

Valtteri Hakala

Suunnittelun ohjeet osana laatu järjestelmää

Insinöörityö

Alkulause

Tämä insinööriyö on tehty yhteistyössä Konecranes Finland Oy:n Industrial Crane Solutions -liiketoimintayksikön kanssa. Haluan kiittää kaikkia jotka ovat olleet mukana tämän insinööriyön valmistumisessa.

Helsingissä 22.5.2013

Valtteri Hakala

Tekijä Otsikko	Valteri Hakala Suunnittelun ohjeet osana laatujärjestelmää
Sivumäärä Aika	48 sivua + 4 liitettä 22.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Katriina Schrey-Niemenmaa dipl.ins. Mikko Saikkonen dipl.ins. Ville Pantsar
<p>Insinöörityössä kartoitettiin, miten Konecranes Industrial Crane Solutions -liiketoimintayksikön suunnitteluohjeet toimivat osana ISO 9000 -standardisarjan mukaista laadunhallintajärjestelmää. Kartoitus tehtiin simuloimalla suunnitteluohjeiden laadintaprosessin kulkua ja havainnoimalla siitä mahdollisia laadullisia poikkeamia. Laadun mittarina käytettiin Konecranes Finland Oy:n käytössä olevaa ISO 9001 -standardin vaatimukset täyttävää laadunhallintajärjestelmää sekä ISO 9001 -standardin vaatimuksia. Kartoituksessa saatujen tuloksien perusteella laadittiin ehdotelma siitä, miten suunnitteluohjeiden laadintaprosessia voitaisiin parantaa ja näin tuoda lähemmäksi ISO 9001 -standardin mukaista dokumenttien hallintaa.</p> <p>Työssä selvitettiin myös, mitä määräyksiä ja menetelmiä tulisi noudattaa nosturien tehonsiirtokaapelien valinnassa ja mitoituksessa niin Euroopassa kuin Yhdysvalloissakin. Eurooppaa koskevissa määräyksissä noudatettiin standardissa EN 60204-32 annettuja määräyksiä ja Yhdysvaltoja koskevissa määräyksissä noudatettiin paikallista NEC-normia. Tehonsiirtokaapelien valintaa käsittelevässä osassa esiteltiin, mitkä ovat yleisimmin esiintyvät eristemateriaalit ja miten ne eroavat toisistaan. Lisäksi esiteltiin mitä erityisvaatimuksia nosturikäyttö asettaa kaapeleille.</p> <p>Tehonsiirtokaapelien mitoitussosiossa selvitettiin aluksi, miten johtimien lämpenemä määritellään ja mitkä seikat siihen vaikuttavat. Seuraavaksi esiteltiin kaapeleiden ja johtimien kuormitettavuudet nostureissa yleisimmin esiintyvillä asennustavoilla sekä korjaus- ja muuntokertoimia em. kuormitettavuuksille. Myös kaapeleiden jännitteen aleneman määrittelyä ja sen osa-alueita esiteltiin. Lopuksi esiteltiin, mitä seikkoja tulisi ottaa huomioon johtimien ja kaapeleiden oikeanlaisessa ylikuorma- ja oikosulkusuojauksessa.</p> <p>Työn tuloksina saatiin laadittua ehdotelma suunnitteluohjeiden laadintaprosessin parantamiseksi ja koottua tarpeelliset teoriaosuudet nosturin tehonsiirtokaapeleiden valintaan ja mitoitukseen liittyvistä menetelmistä ja vaatimuksista.</p>	
Avainsanat	laatu, mitoitus, kaapeli, johdin, nosturi

Author Title	Valtteri Hakala Design Instructions as Part of Quality Management System
Number of Pages Date	48 pages + 4 appendices 22 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Katriina Schrey-Niemenmaa, Senior Lecturer Mikko Saikkonen, M.Sc. Ville Pantsar, M.Sc.
<p>This thesis explores how Konecranes Industrial Crane solutions business unit's design instructions will serve as a part of quality management system which fulfills ISO 9000 standard series demands. The survey was implemented by simulating the process of drafting design instructions and observing of the potential nonconformities in the process. The observation of the nonconformities was based on the quality demands defined in the Konecranes Finland quality guidelines and ISO 9001 standard. The results of this survey formed a basis for a proposal how the process of drafting design instructions could be improved and, thus, bring the process closer of the ISO 9001 compliant document management.</p> <p>The thesis also studies what regulations and procedures should be followed in the selection and dimensioning of power cables of bridge cranes intended to Europe's and United States' markets. Regulations for cable dimensioning in Europe was compiled from the standard EN 60204-32 and for the United States from the local NEC standard. The section which handles the selection of power cables introduces which insulation materials are occurring most commonly and how they differ from each other. The section also presents what other special requirements the crane application sets for the power cable selection.</p> <p>The section on power cables dimensioning studies first how the conductors thermal stage is defined and what factors affect it. Following this, what are the current carrying capacities for most commonly occurring installation methods in the crane applications and how these values can be repaired or conversed in different situations are presented. Also the calculation of voltage drop in the cables is defined and some of its variables are studied. The last chapter of thesis studies what facts should be taken into account when selecting acceptable overload and short circuit protection for wires and cables.</p> <p>The final result is a proposal how to improve the design instruction drafting process and collection of necessary theoretical facts, methods and requirements for crane power cable selection and sizing.</p>	
Keywords	quality, design, cable, conductor, crane

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Yleistä standardeista	2
2.1	Maailmanlaajuinen standardisointi	2
2.2	Harmonisoidut standardit	3
3	Laadunhallintajärjestelmä	3
3.1	ISO 9000 -laadunhallintajärjestelmän peruseriaatteet	4
3.2	Konecranes Finland Oy:n laadunhallintajärjestelmä	6
4	Suunnittelun ohjeet osana laatujärjestelmää	7
4.1	Suunnitteluohjeen laadinta- ja julkaisuprosessi	7
4.1.1	ISO 9001 -standardin asettamat vaatimukset	8
4.1.2	Konecranes ohjeet suunnitteluohjeen laadinnassa	8
4.1.3	Suunnitteluohjeen laadinta- ja julkaisuprosessi käytännössä	9
4.2	Ehdotus suunnitteluohjeen laadintaprosessin malliksi	12
5	Standardien vaatimukset kaapelin valinnassa ja mitoituksessa	15
5.1	Vaatimukset Euroopassa	15
5.2	Vaatimukset Yhdysvalloissa	16
5.3	Kaapeleiden harmonisoinnista	17
6	Tehonsiirtokaapelien ja -johtimien valinta	18
6.1	Yleistä johtimien ja kaapelien valinnasta	18
6.2	Eistemateriaalit	19
6.3	Jännitekestävyys	19
6.3.1	Taajuusmuuttajien moottorikaapeleiden jännitekestoisuus	20
6.4	Taajuusmuuttajan tehokaapeleiden valinta nosturikäytössä	21
6.5	Kaapeleiden palotekniset ominaisuudet	23
6.5.1	Itsestään sammuva (<i>Flame retardant</i>)	23
6.5.2	Palonkestävä (<i>Fire resistant</i>)	24
6.5.3	Halogeeniton (<i>Halogen free</i>)	24
6.5.4	Alhainen savunmuodostus (<i>Low smoke density</i>)	25

6.6	Johtimien luokittelu	25
6.7	Mekaaninen mitoitus	26
6.8	Rummulle kelatut kaapelit	27
7	Tehonsiirtokaapeli- ja -johtimien mitoitus ja suojaus	28
7.1	Yleistä johtimien ja kaapeli- kuormitettavuudesta	28
7.2	Lämpenemä	28
7.3	Johtimien ja kaapeli- kuormitettavuus	33
7.3.1	Ympäristön lämpötilan ja johtojen ryhmittelyn korjauskertoimet	34
7.3.2	Rummulle kelattujen kaapeleiden kuormitettavuus	35
7.3.3	Johtimien kuormitettavuus jaksottaisessa käytössä	35
7.4	Jännitteen alenema	37
7.4.1	Johtimen resistanssi	38
7.4.2	Johtimen induktiivinen reaktanssi	39
7.5	Oikosulkukestoisuus ja ylivirtasuojaus	42
7.5.1	Ylikuormitussuojaus	43
7.5.2	Oikosulkusuojaus	44
8	Tulokset	45
	Lähteet	47
	Liitteet	
	Liite 1. Mitoitustaulukoita	
	Liite 2. Harmonisoitujen kaapeleiden nimeäminen	
	Liite 3. NEC kuormitustaulukot ja AWG muuntotaulukko	
	Liite 4. Suunnitteluohjeen laadinta- ja ylläpitoprosessin kaavio	

1 Johdanto

Tämä insinööriyö on tehty Konecranes Finland Oy:n Industrial Cranes -liiketoimintayksikön sähkösuunnitteluosastolla. Konecranes Finland on osa globaalia Konecranes-konsernia, joka on yksi maailman suurimmista nostolaittevalmistajista ja suurin nosturihuoltoyhtiö.

