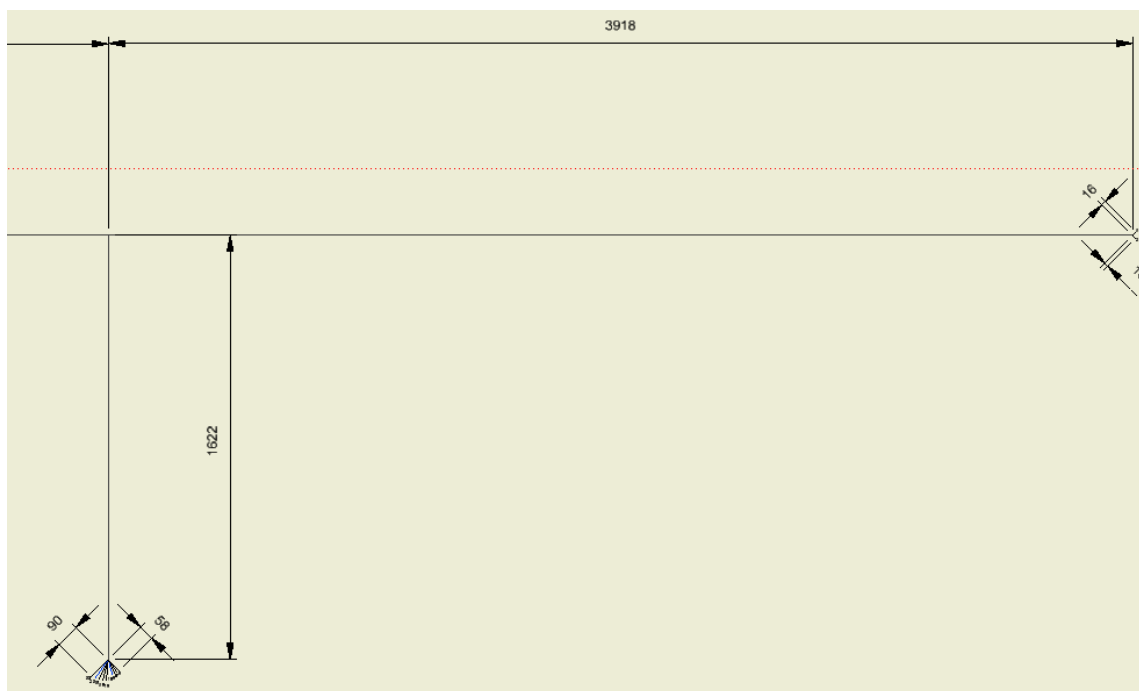
KUVA 14. Johdinsarjan XML-tiedoston rakenne

XML-tiedoston avulla sähkömekaniikan suunnittelija määrittelee johdinsarjan reitin 3D-mallissa Autodesk Inventor -ohjelmalla. Reitti muodostetaan hyvin yksityiskohtaisesti vaunun 3D-mallin avulla ja samalla johdinsarjaan voidaan lisätä vaadittavia johdinsarjatarvikkeita. Johdinsarjan johtimien kytkennät määritetään niille tarkoitettuihin kytkentäpisteisiin riviliittimen numeron ja sijainnin tarkkuudella laitelevylle. Näin johdinsarjan yksittäisten johtimien mitat saadaan selville ja johtimien pituuden riittäminen varmistetaan. 3D-malliin lisätään näkyviin kaikki johdinsarjan liittimet ja tarvikkeet, joten johdinsarjan tarkastelua on mahdollista tehdä myös 3D-mallin kautta. Esimerkki johdinsarjan 3D-mallista on kuvassa 15. (31.)



KUVA 15. Esimerkki johdinsarjan 3D-mallista

3D-mallin lisäksi Autodesk Inventor -ohjelmalla luodaan nailboard-malli, johon johdinsarjan pituustiedot mitataan ja eritellään. Nailboard-mallin periaate tulee lankataulusta, jossa lankaa pujotellaan pystyyn lyötyjen naulojen ympärille. Nailboard-malli on yksinkertaistettu kaksiulotteinen esitys 3D-mallista, mutta siitä käyvät selkeästi ilmi johdinsarjan mitasuhteet, solmukohtat ja johdinsarjatarvikkeet. Esimerkkinä kuvassa 16 on kuvan 15 johdinsarjan kaksi vasemmanpuoleista haaraa esitettyinä nailboard-mallina. (31.)



