

Johanna Karjalainen

**KAAPELOINNIN ASENNUSTYÖOHJE RAITIOVAUNUJEN  
VALMISTUKSEEN**

# **KAPELOINNIN ASENNUSTYÖOHJE RAITIOVAUNUJEN VALMISTUKSEEN**

Johanna Karjalainen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka, sähkötekniikka

---

Tekijä: Johanna Karjalainen  
Opinnäytetyön nimi: Kaapeloinnin asennustyöohje raitiovaunujen valmistukseen  
Työn ohjaaja: Ensio Sieppi  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021  
Sivumäärä: 59 + 1 liite

---

Työn tavoitteena oli tehdä kaapeloinnin asennustyöohje raitiovaunujen valmistukseen. Työ tehtiin Škoda Transtech Oy:n raitiovaunutuotantoa varten.

Työtä varten perehdyttiin raitiovaunun suunnittelun ja valmistuksen asiakasvaatimuksiin tällä hetkellä kuuluvaan standardiin EN 50343 Railway applications - Rolling stock - Rules for installation of cabling. Lisäksi perehdyttiin muuhun raitiovaunujen suunnittelua ja valmistusta koskevaan lainsäädäntöön, standardeihin ja vaatimuksiin, jotka sivuavat kaapelointia. Työtä varten haastateltiin myös kokenutta sähköasentajaa raitiovaunujen tuotannosta.

Työn lopputuloksena syntyi kaapeloinnin asennustyöohje raitiovaunujen valmistukseen. Ohjeeseen kerättiin standardista kaapelointiasennusten tekemiseen oleellisesti liittyviä asioita ja käytäntöjä. Lisäksi ohjeeseen kerättiin tähän mennessä tuotannossa hyväksi havaittuja kaapelointiin liittyviä käytäntöjä ja toimintatapoja. Asennustyöohjeessa käsitellään muun muassa kaapelointireittejä raitiovaunussa ja kaapeleiden yleistä käsittelyä sekä eri jännitealueisiin ja EMC-luokkiin kuuluvien kaapeleiden erottamista toisistaan. Lisäksi ohjeessa käydään läpi kaapeleiden suojaamista, kiinnittämistä ja merkitsemistä sekä erilaisten kaapeliläpivientien ja kytkentöjen tekoa. Myös maadoitusten tekemistä ja kaapeloinnin testausta käsitellään lyhyesti.

Varsinaisessa kaapeloinnin asennustyöohjeessa käydään vielä tarkemmin läpi asennustyöhön vaikuttavia asioita. Asennustyöohje tulee vain yrityksen sisäiseen käyttöön ja tämän vuoksi opinnäytetyön julkinen versio on yrityksen käyttöön tulevaa ohjetta suppeampi.

---

Asiasanat: kaapelointi, asennustyöohje, raitiovaunu

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Electrical and Automation Engineering, Electrical Engineering

---

Author: Johanna Karjalainen  
Title of thesis: Work instruction for Cabling Work of Trams  
Supervisor: Ensio Sieppi  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021  
Pages: 59 + 1 appendix

---

The aim of the work was to make work instruction for the cabling installation of the trams. The work was done for Škoda Transtech's tram production.

The standard EN 50343 (Railway applications - Rolling stock - Rules for installation of cabling) is part of the requirements for the design and manufacture of trams at present. The standard was studied for work. In addition, other legislation, standards and requirements, which relate to the cabling of trams, were examined. An experienced electrician from the production of trams was also interviewed for the work.

The result of the work was a work instruction for the cabling installation of the trams. Issues and practices that are essential for making cabling installations were collected from the standards. In addition, good practices related to cabling in production were collected. The installation instruction covers, among other things, the cabling routes in the tram and the general handling of the cables, as well as the separation of cables belonging to different voltage ranges and EMC categories. Furthermore, the instruction covers the protection, fastening and marking of cables, as well as the assembling of various cable glands and electrical terminations. Grounding and testing of cabling are also covered briefly.

The actual work instruction for the cabling installation of the trams covers things that affect the installation work in more detail. The work instruction will only be used internally by the company, and therefore the public version of the thesis is narrower than the instruction to be used by the company.

---

Keywords: cabling, installation instructions, tram

## ALKULAUSE

Työ tehtiin Škoda Transtech Oy:lle ja haluankin kiittää työnantajaa mahdollisuudesta opintojen suorittamiseen työn ohella. Kiitos kuuluu myös työni ohjaajana toimineelle Juhani Kähköselle, sekä muille työyhteisöni jäsenille suunnittelussa ja tuotannossa. Heiltä olen saanut arvokkaita neuvoja ja kokemusta sähköopintojen edetessä.

Haluan kiittää myös työni ohjaajaa Ensio Sieppiä Oulun ammattikorkeakoulusta. Kiitos myös kaikille läheisille, jotka ovat kannustaneet opintojeni aikana.

Oulussa 30.5.2021

Johanna Karjalainen

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO	9
2 VAATIMUKSET RAITIOVAUNUILLE JA KAAPELOINNILLE	11
2.1 Kaupunkiraideliikenteen lainsäädäntö ja määräykset	11
2.2 Asiakasvaatimukset	12
2.3 Kaapeloinnin asennukseen liittyvät tärkeimmät standardit	13
2.4 Muita vaatimuksia	14
2.5 Kaapeloinnin suunnittelussa huomioon otettavia asioita	15
3 RAITIOVAUNUN SÄHKÖINEN RAKENNE JA KAAPELOINTI	17
4 KAAPELOINNIN ASENNUKSESSA HUOMIOON OTETTAVAA	21
4.1 Kaapelointireitit	21
4.2 Kaapeleiden käsittely ja asennusteknisiä asioita	23
4.3 Jännitealueiden luokittelu ja eri luokkien kaapeleiden asennus erilleen	25
4.4 EMC-vaatimukset	27
4.5 Kaapeleiden asennuspituudet	30
4.6 Varajohtimien asennus	30
4.7 Kaapeleiden jatkaminen	31
4.8 Kaapeleiden taivutussäteet	32
4.9 Kaapeleiden kiinnitys	34
4.10 Kaapeleiden mekaaninen suojaus	37
4.11 Kaapeliläpiviennit	38
4.12 Kytkenät	40
4.12.1 Liittimien kytkeminen kaapeleihin ja johtimiin	41
4.12.2 Kytkenöjen teko vaunuun	44
4.12.3 Virtakiskoliitokset ja muut kaapelikenkäliitokset laitteille	46
4.13 Kaapelimerkinnät	48
4.14 Asennusmateriaalit	50
4.15 Jännitteisten osien kosketussuojaus	50
4.16 Varoitusmerkinnät	51
4.17 Maadoitukset	52
5 KAAPELOINNIN TESTAUS	55
6 YHTEENVETO	56

LÄHTEET

57

LIITTEET

Liite 1 Kaapeloinnin asennustyöohje raitiovaunujen valmistukseen (Luottamuksellinen)

## SANASTO

A	Ampeeri
AC	Alternating Current, vaihtovirta
DC	Direct Current, tasavirta
ELV	Extra Low Voltage, pienoisjännite
EMC	Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
HV	High Voltage, suurjännite
I	Virta
LV	Low Voltage, pienjännite
m	metri
mm	millimetri
mm <sup>2</sup>	neliömillimetri
TRAFICOM Liikenne- ja viestintävirasto	
U	Jännite
V	Voltti
V AC	Volts Alternating Current, vaihtosähkön jännite voltteina
V DC	Volts Direct Current, tasasähkön jännite voltteina



# 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on tehdä kaapeloinnin asennustyöohje raitiovaunujen valmistukseen Škoda Transtech Oy:n raitiovaunutuotantoon. Raitiovaunun suunnittelun ja valmistuksen asiakasvaatimukseen kuuluu tällä hetkellä standardin EN 50343 Railway applications - Rolling stock - Rules for installation of cabling täyttäminen kaapelointiasennusten osalta. Työn tarkoituksena on perehtyä standardiin tarkemmin ja koota siitä tuotannolle tulevaan kaapeloinnin asennustyöohjeeseen asennuksen kannalta oleelliset osat yksinkertaistettuun muotoon. Lisäksi asennustyöohjeeseen kootaan tähän mennessä hyväksi havaittuja käytäntöjä ja toimintatapoja tuotannossa kaapeloinnin osalta. Sitä varten haastateltiin tuotannosta kokenutta sähköasentajaa. Asennustyöohje tarvitaan, jotta tuotannossa uusien asentajien perehdytys olisi helpompaa ja asennustyön tavoitteet, taso ja lopputulos saadaan yhteneväiseksi eri tekijöiden ja tuotteiden ja sarjojen välillä.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan ja kuvaamaan kaapeloinnin asennustyön kannalta oleellisia asioita ja ilmiöitä. Sitä ennen suunnittelussa ja hankinnassa on otettu huomioon muun muassa seuraavia asioita: valitut kaapelit ja kaapelointitarvikkeet ovat tyyppitestattuja, kaapelit on valittu ja mitoitettu oikein käyttötarkoitukseensa nähden ja kaapelointitavat ja -reitit on valittu sen mukaan, mikä on järkevintä ympäröivien olosuhteiden ja kokonaisuuden kannalta. Myös kaapeleiden suojausta, kiinnitystä ja kytkentää on mietitty suunnitteluvaiheessa. Kaapelointiohjeessa ohjeistetaan näiden asioiden oikeaoppinen toteutus asennusvaiheessa. Suunnittelussa huomioon otettavia asioita sivutaan itse kaapelointityön vaatimusten lomassa.

Varsinaisessa kaapeloinnin asennustyöohjeessa käydään vielä tarkemmin läpi asennustyöhön vaikuttavia asioita. Asennustyöohje tulee vain yrityksen sisäiseen käyttöön ja tämän vuoksi opinnäytetyön julkinen versio on yrityksen käyttöön tulevaa ohjetta suppeampi.

Škoda Transtech Oy on vaativiin olosuhteisiin suunnitellun kiskokaluston valmistaja, joka on erikoistunut kaksikerroksisten matkustajavaunujen ja matalalattiaraitiovaunujen valmistukseen. Lisäksi Škoda Transtech Oy toimii keskiraskaiden konepajatuotteiden sopimusvalmistajana. Yhtiön pääkonttori sekä suunnittelutoiminnot sijaitsevat Oulun konttorilla. Tuotanto tapahtuu Otanmäen tehtaalla. Lisäksi Helsingin ja Tampereen varikoilla tuotetaan Škoda Transtechin valmistamien kiskokalustotuotteiden huoltotoimintaa. Škoda Transtech Oy on osa Škoda Transportation -konsernia. (1.)

## 2 VAATIMUKSET RAITIOVAUNUILLE JA KAAPELOINNILLE

Tärkein lähtökohta suunnittelulle ja valmistukselle on turvallisuus. Raitiovaunun suunnittelussa ja valmistuksessa on noudatettava lakeja ja asetuksia. Lisäksi noudatetaan tilaajan määrittelemiä vaatimuksia ja standardeja.

### 2.1 Kaupunkiraideliikenteen lainsäädäntö ja määräykset

Kaupunkiraideliikenteeseen kuuluvat metro- ja raitioliikenne. Kaupunkiraideliikenteen turvallisuuden valvonnasta Suomessa vastaa Liikenne- ja viestintävirasto Traficom (2.) Vastuu turvallisuudesta on toiminnanharjoittajalla (3).

Kaupunkiraideliikennettä harjoitettaessa tulee noudattaa Lakia liikenteen palveluista (320/2017). Laki määrittelee, että toiminnanharjoittajan on tehtävä toiminnastaan kirjallinen ilmoitus Liikenne- ja viestintävirastolle. Lain mukaan toiminnanharjoittajalla on oltava turvallisuuden takaava organisaatio ja turvallisuusjohtamisjärjestelmä. Harjoittaja vastaa liikennejärjestelmän turvallisesta käytöstä ja käyttöön liittyvien riskien hallinnasta harjoittamansa toiminnan osalta. Laissa säädetään myös muun muassa kuljettajien kelpoisuusvaatimuksista ja liikenteenharjoittajan luotettavuudesta ja vakavaraisuudesta. (4.)

Lisäksi kaupunkiraideliikenteen rataverkon hallintaan sovelletaan Raideliikennelakia (1302/2018), joka kumosi vanhan Rautatielain (304/2011) ja Lain kaupunkiraideliikenteestä (1412/2015). Raideliikennelaki määrää kaupunkiraideliikenteen osalta muun muassa turvallisuuden ylläpidosta ja kehittämisestä sekä sen viranomaisvalvonnasta. Raideliikennelaki määrää myös, että rataverkon haltijalla on oltava turvallisuuden takaava organisaatio ja turvallisuusjohtamisjärjestelmä, joka varmistaa rataverkon turvallisen suunnittelun, rakentamisen, kunnossapidon ja hallinnan. (5.)

Kaapeloinnin suunnittelussa ja asennuksessa on lisäksi otettava huomioon Sähköturvallisuuslaki (1135/2016), jonka perusvaatimusten mukaan sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava, korjattava, huollettava ja käytettävä niin, ettei niistä aiheudu vaaraa hengelle, terveydelle ja omaisuus-

delle. Lisäksi niistä ei saa aiheutua kohtuuttomasti sähköistä tai sähkömagneettista häiriötä, eivätkä ne saa vastaavasti häiriintyä helposti kyseisistä häiriöistä. Laissa säädetään myös sähkötöiden tekemisestä. Lisäksi kaapeloinnin asennusta tehtäessä on huomioitava muun muassa työturvallisuutta koskevat vaatimukset, joista säädetään Työturvallisuuslaissa (738/2002). (6.)

Liikenne- ja viestintävirasto on antanut 20.5.2019 Raideliikennelain (1302/2018) ja Lain liikenteen palveluista (320/2017) nojalla määräyksen 91446 kaupunkiraideliikenteestä. Aiempaa määräystä kaupunkiraideliikenteestä on alettu soveltaamaan raitioliikenteeseen 1.1.2018 lähtien Raideliikennelain tultua voimaan. Määräys vaatii, että toiminnanharjoittaja ottaa huomioon kaikissa toiminnoissaan ja organisaatiossaan turvallisuuden ja kehittää sitä jatkuvasti. Turvallisuustavoitteisiin liittyy muun muassa se, että rataverkko ja liikkuva kalusto ovat turvallisesti käytettävissä, asianmukaisesti tarkastettu ja kunnossapidetty, henkilöstö täyttää kelpoisuusvaatimukset ja virheelliset työtavat korjataan, ympäristölle ja omaisuudelle ei aiheudu vakavaa vahinkoa, eikä kukaan kuole tai loukkaannu. (7.)

Kaupunkiraideliikennettä koskevat lait ja määräys korostavat toiminnanharjoittajan omaa vastuuta toiminnastaan riskien hallinnan muodossa. Tämä tarkoittaa raitiotiekaluston osalta sitä, että kaluston tilaaja eli toiminnanharjoittaja määrittää suunnittelussa ja valmistuksessa huomioon otettavat vaatimukset ja standardit, joita on noudatettava. Lisäksi kaluston tilaaja toimii kaluston hyväksyjänä.

## **2.2 Asiakasvaatimukset**

Asiakasvaatimukseen liittyvät dokumentit määrittelevät peruslähtökohdat raitiovaunun suunnittelulle ja valmistukselle. Asiakasvaatimukseen kuuluvassa teknisessä erittelyssä määritellään rajoitteet käytön ja ympäristön suhteen sekä suunnittelussa huomioon otettavat vaatimukset esimerkiksi lujuuden, suorituskyvyn, kunnossapidettävyyden, käytettävyyden, turvallisuuden ja ympäristövaikutusten osalta.

Lisäksi asiakas saattaa määritellä noudatettavat standardit ja näin ollen ne ovat projektikohtaisia. Suunnittelussa, materiaalien valinnassa, valmistuksessa ja tes-

tauksessa tulee noudattaa voimassa olevia raitiovaunuihin sovellettavia standardeja. Tällä hetkellä noudatetaan pääsääntöisesti eurooppalaisia standardeja, mutta lisäksi voidaan noudattaa muitakin standardeja, jos EN-standardeista ei löydy tarvittavaa standardia tai muu standardi takaa esimerkiksi paremman laadun tai projektien vaatimukset määräävät niin.