Työssä kartoitetaan, miten Industrial Crane Solutions -liiketoimintayksikön suunnitteluohjeet toimivat osana ISO 9000 -standardisarjan mukaista laatujärjestelmää. Kartointu tehtiin laatimalla sähkösuunnitteluohje tehonsiirtokaapeleiden valinnasta ja mitoituksesta. Suunnitteluohjeen valmistumisprosessia seurataan alusta loppuun, aina ohjeen laatimisesta, ohjeen julkaisuun ja siitä tiedottamiseen. Tämän prosessin eri vaiheet dokumentoitiin ja analysoitiin. Analysoiduista prosessivaiheista etsittiin laadullisia poikkeamia, joihin tarjottiin mahdollisuuksien mukaan parannusehdotuksia. Prosessin laadun perustana ja mittarina toimi Konecranes Finland Oy:n käytössä oleva ISO 9001 -vaatimukset täyttävä laatujärjestelmä.

Suunnitteluohjetta kaapeleiden mitoitukselta on lähdetty laatimaan selvittämällä, mitä standardeja on tarpeen noudattaa nostureiden tehonsiirtokaapeleiden valinnassa ja mitoituksessa. Ohjeen laajuuden rajoittamiseksi on tehty päätös keskittyä vain Yhdysvaltoja sekä Eurooppaa koskeviin NEC- ja EN -normeihin. Lisäksi ohjeessa käsiteltävät kaapelit on rajattu harmonisoituihin kaapelityyppeihin. Laaditun mitoitusohjeen on tarkoitus palvella Konecranes-konsernin globaalia sähkösuunnittelua ja sen tarpeita.

Insinööriyön tavoitteena oli julkaista Konecranes-konsernin sisäiseen käyttöön tarkoitettu ohje tehonsiirtokaapeleiden valinnasta ja mitoitukselta, sekä laatia kuvaus kuinka suunnitteluohjeet liitetään osaksi ISO 9001 -laatujärjestelmää. Lisäksi nykyisestä laadintaprosessista havainnoitiin mahdollisia laadullisia poikkeamia ja niiden korjaamiseksi tarjottiin kehitysehdotuksia.

2 Yleistä standardeista

Tämän työn tekemisessä on käytetty tuki- ja lähdemateriaalina erilaisia standardeita. Tässä luvussa kerrotaan yleisesti, mitä standardit ovat ja ketkä niitä hallinnoivat. Standardit ovat ohjeita, joissa määritellään yhteisiä toimintatapoja toistuvaan toimintaan. Niiden avulla pyritään nopeuttamaan työtä, vähentämään virheitä ja väärinkäsityksiä sekä varmistamaan tuotteiden ja järjestelmien yhteensopivuus valmistajasta riippumatta. Sopivia standardeja noudattamalla voidaan myös varmistua tuotteen sopivuudesta kansainvälisille markkinoille ja näin poistaa kaupan esteitä.

2.1 Maailmanlaajuinen standardisointi

Standardeja laativat erilaiset komiteat, jotka koostuvat järjestöistä ja asiantuntijoista. Laaditut standardit vahvistetaan eri standardisoiimisorganisaatioiden toimesta, jolloin ne ovat voimassa organisaation vaikutusalueella.

Standardien edessä olevat kirjainyhdistelmät SFS, EN, IEC, ISO jne. ilmoittavat organisaation, jossa standardin teksti on vahvistettu. Suomessa vahvistettujen standardien etuliite on SFS, eurooppalaisessa standardisoiimisjärjestössä CEN (*Comité Européen de Normalisation*) vahvistetun EN, kansainvälisessä standardisoiimisjärjestössä ISO (*International Organization for Standardization*) julkaistun ISO, kansainvälisessä sähköalan standardisoiimisjärjestössä IEC (*International Electrotechnical Commission*) julkaistun IEC ja eurooppalaisessa sähköalan standardisoiimisjärjestössä CENELEC (*Comité Européen de Normalisation Électrotechnique*) julkaistun EN tai HD. Suomessa käytetty tunnus SFS-EN tarkoittaa sitä, että sama standardi on voimassa sekä Suomessa että Euroopassa (Taulukko 1, seur. s.).

Standardisointia harjoitetaan lähes jokaisessa maassa. Teollisuusmaissa standardeja hallinnoivat standardisoiimisjärjestöt, kun taas kehitysmaissa standardit ovat yleensä valtion viranomaisten vastuulla.[1]

Taulukko 1 Standardijärjestöjä Suomessa ja maailmalla [1]

Sähkötekniinen ala	Muu standardisointi	Teleala
MAAILMANLAAJUINEN		
IEC IEC-standardit	ISO ISO-standardit	ITU ITU-suositukset
EUROOPPALAINEN		
CENELEC EN-standardit	CEN EN-standardit	ETSI EN-standardit
KANSALLINEN		
SESKO SFS-standardit	SFS SFS-standardit	VIESTINTÄVIRASTO SFS-standardit

2.2 Harmonisoidut standardit

Euroopassa on harmonisoitu erilaisia standardeja ja lakeja. Standardeissa harmonisoinnilla tarkoitetaan toimintaperiaatteiden ja teknisten normien yhdenmukaistamista ja koordinoitua niin, että tuotteita ja palveluja voidaan myydä ja ostaa vapaasti kaikkialla Euroopan unionin alueella. Usein harmonisoinnin tarkoituksena on vain se, että EU -maat tunnustavat toistensa turvallisuusnormit riittäviksi.

Eurooppalaisten harmonisoitujen standardien noudattaminen on vapaaehtoista. Valmistajat, muut toimijat ja arviointilaitokset voivat vapaasti käyttää muita kuin harmonisoituja standardeja, kunhan ne täyttävät pakolliset turvallisuusdirektiivit.

3 Laadunhallintajärjestelmä

Laadunhallintajärjestelmä on ISO 9000 -sarjan standardeihin perustuva toimintajärjestelmä, jossa olevien toimintojen on tarkoitus vaikuttaa tuotteiden ja palveluiden laatuun. Järjestelmän avulla pyritään toteuttamaan organisaation määritelmät, tavoitteet ja suuntaukset laadun suhteen. Olennainen osa tätä järjestelmää on se, että siinä on toiminnan parantamisen toiminto. Tämän toiminnon tarkoituksena on kerätä tietoa toiminnoista, analysoida kerättyä tietoa ja tehdä sen avulla päätöksiä toiminnan parantamiseksi. Järjestelmä johtaa jatkuvan parantamisen malliin, joka tarkoittaa sitä, että laatutyö ei tule koskaan valmiiksi, vaan aina on parantamisen varaa [2].

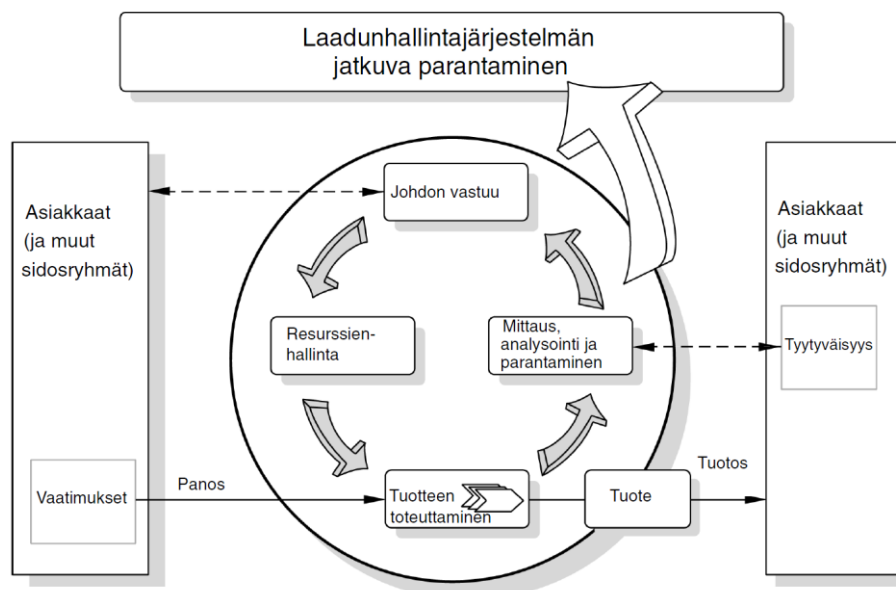
3.1 ISO 9000 -laadunhallintajärjestelmän peruseriaatteen

ISO 9000 -laatustandardisarja koostuu useasta standardista, joiden avulla kaikenkokoiset organisaatiot pystyvät omaksumaan ja toteuttamaan laadunhallintajärjestelmän. Sarja koostuu seuraavista ydinstandardeista:

- ISO 9000:2005 Perusteet ja sanasto
- ISO 9001:2008 Vaatimukset
- ISO 9004:2009 Laadunhallintaan perustuva toimintamalli.