KUVA 16. Esimerkki johdinsarjan nailboard-mallista

Sähkömekaniikan luomien kuvien perusteella johdinsarjan E³-kuvaan lisätään johtimien pituustiedot. Samojen kuvien avulla pystytään lisäämään myös johdinsarjatarvikkeet ja niiden sijainti- ja pituustiedot. Millimetrin tarkkuudella annettujen mittojen kanssa täytyy kuitenkin ottaa huomioon pituuksiin vaadittavat toleranssit. Johdinsarjan reitti harvoin on se millien tarkkuudella määritetty optimaalisin reitti. Muista johtoreiteillä olevista johdinsarjoista tulee jo selvää vaihtelua pituuksiin. Johtimien täytyykin ylittää aina kytkentäpis- teille asti riippumatta siitä, missä järjestyksessä ne asennetaan tai kummassa lankahyllyn reunassa johdinsarja kulkee. (31.)

6 E³-SUUNNITTELUOHJE

Opinnäytetyön tavoitteena oli johdinsarjojen suunnittelun kehittäminen ja suunnitteluohjeen luominen E³-ohjelmistolle. Lisäksi tavoitteena oli johdinsarjan kytkentälistan muokkaaminen tarkoitukseen sopivaksi ja esimerkkien luominen johdinsarjakuville. Suunnitteluohjeen avulla suunnittelija pystyy vaiheittain käymään läpi johdinsarjan kokoamisen ja laatimaan vaadittavat dokumentit ja listaukset. Suunnitteluohje otetaan varsinaiseen käyttöön johdinsarjojen kokoamisen alkaessa ja sitä tulevat käyttämään Transtech Oy:n omat sähkösuunnittelijat sekä suunnittelijat niissä yrityksissä, joista suunnittelupalveluita tilataan.

6.1 Suunnitteluohjeen rakenne

Suunnitteluohje koottiin Transtech Oy:n olemassa olevalle suunnitteluohjepohjalle. E³-ohjelmiston käyttöliittymän ollessa monille suunnittelijoille uusi, haluttiin ohjeeseen sisällyttää havainnollistavia kuvia seuraamisen helpottamiseksi. Ohje koottiin taulukkomaliseksi, jossa jokaiselle vaiheelle on kuva ja sen tueksi sanalliset ohjeet. Suunnitteluohjeen alussa on yleistä tietoa siitä, kenelle ohje on tarkoitettu, minkälaista kokemusta ohjelmiston käytöstä ohjeen käyttäjältä odotetaan ja mitä lisäosia ja skriptejä käyttäjällä täytyy olla lisättynä ohjelmistoon ennen aloittamista.

Suunnitteluohjeen tarkkuuden kartoittamisessa valittiin kohdehenkilöksi suunnittelija, jolla on tuntemusta E³-ohjelmiston käytöstä ja joka on käynyt esimerkiksi ohjelmiston käyttöön liittyvän peruskoulutuksen. Ohjeeseen ei haluttu sisällyttää kaikkia vaiheita jokaisesta hii-renpainalluksesta lähtien, vaan ohjeen käyttäjällä oletetaan olevan kokemusta käyttöliittymästä, mutta ei johdinsarjojen suunnitteluun liittyvistä yksittäisistä vaiheista. Suunnitteluohjeen otsikoidut vaiheet ovat nähtävillä ohjeen sisällysluettelossa kuvassa 17 ja suunnitteluohje on kokonaisuudessaan liitteessä 1.

Sisällysluettelo

1. Yleistä	2
2. Johdinsarjan luonti	3
2.1. Nimikkeen avaaminen Soveliaan	3
2.2. Alustavat niput	5
2.3. Uusi kansio ja johdinsarja	6
2.4. XML-tiedosto	8
2.5. Johdinsarjakuva	9
2.6. Master-symbolit	12
2.7. Mitat ja komponentit	13
2.8. BOM-numerot	14
2.9. Export Drawing	16
2.10. Nippulistadokumentti	18
2.11. Soveliaan lisääminen	18

KUVA 17. Johdinsarjojen suunnitteluohjeen sisällysluettelo

Suunnitteluohjeen ensimmäiset ja viimeiset vaiheet koskevat Sovelia PLM-järjestelmän käyttöä. Sovelia on projektin elinkaaren hallintaan tarkoitettu ohjelma, jonne heti ensimmäiseksi perustetaan työskentelyn kohteena oleva johdinsarja ja johon kaikki projektia koskevat kuvat ja dokumentit lopuksi siirretään. Projektin osat ovat Soveliassa puumaisena rakenteena ja rakenne jatkuu aivan yksittäisiin komponentteihin asti. Soveliassa tapahtuvien vaiheiden väliin sijoittuvat E³-ohjelmistossa tapahtuvat vaiheet.