### **2.3 Kaapeloinnin asennukseen liittyvät tärkeimmät standardit**

Tärkein tällä hetkellä noudatettava raitiovaunujen kaapeloinnin suunnitteluun ja asennukseen liittyvä standardi on EN 50343 Railway applications - Rolling stock - Rules for installation of cabling, joka määrittelee vaatimukset kaapeloinnin asennukselle rautatiekulkuneuvoissa, mukaan lukien magneettisesti leijuvat junat ja johdinautot, sekä niihin asennettavissa sähkökoteloissa. Standardi kattaa laitteiden väliset sähkökytkennät, mukaan lukien kaapelit, virtakiskot, liittimet ja pistokkeet. (8, s. 6.)

Koska noudatettavat standardit ovat projektikohtaisia, tulevaisuudessa voidaan noudattaa myös vastaavaa maailmanlaajuista standardia IEC 62995 Railway applications - Rolling stock - Rules for installation of cabling. Standardi käsittelee pääasiassa samoja asioita kuin eurooppalainen standardi EN 50343.

Standardissa EN 50153 Railway applications - Rolling stock - Protective provisions relating to electrical hazards käsitellään yleisesti sähköturvallisuutta, joka asettaa vaatimuksia myös kaapeloinnille. Standardi määrittelee sähköasennusten ja laitteiden suunnittelun ja valmistuksen vaatimukset henkilöiden suojaamiseksi sähköiskulta liikkuvan kaluston osalta. Standardia sovelletaan rautatiejärjestelmien liikkuvaan kalustoon, tieliikennejärjestelmiin, jotka saavat virtansa ulkoisesta virtalähteestä, magneettisesti leijuviin kuljetusjärjestelmiin sekä näihin järjestelmiin asennettuihin sähkölaitteisiin. (9, s. 6.) Tässä standardissa määritellyt suojoimenpiteet perustuvat nimellisjännitteen suurimpaan arvoon, jolle laite tai sähköpiiri altistuu. Jännitteiden luokittelu nimellisarvon mukaan eri jännitealueisiin on esitetty luvussa 4.3. Kuhunkin jännitealueeseen sovelletaan standardissa erilaisia sääntöjä. (9, s. 10.)

Standardisarjan EN 45545 Railway applications - Fire protection on railway vehicles tarkoituksena on suojella matkustajia ja henkilöstöä tulipalolta rautatiekuljetuksissa. Standardisarja koskee vuoden 2017 jälkeen käyttöön otettuja kiskoajoneuvoja Euroopan Unionin alueella. Standardisarjan eri osat määrittelevät vaatimukset ja toimenpiteet tulipalojen estämiselle, havaitsemiselle, rajoittamiselle ja hallinnalle, sekä matkustajille ja henkilöstölle paloon liittyvien kuumuuden, savun ja myrkyllisten kaasujen aiheuttamien haittavaikutusten minimoimiselle. (10, s. 8.) Standardin asettamia tavoitteita käsitellään kiskoajoneuvojen käyttö- ja suunnitteluluokkien avulla, jotka määrittävät kiskoajoneuvotyyppien sekä käyttö- ja infrastruktuuriominaisuuksien perusteella. Näiden perusteella saadaan selville vaaraluokka. Käyttöluokka määrittelee, mitä standardin osien 3–7 vaatimuksia sovelletaan ja vaaraluokka määrittelee osassa 2 käsiteltävät materiaalien testausta koskevat vaatimukset. (10, s. 24–26.)

Kaikki vaunussa oleva palava materiaali tulee tarkastella ja sen tulee täyttää standardin EN 45545-2 mukaiset palovaatimukset. Vaatimukset määräytyvät muun muassa kiskoajoneuvon luokituksen ja palavan materiaalin massan, pinta-alan, sijainnin vaunussa, etäisyyden muusta palavasta materiaalista ja käyttötarkoituksen mukaan. (11, s. 3–18.) Kaapeleiden valinnassa ja kaapeloinnin suunnittelussa on otettava huomioon, että kaapelit täyttävät palokäyttäytymiseltään standardin EN 45545 osien 2, 3 ja 5 vaatimukset (8, s. 12).

Standardi DIN 5510-2 Preventive fire protection in railway vehicles on ollut käytössä ennen standardin EN 45545 voimaantuloa ja siihen annetun siirtymäajan. Käynnissä on vielä ennen vuotta 2017 alkanut raitovaunuprojekti, johon sovelletaan standardin DIN 5510 palovaatimuksia. Standardi sisältää vaatimukset rautatieajoneuvoissa käytettyjen materiaalien ja komponenttien palokäyttäytymisestä ja palon sivuvaikutuksena syntyvien savun ja pisaroiden muodostumisesta. (12, s. 5.)

## **2.4 Muita vaatimuksia**

Suunnittelussa ja valmistuksessa tulee noudattaa hyviä käytäntöjä ja tapoja. Valmistus ja asennustyö tulee suorittaa turvallisesti ja suunnitellusti.

Turvallisuuden lisäksi raitiovaunuja suunniteltaessa ja valmistettaessa on otettava huomioon raitiovaunun haastavat käyttöolosuhteet, kuten lämpötilojen vaihtelut, kosteus, liikkuvat järjestelmät, kiihtyvyydet ja värinä. Suomessa toimivien raitiovaunun käyttölämpötila on määritelty esimerkiksi välille  $-35\text{ °C} - +35\text{ °C}$ . Esimerkiksi kaapeloinnin ja sähköliitosten asennus tulee tehdä laadukkaasti ja määräksiä noudattaen, jotta tuotteen turvallisuus voidaan taata ja raitiovaunu kestää ja toimii suunnitellusti koko sille määrätyn käyttöiän, joka voi olla esimerkiksi 40 vuotta.

Lisäksi raitiovaunun valmistamisen pitää olla mahdollisimman helppoa ja nopeaa, jotta valmistuskustannukset pysyvät alhaisina ja vaunun valmistuksen läpimenoaika saadaan mahdollisimman lyhyeksi. Lisäksi raitiovaunujen huollon ja mahdollisen vianetsinnän tulee olla helppoa ja nopeaa, jotta vaunut eivät joudu olemaan tarpeettoman pitkiä aikoja poissa liikennöinnistä.

## 2.5 Kaapeloinnin suunnittelussa huomioon otettavia asioita

Kaapelityyppien valinnassa on otettava huomioon ympäristö- ja palovaatimukset. Materiaalien tulee olla sopivia käyttötarkoitukseen, toimintaolosuhteisiin ja asennustapoihin nähden. Lisäksi EMC-vaatimukset vaikuttavat kaapelivalintoihin eri käyttökohteissa. (8, s. 10–12.)

Kaapeleiden mitoituksen perustana käytetään käytönaikaista kuormitusvirtaa ( $I_{kuorma}$ ). Kaapeleiden kuormitettavuudessa täytyy ottaa huomioon käytettävien kaapeleiden eristeiden ja johtimien materiaalit sekä korjauskertoimet ( $k$ ), jotka määrittelevät ympäristön lämpötilan ( $k_1$ ), kaapeleiden asennustavan ( $k_2$ ), kaapelin eliniän ennustamisen ( $k_3$ ), lyhytkestoisten kuormitusjaksojen ( $k_4$ ) ja moninapa-kaapeleiden käytön ( $k_5$ ) vaikutukset kaapelin virrankestoon ( $I_{kaapeli}$ ). Kaapelivalmistajat voivat määrittellä myös omia korjauskertoimia, jolloin niitä on noudatettava kaapelimitoituksia tehtäessä. Kaapelin poikkipinta-ala täytyy valita siten, että kaapelin virrankesto korjauskertoimet huomioituna on suurempi kuin käytönaikainen kuormitusvirta (kaava 1). (8, s. 13–15.)

$$I_{kaapeli} \geq \frac{I_{kuorma}}{k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5}$$

KAAVA 1

Käytettävien johtimien poikkipinta-alan tulisi kuitenkin olla vähintään 1,0 mm<sup>2</sup> (8, s. 20). Käytettäviin poikkipinta-aloihin voi olla myös projektikohtaisia vaatimuksia.

Lisäksi kaapeleiden ja johtimien mitoituksessa on otettava huomioon jännitteena-  
lenema, joka voi kasvattaa kaapeleiden poikkipinta-aloja pitkillä kaapeliosuuksilla. Myös kaapeleiden mekaanisen keston vaatimukset voivat johtaa poikkipinta-alan kasvattamiseen. Lisäksi käytettävä suojalaite voi vaikuttaa johdolta vaadittavaan kuormitettavuuteen. Myös syötön oikosulkuvirta tulee tutkia vikasuojauksen vuoksi. (8, s. 18, 20.)

Kaapeloinnin suunnittelussa kokonaisuutena täytyy lisäksi ottaa huomioon muitakin asioita, kuten muun muassa eri jännitealueisiin ja EMC-luokkiin kuuluvien kaapeleiden erottaminen toisistaan, kaapeleiden suojaaminen ja kiinnittäminen raitiovaunussa, kaapeleiden merkitseminen ja muun kaapelointimateriaalin vaatimukset sekä itse kytkentöjen teko. Näitä asioita sivutaan myös suunnittelun näkökulmasta kaapeloinnin asennusta käsittelevässä luvussa 4.



### 3 RAITIOVAUNUN SÄHKÖINEN RAKENNE JA KAAPELOINTI

Tällä hetkellä tuotannossa on kaksi raitiovaunumallia, Tampereelle tuleva ForCity Smart Artic Tampere (X34) (kuva 1) ja Helsinkiin tuleva ForCity Smart Artic Jokeri (X54) (kuva 2), joka on optiovaunu aikaisemmin Helsinkiin toimitetuille ForCity Smart Artic Helsinki (X34) (kuva 3) vaunuille. Vaunukonseptin merkintä X34 ja X54 kertoo raitiovaunussa olevien moduulien ja telien määrän.



*KUVA 1. ForCity Smart Artic Tampere (1)*



*KUVA 2. ForCity Smart Artic Jokeri (1)*



KUVA 3. ForCity Smart Artic Helsinki (1)

Artic raitiovaunujen suunnittelussa ja valmistuksessa on otettu huomioon pohjoisen vaativat ilmasto-olosuhteet ja jyrkkäkaarteiset ja vaihtelevat rataosuudet. Raitiovaunut ovat sataprosenttisesti matalalattiaisia ja matalasta lattiasta huolimatta varustettu perinteisillä, ohjautuvilla teleillä, jotka kääntyvät vapaasti vaunun alla. (1.) ForCity Smart Artic raitiovaunujen tekniset tiedot löytyvät taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Raitiovaunujen tekniset tiedot (1)

	ForCity Smart Artic		
	Tampere (X34)	Jokeri (X54)	Helsinki (X34)
<b>Ajosuunta</b>	Kaksisuuntainen	Kaksisuuntainen	Yksisuuntainen
<b>Moduulien määrä</b>	3	4	3
<b>Vetävien telien määrä</b>	4 / 4	4 / 4	4 / 4
<b>Virroittimien määrä</b>	1	2	1
<b>Vaunun pituus</b>	n. 37 m	n. 34 m	n. 28 m
<b>Vaunun leveys</b>	2,55 / 2,65 m	2,3 / 2,4 m	2,3 / 2,4 m
<b>Raideleveys</b>	1435 mm	1000 mm	1000 mm
<b>Tyhjäpaino</b>	56,8 t	58,6 t	43 t
<b>Huippunopeus</b>	80 km/h	80 km/h	80 km/h
<b>Istumapaikkoja</b>	64 + 40 = 104	78	74 + 13 = 87
<b>Kapasiteetti (5 hlöä/m<sup>2</sup>)</b>	360	248	199

Raitiovaunu saa sähkönsyöttönsä radan yläpuolella sijaitsevasta ajojohdinverkosta vaunun katolla sijaitsevan virroittimen kautta. Ajojohtimen jännite Helsingin rataverkolla on -600 V DC ja Tampereen rataverkolla +750 V DC. Virroitin syöttää vaunun sähkölaitteita.

Raitiovaunujen katoilla sijaitsevat invertterit muuntavat 600/750 V DC:n kolmivaiheiseksi 400 V AC:ksi, joka syöttää telin akseleilla sijaitsevia ajomoottoreita. Kaikki telien akselit ovat vetäviä. Jokaiselle telille menevä itsenäinen piiri varmistaa vaunun virheettömän toiminnan, vaikka jokin teli moottoreineen kytkettäisiinkin pois käytöstä (13, s. 27).

Ajomoottoreilta saatavaa jarrutusenergiaa voidaan käyttää matkustamoiden lämmittämiseen. Jarrutusenergiaa voidaan myös syöttää takaisin ajojohtimeen, jos ajojohtimella on samaan aikaan toinen raitiovaunu, joka voi hyödyntää jarrutuksesta saatavaa energiaa. Jos jarrutusenergiaa ei voida syöttää takaisin ajolangalle tai hyödyntää sillä hetkellä lämmityksessä, jarrutusenergia muutetaan lämmöksi lisäjarruvastuksella. Myöhemmässä vaiheessa vaunuja voidaan myös varustaa jarrutusenergiaa varastoivilla superkondensaattoreilla (1).

Apukäyttöyksikkö vaunun katolla muuttaa 600/750 V DC:n kolmivaiheiseksi 400 V AC:ksi, josta saadaan 230 V AC syötöt muun muassa puhaltimille, kompressoireille ja lämmitykselle. Vaunun komposiittirakenteisissa lattioissa on lattialämmitys ja ovien kynnyksissä on kynnyslämmitys varmistamassa, että lattia pysyy sulana kaikissa sääolosuhteissa (13, s. 43).

Iso osa laitesyötöistä toteutetaan 24 V DC syöttöinä. Sitä käytetään muun muassa erilaisten ohjauksien toteuttamiseen, informaatio- ja muiden laitteiden syötöissä ja valaistuksessa. Sisävalaistus on toteutettu huoltovapaalla ja energiatehokkaalla LED-teknologialla. Sisävalaistuksen valoteho säätyy automaattisesti valaistusolosuhteiden mukaan. Myös raitiovaunun ulkovalaisimet on toteutettu LED-valaisimilla. (13, s. 21, 33.)

Raitiovaunun katolla sijaitseva akusto on energiavarasto ja jännitepuskuri, ja se syöttää raitiovaunun 24 V DC -pienjännitekuormaa. Akuston läheisyydessä oleva akustovaraaja varaa akustoa ja ylläpitää ohjauspiirin jännitettä.

Ohjaustietoja siirretään CAN-väylää pitkin ja Ethernet-väylää käytetään diagnostiikkatietojen siirtoon ja informaatio-, kuulutus- ja valvontajärjestelmien ohjaukseen. Vaunu on varustettu järjestelmillä, jotka tallentavat vaunun toimintatietoja ja välittävät ne automaattisesti varikon palvelimelle (13, s. 27).

Pääsääntöisesti isot laitteet ja sähkökotelot on sijoitettu vaunumoduuleiden kattoille kattopeitteiden alle. Vaunun sisäkattoon, ikkunoiden yläpuolelle, sisustuspaneelien taakse on sijoitettu koko vaunun pituudelta laitelevyjä, jotka sisältävät riviliitinkenttiä, johdonsuojakatkaisijoita, releitä, ohjauslaitteita ja muita komponentteja. Lisäksi sähkölaitteita ja kytkentäpisteitä on matkustamon istuinten alla ja ohjaamon ajopöydän alla. Myös raitiovaunun keulassa ja alustassa on sähkökomponentteja ja kytkentäkoteloita ja -pisteitä. Näkyvillä olevia laitteita ovat lisäksi muun muassa vaunun sisätiloissa ja ulkopuolella olevat näytöt ja valot, matkustamon painonapit, latauspistokkeet ja lipunlukulaitteet ja ohjaamossa kuljettajan hallintalaitteet.

Raitiovaunun kaapelointi on jaettu virtapiirien mukaisesti 600/750 V DC -kaapelointiin, 400 V AC ja 230 V AC -kaapelointiin, 24 V DC -kaapelointiin ja signaali-kaapelointiin. Raitiovaunun kaapeloinnissa käytetään monisäikeisiä, halogeenittomasta ja paloa ylläpitämättömästä materiaalista valmistettuja kaapeleita ja johtimia. Vaunun sisällä kaapelointi toteutetaan pääasiallisesti sähkölaitteiden ja sähkökomponentteja sisältävien laitelevyjien välillä kulkevilla sopivan kokoisilla johtosarjoilla, jotka on muodostettu yksittäisistä johtimista. Johtimet ovat yksinapaisia pienjännitejohtimia ja johtimien käytetyt päävärit ovat valkoinen tai musta, sininen ja keltavihreä. Johtosarjat kootaan yhteen ja suojataan sisätiloissa suojasukalla tai raitiovaunun ulkopuolelle mentäessä suojaputkella. Johtosarjoissa on valmiina liittimet laitelevyille tai laitteille kytkeytymistä varten. Vaunun katolla kaapelointi toteutetaan moninapaisilla pienjännitekaapeleilla tai yksi- tai moninapaisilla korkeajännitekaapeleilla. (14, s. 24.)