Laatustandardeissa annetaan suuntaviivat niistä asioista, joiden tulisi kuulua laatu järjestelmään. Tästä huolimatta jokainen yritys saa päättää, missä määrin standardeja halutaan toimintaan soveltaa. Laadunhallintajärjestelmän tulisi silti täyttää tietyt perusvaatimukset jos yrityksen on tarkoitus sertifioida laatu järjestelmänsä.

ISO 9000 -standardisarja pyrkii edistämään prosessimaisen toimintamallin omaksumista osaksi laadunhallintajärjestelmää.



Kuva 1 Laadunhallintajärjestelmä kuvattuna prosessina [2]

Kuvassa 1 on esitetty ISO 9000 -standardissa esitetty laadunhallintajärjestelmän prosessimalli, joka perustuu erään laatuajattelun pioneerin, W. Edwards Demingin PDCA-ympyrän (*Plan-Do-Check-Act*) ajatukselle jatkuvasta kehittämisestä.

Laadunhallintajärjestelmän prosessimalli sisältää ISO 9000 -standardin viisi ydinelementtiä: johdon vastuu, resurssien hallinta, tuotteen tai palvelun toteuttaminen, mitaus, analysointi ja parantaminen sekä dokumentointi, joka sisältyy toiminnan jatkuvaan parantamiseen. Dokumentoinnin pohjana käytetään laatukäsikirjaa, jossa on kuvattu yrityksen laadunhallintajärjestelmä, laatupolitiikka ja viiden ydinelementin soveltaminen omassa yrityksessä. Laatukäsikirja muodostaa linkin kaikkien yrityksen asiakirjojen, laatutiedostojen ja prosessikuvausten välille, jolloin dokumenttien hallinta on helppoa.

Kuvan 1 prosessimalli perustuu kahdeksaan laadunhallintajärjestelmän peruseriaatteeseen, jotka ovat annettu standardissa ISO 9000:2005:

- asiakaskeisyys

Organisaatiot ovat riippuvaisia asiakkaistaan. Tämän vuoksi niiden tulisi ymmärtää asiakkaiden nykyiset ja tulevat tarpeet, täyttää asiakkaiden vaatimukset ja pyrkiä ylittämään asiakkaiden odotukset.

- johtajuus

Johtajat määrittävät organisaation tarkoituksen ja suunnan. Heidän tulisi luoda ja ylläpitää sisäistä ilmapiiriä, jossa henkilöstö voi täysipainoisesti osallistua organisaation tavoitteiden saavuttamiseen.

- henkilöstön sitoutuminen

Henkilöstö organisaation eri tasoilla on olennainen osa organisaatiota. Henkilöstön täysipainoinen osallistuminen mahdollistaa kykyjen hyödyntämisen organisaatiossa.

- prosessimainen toimintamalli

Haluttu tulos saavutetaan tehokkaammin, kun toimintoja ja niihin liittyviä resursseja johdetaan prosesseina.

- järjestelmällinen johtamistapa

Toisiinsa liittyvien prosessien muodostaman järjestelmän tunnistaminen, ymmärtäminen ja johtaminen parantavat organisaation vaikuttavuutta ja tehokkuutta ja auttavat sitä saavuttamaan tavoitteensa.

- jatkuva parantaminen

Organisaation pysyvänä tavoitteena tulisi olla kokonaisvaltaisen suorituskyvyn jatkuva parantaminen.

- tosiasioihin perustuva päätöksenteko

Vaikuttavat päätökset perustuvat tiedon ja informaation analysointiin.

- molempia osapuolia hyödyttävät toimittajasuhteet

Organisaatio ja sen toimittajat ovat riippuvaisia toisistaan ja molempia osapuolia hyödyttävät suhteet lisäävät kummankin osapuolen kykyä tuottaa lisäarvoa.

Nämä laadunhallinnan peruseriaatteen luovat aloituspisteen ja rungon kokonaisvaltaiselle laatujohtamiselle. Laatujohtamisen käyttöönotto ja ylläpito vaativat koko henkilöstön ja organisaation panosta, jotta laatujohtamisesta saadaan todellinen hyöty irti. Ilman henkilöstön ja organisaation panosta voi standardin antamien ohjeiden ja vaatimusten noudattaminen jäädä vain sertifikaatin uusimisen vaatimalle tasolle ilman todellista sitoutumista laatuun.[2.]

3.2 Konecranes Finland Oy:n laadunhallintajärjestelmä

Konecranes Finland Oy:ssä on käytössä Hyvinkään ja Hämeenlinnan toimipisteissä sertifioitu ISO 9001 -vaatimukset täyttävä laadunhallintajärjestelmä. Konecranesin laadunhallintajärjestelmän tavoitteena on hallita laatua kokonaisuutena ja keskittyä erityisesti nostimien, nostureiden ja nosturikomponenttien myynnin, suunnittelun, ja valmistuksen prosessien hallintaan ja kehittämiseen. Laadunhallintajärjestelmä on kuvattu Konecranes Finland Oy:n laadunhallintajärjestelmän käsikirjassa. Käsikirjassa on kuvattu yhtiön toimintaperiaatteet, johdon vastuut laadunhallinnassa, resurssienhallinnan tavoitteet, keskeisten ydinprosessien kuvaukset sekä mittauksen, analysoinnin ja parantamisen periaatteet.

Konecranes-konsernissa laatu on osa laajempaa kokonaisuutta, joka tunnetaan termillä HSEQ (*Health and Safety, Environment, Quality*). Tällä halutaan viestittää, että Konecranes ottaa kaikessa toiminnassaan huomioon työturvallisuuden, ympäristöasiat ja laadun. HSEQ-alueet ovat vahvasti linkittyneet toisiinsa jokapäiväisessä toiminnassa, ja siksi niitä halutaan tarkastella kokonaisuutena. Voidaan sanoa, että turvalliset tuotteet,

palvelut ja toimintatavat tarkoittavat samaa kuin laadukkaat tuotteet, palvelut ja toimintatavat myös ympäristön kannalta.

Konecranes-konsernin tavoitteena on pyrkiä toiminnassaan prosessimaiseen lähestymistapaan, joka on myös pohjana laadunhallintajärjestelmälle. Viedäkseen pyrkimystään eteenpäin on Konecranes-konsernilla yhteinen ideologia, *oneKONECRANES*. Ideologian tavoitteena on harmonisoida liiketoimintaprosessit ja IT-työkalut konsernitasolla. Harmonisoitujen liiketoimintaprosessien tavoitteena on ylläpitää konsernin kilpailukykyä myös tulevaisuudessa sekä tukea Konecranes-konsernin kasvua yhdenmukaisena yrityksenä.

4 Suunnittelun ohjeet osana laatujärjestelmää

Tässä luvussa on kerrottu, mitä vaatimuksia ISO 9001-standardi esittää dokumentoinnille sekä kuvattu miten suunnitteluohjeiden laatiminen on tällä hetkellä toteutettu Konecranes Finland Oy:n Industrial Crane Solutions -liiketoimintayksikössä. Lisäksi tässä luvussa on ehdotettu miten ohjeiden laatiminen, ja ylläpito tulisi suorittaa laadukkaasti.