Suunnitteluohjeen osana tehtiin johdinsarjaan koottavien johtimien määrittely eli ohjeet sille, millä perusteilla johtimet päätetään niputtaa yhdeksi johdinsarjaksi. Johdinsarjaan sisällytettävien johtimien valikointiin ei ollut olemassa tarkkoja sääntöjä, vaan suunnittelijat olivat koonneet sarjat oman harkintansa mukaan. Johtimet on aiemmin koottu käyttö-tarkoituksen mukaan, mutta uudessa mallissa johtimien kokoaminen tapahtuu sijaintien perusteella. Kaapeloinnin ollessa niin tapauskohtainen kuin se raitiovaunun eri osissa on, ei tarkkoja sääntöjä ole mahdollista vielä tehdä. Niputtamisessa huomioon otettavat tekijät on kuitenkin koottu ohjeeseen. Nämä huomioon otettavat asiat johtimien valikoinnista on esitetty luvussa 6.5 ja myös suunnitteluohjeen ensimmäisessä kappaleessa.

Suunnitteluohjeessa käytetään joitakin E³-ohjelmistoon luotuja skriptejä, jotka nopeuttavat työskentelyä tietyissä ohjeen vaiheissa. Suunnitteluohjetta koottaessa huomattiin kuitenkin paljon toistoa vaativia vaiheita, joita voisi tulevaisuudessa olla mahdollista nopeuttaa skriptien avulla. Näitä toiminnallisuuksia voisivat olla muun muassa:

- Master Symbol -kuvien tuonti
- Master Symbol -kuvien pinninumerointi automaattisesti
- laitelevyjen sisäisten kytkentöjen alustavien nippujen kerääminen omaan kansioon
- luodun johdinsarjakaapelin siirto suoraan johdinsarjan kansioon
- uuden johdinsarjankansion ja kuvapohjan luominen Transtech-asetusten pohjalta
- liittimien tuominen johdinsarjankansion alle BOM-numerointia varten.

Johdinsarjakuvaan tuleva liityntäpisteen esitys muokattiin niin, että se sisälsi kaiken tarvittavan tiedon ja että kuvaan tulevat plugien graafiset esitykset saataisiin mahtumaan niitä vastaavien liityntäpisteiden viereen. Muokattu esitys lisää suunnittelun tietokantaan, jolloin kaikki johdinsarjakuvat ovat ulkonäöltään vastaavanlaisia. Liityntäpisteen esitykseen laitettiin näkyviin myös lukemista helpottavia tietoja ja esimerkiksi johtimien sisältämän signaalitiedon näkee suoraan kuvasta.

6.2 Kytkentälista ja esimerkkikuvat

Johdinsarjan kytkentälista saadaan E³-ohjelmistosta skriptin avulla napinpainalluksella. Skripti luo Excel-taulukon, johon on eritelty kaikki johdinsarjan yksittäin tai kaapeleissa olevat johtimet. Taulukosta käy ilmi kaikkien johtimien alku- ja loppupisteet sekä kytkentätieto liittimen tarkkuudella. Jokaisen johtimen tai kaapelin tyyppiin lisäksi on listattu sen väri, poikkipinta-ala ja kokonaispituus. Kytkentälistasta haluttiin tehdä mahdollisimman yksinkertainen, mutta sen pitää samalla sisältää kaikki tarpeellinen tieto. Listaa käytetään apuna sekä johdinsarjan valmistuksessa että sen asennuksessa, joten sille määritellään tulostusasetukset. Tulostusasetuksilla voidaan määrittää lista niin, että tulosteeseen tulee vain kaikki tarvittavat kentät. Kytkentälistaa muokattiin johdinsarjojen valmistajan toiveiden mukaisesti.