Kaapeloinnin liitântä-, jatkaminen- ja haaroittaminen toteutetaan pääasiassa riviliitinpistokeliittimillä. Laittekytkennöissä voidaan käyttää pikaliittimiä. Kaapeleiden läpiviennit vaunun sisältä ulos ja laitekoteloiden sisälle toteutetaan erilaisilla läpivientilaipoilla, -holkeilla, -tiivisteillä ja -kumeilla. (14, s. 24.)

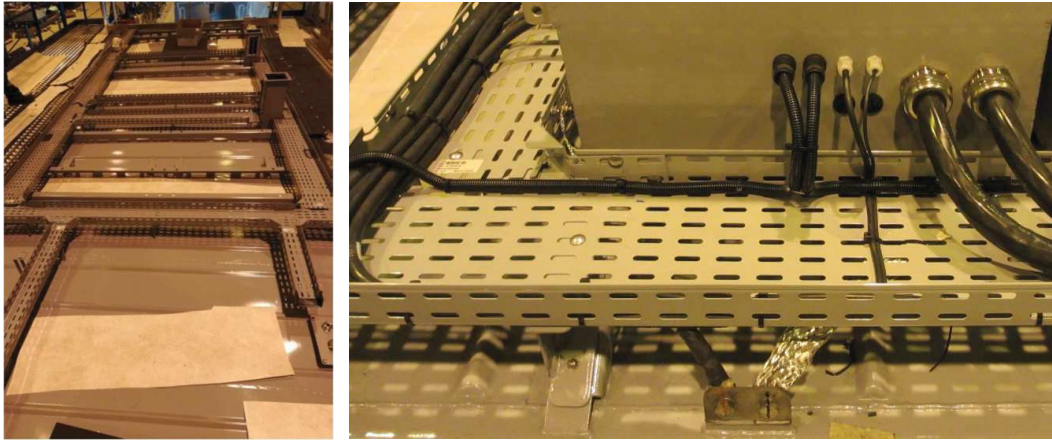
## 4 KAAPELOINNIN ASENNUKSESSA HUOMIOON OTETTAVAA

Standardi EN 50343 ja muut kaapelointia sivuavat raitiovaunustandardit asettavat erilaisia vaatimuksia kaapelointiasennusten tekemiselle. Lisäksi pitkän ajan kuluessa raitiovaunun kaapelointeja asennettaessa on tullut vastaan erilaisia toimintatapoja, jotka helpottavat kaapeliasennusten tekemistä tai varmistavat kaapeliasennusten laadun. Kaapeliasennuksissa huomioon otettavia asioita käsitellään aihepiireittäin seuraavissa luvuissa.

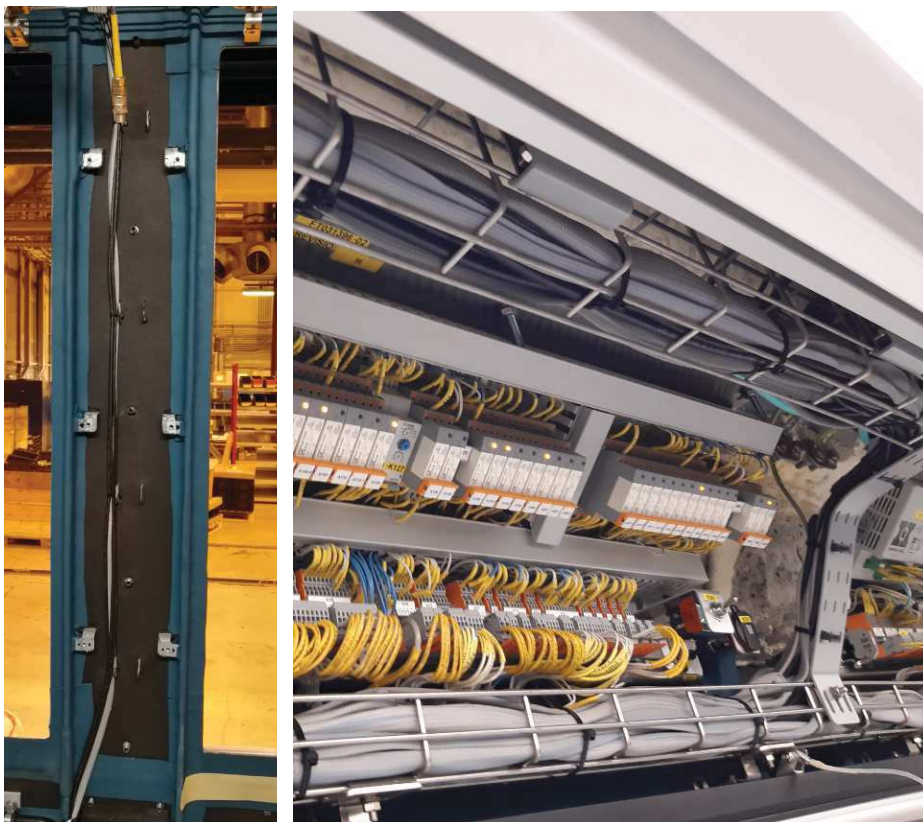
### 4.1 Kaapelointireitit

Vaunumoduuleiden katoilla sijaitsevat pääsääntöisesti tehokaapelit ja vaunumoduuleiden sisätiloissa ohjauskaapelit. Kuitenkin myös signaalikaapeleita on kuljetettava lyhyitä matkoja vaunun katolla sijaitseville laitteille. Raitiovaunun katolla ja sisäkatossa määritellään suunnitteluvaiheessa erilliset, vaunumoduulien päästä päähän kulkevat pääkaapelointihyllylinjat 24 V DC syöttökaapeleille ja signaalikaapeleille sekä 230 V AC, 400 V AC ja 600/750 V DC tehokaapeloinnille.

Kaapelit ja johtosarjat täytyy kuljettaa niille tarkoitettuja kaapelihyllyjä pitkin ja kiinnittää niihin aina kun se on mahdollista. Paikoissa, joihin kaapelihyllyjä ei mahdu, kaapelointi kuljetetaan muita ympäröiviä rakenteita pitkin ja kaapelit ja johtosarjat sidotaan niihin. Esimerkiksi vaunun seinäpilareissa kuljetetaan kaapeleita ja johtosarjoja vaunun alustasta sisäkaton kaapelihyllylinjoille. Kaapelointi sidotaan runkoon hitsattuihin kaapelikorvakoihin nippusiteillä. Ohjaamossa kaapeloinnin kuljetukseen käytetään ohjauspöydän tukirakenteita. Hyllyjen ja muiden rakenteiden kunto ja kiinnitys vaunuun on varmistettava ennen kaapeloinnin tekemistä. Kuvassa 4 on raitiovaunun katolla sijaitsevia kaapelikouruja ja kuvassa 5 kaapelointia raitiovaunun sisätiloissa.



*KUVA 4. Katon kaapelikouruja*



*KUVA 5. Kaapelointia raitiovaunun seinäpilarissa ja kaapelihyllyissä sisäkatossa*

Kaapeleiden ja johtosarjojen kulkureitit hyllyissä ja muualla vaunussa näkyvät asennuspiirustuksista ja kaapeloinneista ajettavissa kevytmalleissa. Suunnitel-

tuja reittejä täytyy noudattaa asennuksessa, jotta kaapeli- ja johdinpituudet riittävät ja esimerkiksi eri jännitealueiden kaapelit pysyvät suunnitellusti erillään ja EMC-vaatimukset toteutuvat.

## **4.2 Kaapeleiden käsittely ja asennusteknisiä asioita**

Kaapelit, johtosarjat ja kaapelointitarvikkeet on varastoitava ja käsiteltävä oikein varustelulinjalla ennen asennusta. Kaapelivalmistajien ohjeita varastoinnista ja käsittelystä on noudatettava. Kaapeleita käsiteltäessä on varottava, ettei ylitetä kaapeleille määriteltyjä taivutussäteitä edes väliaikaisesti. Taivutussäteitä on käsitelty luvussa 4.8. Kaapeloinnin asennusta tehtäessä on varmistettava, että kaapeleiden ja johtimien vaippa ja liittimet pysyvät ehjinä käsittelyn aikana.

Kaapelit eivät saa jäädä puneelle, kun ne asennetaan vaunuun. Esimerkiksi katolla pitkien kaapeleiden kaapelikiepit kannattaa rullata auki kattotasoa pitkin, jolloin kaapeleihin ei synny kierrettä. Tämän jälkeen kaapelit on helppo nostaa hyllyyn sivulta pitkiä hyllylinjoja kaapeloitaessa. (15.)

Katolla kaikki pitkät päädyistä päätyihin menevät kaapeloinnit kannattaa asentaa hyllyille ensimmäisenä, jotta niitä ei tarvitse myöhemmin pujotella laiterunkojen alle tai muiden kaapeleiden joukkoon hyllyillä. Lyhyet kaapelivedot on helppo lisätä myöhemmin siististi muiden kaapeleiden päälle, kun asennusmatka ei ole pitkä. (15.)

Kaapeli tai johtosarja kannattaa purkaa kokonaan ja asetella koko asennusmatkalleen hyllyihin ennen kaapeloinnin kiinnitystä ympäristöönsä, jotta vältetään kiinnikkeiden irrotukselta kaapelointia säädettäessä. Tällä varmistutaan, että kaapelit riittävät varmasti perille ja reittiä voi vielä tarvittaessa hienosäätää ennen kaapeleiden kiinnitystä. (15.) Kaapeleiden kiinnitystä on käsitelty luvussa 4.9.

Lisäksi kaapelointi katolla saadaan siistiksi, kun toinen pää läpivienteineen ja kytkentöineen tehdään ensin valmiiksi katon laitekoteloissa. Sen jälkeen loppureitti voidaan vielä järjestellä hyllyille ja kaapelit sitoa, ja viimeisenä tehdään toisen pää läpiviennit ja kytkennät. (15.)

Kaapelit on järjesteltävä siististi ja järjestykseen ja turhia ylityksiä muiden kaapeleiden kanssa tulee välttää. Jos ylityksiä joudutaan kuitenkin tekemään, samaan suuntaan menevien kaapeleiden on oltava samassa tasossa kuten kuvassa 6, jotta vältetään korkeiden nippujen muodostumiselta (15).



*KUVA 6. Kaapeleiden ylitys*

Johtosarjojen asennus sisäkaton kaapelihyllyille kannattaa aloittaa johtosarjan keskivaiheen solmupisteistä. Tällä keinolla johtosarjan haaroitukset saadaan paremmin osumaan oikeaan kohtaan vaunussa eikä johtosarja jää niin helposti lyhyeksi jostakin haaran päästä. Johtosarja on helpointa nostaa hyllylinjoille sivusta.

Sekä katolla että sisäkatossa kulkevan johtosarjan asennus kannattaa aloittaa katolta, koska johtosarjan asennusvarojen ”hukkaaminen” on helpompaa sisäkaton kaapelihyllyillä (15). Poikkeuksena ovat alustasta ja podesterialueelta tulevat johtosarjat varustelujaksojen määräämstä kaapelointijärjestyksestä johtuen.

Muun muassa alustan, podesterialueiden ja ohjaamoiden johtosarjojen asennus voidaan joutua tekemään useassa osassa varustelujaksoista johtuen. Tällöin asentamatta jäänyt johtosarjan osa ja toisen päään liittimet täytyy suojata ja sitoa asianmukaisesti vaunuun sopivaan paikkaan odottamaan asennuksen jatkumista.



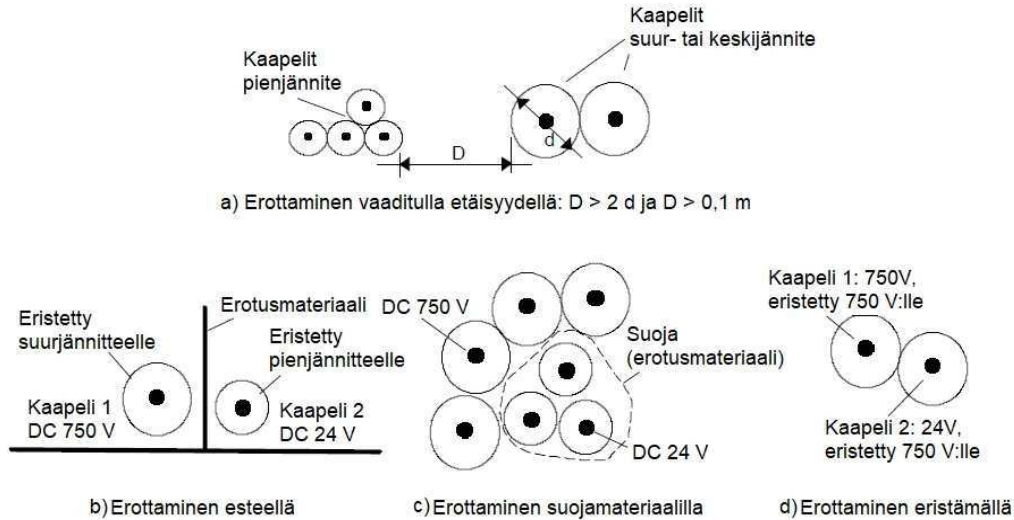
### 4.3 Jännitealueiden luokittelu ja eri luokkien kaapeleiden asennus erilleen

Laitteissa tai sähköpiireissä esiintyvät jännitteet luokitellaan eri jännitealueisiin nimellisarvonsa perusteella taulukon 2 mukaan (9, s. 10). Jännitealueet 1 ja 2 ovat pienisjännitteitä (ELV), jännitealue 3 kuuluu pienjännitteisiin (LV) ja jännitealue 4 kuuluu suurjännitteisiin (HV). Raitiovaunuissa esiintyy jännitealueiden 1–3 mukaisia jännitteitä.

TAULUKKO 2. Jännitealueiden luokittelu (9, s. 11)

Jännitealue	Nimellisjännite $U_n$	
	AC [V]	DC [V]
1	$U \leq 25$	$U \leq 60$
2	$25 < U \leq 50$	$60 < U \leq 120$
3	$50 < U \leq 1000$	$120 < U \leq 1500$
4	$U > 1000$	$U > 1500$

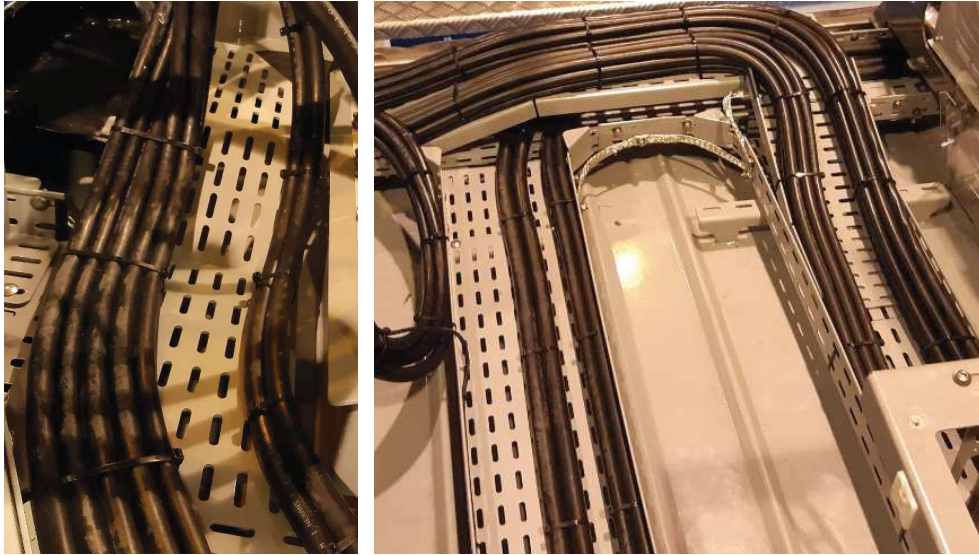
Asennettaessa raitiovaunun kaapelointia asentajan on oltava selvillä, mikä jännitealueen kaapeleita tai johtimia kulloinkin asennetaan, koska eri jännitealueisiin kuuluvat kaapelit täytyy erottaa toisistaan joko tarpeeksi suuren etäisyyden, eristävien materiaalien tai maadoitettujen metallisten esteiden avulla. Kuvassa 7 on esitetty eri tapoja erottaa eri jännitealueiden kaapelit toisistaan. Erotus täytyy tehdä turvallisuussyistä, jotta estetään suuremman jännitteen tai tehon siirtyminen matalamman jännitteen siirtämiseen tarkoitettuun kaapeliin onnettomuuden, tulipalon, kaapelin hankautumisen tai muun vastaavan syyn johdosta. Yksittäisiä paluuvirtakaapeleita tulee käsitellä samalla tavalla kuin saman jännitealueen syöttökaapeleita. (8, s. 23.)