4.1 Suunnitteluohjeen laadinta- ja julkaisuprosessi

Laadunhallintajärjestelmän yhtenä perusvaatimuksena on kuvata keskeisimmät prosessit, joita tarvitaan tuotteiden ja palveluiden laatuvaatimusten sekä organisaation itselleen asettamien laatuvaatimusten täyttämiseksi. Toimintojen kuvauksella ja prosessien tunnistamisella pystytään selkeyttämään monista toisiinsa liittyvistä toiminnoista koostuvia kokonaisuuksia. Suunnitteluohjeet ovat merkittävä osa suunnitteluprosessia, sillä niissä ohjeistetaan miten suunnittelu toteutetaan tehokkaasti, laadukkaasti ja ennen kaikkea turvallisuusmääräyksiä noudattaen. Suunnitteluohjeiden laadun varmistamisella voidaan suoraan vaikuttaa suunnitteluprosessin laadukkuuteen ja näin parantaa välillisesti siihen liitoksissa olevien toimintojen ja prosessien tehokkuutta. Jotta suunnitteluohjeiden laatua voitaisiin valvoa ja parantaa, täytyy tuntea suunnitteluohjeen laadintaprosessi.

4.1.1 ISO 9001 -standardin asettamat vaatimukset

ISO 9001 -standardissa on kuvattu, mitä vaatimuksia laadunhallintajärjestelmän dokumentoinnin tulee täyttää, ja mitä siihen tulisi sisällyttää. Dokumentointia koskevissa vaatimuksissa on määritelty, että laadunhallintajärjestelmässä tarvittavia asiakirjoja tulisi hallita. Standardi vaatii laatimaan asiakirjojen hallinnasta menettelyohjeen, jossa on määritelty tarvittavat hallintaa koskevat ohjaustoimenpiteet [3, s. 17], joiden avulla

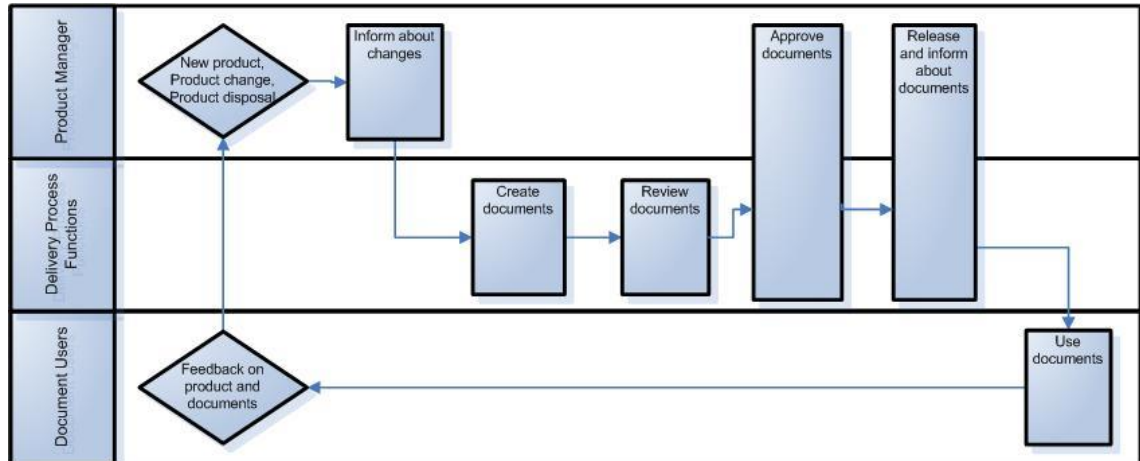
- a) asiakirjat todetaan soveltuviksi ennen niiden julkaisemista
- b) asiakirjat katselmoidaan ja päivitetään tarvittaessa ja päivitetty versio hyväksytään
- c) asiakirjojen muutosten ja voimassa olevien versioiden tunnistettavuus varmistetaan
- d) asiakirjojen voimassa olevien versioiden saatavuus niiden käyttökohteissa varmistetaan
- e) asiakirjojen säilyminen helppolukuisina ja helposti tunnistettavina varmistetaan
- f) ulkopuolista alkuperää olevien asiakirjojen, jotka organisaatio on määrittänyt tarpeellisiksi laadunhallintajärjestelmän suunnittelua ja toimintaa varten, tunnistettavuus ja niiden jakelun hallinta varmistetaan
- g) vanhentuneiden asiakirjojen tahaton käyttö estetään ja ne varustetaan asianmukaisin merkinnöin, jos niitä jostakin syystä säilytetään.

Lisäksi organisaation tulee laatia menettelyohje, jossa määritellään tallenteiden tunnistamiseen, arkistointiin, suojaamiseen, esille saantiin, säilyttämiseen ja hävittämiseen tarvittavat ohjaustoimenpiteet. Tallenteiden helppo saatavuus on myös varmistettava. [3, s. 18]

4.1.2 Konecranes ohjeet suunnitteluohjeen laadinnassa

Konecranes Finland Oy:llä on sisäisessä käytössään dokumentointiohje, johon on kuvattu yleispiirteittäin keskeisimpien Konecranesin tuotedokumenttien funktiot ja niille asetetut vaatimukset. Vaatimukset on määritelty koskien dokumentin sisältöä, ulkoasua, laatimiskieltä, julkaisua ja jakelua sekä jaoteltu, kuka on vastuussa mistäkin dokumentista tai sen osa-alueesta. Myös suunnitteluohjeille löytyy em. vaatimukset dokumentointiohjeesta.

Dokumentointiohjeessa on edellisen lisäksi esitetty prosessikaavio, jossa on kuvattu yleisesti dokumenttien laadinta- ja päivitysprosessi. Tuotedokumenttien laadinta- ja päivitysprosessi esitetään kuvassa 2.



Kuva 2 Yleinen dokumentin laadinta- ja päivitysprosessikaavio [4, s. 18]

Ohjeiden mukainen dokumentin laadintaprosessi täyttää aika pitkälti ISO 9001 -standardin vaatimukset, mutta parannettavaakin on. Prosessista puuttuu järjestelmällinen jatkuvan parantamisen toiminto. Dokumentointiohjeessa on mainittu, että dokumentin omistaja on vastuussa omistamiensa dokumenttien päivittämisestä [4, s. 3]. Ohjeessa ei kuitenkaan ole kuvattu järjestelmällistä tapaa, kuten ajoittaista katselmointia, kuinka ohjeiden päivitystarpeen arviointi tulisi hoitaa. Prosessissa luotetaan, että dokumentin käyttäjät antavat palautetta dokumentin omistajalle, joka taas huolehtii, että tarpeen vaatiessa dokumentti päivitetään. Ohjeissa ei myöskään ole tarkennettu, mitä kanavaa pitkin palaute tulisi antaa.

4.1.3 Suunnitteluohjeen laadinta- ja julkaisuprosessi käytännössä

Tässä osiossa kuvataan miten suunnitteluohjeen laadinta- ja julkaisuprosessi etenee käytännössä. Kuvaus perustuu haastattelemalla saatuihin tietoihin prosessin kulusta. Uuden suunnitteluohjeen laadinta alkaa, kun suunnittelun esimies antaa tehtäväksi valitsemalleen henkilölle uuden ohjeen laatimisen. Tehtävään pyritään valitsemaan henkilö joka on ammattitaidoltaan ja kokemukseltaan soveltuva ko. ohjeen laatijaksi. Tehtävänanto tapahtuu usein suunnittelun viikkopalaverissa, jossa on tyypillisesti paikalla pääsuunnittelijat ja suunnittelun esimies. Tehtävänanto sisältää aikataulun ja oh-

jeen aihealueen määrittelyn otsikkotasolla. Ohjeen laatijan päätettäväksi jää, mikä on ohjeen laajuus ja tarkempi sisältö.[5;6;7]

Edellä selostetussa vaiheessa on havaittavissa otollinen kehityskohde toiminnan tehostamiseksi. Tehtävänantoa tulisi edeltää lähtötietojen määrittely, kuten standardin ISO 9001 luvussa 7.3.2 "Suunnittelun ja kehittämisen lähtötiedot" määritellään. Luvussa käsitellään tuotteiden vaatimukseen liittyvien lähtötietojen määrittelyä, mutta sitä voidaan soveltaa myös muihin suunnitteluun ja kehittämiseen liittyvissä prosesseissa. Lähtötietojen tarkemmalla määrittelyllä ja niiden katselmoinnilla voidaan helpottaa ja nopeuttaa suunnitteluohjeen laatimisen aloittamista.