Kytkentälistan muokkauksen yhteydessä uuden johdinmerkintätavan mukaiset merkinnät huomattiin liian pitkiksi kiinnitettäväksi. Johdinmerkinnät tulostetaan lämpökutistettaviin merkkeihin, jotka pujotetaan johtimien päihin ja kutistetaan asennusvaiheessa. Kutistus

aiheuttaa sen, että kaapelia on vaikea taivuttaa merkinnän kohdalta ja tämän vuoksi johdinmerkintöihin täytyi tehdä muutoksia. Johtimien ja kaapelien merkintöjä lyhennettiin siltä osin kuin se on mahdollista ja uusien merkintöjen kaavat ja esimerkit lisättiin kytkentälistaan.

E³-ohjelmistolla tehtävät johdinsarjakuvat poikkeavat huomattavasti ulkonäöltään aiemmista AutoCAD-ohjelmalla tuotetuista kuvista. Uusista kuvista on nähtävissä enemmän tietoa yksityiskohtaisempien liityntäpisteiden ja komponenttien graafisen esityksen vuoksi. Kuvien muuttumisen vuoksi nähtiinkin tarpeelliseksi luoda esimerkkikuvia suunnitteluohjeen rinnalle. Kuvia luotiin kaksi, joista toinen on ns. oikea johdinsarja ja toinen on erilaisten komponenttimahdollisuuksien esittelemistä varten. Oikean johdinsarjan rakenne on realistinen ja siinä olevat liitännät ja komponentit vastaavat todellisuutta. Liitteessä 2 on esitetty oikean johdinsarjan johdinsarjakuva ja liitteessä 3 saman johdinsarjan kytkentälista. Liitteessä 4 on johdinsarjakuva, jossa on mahdollisimman paljon erilaisia komponentteja ja liittimiä, jotta mahdollisimman monesta erilaisesta tilanteesta olisi esimerkkiesitys.

6.3 Suunnittelun yleisohje

Johdinsarjojen suunnitteluohjeen rinnalle voidaan luoda myös samassa suunnitteluprosessissa sovellettava yleisohje. Yleisohjeessa määritellään yleisesti suunnittelun kehittyviä käytäntöjä ja tiettyjen komponenttien käyttö. Yleisohjeessa voidaan esimerkiksi määritellä johdinsarjojen suojasukkien käytöstä, jos päätetään, että siirrytään käyttämään vain yhtä sukkatyyppiä. Yleisohjeeseen voidaan myös lisätä sellaisten komponenttien käyttö, joita on turha laittaa näkyville kaikkiin johdinsarjakuviin, esimerkiksi nippusiteet. Nippusiteitä tulee jokaisen johdinsarjan kiinnitykseen ja ne seuraavat standardin ohjeistusta, joten niiden merkitsemistä jokaiseen kuvaan ei välttämättä nähdä merkityksellisenä.

Yleisohje muovautuu vasta suunnitteluprosessin alkaessa ja se vaatii neuvottelua myös tuotannon asentajien ja esimiesten kanssa. Yleisohje tullaan todennäköisesti tulevaisuudessa tekemään, mutta sisällön sopiminen kaikkien sitä käyttävien osapuolien kanssa vaatii aikaa.

6.4 Valmistuksen huomiointi suunnittelussa

Uuteen ohjelmaan ja uusiin dokumenttien esitystapoihin siirryttäessä nähtiin tarpeelliseksi vierailulla johdinsarjavalmistajan luona keskustelemassa mahdollisista kehitysideoista. Johdinsarjavalmistaja esitteli valmistusprosessin ja samalla antoi palautetta dokumenttien esityksestä ja puutteista. Taulukossa 9 on listattu valmistajan toiveita ja niiden pohjalta tehtyjä muutoksia.