KUVA 7. Esimerkkejä eri jännitealueiden kaapeleiden erottamisesta toisistaan (8, s. 24)

Eri jännitealueisiin kuuluvien kaapeleiden erottaminen toisistaan otetaan huomioon raitiovaunun suunnitteluvaiheessa, jolloin määritellään, mitä kaapelointireittejä pitkin mikäkin kaapeli tai johtosarja kuljetetaan. Alueille, joilla ei voida noudattaa tarpeeksi suuria etäisyyksiä, suunnitellaan esimerkiksi väliseiniä hyllylinjoille, kotelointia moottorikaapeloinnille tai suojamateriaalia eri jännitealueisiin kuuluvien kaapeleiden välille.

Kaapelointia asennettaessa kaapelit ja johtosarjat täytyy kuljettaa vaunussa suunniteltuja reittejä pitkin asennuspiirustusten mukaan, jotta eri jännitealueisiin kuuluvien kaapeleiden erottelu toisistaan toteutuu suunnitellusti. Lisäksi samoja kaapelihyllyjä pitkin kulkevat, mutta eri jännitealueisiin kuuluvat kaapelit tulee asentaa hyllyn eri laitoihin, jotta vaaditut etäisyydet toteutuvat. Kuvassa 8 on eri jännitealueisiin kuuluvia kaapeleita erotettuna toisistaan raitiovaunun katolla.



*KUVA 8. Eri jännitealueiden kaapeleiden erottaminen raitiovaunun katolla*

#### **4.4 EMC-vaatimukset**

Kaapeloinnin suunnittelussa ja asennuksessa on otettava huomioon, että kaapelit altistuvat ympäristöstä tuleville sähkömagneettisille häiriöille ja myös aiheuttavat sähkömagneettisia häiriöitä ympäristöönsä. Erityisen tärkeää on estää suurjännitekaapeleiden aiheuttamia magneettikenttiä vaikuttamasta ihmisillä oleviin lääketieteellisiin laitteisiin, kuten sydämentahdistimeen. (8, s. 33.)

Standardin EN 50343 mukaan kaapelit luokitellaan vähintään kolmeen EMC-luokkaan taulukon 3 mukaisesti. Luokka A on jaettu kahteen osaan eri jännitealueiden erottamiseksi toisistaan turvallisuusvaatimusten vuoksi. (8, s. 34.)

*TAULUKKO 3. EMC-vaatimusten mukaiset kaapeliluokat (8, s. 34)*

<b>EMC kaapeliluokka</b>	<b>Kaapelin käyttötarkoitus</b>
A	Sähkönsyöttö 1: Virroittimen syöttökaapelit, lämmityskaapelit, apukäyttökonvertterin kaapelit  Sähkönsyöttö 2: Moottorikaapelit, jarruvastuskaapelit, apulaitteiden syöttökaapelit
B	Akustokaapelit, ohjauskaapelit
C	Signaalilähettimien kaapelit, antennikaapelit, kaiutinkaapelit, väyläkaapelit

Eri EMC-luokkiin kuuluvat kaapelit tulee asentaa tarpeeksi erilleen toisistaan aina kun mahdollista. Teho, taajuus, kaapeleiden rinnakkain kulkema matka ja käytettyjen kaapeleiden suojaus vaikuttavat tarvittavaan etäisyyteen kaapeleiden välillä. Rinnakkain kulkevien eri EMC-luokkiin kuuluvien kaapeleiden minimietäisyydet toisistaan on esitetty taulukossa 4. (8, s. 34.)

*TAULUKKO 4. Eri EMC-luokkiin kuuluvien kaapeleiden minimietäisyydet toisistaan (8, s. 34)*

<b>EMC kaapeliluokat</b>	<b>Minimietäisyys [m]</b>
A ja B	0,1
A ja C	0,2
B ja C	0,1

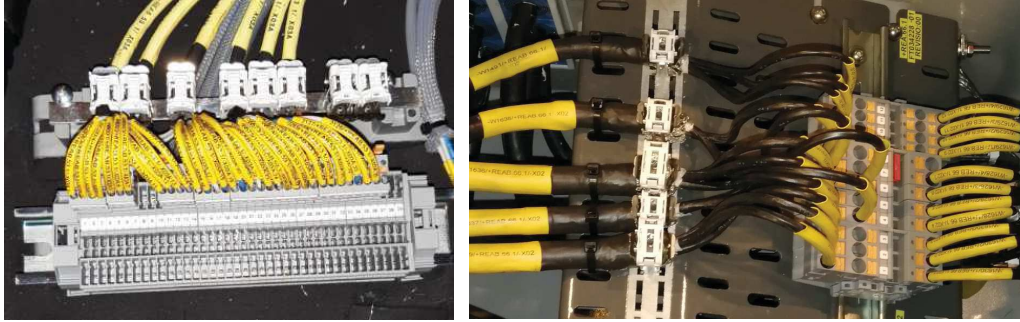
Myös eri EMC-luokkiin kuuluvien kaapeleiden erottaminen toisistaan mietitään raitiovaunun suunnitteluvaiheessa kaapelireittejä valittaessa. Kuitenkin vielä asennusvaiheessa kaapeleiden erillään pysyminen täytyy varmistaa.

Jos tarvittavaa etäisyyttä kaapeleiden välillä ei pystytä noudattamaan, eri EMC-luokkiin kuuluvat kaapelit täytyy erottaa toisistaan muilla keinoin. Kaapeleiden välille voidaan suunnitella esimerkiksi metallisia suojia, jotka on maadoitettu vaunun runkoon. (8, s. 34.)

Suunnitteluvaiheessa kaapelivalintoja tehtäessä yleisesti on syytä valita häiriösuojattuja kaapeleita luokan A kaapeleiksi kaapeleiden aiheuttamien häiriöpäästöjen vähentämiseksi ja luokan C kaapeleiksi kaapeleiden häiriönsiedon parantamiseksi. Lisäksi EMC-häiriöille alttiille signaaleille valitaan kaapeleita kierretyillä johtimilla. (8, s. 35.)

Lähtökohtaisesti kaapelin häiriösuoja tulee kytkeä vaunun runkoon mahdollisimman useasta kohdasta, mutta vähintään kaapelin molemmista päistä. Joskus kuitenkin voi olla perusteltua jättää kytkentä tekemättä esimerkiksi kaapelin toisesta päästä. Maadoitus tulee tehdä mahdollisimman leveällä kontaktilla. Kaapelin häiriösuojusta tehdyn johtimen tulee olla mahdollisimman lyhyt tai ainakin alle 5 cm silloin, kun häiriömaadoitus joudutaan tekemään alle 100 kHz:n taajuuksilla. (8,

s. 35.) Vaunun maadoituskonseptissa määritellään myös häiriömaadoitukset. Asennettaessa suojattuja kaapeleita on noudatettava piirikaavioita ja asennusohjeita häiriömaadoituksen osalta. Kuvassa 9 on häiriösuojamaadoituksia kaapeleiden päissä.



*KUVA 9. Kaapeleiden häiriömaadoituksia*

Asennusvaiheessa kaapeleiden ulospäin aiheuttamaa magneettikenttää voidaan metallisten suojiin lisäksi pienentää muun muassa sillä, että syöttö- ja paluuvirtakaapelit asennetaan mahdollisimman lähelle toisiaan ja kolmivaihesyöttökaapelit sidotaan kolmioon (kuva 10). Ylitettäessä eri EMC-luokkaan kuuluvia kaapeleita ylitys tulee tehdä kohtisuoraan toiseen luokkaan kuuluviin kaapeleihin nähden. Lisäksi kaapelit täytyy asentaa mahdollisimman lähelle vaunun metallisia rakenteita, jolloin häiriöt vaimenevat johtavasta rakenteesta heijastuvan vastakkaisen kentän ansiosta. (8, s. 33–35.)



*KUVA 10. Suojatun kaapelin häiriömaadoitus ja paluuvirta- ja syöttökaapeleiden asennus metalliseen koteloon raitiovaunun sisätiloissa*

#### **4.5 Kaapeleiden asennuspituudet**

Poikkipinta-alaltaan 16 mm<sup>2</sup> tai pienemmille yksi- ja moninapaisille kaapeleille täytyy asennettaessa jättää ylimääräistä pituutta kullekin liittimelle, jotta voidaan tehdä liitintä uudestaan vähintään kolmesti tarvittaessa. Kuitenkin jos kaapelit päätetään pistokkeella, voi olla epäkäytännöllistä jättää näille kaapeleille varapituutta. (8, s. 22.)

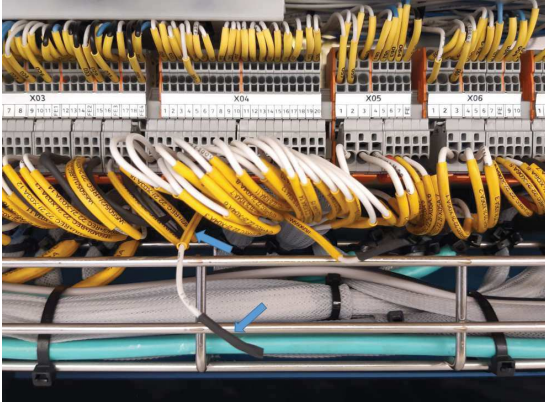
Vaikka kaapelointireitit suunnitellaan etukäteen, jokaista kaapelin tai johtosarjan mutkaa ja aivan täsmällistä paikkaa hyllyissä ja vaunussa ei voida millään määrittellä etukäteen. Siitä syystä johtosarjoille ja kaapeleille jätetään suunniteltaessa aina hieman ylimääräistä asennuspituutta, jotta kaapelointi yltää asennettaessa varmasti perille. Samalla kaapeloinnille jätetään varoja mahdollisia uusia liitoksia varten. Esimerkiksi jos kaapelin läpivientiholkki vikaantuu ja se täytyy vaihtaa, kaapelikengä joudutaan irrottamaan kaapelista katkaisemalla se irti, koska kenkä ei mahdu usein läpivientiholkin läpi. Uuden kaapelikengän asennus vaatii kaapeleilta lisäpituutta. Ylimääräiset pituudet hävitetään sopiviin paikkoihin kaapelointireiteillä.

#### **4.6 Varajohtimien asennus**

Asennusvaiheessa on jätettävä vaunuun varajohtimia myöhempää tarvetta varten. Yleisesti vaatimuksena on, että jokaisessa moninapakaapelissa tai kaapelipussissa, jossa on enemmän kuin 10 johdinta, on oltava 10 % varajohtimia tai vähintään kaksi ylimääräistä johdinta. Paikkoihin, joihin jälkikäteen ei pääse käsiksi, on jätettävä vielä enemmän varajohtimia. Lisäksi tulee varautua asianmukaisella määrällä varaliittimiä tai ylimääräisellä tilalla lisätä liittimiä tarvittaessa. Myös kaapelihyllyille ja asennusputkiin on jätettävä tilaa myöhemmin mahdollisesti tehtäviä kaapelilisäyksiä varten. (8, s. 25–26.)

Johtosarjoja suunniteltaessa varajohtimia lisätään johtosarjojen sisään, ja ne tulevat asennettua johtosarjojen mukana. Myös laitelevyjä suunniteltaessa otetaan huomioon mahdollinen riviliitinten lisäystarve myöhemmässä vaiheessa jättämällä laitelevyille tyhjää tilaa din-kiskoilla.

Varajohdinten kytkemättömät päät on viimeistään asennusvaiheessa suojattava kutistesukalla tai sähköteipillä. Kytkemättä jätettävät johtimet tulee koota siististi kerälle ja kiinnittää luokse päästävään paikkaan, esimerkiksi kaapelihyllylle laitelevyn alapuolelle (kuva 11). Myös varajohtimet on merkittävä ja testattava. (8, s. 26.)



*KUVA 11. Varajohdin laitelevylle menevässä johtosarjassa*

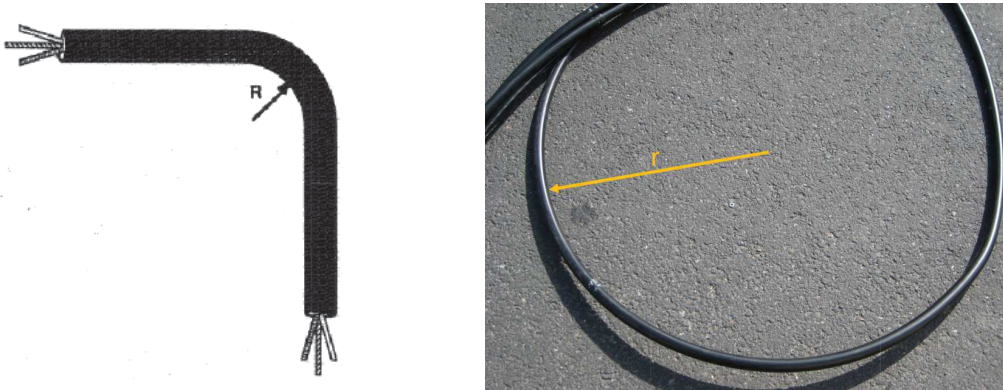
#### **4.7 Kaapeleiden jatkaminen**

Raitiovaunujen valmistuksessa uusia asennuksia tehtäessä kaapeleiden jatkaminen ei ole sallittua. Huolto- ja korjausvaiheessa kiinteästi asennettuja, poikkipinta-alaltaan enintään 6 mm<sup>2</sup> olevia kaapeleita voidaan tarvittaessa jatkaa eristetyillä jatkoliittimillä. (8, s. 25.)

Jatkoliitosten teossa on kuitenkin syytä käyttää tapauskohtaista harkintaa ja ensisijaisena keinona on aina vaihtaa koko kaapeli tai johdin, jos se on mahdollista. Erityistä harkintaa on syytä käyttää jo yli 2,5 mm<sup>2</sup> johtimien jatkamisessa, koska virrat voivat olla näissä jo kohtuullisen isoja. Jos jatkoliitoksia joudutaan tekemään, käytettyjen jatkoliittimien, puristustyökalujen ja työskentelytapojen tulee olla laadukkaita ja kiskokalustotuotteeseen sopivia. Jatkoliitoksen paikka täytyy valita siten, että jatkoliitin voidaan sijoittaa niin, ettei se pääse heilumaan eikä kiristymään ja liitoksen kuntoa voidaan tarvittaessa tarkkailla. (16.)

## 4.8 Kaapeleiden taivutussäteet

Kaapeleille on määritetty pienin sallittu taivutussäde, jonka kaapelimateriaalit kestävät vaurioitumatta. Taivutussäde  $R$  mitataan yleensä kaapelin sisäsyrjän puolelta (kuva 12).