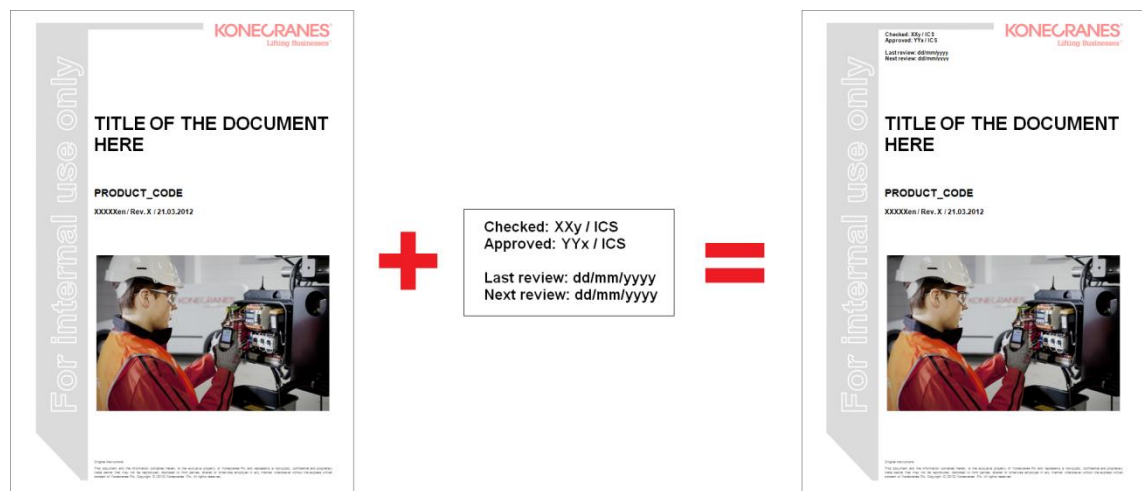
Tehtävänannon jälkeen ohjeen laatijaksi valittu henkilö laatii ohjeen seuraten dokumentointiohjeessa annettuja määritelmiä ja vaatimuksia. Ohjeen tullessa valmiiksi hän tarkastaa oman työnsä ja toimittaa sen eteenpäin suunnittelun esimiehelle ja oman osastonsa dokumentoinnista vastaavalle henkilölle. Suunnittelun esimies tarkastaa ohjeen teknisen sisällön ja hyväksyy tai hylkää sen. Hylättäessä ohje palautuu takaisin sen laatijalle, joka tekee ohjeeseen tarvittavat muutokset. Hyväksyttäessä esimies ilmoittaa dokumentoinnille, että ohje on hyväksytty tekniseltä osuudeltaan, ja se voidaan julkaista. Dokumentointi tarkistaa, että ohje vastaa ulkoasultaan ohjeissa määriteltä tyyliä ja suorittaa tarvittaessa ulkoasua koskevat korjaustoimenpiteet.[5;6;7;8]

Dokumentointiohjeessa on määritelty riittävästi suunnitteluohjeen vaatimukset, mutta tarkastuksessa ja hyväksymisessä on parannettavaa. Tarkastuksen tulisi tapahtua toisen osapuolen toimesta, jotta mahdollisten virheiden havaitsemisen todennäköisyys paranisi ja objektiivisuus säilyisi. Ohjeen laatija voi tulla ns. sokeaksi omille virheilleen, joten virallisen tarkistuksen suorittajan tulisi olla joku muu kuin laatija, jota kutsuttakoon toiseksi osapuoleksi. Vasta tämän toisen osapuolen tarkastuksen jälkeen suunnitteluohje siirtyisi esimiehelle hyväksyttäväksi. Näin suunnitteluohjeen teknisen sisällön tarkastaminen tapahtuisi objektiivisesti ja tasapuolisesti.

Tarkistusten ja hyväksynnän jälkeen dokumentointi julkaisee ohjeen dokumenttien hallintajärjestelmässä [8]. Ohje julkaistaan muista dokumenteista poiketen niin, että se tuodaan järjestelmään valmiiksi hyväksytyssä tilassa. Tällöin ohjeen tarkistajasta tai hyväksyjästä ei jää minkäänlaista jälkeä dokumenttien hallintajärjestelmään. Myöskään ohjeen kansilehdestä tai mistään muusta ohjeen osasta ei selviä, kuka ohjeen on tar-

kistanut tai hyväksynyt. Dokumenttien hallintajärjestelmästä selviää ainoastaan dokumentin laatijan nimi sekä henkilön nimi, joka on tuonut ohjeen dokumenttien hallintajärjestelmään.

Julkaisuprosessiakin voitaisiin selkeästi kehittää ja näin parantaa dokumenttien jäljittelevyyttä. Suunnitteluohjeen tarkastaja ja hyväksyjä eivät ole helposti jäljitettävissä tarpeen vaatiessa. Jäljittelevyyden parantamiseksi suunnitteluohjeen kansilehdestä ja dokumenttien hallintajärjestelmästä tulisi käydä ilmi, kuka ohjeen on tarkastanut ja kuka hyväksynyt. Kansilehteen tulisi lisätä kentät, joista selviää suunnitteluohjeen tarkastaja, hyväksyjä, viimeisin katselmointi päivämäärä sekä ajankohta, johon mennessä seuraava katselmointi tulisi suorittaa. Kuvassa 3 on ehdotus, miltä nykyinen *layout* voisi näyttää:



Kuva 3 Suunnitteluohjeen kansilehteen ehdotetut lisäykset; vasemmalla nykyinen sisäisen dokumentin kansilehti, keskellä lisättävät kentät ja vasemmalla uusi kansilehti

Julkaisun jälkeen dokumentointi tiedottaa suunnittelun esimiehelle, että julkaisu on tehty. Suunnittelun esimies tiedottaa dokumentointiohjeessa määritetyille henkilöille ohjeen julkaisusta parhaaksi näkemällään tavalla. Lisäksi ohjeen laatija esittelee uuden suunnitteluohjeen pääkohdat esim. suunnittelun viikkopalaverissa [5;6;7].

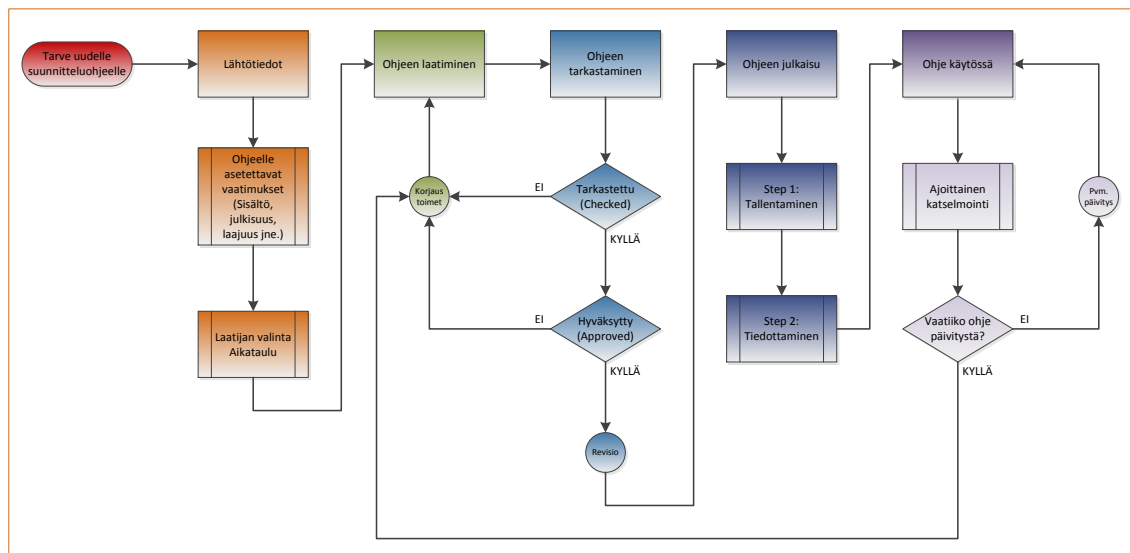
Tiedotuksen jälkeen ohjeiden käyttäjät ryhtyvät hyödyntämään ohjeita työssään. Ohjeiden käyttäjien odotetaan ilmoittavan löytämistään virheistä suunnittelun esimiehelle. Esimies välittää tiedon päivitystarpeesta dokumentin laatijalle, joka tekee tarvittavat korjaukset ohjeeseen. Kun korjattu ohje on hyväksytty, siitä julkaistaan uusi revisio,

jonka jälkeen suunnittelun esimies tiedottaa dokumentointiohjeessa määritellyille henkilöille uudesta revisiosta.