TAULUKKO 9. Muutokset johdinsarjojen valmistajan palautteen pohjalta

Valmistajan palaute	Seurannut muutos kytkentälistassa
Lista Excel-muotoon	Lista ajetaan E ³ -ohjelmistosta Excel-taulukkona, jolloin sen käsitteleminen on helpompaa ja taulukko on suoraan yhteensopiva valmistajan ohjelmistojen kanssa
Kaapelit osoitteittain	Kaapelit ovat kytkentälistassa "Mistä-Mihin" -osoitteittain ja listaa on mahdollista järjestää Excel-työkalujen avulla
Tuplien markkerit (samaa kimppeihin päättävien johtimien merkitseminen)	Listaan lisätty kenttä, johon tuplat voidaan merkitä juoksevin numeroin
Katkonnassa käytössä vain kokonaispituus	Listassa esitetään vain johtimen kokonaispituus ja johdinsarjan kokoamisessa tarvittavat solmuväljen mitat ovat nähtävillä johdinsarjakuvasta
Listaan tarvitaan kontakti ja kuorinta	Listaan lisätty kentät kontaktille ja kuorinnalle
Tarkennusta revisioiden esitykseen	Revisioiden esitys ei vielä tiedossa, mutta johdinsarjakuvan komponenttien graafinen esitys havainnollistaa vanhaa kuvaa paremmin

Kaikkia valmistajan toiveita tai huomioita ei kuitenkaan voitu toteuttaa, sillä kytkentälistaa käytetään myös suunnittelun ja asennuksen apuna. Esimerkiksi johdinsarjojen yksinkertaistetuista nimikkeistä on päätetty suunnittelussa luopua kokonaan. Listaukseen haluttiin silti sisällyttää kaikki valmistajan tärkeimmät toivomukset.

6.5 Asennuksen huomiointi suunnittelussa

Suunnitteluohjelman ja johdinsarjojen kokoamisperusteiden muuttuessa joudutaan uudelleen tarkastelemaan niitä perusteita, joilla johtimet kootaan sarjoihin. Suurimpana tekijänä johdinsarjojen kokoamisessa on niiden asennettavuuden varmistaminen. Johdinsarjojen asennus on myös eniten aikaa vievä yksittäinen tehtävä vaunun kokoonpanossa.

Tarkkojen sääntöjen puuttuessa on täytynyt selvittää niitä perusteita, jotka tekevät johdinsarjasta sujuvan asennettavan. Tuotannon asentajien ja esimiesten kommenttien perusteella toimivan johdinsarjan suunnittelussa tulisi seurata seuraavia ohjeita:

- Haaroja tulee välttää, kun mahdollista.
- Vetojen tulee olla mahdollisimman suorina ilman turhia vaununylityksiä sivulta toiselle.
- Pitkät johdinsarjat tulee asentaa kaapelihyllyn pohjalle, jolloin risteyskohtiin syntyviä kasaumia voidaan välttää.
- Haarat tulee pyrkiä pitämään kahdessa ulottuvuudessa. Johdinsarjat jotka kulkevat kolmessa ulottuvuudessa aiheuttavat haasteita haarojen asettumisessa asennuksessa ja voivat aiheuttaa sarjan kiertymistä.
- Laitelevyiltä alustaan ja telille kulkevat kaapelit tulee pitää omina nippuinaan.
- Ohjaamoon menevien nippujen tarkastelu tehdään tapauskohtaisesti ahtaiden läpivientien vuoksi.

Johdinsarjojen johtimien pituudet saataisiin täsmäämään parhaiten, jos asennusjärjestys olisi ennalta päätetty. Tällä järjestelyllä kunkin johdinsarjan tarkka paikka hyllyllä voitaisiin määrittää ja risteyskohtien ongelmia voitaisiin vähentää. Asennusjärjestyksen ennalta päättäminen voi kuitenkin johtaa siihen, että tiettyjen johdinsarjojen toimitusvaikeudet voisivat pysäyttää koko asennustyön. Tämän takia näin tarkkoihin ohjeistuksiin ei haluta vielä ainakaan tässä vaiheessa mennä.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli perehtyä raitiovaunun johdinsarjasuunnitteluun ja sen kehitysmahdollisuuksiin E³-ohjelmistolla. Sen pohjalta tuotettiin johdinsarjasuunnittelun ohje ja esimerkkidokumentit. Työssä tutustuttiin raitiovaunun ja sen sähköjärjestelmien toimintaan ja rakenteeseen, minkä jälkeen syvennyttiin johdinsarjojen suunnitteluun. Työn tuloksena syntyneet johdinsarjojen suunnitteluohje ja uudelleen määritelty kytkentälista sekä esimerkkikuvat tulevat sähkösuunnittelijoiden käyttöön Transtech Oy:n sähkösuunnittelun ohjeistoon.