KUVA 12. Kaapelin taivutussäde  $R$  (8, s. 21; 17, s. 5)

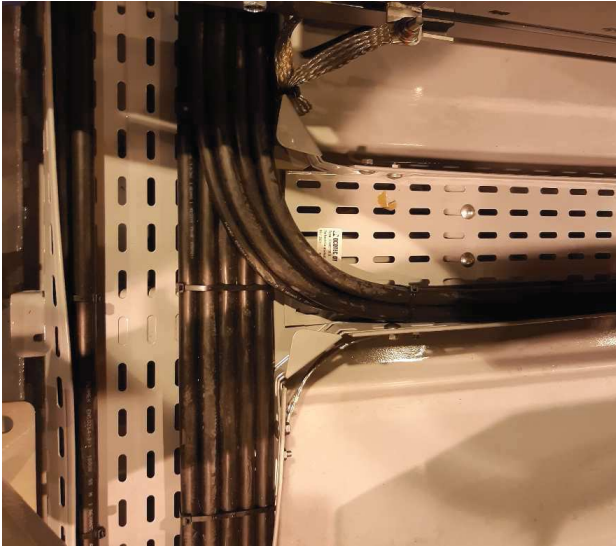
Kaapeleita täytyy käsitellä ja ne täytyy asentaa ja kiinnittää siten, että ei aliteta valmistajan tai standardin kaapeleille määrittämiä minimitaivutussäteitä. Useita eri halkaisijan omaavia kaapeleita tai johtimia sisältävää nippua asennettaessa taivutussäteen on oltava vähintään korkeimman minimitaivutussäteen omaavan kaapelin taivutussäde (8, s. 20–21).

Taulukossa 5 on esitetty standardissa EN 50355:2013 määritellyt minimitaivutussäteet  $R$  suojaamattomille ja suojatuille kaapeleille kiinteissä asennuksissa.  $D$  tarkoittaa kaapelin kokonaishalkaisijaa. Jos kaapelivalmistaja on määritellyt kaapelille minimitaivutussäteen, tulee sitä noudattaa ensisijaisesti. (8, s. 21.) Kuvassa 13 on kaapeleiden taivutuksia kiinteässä asennuksessa raitiovaunun katonalla.

TAULUKKO 5. Minimitaivutussäteet  $R$  kiinteissä asennuksissa (8, s. 21)

Kaapelihalkaisija $D$ [mm]	$\leq 12$	$> 12$
Minimitaivutussäde $R$ [mm], suojaamaton kaapeli	4D	5D
Minimitaivutussäde $R$ [mm], suojattu kaapeli	10D	10D





*KUVA 13. Kaapeleiden taivutuksia kaapelihyllyssä*

Kaapeleiden liikkuvissa asennuksissa vaaditut minimitaivutussäteet ovat yleensä isompia kuin kiinteissä asennuksissa vaaditut taivutussäteet. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi teli- ja vaunuvälikaapeloinnin liikkuvat osuudet. Myös suojaetuilla kaapeleilla voi olla isommat minimitaivutussäteet kuin suojaamattomilla kaapeleilla. Lisäksi suojaetukia sisältävien johtosarjojen asennuksessa on noudatettava suojaetukille annettuja minimitaivutussäteitä. Kuvassa 14 näkyy suojaetukilla suojaettujen johtosarjojen taivutuksia telin liikkuvalla alueella.



*KUVA 14. Suojaetukien taivutuksia telin liikkuvalla alueella*

## 4.9 Kaapeleiden kiinnitys

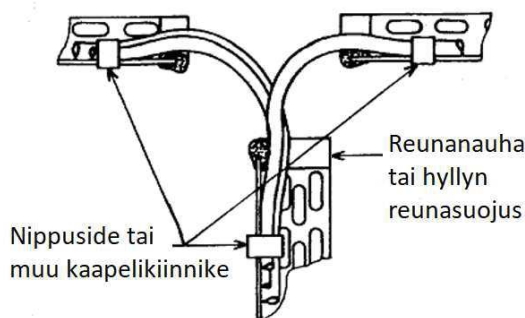
Kaapeloinnin kiinnityksessä käytettävissä tarvikkeissa ei saa olla teräviä reunoja. Kaapeleita kiinnitettäessä on varmistettava, että kaapelit ja johtimet pysyvät ehjänä käsittelyn aikana ja kiinnikkeitä ei kiristetä niin tiukalle, että ne vahingoittavat kaapelin eristystä. Kiinnikkeet on asetettava siten, että ne eivät vaurioita kaapeleita käytön aikana esimerkiksi värinän seurauksena. (8, s. 22.)

Ellei kaapelivalmistaja ole muuta maininnut, yleisesti kaapelit on kiinnitettävä siten, ettei ylitetä suurimpia sallittuja kiinnitysvälejä taulukon 6 mukaan. Kiinnitysvälejä on noudatettava myös päätepisteen ja ensimmäisen kiinnityspisteen välillä. (8, s. 26.)

TAULUKKO 6. Kaapeloinnin suurimmat sallitut kiinnitysvälit (8, s. 26)

Kaapelityyppi / asennustapa	Kiinnitysväli vaakasuuntaisessa asennuksessa [mm]	Kiinnitysväli pystysuuntaisessa asennuksessa [mm]
Tehokaapelit Moninapakaapelit Johtosarjat	300	500
Yksinapaiset kaapelit, yksittäin asennetut	150	150

Lisäksi kaapelit täytyy kiinnittää aina reunojen läheltä, esimerkiksi kaapelihyllyissä, jotta värinässä kaapeli ei jää hankaamaan reunaa vasten. Kaapelit on hyvä kiinnittää myös kaapelitaivutuksen molemmista päistä. (Kuva 15.) (8, s. 22.)



KUVA 15. Esimerkki kaapeleiden kiinnityksestä ja suojauksesta teräviltä reunoilta (8, s. 22)

Esimerkiksi telissä olevan liikkuvan kaapeloinnin kiinnityksessä on otettava huomioon telin liikevarat. Kaapelit on sidottava niin, että ne laskeutuvat oikein ja missään liikkeen asennossa kaapelit eivät kiristy liikaa, eivätkä jää hankaamaan ympäröiviin rakenteisiin. Kaapeleiden kiinnityksen jälkeen kyseiset alueet on testattava koko liikealueellaan, jotta voidaan todeta, että kaapelointi toimii oikein.

Raitiovaunuja valmistettaessa kaapelit kiinnitetään enimmäkseen muovisilla nippusiteillä vaunussa kulkeviin kaapelihyllyihin ja kaapelikorvakoihin. Lisäksi alustassa, jossa kaapelointi on alttiimpaa lumelle, jäälle, kiville ja muille esineille, käytetään kestävämpiä rosterisia nippusiteitä ja putkikiinnikkeitä (kuva 16), joilla suoja-putkilla suojatut johtosarjat kiinnitetään vaunun runkoon ruuviliitoksilla. Lisäksi käytetään esimerkiksi metallisia kumipäälysteisiä asennussiteitä (kuva 16), jotka on helppo kiinnittää ruuvinkantojen alle esimerkiksi laitteille meneviä kaapelointeja kiinnitettäessä. Kiinnikkeiden tulee olla oikean kokoisia suhteessa kaapelin tai suoja-putken ulkohalkaisijaan.



*KUVA 16. Kaapeloinnin putkikiinnikkeitä alustassa ja johtosarjan kiinnitys asennussiteellä*

Raitiovaunun ruuvikiinnitteisissä kiinnikkeissä tulee käyttää ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnitystarvikkeita, jotta ne kestävät vaativissa ympäristöolosuhteissa. Alustan kiinnitystarvikkeiden tulee olla lisäksi haponkestävää terästä. Aluslevyinä tulee käyttää DIN 25201 mukaisia lukituslaattoja, jotta liitokset

pysyvät kiinni tärinässä. Kierteissä tulee käyttää kierretahnaa ja liitokset kiristään ruuvikoon mukaisiin momentteihin ja merkitään momenttiviivalla.

Nippusiteiden lukot on asemoitava niin, etteivät ne jää vieressä olevia kaapeleita tai maadoituspunoksia vasten. Liikkuvissa asennuksissa on varmistettava, etteivät kaapelit tai punokset pääse liikkua hankaamaan nippusiteiden lukkoja vasten kuten kuvassa 17 on tapahtunut.



*KUVA 17. Nippusiteen lukon rikki hankaama maadoituspunos*

Tarvittaessa kaapeleiden kiinnityspisteitä voidaan lisätä liimaamalla nippusideankkureita sellaisiin kohtiin, joihin ei saa järjestettyä rakenteessa valmiiksi olevia kiinnityspisteitä. Nippusideankkureiden avulla kaapelit ja johtosarjat saadaan sidottua tarpeeksi tiheästi ja niin, etteivät kaapelit jää hankaamaan mihinkään. (Kuva 18.)

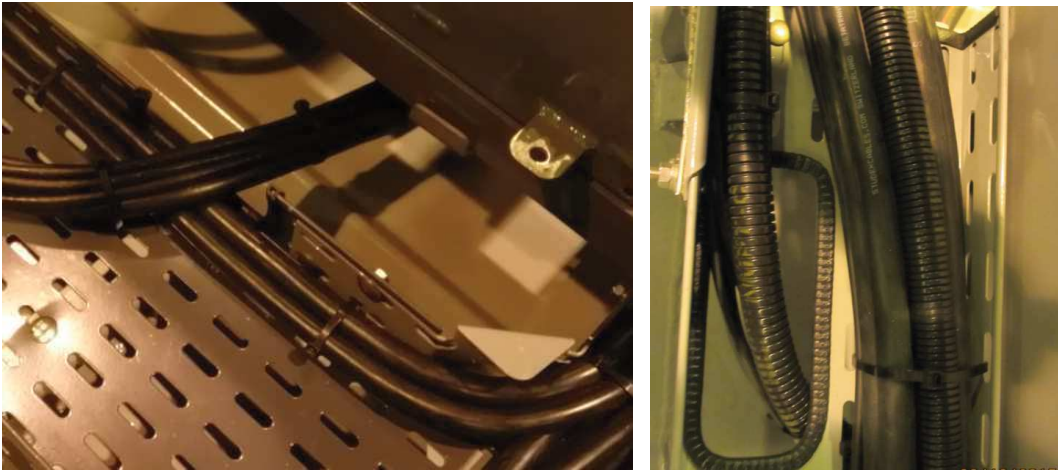


*KUVA 18. Nippusideankkureita kaapeloinnin kiinnityksessä*

#### 4.10 Kaapeleiden mekaaninen suojaus

Lähtökohtana on, että kaapelit ja johtosarjat kuljetetaan sellaisia reittejä pitkin ja sidotaan niin, etteivät ne jää hankaamaan teräviä reunoja vasten. Välillä kaapelointia on kuitenkin kuljetettava reunojen ja eri rakenteiden yli.

Tällöin ympäristön terävät reunat kaapeloinnin lähettyviltä on suojattava reunanauhalla tai muulla luotettavalla tavalla (8, s. 22). Kaapelihyllyjen avoimissa päissä käytetään päätysuojia, jotta metallihyllyn terävä reuna ei vahingoita kaapeleita. Hyllyjä voidaan aukottaa sopivista kohdista, jotta kaapeleiden vienti laitteille tai läpivienneille olisi helpompaa. Aukotetut hyllyreunat on aina suojattava metallivahvisteisella reunanauhalla. (Kuva 19.)



*KUVA 19. Aukotettuja kaapelihyllyjä ja reunojen suojaaminen reunanauhalla*

Lisäksi kaapelit on suojattava riittävästi esimerkiksi vaunun alustassa kimpoilevia kiviä ja jäälohkareita vastaan (8, s. 22). Alustassa ja keulassa kaapeleiden ja johtosarjojen suojana käytetään muovisia suojaputkia antamaan lisäsuojaa. Kaapelille voidaan antaa myös lisäsuojaa kietomalla kaapelin ympärille suoja-putkia tai kumimattoa. Kuvassa 20 näkyy johtosarjojen suojaamista kumimatolla ja suoja-putkilla kaapeliasennuksissa.



*KUVA 20. Johtosarjojen suojaamista kumimatolla ja suojaspiraalilla*

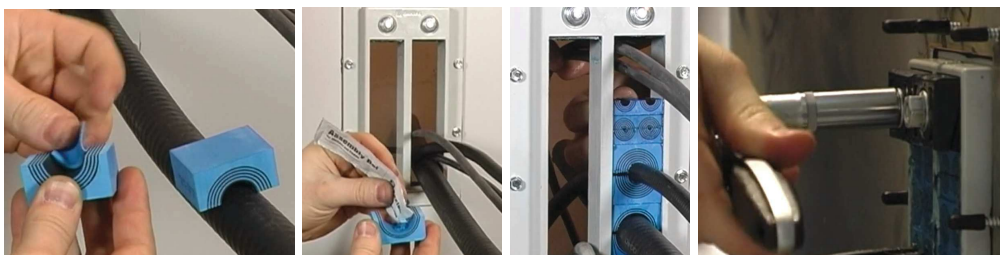
#### **4.11 Kaapeliläpiviennit**

Kaapeleiden ja suojaputkellisten johtosarjojen läpiviennit raitiovaunun sisältä ulos ja laitekoteloiden sisälle toteutetaan erilaisilla läpivientilaipoilla, -holkeilla, -tiivisteillä, -kumeilla ja putkipäätteillä. Kuvassa 21 on esitetty erilaisia läpivientiratkaisuja raitiovaunussa. Läpivientikoot valitaan sopiviksi kunkin kaapelityypin ulkohalkaisijan, käyttötarkoituksen ja sen mukaan, missä ne sijaitsevat vaunussa. Alueilla, joissa kulkee paljon kaapeleita, suositaan läpivientilaippakokonaisuuksia, joihin on helppo asentaa useita eri kokoisia kaapeleita muokattavien tiiviste-moduulien ansiosta. Varsinkin vaunun katolla olevat kaapeliläpiviennit ovat alttiita kosteudelle, sateelle ja harjapesukoneesta tulevalle vedelle, joten myös läpivientien tiiveys muiden vaunun rakenteiden ohella varmistetaan raitiovaunun vesitesillä.



*KUVA 21. Erilaisia kaapeliläpivientejä raitiovaunussa*

Asennettaessa on käytettävä suunnittelurakenteiden mukaisia läpivientejä, jotta tiiveys- ja materiaalivaatimukset täyttyvät. Läpivientejä kasattaessa on varmistettava, että tiivisteet ovat ehjät. Läpiviennit on kasattava ja kiristettävä läpivientivalmistajan ohjeiden mukaan, jotta läpiviennit saadaan varmasti tiiviiksi. Kuvassa 22 on esitetty eri vaiheita Roxtec läpivientilaipan tiivistemoduulien kasausta.



*KUVA 22. Roxtec läpivientilaipan tiivistemoduulien kasausta (18)*

Kaapeleita läpivienteihin kiristettäessä on huolehdittava, että kaapelit lähtevät kohtisuoraan tiivistepalaan tai läpivientiholkkiin nähden. Kaapelit on sidottava läpivientien läheisyydestä läpivientien molemmilta puolilta siten, ettei kaapeli jää vääntämään tiivisteeseen rakoa, jolloin se voi vuotaa.

EMC holkkitiivisteiden tekoa ja kaapelin katkaisua ja kuorintaa oikeasta kohdasta helpottaa se, että holkki kiinnitetään aluksi paikalleen laitteeseen ja kaapeli vietään holkin läpi laitteen sisällä kytkentäpisteelle asti. Sen jälkeen kaapeliin tehdään merkintä holkin juureen ja kaapeli ja holkki irrotetaan. Tämän jälkeen kaapeli kuoritaan merkatusa kohdasta ja holkki kytketään kaapeliin ja laitteeseen valmistajan ohjeiden mukaan. (15.) Kuvassa 23 on esitetty esimerkkejä EMC holkkitiivisteiden rakenteesta.



*KUVA 23. Esimerkkejä EMC holkkitiivisteiden rakenteesta (19; 20, s. 9)*

#### **4.12 Kytkenät**

Erilaisia kaapelin tai johtimen kytkentätapoja liittimeen tai suoraan liitännäpisteeseen ovat krimpkaus, joka tarkoittaa liittimen kiinnittämistä johtimeen tai kaapeliin mekaanisesti puristamalla, juottaminen, hitsaaminen tai kuoritun kaapelin liittäminen suoraan esimerkiksi jousipuristeisella liitoksella. Kytkentätavan ja liittimien valinnassa täytyy ottaa huomioon muun muassa yhteensopivuus laitteissa tai kytkentäpisteissä olevien vastaliittimien kanssa, liittimen sopivuus johdinkokoon, liittimen materiaalien palokäyttäytyminen ja lämmönkesto, mekaaniset ominaisuudet, sähköiset ominaisuudet kuten jännitteen kesto ja jännitehäviöt, vaadittu suojaus, ympäristöolosuhteet ja käytettävissä olevat kytkentätyökalut. Esimerkiksi



kaapelikengät täytyy valita siten, että kaapelikengän kontaktipinnan pinta-ala on tarpeeksi iso suhteessa läpikulkevaan virtaan. (8, s. 27–29, 54.)