Suunnitteluohjeiden päivitystarpeen arvioimisessa luotetaan liikaa käyttäjiin, mutta arvioinnin tukemiseksi ja varmentamiseksi tulisi luoda järjestelmällinen suunnitteluohjeiden päivitykseen tähtäävä toiminto. Siksi tästäkin löytyykin oivallinen kehityskohde toiminnan tehostamiseksi. Suunnitteluohjeiden pitämiseksi ajantasaisina tulisi ne katselehdia määrätyin välein, kuten ISO 9001 -standardissa on määritelty asiakirjojen hallintaa käsittelevässä luvussa 4.2.3. Luvussa 4.2 on ehdotus siitä, miten suunnitteluohjeiden laadintaprosessia voitaisiin parantaa, että se täyttäisi paremmin ISO 9001 -standardin vaatimukset.

4.2 Ehdotus suunnitteluohjeen laadintaprosessin malliksi

Suunnitteluohjeen laadintaprosessi voidaan jakaa karkeasti viiteen erilliseen osaprosessiin jotka määrittelevät laadintaprosessin kulun. Jokaisella osaprosessilla on taas toimintoja, jotka puolestaan määrittelevät osaprosessien kulun. Lisäksi suunnitteluohjeen laadintaprosessilla on laukaisija, joka käynnistää prosessin. Asiaa selventäneen seuraava kaavio (ks. m. liite 4), johon on kuvattu ehdotus suunnitteluohjeen laadintaprosessista.



Kuva 4 Suunnitteluohjeen laadintaprosessikaavio

Prosessikaaviota luetaan vasemmalta oikealle, jolloin ensimmäisenä on laadintaprosessin laukaiseva tekijä **Tarve uudelle suunnitteluohjeelle**. Suunnitteluohjeiden laati-

minen on aikaa vievä prosessi. Ohjeet laaditaan usein muun suunnittelutyön ohella, joten resurssienhallinnan kannalta on viisainta, että suunnitteluohjeita ei tehdä tekemisen ilosta, vaan niitä laaditaan tarpeeseen. Tarpeen uudelle suunnitteluohjeelle laukaisee yleensä tilanne, jossa jokin suunnitteluprosessin vaihe on vailla yhdenmukaista suoritustapaa tai vaiheen suorittamiseen vaaditaan yksityiskohtaista tietoa, jota ei muuten ole saatavilla.

Tarpeen määrittelyn jälkeen voidaan siirtyä suunnitteluohjeen laadintaprosessin ensimmäiseen osaprosessiin **Lähtötiedot**. Tämän osaprosessin ja sen toimintojen määrittelyssä on sovellettu ISO 9001 -standardin lukua 7.3.2 Suunnittelun ja kehittämisen lähtötiedot, joka määrittelee, mitä lähtötietoja tuotteen suunnittelussa tulisi määrittää ja tallentaa laadunhallintajärjestelmään. Luku käsittelee ensisijaisesti tuotteita, mutta ISO 9001 -standardissa kannustetaan soveltamaan sen antamia määritelmiä ja ohjeita, joten näin on myös menetelty.

Lähtötiedot koostuvat kahdesta toiminnosta, joista ensimmäisenä on **Ohjeelle asetettavat vaatimukset** ja toisena **Laatijan valinta ja aikataulutus**. Ensimmäisessä toiminnossa määritellään vaatimukset ohjeen sisällölle, laajuudelle, julkisuudelle, tiedottamiselle ja muille tarpeellisiksi nähyille seikoille. Lisäksi tässä vaiheessa tulisi selvittää, onko aiheesta jo olemassa aikaisemmin kerättyä informaatiota, jota voitaisiin hyödyntää ohjeen laatimisessa. Huomioitavaa on, että vaatimusten tulee olla kattavia ja yksiselitteisiä, eivätkä ne saa olla ristiriidassa keskenään.

Toisessa lähtötietojen toiminnossa, kun vaatimukset on määritelty, tulee päättää kuka ohjeen laatii ja millä aikataululla. Toimintoja ei välttämättä tarvitse suorittaa juuri prosessikaavion mukaisessa järjestyksessä, mutta kumpaakaan toimintoa ei saa jättää suorittamatta. Lähtötiedot ovat siis nyt määritelty, mutta standardi suosittelee myös katselmoimaan lähtötietojen asianmukaisuuden [3, s. 26]. Katselmointi voidaan suorittaa esimerkiksi suunnittelijoiden viikkopalaverissa, kun paikalla on riittävästi asiantuntijoita, jotka tuntevat ohjeen käsittelemän aihealueen.

Lähtötietojen määrittämisen jälkeen päästään laadintaprosessin toiseen osaprosessiin **Ohjeen laatiminen**. Ohjeen laatimisessa on käytettävä siihen tarkoitettua valmista pohjaa, jotta ohjeen tunnistettavuus voidaan varmistaa. Lisäksi ohjeen säilyminen helppolukuisena on varmistettava.

Ohjeen valmistuttua tulee tuotos tarkastaa, josta pääsemmekin laadintaprosessin kolmannen osaprosessiin **Ohjeen tarkastaminen**. Ohjeen tarkastaminen on tärkeä vaihe, jolla varmistetaan ohjeen paikkansa pitävyys, luotettavuus ja pyritään poistamaan mahdolliset virheet. Ensisijaisesti ohjeen laatija tarkistaa oman tuotoksensa ja korjaa mahdollisesti löytämänsä virheet. Laatijan tarkastuksen ja mahdollisten korjausten jälkeen ohje siirtyy katselmoitavaksi jollekin toiselle ohjeen aihealueen tuntevalle osapuolelle. Jos ohjeen teknisestä sisällöstä löytyy toisen osapuolen katselmoinnissa poikkeamia, palautuu ohje laatijalle, joka tekee tarvittavat muutokset. Tämä iteraatio jatkuu niin kauan, kunnes tarkastusta suorittava toinen osapuoli hyväksyy tuotoksen teknisen sisällön täyttävän sille lähtötiedoissa määritellyt vaatimukset.

Katselmoinnin jälkeen suunnitteluohje siirtyy vielä kolmannelle osapuolelle hyväksyttäväksi. Kolmas osapuoli on tässä tapauksessa suunnittelun esimies. Jos kolmas osapuoli löytää suunnitteluohjeen teknisestä sisällöstä poikkeamia, siirtyy ohje takaisin laatijalle, joka suorittaa tarpeelliset korjaustoimenpiteet. Tämän jälkeen ohje siirtyy toisen osapuolen katselmoinnin kautta takaisin kolmannelle osapuolelle. Tämä iteraatio jatkuu niin kauan, kunnes kolmas osapuoli hyväksyy suunnitteluohjeen. Ohjeen hyväksynnän jälkeen ohje lähetetään dokumentoinnille. Dokumentointi lisää ohjeeseen revisiomerkin ja hoitaa sen julkaisun.

Tästä siirrytään suunnitteluohjeen laadintaprosessin neljännen osaprosessiin **Ohjeen julkaisu**, joka jakautuu kahteen toimintoon **Tallentaminen** ja **Tiedottaminen**.

Suunnitteluohje julkaistaan dokumenttien hallintajärjestelmässä dokumentoinnin toimesta. Ennen julkaisua dokumentointi tarkistaa, että suunnitteluohjeen ulkoasu vastaa dokumentointiohjeen vaatimuksia. Tallentamisen jälkeen dokumentointi tiedottaa ohjeen hyväksyjää, että ohje on julkaistu dokumenttien hallintajärjestelmään. Hyväksyjä suorittaa tämän jälkeen uuden ohjeen julkaisusta tiedottamisen lähtötiedoissa määritellyllä tavalla ja laajuudella.

Nyt suunnitteluohje on julkaistu, ja se on käytössä, mikä onkin viimeinen laadintaprosessin osaprosessi **Ohje käytössä**. Suunnitteluohjeen teknisten tietojen ajantasaisuuden varmistamiseksi tulisi sille suorittaa määrätyin väliajoin katselmointi. Ajoittaisten katselmointien suorittamisesta vastaa dokumentin omistaja eli ohjeen hyväksyjä. Hy-

väksyjän ei tarvitse henkilökohtaisesti suorittaa katselmointia, vaan hän voi toimeksi antaa sen riittävän päteväksi näkemälleen henkilölle.

Katselmoija pyrkii kykyjensä ja ammattitaitonsa mukaisesti etsimään suunnitteluohjeesta mahdollisia päivityskohteita ja virheitä. Jos ohjeen sisällöstä ei löydy päivitettävää, päivitetään katselmoinnin päivämäärästä tiedottava kenttä. Jos ohjeesta löytyy päivitystä kaipaavia kohtia tulee edetä kaavion osoittamalla tavalla käymällä osaprosessit 2-4 uudestaan.