Uuteen suunnitteluohjelmaan siirryttäessä oli tärkeää selvittää ohjelman tuomat mahdollisuudet johdinsarjasuunnittelussa. Haluttiin selvittää minkälaisia kuvia E³-ohjelmistolla voidaan luoda ja kuinka ohjelmiston toiminnallisuudet voidaan parhaiten hyödyntää osana suunnittelua. Työn aikana tarkasteltiin ja listattiin myös mahdollisuuksia uusien toiminnallisuuksien lisäämiseen, joilla suunnittelun toistoa vaativia työvaiheita voitaisiin nopeuttaa. Johdinsarjojen lukumäärän vuoksi työn nopeuttamisella säästetty aika voi keräytyä useiksi säästetyiksi tunneiksi.

E³.series moduuleineen tarjoaa huomattavia hyötyjä johdinsarjasuunnittelun lisäksi myös muuhun sähkösuunnitteluun. Mahdollisuus työskennellä yhteisessä usean käyttäjän projektissa tarjoaa kaikille suunnittelijoille pääsyn muutoksiin ja kehitykseen välittömästi niiden tapahduttua. Ohjelmoitujen toiminnallisuuksien avulla ohjelmaa voidaan muokata jokaiseen suunnittelutehtävään sopivaksi ja toistoa voidaan vähentää huomattavasti. Parhaimmillaan toiminnallisuudet luovat dokumentteja, joiden luomiseen käsin saattaisi kuluu tunteja ja niiden käyttö tapahtuu helposti ohjelmiston yläpalkkiin luodulla omalla valikolla.

Johdinsarjat kootaan samaan E³-projektikokonaisuuteen muiden sähkösuunnitelmien kanssa, joten niiden seuraaminen ja muokkaaminen tapahtuvat joustavasti. Ristiviittaukset muihin kaavioihin varmistavat sen, että muutoksen tekeminen tuo sen voimaan myös muissa asiaan kuuluvissa kuvissa. Uuden ohjelmiston käyttö on kuitenkin vasta aloitettu ja prosessi kehittyy koko ajan sujuvammaksi.

Suunnitteluohjetta ja kytkentälistaa on jo hiottu saadun palautteen perusteella, mutta varsinainen käyttökokemus saadaan vasta johdinsarjasuunnittelun varsinaisesti alkaessa. Suunnittelu ei itsessään ehdi alkaa ennen opinnäytetyön loppuun saattamista, mutta työohjetta tullaan silti vielä tarvittaessa muokkaamaan saadun palautteen perusteella kesän 2018 aikana. Tärkeintä on, että se toimii hyödyllisenä työkaluna, joka kattaa kaiken tarpeellisen nyt ja myös jatkossa.

LÄHTEET

1. Kähkönen, Juhani 2018. Sähkötekniikka SE, Transtech Oy. Haastattelu 17.4.2018
2. Transtech Oy 2014. Yritys. Saatavissa: <http://www.transtech.fi/yritys>. Hakupäivä 20.4.2018.
3. Raitiotieallianssi 2018. Tampereen raitiotie. Saatavissa: <https://raitiotieallianssi.fi/tampereen-raitiotie/>. Hakupäivä 1.5.2018
4. Raide-Jokeri 2018. Raide-Jokeri-vaunu. Saatavissa: <http://raidejokeri.info/raide-jokeri-raitiovaunut/>. Hakupäivä 1.5.2018
5. Helsingin kaupunki, Kaupunkisuunnitteluvirasto 2015. Pikaraitiotie – Tulevaisuuden joukkoliikennettä Helsingissä. Saatavissa: https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/esitteet/esite_2015-5_fi.pdf. Hakupäivä: 1.5.2018.
6. Espoon kaupunki – WSP 2014. Raide-Jokerin raideleveys selvitys. Saatavissa: http://raidejokeri.info/wp-content/uploads/2015/05/Raideleveys_selvitys.pdf. Hakupäivä: 1.5.2018
7. Tampereen kaupunki 2016. Tampereen raitiotien kalustohankinta. Saatavissa: <http://docplayer.fi/28434315-Tampereen-raitiotien-kalustohankinta.html>. Hakupäivä 1.5.2018
8. HKL – Transtech Oy 2012. Helsingin uusi raitiovaunu. Saatavissa: http://www.transtech.fi/download/77/2012-08-27_ratikkaesite_001_muutokset_lores_01/pdf. Hakupäivä 8.5.2018.
9. Idis Design 2017. Pikaratikka EXT HIRE. Raide-Jokeri, mediakuvat. Saatavissa: https://helsinki.emmi.fi/l/ZM2w6DX_KH9b. Hakupäivä 24.5.2018
10. Transtech Oy 2012. Matalalattiainen raitiovaunu. Saatavissa: http://www.transtech.fi/download/79/raitiovaunuesite_fin_lr/pdf. Hakupäivä 8.5.2018.