Raitiovaunun sähköliitännöissä käytetään muun muassa kaapelikenkäliitoksia tinatuilla kuparikiskoilla ja laitteiden kytkennöissä, erityyppisiä, pääsääntöisesti jousivoimaisia riviliittimiä ja riviliitinpistokkeita laitelevyillä ja laitteiden kytkennöissä sekä M12-liittimiä väyläkaapeloinnissa. Lisäksi käytetään erilaisia pikaliittimiä projektien vaatimusten ja mahdollisuuksien mukaan. Kytkennät liittimen kontakteihin ja kytkentäpisteisiin on esitetty piirikaavioissa, johtosarjakuvissa ja kytkentälistoissa.

Jokaiselle kytkennälle täytyy tehdä käytetylle liitintyypille tai kytkentätavalle ominaiset valmistelut, ja liittimet on kytkettävä kaapeleihin ja johtimiin ohjeiden mukaan. Sähkökytkentöjä voivat tehdä sähkötöihin pätevät henkilöt. Kaapeliliitoksien tekemiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota, koska huono liitos voi ilmetä vasta käytössä ja seurauksena voi olla liitoksen lämpiäminen ja tulipalo, laiterikko tai jopa hengenvaara (21, s. 3).

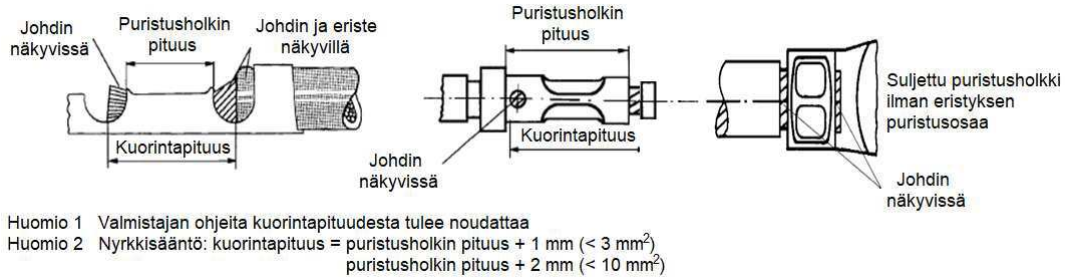
#### **4.12.1 Liittimien kytkeminen kaapeleihin ja johtimiin**

Puristusliitoksia tehtäessä tulee noudattaa laite- ja komponenttivalmistajan puristusohjeita ja standardia SFS EN 60352-2 Solderless connections - Part 2: Crimped connections - General requirements, test methods and practical guidance. Lisäksi prosessin aikana tulee tarkkailla liitosten puristusjälkeä ja puristuslaitteen kuntoa. (21, s. 6.)

Puristusliitoksessa tulee käyttää vain suunnittelussa määriteltyjä ja liitokseen sopivia komponentteja ja puristukseen kyseiselle liittimelle tarkoitettuja puristustyökaluja, jotka on kalibroitu. Kaapelikenkäliitoksia voivat tehdä sähköalan koulutuksen saaneet ja liitosten tekoon pätevytetty henkilöt. (22, s. 21.)

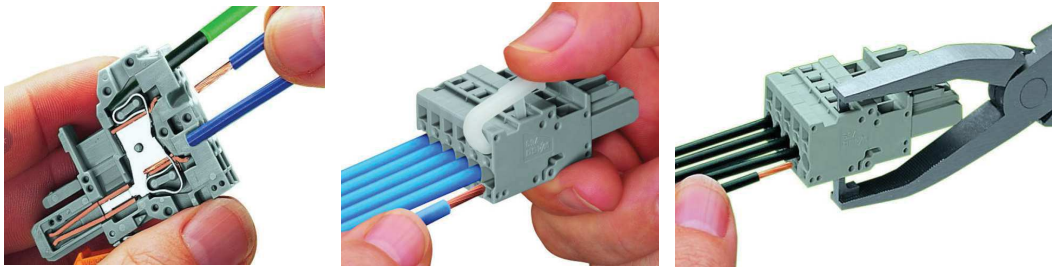
Kaapeli täytyy kuoria määriteltyyn pituuteen eivätkä säikeet saa vahingoittua. Kuorittu osa täytyy puhdistaa ennen liitosta. Johtimen säikeiden kierteen tulee olla oikea ja tarvittaessa se täytyy korjata kevyesti kiertämällä. Johdin tulee asentaa liittimeen niin, että se on oikealla syvyydellä liittimen sisällä. Pääsääntöisesti

tulee käyttää tarkastusreiällä olevia kaapelikenkiä, mutta jos kengässä ei ole tarkastusreikää, oikea syvyys täytyy varmistaa mittaamalla. Lisäksi kaikkien säikeiden tulee olla liittimen sisällä. Mikäli liittimessä on eristyksen puristusosa, tulee kaapelin eristys asentaa oikein eristyksen puristusosaan. (22, s. 24–25.) Oikea kuorintapituus ja puristusliitos avoimelle ja suljetulle liittimelle on esitetty kuvassa 24.



*KUVA 24. Oikea kuorintapituus ja puristusliitos avoimelle ja suljetuille liittimille (22, s. 77, 85)*

Pistokeliittimien kytkennässä johtimiin tai johtimien ja kaapeleiden kytkennässä suoraan riviliittimille tulee käyttää liitinvalmistajan ohjeita kuorinnasta sekä tarvittaessa liittintyypeille tarkoitettuja kytkentätyökaluja (kuva 25). Liittimiä auki vääntäessä on varottava vahingoittamasta liittintä.



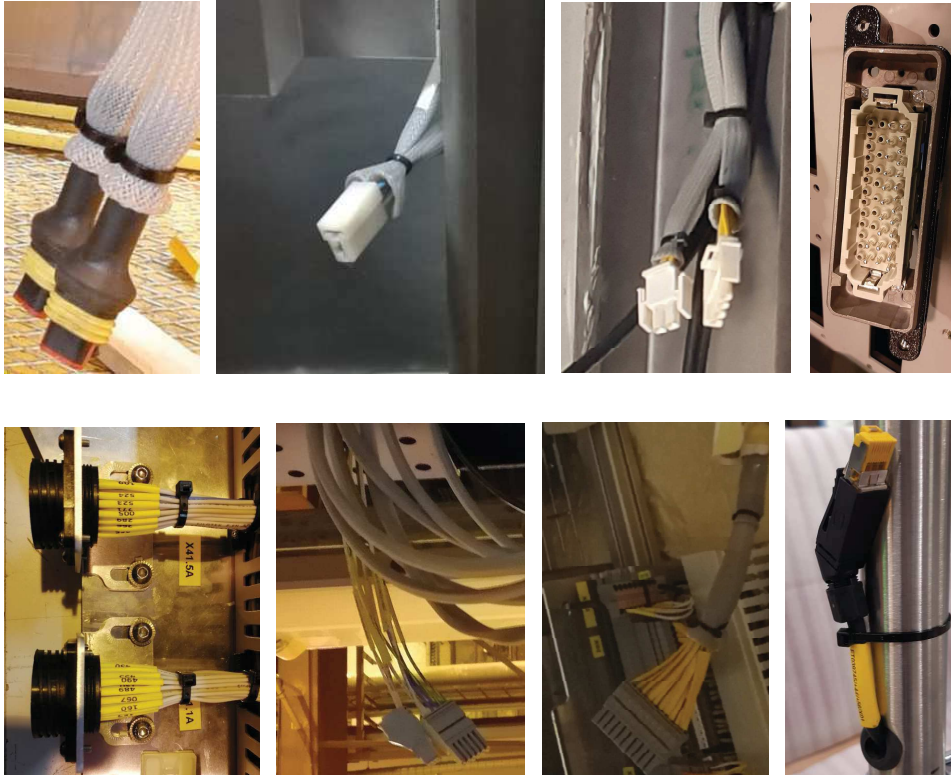
*KUVA 25. Johtimien kytkeminen pistokeliittimeen (23)*

M12 liittimien (kuva 26) kasausohjeessa on kerrottu ohjeet tiivisteeseen valinnalle, vaipan ja johtimien kuorinnalle, kontaktien puristamiselle, suojapunoksen käsittelylle ja kontaktien ja liitinrungon kasaamiselle. Liittimiä laitteelle kytkettäessä on käytettävä liitinvalmistajan liittimelle määrittämää kiristysmomenttia. (24.)



*KUVA 26. M12-liitin ja M12-liittämiä johtosarjoissa (24)*

Myös pikaliittimien ja niissä mahdollisesti olevien läpivientien kasauksessa tulee noudattaa liitintyyppin mukaisia valmistajan ohjeita. Kytkenät kontakteihin tulee tehdä piirikaavioiden, johtosarjakuvien ja kytkentälistojen mukaan. Erilaisia raitiovaunussa käytettyjä pikaliittämiä on koottu kuvaan 27.



*KUVA 27. Erilaisia pikaliittämiä raitiovaunun johtosarjoissa*

#### 4.12.2 Kytcentöjen teko vaunuun

Kaikkien kaapeleiden ja johtimien päät, lukuun ottamatta varajohtimia, täytyy kytkeä molemmista päistään (8, s. 27). Kytcentät täytyy tehdä piirikaavioiden ja johtosarjakuvien mukaan.

Raitiovaunun sisäkatossa sijaitseville laitelevyille kytcentät tehdään pääsääntöisesti laitelevyn riviliitinrimoille johtosarjoihin valmiiksi kytcentyillä riviliitinpistokkeilla. Myös laitteiden signaaliliitynnät toteutetaan suurimmaksi osaksi laitteiden kytcentäkoteloidissa riviliitinpistokkeilla tai kytcentöillä suoraan riviliittimille. Myös teho- ja syöttökaapeleita kytcentään riviliittimille vaunun katolla. (Kuva 28.)



*KUVA 28. Riviliitinpistokkeen, johtimen tai kaapelin kytcentäminen erityyppisiin riviliittimiin (25; 26; 27, s. 16)*

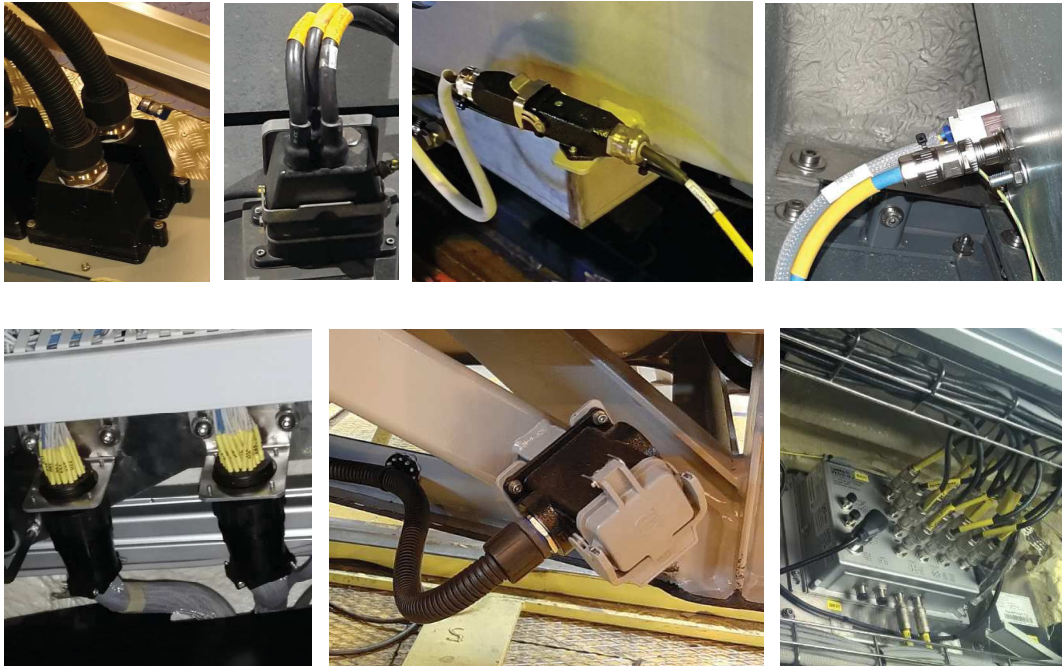
Osa johtosarjoista voidaan joutua suunnittelemaan ja asentamaan siten, että johtosarjan liittimet, esimerkiksi riviliitinpistokkeet, ovat irtonaisina johtosarjan mukana pussissa. Liittimet voidaan joutua jättämään irralleen sen vuoksi, että ne eivät mahdu esimerkiksi kaapeliläpiviennin läpi. Liittimet kytcentään johtosarjoihin sen jälkeen, kun johtosarja on asennettu muuten vaunuun.

Kytcentävaiheessa vaunuun johtosarjojen johtimien ja kaapeleiden pituudet täytyy tarkastaa. Tehtäessä kaapeloinnin kytcentöjä laitelevyille (kuva 29) tai laitteiden kytcentäpisteisiin johtimia voidaan joutua katkomaan ja riviliitinpistokkeet kiinnittämään uudelleen johtimiin. Tämä johtuu siitä, että johtimet voivat olla liian pitkiä tai ne eivät ole tasapituisia, jolloin johtosarjojen nousuja hyllyiltä laitelevyille ja kytcentöjä ei saada siististi ilman pituuksien korjaamista.



*KUVA 29. Johtosarjan johtimia kytkettynä laitelevyille pistokelittimillä ja laitelevyjen sisäistä johdotusta kytkettynä jousikuormitteisilla liittimillä*

Lisäksi laitelevyillä tai muualla vaunussa sijaitseville laitteille voidaan kytkeytyä laitteelle ominaisilla liittimillä, jotka lähtökohtaisesti on kytketty johtosarjoihin valmiiksi. Kiinnitettäessä liittimiä vastaliittimiin tulee varmistaa, että tiivisteet ovat kunnossa ja liitinrungon mahdolliset ruuviliitokset vastaliittimeen kiristetään oikein. Isot liitinrungot on myös kiinnitettävä vaunun rakenteisiin ruuviliitoksilla. Kiinnitystarvikkeiden tulee olla ruostumatonta terästä tai alustassa haponkestävää terästä. Liitoksissa on käytettävä lukituslaattoja ja kierteisiin tulee laittaa kierretahnaa. Liitokset kiristetään ja merkitään. Liitinrungot, joilla ei ole erillistä kiinnitystä vaunuun, täytyy sitoa ympäröiviin rakenteisiin siten, että liitinpaketti ei pääse heilumaan. Kuvassa 30 on nähtävillä erilaisia liitinrunkoja kiinnitettynä raitiovaunun rakenteisiin ja pikaliittimiä kytkettynä vastaliittimiin.



*KUVA 30. Erilaisia pikaliittimiä kytkettynä ja kiinnitettynä raitiovaunussa*

Muun muassa katolla tehokaapeleita kytketään sähkökoteloihin ja laitteille ruuvi-kiinnitteisillä kaapelikengäliitoksilla. Lähtökohtaisesti kaapelikengät tulevat kaapeleiden mukana irrallaan ainakin toisessa päässä kaapelia, koska usein kaapelikengät eivät mahdu läpivientiholkkien läpi. Kaapelikengä liitetään kaapeliin ennen kytkentää sen jälkeen, kun kaapeli on asennettu läpivientien läpi.

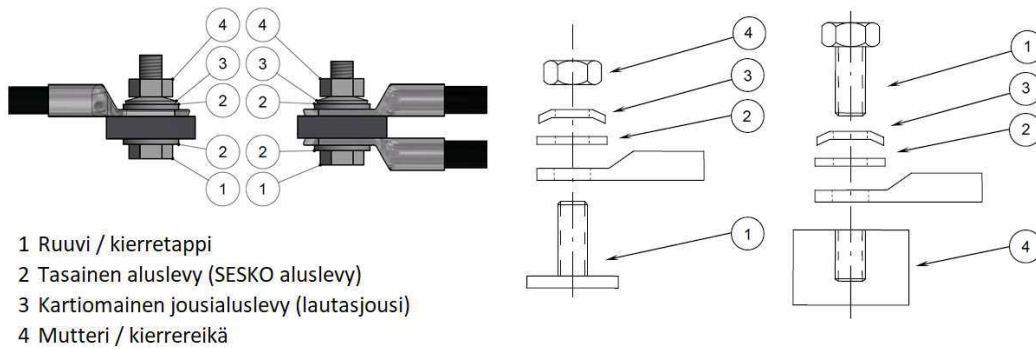
Kytkenän jälkeen kaapelit tai johtosarjat on myös kiinnitettävä tarpeeksi läheltä kytkentäpistettä vedonpoiston varmistamiseksi. Liittimen juureen tai kytkentäpisteeseen ei saa jäädä rasiutusta.