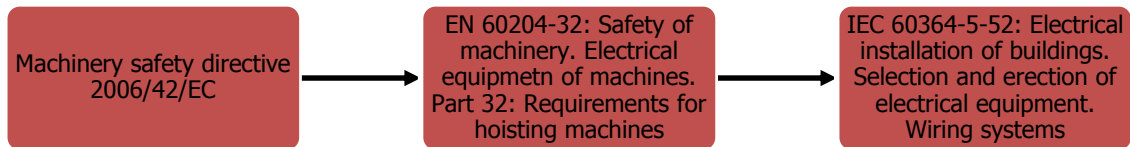
5 Standardien vaatimukset kaapelin valinnassa ja mitoituksessa

Tässä luvussa on kerrottu, mitkä ovat standardien vaatimukset nostureiden tehonsiirtokaapeleiden mitoituksessa ja valinnassa niin Euroopassa, kuin Yhdysvalloissakin. Lisäksi on kerrottu kaapeleita koskevien standardien harmonisoinnista Euroopassa.

5.1 Vaatimukset Euroopassa

Euroopan markkinoille suunnitelluissa nostureissa noudatetaan konedirektiivissä 2006/42/EY annettuja määräyksiä. Konedirektiivi on eurooppalainen koneturvallisuuslainsäädäntövaatimus, joka on laadittu yhtenäisten koneturvallisuussäännösten varmistamiseksi EU:ssa. Direktiivi koskee koneita ja koneista koottavia yhdistelmiä, joihin myös nosturit lukeutuvat. Direktiiviä ei itsessään sovelleta sähkösuunnittelussa, mutta sen pohjalta on laadittu standardeja, jotka täyttävät sen asettamat turvallisuusvaatimukset.[9]

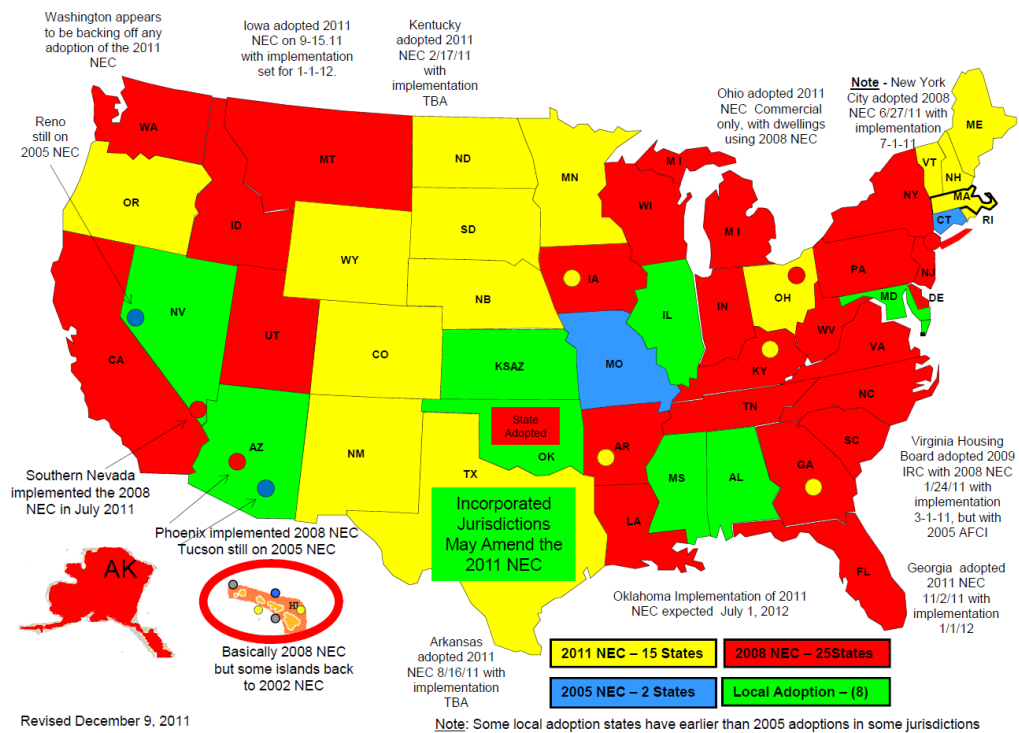
Konedirektiivin turvallisuusvaatimusten perusteella on myös laadittu tässä työssä seurattu standardi EN 60204-32 "*Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 32: Requirements for hoisting machines*", jossa määritellään vaatimukset nostokoneiden sähkölaitteistoille. Tämän lisäksi on seurattu standardissa EN 60204-32 viitattua standardia IEC 60364-5-52 "*Electrical installations of buildings – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems*", jossa on annettu erityyppisten kaapeleiden kuormitustaulukoita ja -kertoimia. Kuvassa 5 (ks. seur. s.) on esitetty standardien ja konedirektiivin riippuvuus toisistaan.



Kuva 5 Standardien hierarkia

5.2 Vaatimukset Yhdysvalloissa

Yhdysvaltojen markkinoille suunnitelluissa nostureissa noudatetaan paikallisia määräyksiä ja lakeja. NFPA 70, eli ts. NEC (*National Electrical Code*) on Yhdysvalloissa käytössä oleva sähköasennuksien ja -laitteiden turvallisuutta koskeva standardi, jota hallinnoi NFPA (*National Fire Protection Association*). NEC:sta julkaistaan kolmen vuoden välein uusi päivitetty painos. Uusin painos on tätä kirjoitettaessa vuodelta 2011.



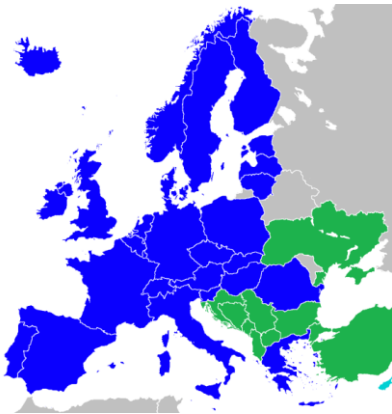
Kuva 6 Yhdysvaltojen osavaltioiden hyväksymät NEC painokset vuonna 2011 [10]

NEC ei ole liittovaltiollisella tasolla lainvoimaisesti velvoittava, vaan osavaltiot ja kaupungit päättävät itse, että missä määrin he noudattavat sen määräyksiä. Käytännössä normia kuitenkin noudatetaan jossain muodossa kaikissa osavaltioissa, mutta silti kaupungeilla jotka sijaitsevat normia noudattavassa osavaltiossa, saattaa olla omia säännöksiä, jotka korvaavat NEC:n osittain tai kokonaan [10]. Lisäksi osavaltiot saavat

päättää, missä vaiheessa siirtyvät noudattamaan uutta painosta standardista. Kuvassa 6 (ks. ed. s.) on joulukuussa 2011 eri osavaltioiden käytössä olevat NEC:n painokset. Tässä työssä on Yhdysvaltojen osalta seurattu NEC:ssä olevan nostureiden sähköasennuksia koskevan artikkelin 610 *Cranes and hoists* -vaatimuksia ja ohjeita.

5.3 Kaapeleiden harmonisoinnista

Euroopassa on harmonisoitu pienjännitekaapeleiden rakenteellisia ominaisuuksia koskevat standardit. Harmonisoinnilla on pyritty varmistamaan, että kaapelit ovat laadukkaita ja täyttävät samat vaatimukset valmistusmaasta riippumatta. Kaapelistandardien harmonisoinnista vastaa CENELEC, joka on eurooppalainen sähköalan standardoimisjärjestö. Kuvassa 7 sinisellä merkityt valtiot ovat CENELEC:n jäseniä ja vihreällä merkityt valtioita ollaan liittämässä järjestöön:



Kuva 7 CENELEC-maat

Harmonisoidut pienjännitekaapelit on tyyppikoodattu CENELEC:n laatiman harmonisointiasiakirjan HD 361 mukaisesti. Tyyppikoodaus koskee ainoastaan pienjännitekaapeleita, joiden rakennevaatimukset on esitetty EN 50525 -standardisarjassa. Standardisarja käsittää pääosin massatuotantoon tarkoitettuja ja laajalti erilaisissa laitteissa ja koneissa käytettyjä kaapeleita sekä johtimia jänniteluokkaan 450/750 V:iin saakka. Jänniteluokka on rajoittunut 450/750 V:n tasoon siksi, että kaapeleiden rakenteellisista ominaisuuksista ei ole päästy sopuun tämän tason yläpuolella. Syyt tähän ovat kaupallisia ja teollisia, tietenkään unohtamatta käyttöympäristöolosuhteiden eroavaisuuksia ympäri Eurooppaa.