11. DQS GmbH 2015. IRIS – International Railway Industry Standard. Saatavissa: http://www.dqs.fi/documents/kvalitetsledning/DQS_Intl_IRIS-Productsheet.pdf. Hakupäivä 27.4.2018
12. EN 50153. 2014. Railway applications – Rolling stock – Protective provisions relating to electrical hazards. CENELEC – European Committee for Electromechanical Standardization.
13. EN 50343. 2014. Railway applications – Rolling stock – Rules for installation of cabling. CENELEC – European Committee for Electromechanical Standardization.
14. Nikula, Jari 2018. Sähkötekniikka SE, Transtech Oy. Keskustelu 8.5.2018.
15. Tim1965 2010. DC Streetcar Pantograph, Wikimedia Commons. Saatavissa: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DC_Streetcar_-_pantograph_-_2010-05-05.jpg. Hakupäivä 24.5.2018
16. Vainio, Marjut 2016. Helsingin uusissa raitiovaunuissa VEMin moottorit. VEM Motors Finland. Saatavissa: <http://www.vem.fi/uutiset/uutiset/helsingin-uusissa-raitiovaunuissa-vemin-moottorit>. Hakupäivä 8.5.2018.
17. Ashour, John 2016. What is a Wiring Harness? Saatavissa: <http://www.interconnect-wiring.com/blog/what-is-a-wiring-harness/>. Hakupäivä: 2.5.2018
18. Ildar Sagdejev 2008. Geo Storm instrument cluster wiring harness, Wikimedia Commons. Saatavissa: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2008-04-17_Geo_Storm_instrument_cluster_wiring_harness.jpg. Hakupäivä 24.5.2018
19. Rudolf Schuba 2006. Snake Cable, Wikimedia Commons. Saatavissa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snake_cable_\(audio_multicore_cable\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snake_cable_(audio_multicore_cable).jpg). Hakupäivä 24.5.2018
20. Mazda, F.F. 1989. Electronic Engineer's Reference Book. Butterworth-Heinemann. Elektroninen julkaisu.
21. Rautaoja, Pekka 2018. Tuotantopäällikkö, Arr-Systems Oy. Keskustelu 6.3.2018

22. Hundehalter 2012. Kabelschuh detailfoto 2, Wikipedia. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kabelschuh_detailfoto_2.jpg. Hakupäivä: 24.5.2018
23. Zuken 2006. Zuken Announces Completion of the Acquisition of CIM-TEAM. Saatavissa: <https://www.zuken.com/en/news/press-releases/archive/2006/0608-zuken-announces-completion>. Hakupäivä 26.4.2018
24. Zuken 2018. E3.series Customer Success Stories. Saatavissa: <https://www.zuken.com/en/company/customers/e3series>. Hakupäivä 26.4.2018
25. CCS Group 2018. Palvelut. Saatavissa: <http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/palvelut>. Hakupäivä 26.4.2018
26. Zuken 2018. E³.series – Electrical Wiring, Control Systems and Fluid Engineering Software, Product Overview. Esite.
27. CCS Group 2018. Moduulit. Saatavissa: <http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/moduulit>. Hakupäivä 26.4.2018
28. Kähkönen, Juhani 2018. Sähkötekniikka SE, Transtech Oy. Haastattelu 14.5.2018
29. SFS-EN 15380-3. 2006. Railway applications - Designation system for railway vehicles – Part 3: Designation of installation sites and locations. Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
30. Jouni Heikniemi 2001. Mikä on XML? Saatavissa: <http://www.heikniemi.fi/kirj/moxml.html>. Hakupäivä 10.5.2018
31. Korkiakoski, Miika – Karjalainen, Johanna 2018. Sähkömekaniikka SE, Transtech Oy. Haastattelu 23.3.2018