#### **4.12.3 Virtakiskoliitokset ja muut kaapelikengäliitokset laitteille**

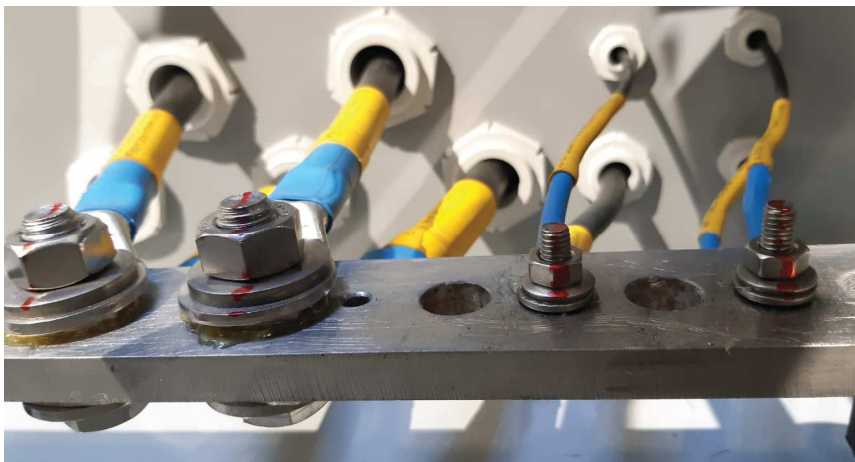
Kaapelikengien määrä liitosta kohden virtakiskolla tai muissa kaapelikengäliitoksissa on määrätty siten, että samalla ruuviliitoksella voi kiinnittää enintään kaksi tehokaapeleiden kaapelikengää. Vastaavasti samalla ruuviliitoksella voi kiinnittää enintään kolme ohjauskaapeleiden kaapelikengää. (8, s. 28–29.)

Kaapelikengäliitokset virtakiskolle on tehtävä oikein, jotta varmistetaan sähköinen kontakti ja liitoksen kiinnipysyminen tärinässä. Kontaktipinnat on puhdistettava

esimerkiksi teräsharjalla ennen liitoksen tekoa. KytKentä- ja liitosmateriaalien välillä ei saa olla liian isoa potentiaaliero, jotta heikompaan materiaaliin ei ala muodostua galvaanista korroosiota (8, s. 29). Raitiovaunun sähkökoteloissa olevissa virtakiskoissa käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnitystarvikkeita. Kiinnitystarvikkeiden kokojen tulee olla sopivia kaapelikengän ja kiinnitysreiän tai -tapin kokoon nähden ja sähköliitoksissa tulee käyttää oikeantyyppisiä aluslevyjä. Lisäksi kiinnitystarvikkeet ja kaapelikengät tulee laittaa oikeaan järjestykseen liitosta kasattaessa (kuva 31). Liitospinnoissa käytetään sähköä johtavaa liitosrasvaa kontaktin parantamiseksi. Liitokset kiristetään määrättyyn momenttiin ja lopuksi kiristetetyt liitokset merkitään momenttiviivalla (kuva 32).



*KUVA 31. Kaapelikenkäliiitos yhdellä ja kahdella kaapelikengällä (8, s. 32–33)*



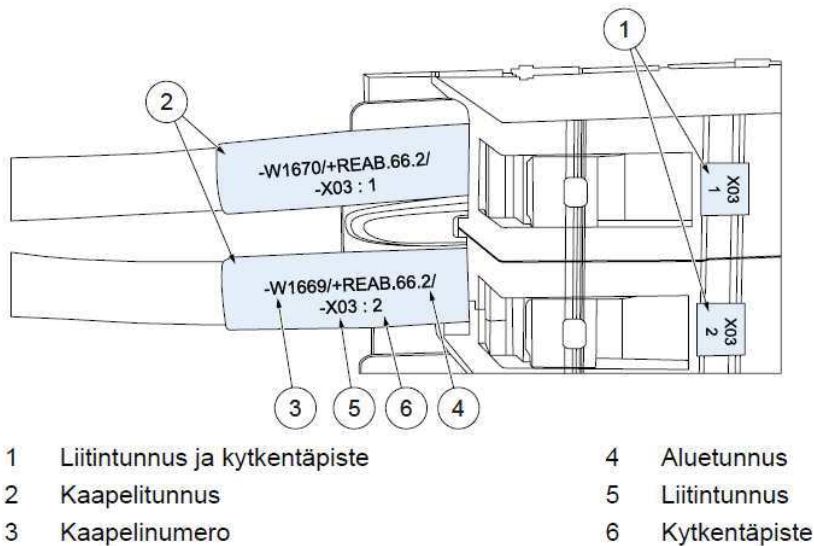
*KUVA 32. Kiristettyjä ja merkattuja kaapelikenkäliitoksia virtakiskolla*

#### 4.13 Kaapelimerkinnät

Kaikki kaapelit ja yksittäiset johtimet, mukaan lukien varajohtimet, on merkittävä molemmista päistään. Moninapakaapeleiden yksittäisiä johtimia ei kuitenkaan välttämättä tarvitse merkitä, jos itse kaapeli on merkitty dokumentaation mukaan ja jos yksittäiset johtimet ovat tunnistettavissa johtimien eristevärien tai numeroinnin perusteella. Myös liittimet on merkittävä. (8, s. 36–37.)

Merkintöjen tulee olla vaihdettavia ja itse merkinnän pitää olla helposti luettavissa ja kestää tuotteen koko elinkaaren ajan. Merkinnän täytyy olla piirikaavioiden ja muun dokumentaation mukainen. (8, s. 36.)

Kuvassa 33 on esitetty kaapeleiden merkintätapa raitiovaunuprojekteissa. Kaapelitunnus (2) kertoo paikan, johon kaapeli tai johdin kytketään kytkentäpistetasolla (1). Kaapelitunnus muodostuu kaapelinumerosta (3), aluetunnuksesta (4), liittintunnuksesta (5) ja kytkentäpisteestä (6). Johdin- ja kaapelitunnus muodostuvat juoksevasta numerosta piirikaavion tekovaiheessa. Aluetunnuksessa R tarkoittaa rata-ajoneuvoa, E raitiovaunua, AB vaunumoduulin tunnusta (A, B, C...), jossa kytkentäpiste sijaitsee ja numerosarja sijaintipaikkaa vaunumoduulissa projektiin määriteltujen aluekarttojen sijainnin mukaan ja viimeinen numero kyseisellä alueella sijaitsevaa sähkölaitetta. (14, s. 7–8, 24.)



KUVA 33. Kaapeleiden merkintä (14, s. 24)

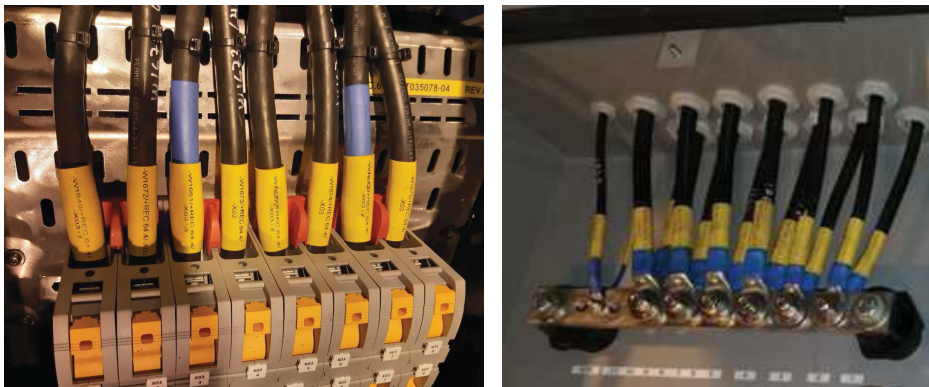


Kaapelimerkit tulevat yleensä johtosarjojen mukana kutistamattomina. Asennusvaiheessa on tarkastettava piirikaavioista tai johtosarjakuvista, että merkinnät ovat oikeat. Jos merkintöjä puuttuu, kaapelille tai johtimelle on tulostettava merkintä asennusvaiheessa. Kaapelimerkit asetetaan niin, että ne on helppo lukea ja ne kutistetaan paikalleen kaapelihäntien tasaamisen ja kytkentöjen jälkeen (kuva 34). Kytettäessä on tarkastettava, että myös riviliitinmerkinnät ovat paikallaan.



*KUVA 34. Kaapeli- ja johdinmerkinnät laitelevyllä*

Paluvirtakaapeleiden suojaamisessa ja merkitsemisessä käytetään lisäksi sinistä kutistesukkaa selvyuden vuoksi. Muissa kaapeleissa käytetään mustaa kutistesukkaa suojaamiseen. (Kuva 35.)



*KUVA 35. Kaapelimerkintöjä ja paluvirtakaapeleiden merkitseminen sinisellä kutistesukalla*

#### **4.14 Asennusmateriaalit**

Lähtökohtaisesti kaikkien palavien kaapelointimateriaalien on täytettävä kulloisellekin projektille asetetut palovaatimukset. Standardi EN 50343 määrää, että kaapelit on valittava siten, että ne täyttävät palokäyttäytymiseltään standardin SFS-EN 45545 osat 2, 3 ja 5 ja ei metalliset putket, nippusiteet ja muut asennustarvikkeet täyttävät EN 45545 -standardisarjan palovaatimukset (8, s. 12, 27, 31). Lisäksi käytettäviä kaapelointimateriaaleja voi koskea muitakin projektikohtaisia ympäristö-, lujuus- ja materiaalivaatimuksia.

Käytännössä palo- ja muut vaatimukset otetaan suurimmaksi osaksi huomioon jo suunnitteluvaiheessa materiaalivalinnoissa ja komponenttien sijoittelussa vauvuun. Kaikkea asennusmateriaalia, kuten nippusiteitä ja kutistesukkia, ei kuitenkaan pystytä määrittelemään yksityiskohtaisesti valmistusrakenteelle, vaan sopivia käytetään tarpeen ja ohjeistuksen mukaan. Lisäksi kaapelit ja johtosarjat voivat tarvita asennettaessa esimerkiksi lisäsuojauksia teräviä reunoja vastaan, jolloin erilaisia suojamateriaaleja kuten kumimattoa, suojaputkea, suojaspiraalia, suojasukkaa tai lisäkiinnikkeitä lisätään tarpeen mukaan.

Kaapelointia asennettaessa onkin käytettävä rakenteen mukaisia suunniteltuja tarvikkeita ja materiaaleja, eikä niitä saa vaihtaa toisiksi ilman tarkempaa tarkastelua ja suunnittelun konsultointia. Lisäksi määrittelemättömiä lisätarvikkeita käytettäessä on oltava selvillä, mitkä tarvikkeet ovat hyväksytyjä mihinkin projektiin, jotta vaatimukset täyttyvät kaikilta osin.

#### **4.15 Jännitteisten osien kosketussuojaus**

Jännitteiset osat, jotka voivat aiheuttaa sähköiskun, on suojattava suoraa kosketusta vastaan. Lisäksi paikat, joissa vaaditaan riittävä suojaus suoraa kosketusta vastaan, on merkittävä varoituskylteillä. Yleisesti jännitteiset osat, jotka kuuluvat jännitealueisiin 1–3, on suojattava suoraa kosketusta vastaan sijoittamalla ne suljetuille, lukittaville alueille, kuten sähkökoteloihin tai suojuukkujen taakse, tai riittävän etäisyyden päähän. (9, s. 12–13, 22.) Kuvassa 36 on raitiovaunun sähkökotelo, jossa jännitteiset osat on suojattu kosketussuojalla ja vaarasta on ilmoitettu sähkövaaramerkillä.



*KUVA 36. Sähkökotelon kosketussuoja ja sähkövaaramerkki*

Sähkökytkentöjä tehtäessä on huolehdittava, että jännitteiset osat eivät jää kosketukselle alttiiksi ja kaapelit ja johtimet on kuorittu oikein, jotta säikeitä tai johtimen juuri ei jää näkyviin. Lisäksi kaapeleita käsiteltäessä ja asennettaessa on varmistettava, että kaapeleiden eristykset eivät vaurioidu.

#### **4.16 Varoitusmerkinnät**

Jos suunnittelulla tai laitteen lukitsemisella ei voida poistaa kaikkia vaaratekijöitä, vaarasta on varoitettava laitteeseen asennettavilla varoitusmerkinnöillä (kuva 37). Varoitusmerkissä on ilmoitettava esimerkiksi sähköiskuvaarasta ja annettava tarvittavat lisätiedot vaarojen välttämiseksi. Sähkövaaroista varoitettavien varoitusmerkintöjen on oltava standardin EN 61310-1 mukaisia. Varoitusmerkit on sijoitettava näkyvälle paikalle ja niiden on pysyttävä kunnossa koko tuotteen käyttöiän. (9, s. 15.)



*KUVA 37. Sähkökoteloiden sähkövaaramerkkejä katon huoltoluukuissa*

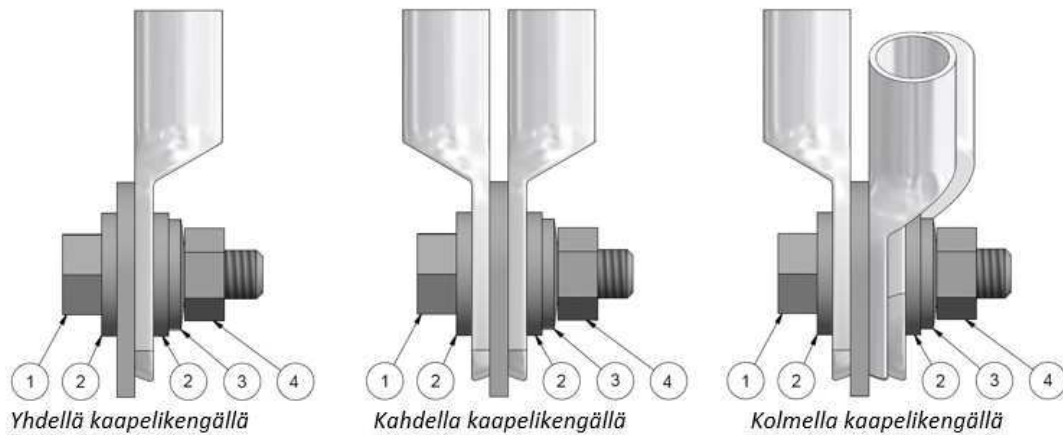
#### **4.17 Maadoitukset**

Kaikki laitteet ja osat, jotka voivat aiheuttaa sähköiskun induktiivisen tai kapasitiivisen johtumisen tai vikatilanteen seurauksena, on maadoitettava. Käytettävien maadoitusjohtimien on kestettävä mekaaniset ja ympäristöstä aiheutuvat rasitukset ja maadoitusjohtimen on oltava helposti tunnistettavissa muodon, sijainnin, merkinnän tai kelta-vihreän värin perusteella. Maadoitusjohdin voi olla eristetty tai eristämätön. Maadoitusjohtimet tulee mitoittaa oikein riittävän lujuuden ja virrankeston varmistamiseksi. (9, s. 15–16.)

Raitiovaunun rakenteiden maadoitus tulee toteuttaa siten, että vaunun rungon ja maadoitettavan kohteen välillä täytyy olla ainakin kaksi eri maadoitusreittiä siltä varalta, että jos toinen maadoitusreitti katkeaa, toinen jää vielä jäljelle. Maadoitusten tulee olla näkyvillä tarkastusta varten. (9, s. 17.)

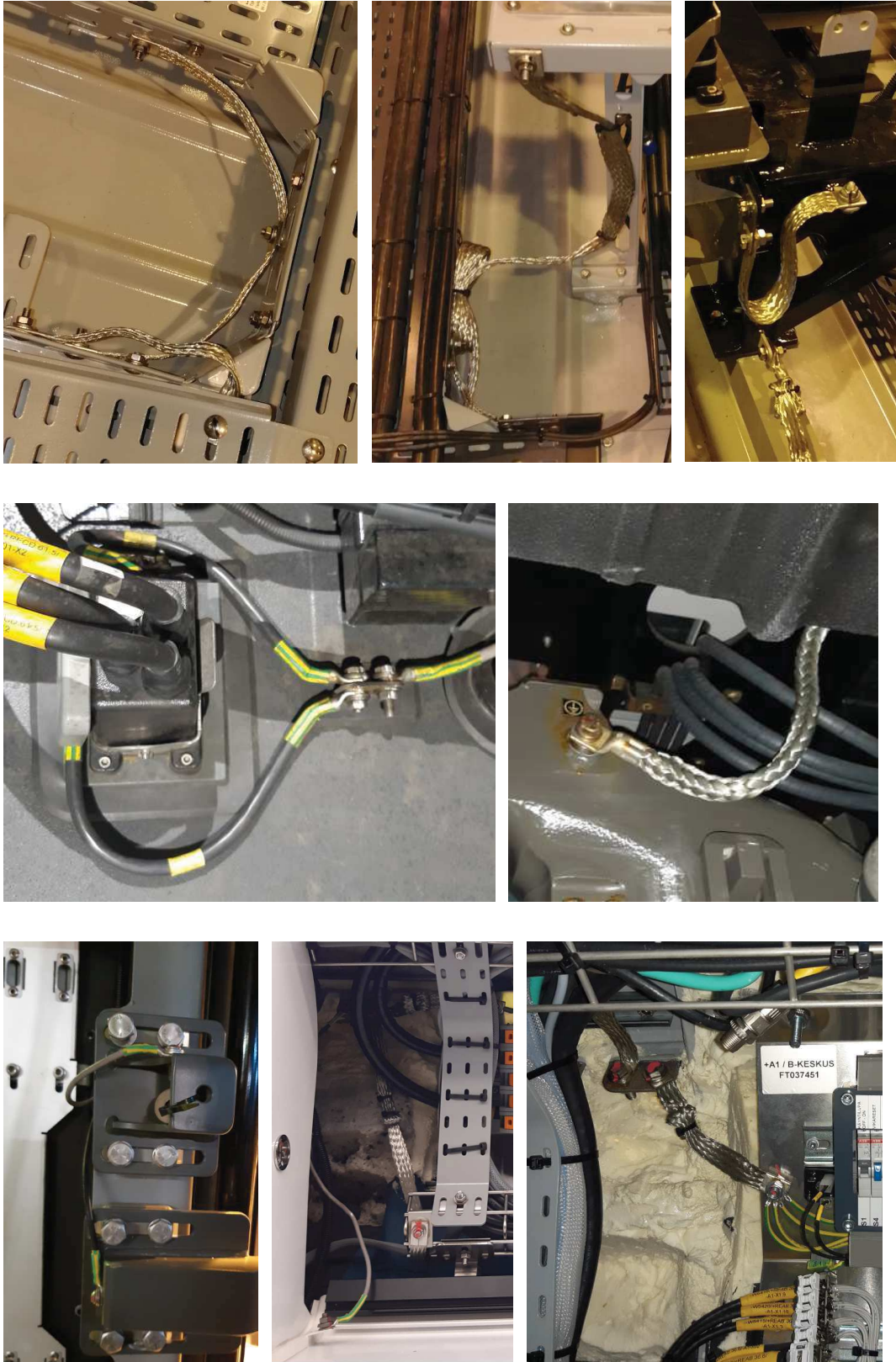
Maadoitusliitoksissa on sallittua kytkeä enintään kolme kaapelikengää samaan ruuviliitokseen maadoituspisteessä (8, s. 28–29). Raitiovaunun maadoituspuosten ja -kaapeleiden kytkennässä käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnitystarvikkeita. Jos laitteiden tai asennustelineiden maadoituskorvakan materiaali on alumiini, kaapelikengän ja maadoituskorvakan välissä on käytettävä Cupal-aluslevyä, jotta estetään sähköparin syntyminen ja galvaaninen korrosio. Maadoitusliitos on tehtävä oikein, jotta liitos pysyy kunnolla kiinni täri-

nässä ja kontakti on kunnossa vikatilanteen sattuessa. Kontaktipinnat on puhdistettava ja rasvattava sähköä johtavalla liitosrasvalla. Kiinnitystarvikkeet ja kaapelikengät tulee laittaa oikeaan järjestykseen liitosta kasattaessa (kuva 38). Liitokset kiristetään ruuvikoon mukaiseen momenttiin ja kiristetyt liitokset merkitään momenttiviivalla. Kuvassa 39 on esitetty erilaisia maadoituksia raitiovaunussa.



- 1 Ruuvi
- 2 Tasainen aluslevy (SESKO aluslevy)
- 3 Kartiomainen jousialuslevy (lautasjousi)
- 4 Mutteri

*KUVA 38. Maadoituspunoksen kytkentä teräskorvakkoon*



KUVA 39. Erilaisia maadoituksia raitiovaunussa

## 5 KAAPELOINNIN TESTAUS

Asennuksen jälkeen valmis kaapelointi on testattava. Standardissa EN 50215:2009 Railway applications - Rolling stock - Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service määritellään myös kaapeloinnille tehtävät käyttöönottestit (8, s. 37).

Rutiinikokeena jokaiselle valmistettavalle raitovaunulle tehtäviä, kaapelointiin liittyviä testejä on useita. Kaapeloinnille tehdään esimerkiksi tarkastus, jossa todetaan kaapeleiden ja liittimien oikeanlainen asennus visuaalisesti sekä syöttölinjojen kytkentöjen oikeellisuus mittaamalla. Vaunun liikkuvilla osilla vaunuväleissä ja teleissä oleva kaapelointi on testattava kaapeleiden ja suojaputkien pituuksien osalta, jotta nähdään, että kaapelointi toimii oikein kaikilla vaunun liikevariaatioilla (28, s. 15). Eristysvastus- ja jännitemittauksella varmistetaan, että kaapeloinnin eristys täyttää sille asetetut vaatimukset (28, s. 20). Paluuvirtapiirin ja maadoitusten tarkastuksilla ja testauksella varmistetaan, että raitiovaunun paluuvirtapiiri ja maadoitukset ovat vaatimusten mukaisia (28, s. 22). Raitiovaunun apukäytön ja ohjausjärjestelmien testeillä todennetaan, että apu- ja ohjausjärjestelmät toimivat määritetyllä tavalla ja ne on kytketty oikein (28, s. 26). Ajokäytön testi varmistaa, että ajokäyttö reagoi oikein ohjaussignaaleihin ennen raitiovaunun liikkeelleläähtöä (28, s. 31). Raitiovaunulle tehdään myös useita turvallisuuteen liittyviä tarkastuksia, jotka sivuavat myös kaapelointiin liittyviä asioita (28, s. 34). Yksi turvallisuuteen liittyvä testi on sähköturvallisuustarkastus vaunulle.

Pelkästään tyyppikokeena yhdelle vaunulle tehtävässä EMC-testissä varmistetaan, että kaikki laitteet toimivat oikein asennuksen jälkeen ilman häiriövaikutuksia sisäisistä ja ulkoisista häiriölähteistä. Lisäksi raitiovaunun ulospäin aiheuttamat häiriöt kaikissa kuormitusolosuhteissa mitataan ja mittausarvojen on pysyttävä määriteltyjen raja-arvojen puitteissa. (28, s. 45.)

Määritetyille testeille tehdään projektikohtaisesti jokaiselle testille erilliset rutiini- ja tyyppikoeohjeet, joissa esitetään muun muassa kyseisen testin vaatimukset, testin suorittamistapa ja ohjeet sekä hyväksyntäkriteerit. Jokaisesta testistä laaditaan testiraportti, jossa esitellään testin toteutuminen ja tulokset.

## 6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tehdä kaapeloinnin asennustyöohje raitiovaunujen valmistukseen Škoda Transtech Oy:n raitiovaunutuotantoon. Työtä varten perehdyttiin raitiovaunun suunnittelun ja valmistuksen asiakasvaatimukseen tällä hetkellä kuuluvaan standardin EN 50343 Railway applications - Rolling stock - Rules for installation of cabling. Lisäksi perehdyttiin muuhun raitiovaunujen suunnittelua ja valmistusta koskevaan lainsäädäntöön, standardeihin ja vaatimukseen, jotka si-  
vuavat kaapelointia.

Standardeista kerättiin kaapelointiasennusten tekemiseen oleellisesti liittyvät asiat ja käytännöt työohjeeseen. Ohje pitää nyt sisällään sellaisia yleisiä asioita, joita ei ole mahdollista kirjata kaapeloinnin asennuspiirustuksiin. Lisäksi ohjeeseen kerättiin tähän mennessä tuotannossa hyväksi havaittuja käytäntöjä ja toimintatapoja kaapelointiin liittyen. Opinnäytetyödokumentissa on käsitelty puhtaasti kaapeloinnin asennukseen liittyvien asioiden rinnalla myös suunnittelussa huomioon otettavia asioita, jotka heijastuvat myös asennusteknisiin asioihin.

Aiemmin kaapelointiasennusten tekemiselle ei ole ollut yhtä yleisiä asioita, oikeita toimintatapoja ja hyviä käytäntöjä käsittelevää ohjetta, vaan tiedonsiirto asennukseen liittyvien yleisten asioiden osalta on tapahtunut henkilöstön välisenä suullisena tiedonsiirtona perehdytettäessä, ja asioita on opittu tekemään käytännössä kokemuksen karttuessa. Kaapeloinnin asennustyöohjeen avulla uusien asentajien perehdytys tuotannossa on helpompaa, koska asennukseen oleellisesti liittyvät asiat on koottu nyt yhteen paikkaan ja yleiset toimintatavat on selitetty ohjeessa sanallisesti ja esimerkkikuvien kautta. Lisäksi ohjeen avulla asennustyön tavoitteet, taso ja lopputulos on helpompi saada yhteneväiseksi eri tekijöiden ja tuotteiden ja sarjojen välillä, koska työn laatua voidaan verrata ohjeistukseen tekemisen aikana ja tarkastuksissa. Koska opinnäytetyöraportissa on käsitelty myös suunnittelun kannalta oleellisia asioita, dokumenttia ja kaapeloinnin asennustyöohjetta voidaan hyödyntää myös raitiovaunun kaapelointia suunniteltaessa. Jatkossa kaapeloinnin asennustyöohjetta on tarkoitus päivittää tuotannon tarpeiden mukaan asennuskäytäntöjen täydentyessä ja kehittyessä tai tarvittaessa mahdollisesti uusia kaapelointistandardeja käyttöönotettaessa.



## LÄHTEET

1. Škoda Transtech Oy 2021. Yhtiön verkkosivut. Saatavissa: <https://www.trans-tech.fi/>. Hakupäivä: 29.5.2021.
2. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2021. Kaupunkiraideliikenteen toimijoille. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/raideliikenne/kaupunkiraideliikenteen-toimijoille>. Hakupäivä 15.5.2021.
3. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2021. Kaupunkiraideliikenteen ilmoitusmenettely. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/raideliikenne/ilmoitusmenettely>. Hakupäivä 15.5.2021.
4. Laki liikenteen palveluista 24.5.2017/320. Finlex. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170320#O2L7>. Hakupäivä 15.5.2021.
5. Raideliikennelaki 28.12.2018/1302. Finlex. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20181302>. Hakupäivä 15.5.2021.
6. Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135. Finlex. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>. Hakupäivä 15.5.2021.
7. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2019. Määräys: Kaupunkiraideliikenne TRAFICOM/91446/03.04.02.00/2019.
8. EN 50343. 2014. Railway applications – Rolling stock – Rules for installation of cabling. Brussels. European Committee for Electrotechnical Standardization.
9. EN 50153. 2014. Railway applications – Rolling stock – Protective provisions relating to electrical hazards. Brussels. European Committee for Electrotechnical Standardization.
10. SFS-EN 45545-1. 2013. Railway applications. Fire protection on railway vehicles. Part 1: General. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

11. Paavola, Mika 2018. Koulutusmateriaali EN 45545-2 sähkösuunnittelu DOC-0176420. Skoda Transtech Oy. Julkaistu 9.3.2018.
12. DIN 5510. 2009. Preventive fire protection in railway vehicles – Part 2: Fire behaviour and fire side effects of materials and parts – Classification, requirements and test methods. Deutsches Institut für Normung DIN.
13. HKL HST / Transtech 2012. Helsingin uusi raitiovaunu –esite.
14. Smart Artic X34. Käyttö- ja huolto-ohje. Kaapelointi ja sähkötunnukset. DOC-0233589 versio 1. Skoda Transtech Oy. 6.4.2021.
15. Lappalainen, Seppo 2021. Sähköasentaja, Skoda Transtech Oy. Haastattelu 10.5.2021.
16. Kähkönen, Juhani 2020. Electrical and Control System Engineering Manager, Skoda Transtech Oy. Sähköpostikeskustelu 2.10.2020.
17. REKA kaapeli 2013. Käsittely- ja asennusohje Dryrex Monitoimikaapelit AHXAMK-WM 10 – 20 kV. Saatavissa: <https://docplayer.fi/380457-Kasittely-ja-asennusohje-dryrex-monitoimikaapelit-ahxamk-wm-10-20-kv.html>. Hakupäivä 23.5.2021.
18. Roxtec ComSeal 32 frame installation -asennusvideo 2021. Saatavissa: <https://www.roxtec.com/fi/tuotteet/ratkaisut/roxtec-comseal/>. Hakupäivä 25.5.2021.
19. Sormat. Holkkitiviste EMC M25 MS 2021. Saatavissa: <https://fi.sormat.com/products/9640084525/>. Hakupäivä 25.5.2021.
20. Pflitsch. Competence brochure EMC – safe solution 2021. Saatavissa: [https://www.pflitsch.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Prospekte/Kompetenzbroschu%CC%88re\\_EMV\\_GB\\_web.pdf](https://www.pflitsch.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Prospekte/Kompetenzbroschu%CC%88re_EMV_GB_web.pdf). Hakupäivä 25.5.2021.
21. Koulutus- ja yleisohje kaapelikenkäliitoksille. DOC-0208917 versio 1. Skoda Transtech Oy. 17.12.2018.

22. SFS-EN 60352-2. 2007. Solderless connections - Part 2: Crimped connections - General requirements, test methods and practical guidance. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
23. WAGO. Conductor termination 2021. Saatavissa: <https://www.wago.com/fi/riviliittimet/1-johdin-naaraspistoke/p/769-105#knowledge>. Hakupäivä: 27.5.2021.
24. HARTING. M12 Slim Design, 4 poles, D-coded, male 2021. Saatavissa: [https://b2b.harting.com/files/download/PRD/ASSY\\_INST/21038811405\\_99\\_05\\_100815820DRW000A.pdf?siteName=Ebusiness+Site&autoLogoutEnabled=false&autoLogoutTime=0&showPrivacyEmailAgreement=false&contextURL=https%3A%2F%2Fb2b.harting.com%2Febusiness%2Fen](https://b2b.harting.com/files/download/PRD/ASSY_INST/21038811405_99_05_100815820DRW000A.pdf?siteName=Ebusiness+Site&autoLogoutEnabled=false&autoLogoutTime=0&showPrivacyEmailAgreement=false&contextURL=https%3A%2F%2Fb2b.harting.com%2Febusiness%2Fen). Hakupäivä: 27.5.2021.
25. WAGO. X-COM S-Mini 2021. Saatavissa: <https://www.wago.com/fi/riviliittimet/1-johdin-naaraspistoke/p/2020-103#knowledge>. Hakupäivä: 27.5.2021.
26. WAGO. 4-conductor through terminal block 2021. Saatavissa: <https://www.wago.com/global/rail-mount-terminal-blocks/4-conductor-through-terminal-block/p/2000-1401#downloads>. Hakupäivä: 27.5.2021.
27. PHOENIX CONTACT. Push-in connection technology 2021. Saatavissa: [https://www.phoenixcontact.com/assets/downloads\\_ed/local\\_pt/web\\_dwl\\_technical\\_info/Brochura\\_PUSH-IN\\_CONNECTION.pdf](https://www.phoenixcontact.com/assets/downloads_ed/local_pt/web_dwl_technical_info/Brochura_PUSH-IN_CONNECTION.pdf). Hakupäivä: 27.5.2021.
28. EN 50215. 2009. Railway applications - Rolling stock - Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service. Brussels. European Committee for Electrotechnical Standardization.