Harmonisoitujen kaapeleiden tyyppikoodauksessa ensimmäisenä merkinä on H-kirjain joka kertoo, että johdin tai kaapeli on harmonisoitujen standardien mukainen. Tämän

jälkeen tulee jännitetaso, joka ilmoitetaan kahdella numerolla: 01 = 100/100 V, 03 = 300/300 V, 05 = 300/500 V ja 07 = 450/750 V. Näiden merkkien jälkeen tulee kaapelirakenteen osia ja materiaaleja kuvaavat merkit järjestyksessä sisältä ulospäin (ks. liite 2: taulukko 1).

Tyypikoodaus ei kuitenkaan rajoitu pelkästään harmonisoiuihin kaapeleihin, vaan sitä voidaan käyttää myös muissa kaapeleissa. Tällöin ei tosin koodauksessa saa käyttää H-alkukirjainta, sillä se on vain harmonisoidujen kaapeleiden tunnus.



Kuva 8 HAR-sertifiointimerkki

Kaapelivalmistajat voivat hakea tuotteilleen HAR-sertifikaattia, joka kertoo, että valmistus ja testaus täyttävät harmonisoidujen standardien vaatimukset. Sertifiointimerkin edessä voi olla sertifikaatin myöntäneen sertifiointiorganisaation tunnus, kuten esim. Suomessa FIMKO ja Saksassa VDE.

6 Tehonsiirtokaapelien ja -johtimien valinta

Tässä luvussa on kerrottu kaapeleiden rakenteellisista ominaisuuksista, ja miten ne vaikuttavat kaapelin valintaan nosturikäytössä. Aluksi kerrotaan eristemateriaalien ominaisuuksista, minkä jälkeen siirrytään johtimien luokittelusta kaapelin mekaaniseen mitoitukseen.

6.1 Yleistä johtimien ja kaapelien valinnasta

Nostureissa on monenlaisia johtimia ja kaapeleita, joita käytetään mm. tiedonsiirtoon, ohjaukseen ja tehonsiirtoon. Tehonsiirtokaapeleilla tarkoitetaan tässä tapauksessa nosturissa olevien sähkölaitteiden ja -koneiden virransyöttökaapeleita. Tehonsiirrossa käytetään pyörö- ja lattakaapeleita sekä yksittäisiä johtimia.

Kaapelin valintaan vaikuttaa vallitsevat käyttöolosuhteet, kuten kuormitusvirta ja järjestelmän jännite sekä ulkoisten tekijöiden vaikutus. Keskeisiä ulkoisia tekijöitä ovat ym-

päristön lämpötila, mahdollisesti esiintyvä vesi, korroosiota aiheuttavat aineet ja mekaaniset rasitukset.

6.2 Eristemateriaalit

Kaapeleiden johdineristeinä käytetään erilaisia materiaaleja jotka eroavat toisistaan mm. termisen kuormitettavuuden, palonkeston, taipuisuuden, jännitekestävyyden ja mekaanisen kestävyuden suhteen. Erilaisia materiaaleja ja niiden yhdistelmiä kehitetään jatkuvasti lisää ja kehityksen perässä pysyminen on lähes mahdotonta muun suunnittelutyön ohessa. Kaapelin ja johtimien eristemateriaalia valittaessa tulisikin ensisijaisesti noudattaa valmistajan antamia ohjeita ja suosituksia.

Seuraavassa taulukossa esitetään muutamien yleisimpien eristemateriaalien ominaisuuksia ja niiden tyypilliset käyttökohteet.

Taulukko 2 Joidenkin eristemateriaalien ominaisuuksia [11, s. 49]

Materiaali	Käyttökohte	Vetolujuus (min) (N/mm ²)	Venymä repeytymispisteessä (min) (%)	Suurin sallittu johtimen lämpötila (°C)	Pienin sallittu asennuslämpötila (°C)
Polyvinyylikloridi (PVC)	Vaippa Johdineriste	10...15	125...150	70...90	-25...+5
Polyeteeni (PE)	Vaippa Johdineriste	7...12,5	300	70...90	-60
Kumi	Vaippa Johdineriste	5...10	200...300	60...90	-40...-25
Silikonikumi (SiR)	Johdineriste	5	150	180	5
Ristisilloitettu polyeteeni (XLPE)	Johdineriste	12,5	200	90	-40

6.3 Jännitekestävyys

Jännitekestävyys riippuu kaapelissa käytetyn eristysrakenteen jännitelujuudesta. Jännitelujuuteen vaikuttaa eristysrakenteiden mittojen ja muodon lisäksi mm. jännitemuoto (tasa- tai vaihtojännite), ilmastolliset olosuhteet (ilman paine, kosteus, lämpötila) ja likaantuminen.

Harmonisoitujen kaapeleiden ja johtimien jännitekestävyys ilmoitetaan muodossa U_0/U . Missä U_0 ilmoittaa suurimman vaihtojännitteen, joka sallitaan vaihe- ja maajohtimien välillä ja U suurimman vaihtojännitteen vaihejohtimien välillä.

Nostureissa käytetään pääasiassa 450/750V tai 600/1000V nimellisjännitteen kaapeleita ja johtimia tehonsiirrossa riippuen käyttökohteesta. Taajuusmuuttajakäytössä kaapelin valinta jännitekestävyyden näkökulmasta ei ole yksiselitteinen operaatio (ks. 6.3.1).

6.3.1 Taajuusmuuttajien moottorikaapeleiden jännitekestoisuus

Taajuusmuuttajien moottorikaapeleiden jännitekestoisuudessa on otettava huomioon muutama seikka. Jos moottori ei ole taajuusmuuttaja käyttöinen moottorikaapeli voidaan valita suoraan syöttöjännitteen mukaan, esim. 380...690VAC = 750V kaapeli. Taajuusmuuttajakäytössä moottorikaapelin jännitekestoisuuden tarve määritellään jännitteen siniaaltoa vastaavien huippujen mukaan. Sopiva kaapeli valitaan suurimman sallitun käyttöjännitteen U_m huippuarvon \hat{u}_m mukaan, joka voidaan laskea yhtälöllä

$$\hat{u}_m = U_m \times \sqrt{2} = (U \times k) \times \sqrt{2} \text{ (V)}$$

missä

U on kaapelin nimellinen pääjännite (V)

k on suurinta sallittua käyttöjännitettä vastaava kerroin (1,1)

Taulukko 3 Harmonisoitujen kaapeleiden jännitekestoisuuksia [12]

Harmonisoitu kaapeli	Vaihejännite U_0/V	Pääjännite U/V	Jännitteen huippuarvo \hat{u}_m/VDC
H01	100	100	155,56
H03	300	300	466,69
H05	300	500	777,81
H07	450	750	1166,73

Taulukossa 3 on harmonisoitujen kaapeleiden jännitekestoisuudet ja niille lasketut vastaavat käyttöjännitteen huippuarvot. Taulukossa 4 (ks. seur. s.) on taas Konecranesin taajuusmuuttajissa esiintyviä jännitetasoja.

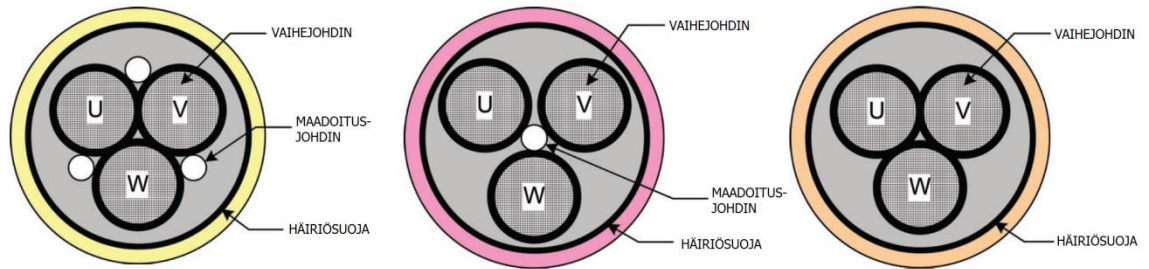
Taulukko 4 Taajuusmuuttajien jännitetasoja [12]

Taajuusmuuttajan jännite- tasoja	D2V F-sarja		D2V K-sarja	
	VDC	VAC	VDC	VAC
Nimellisjännite	-	380...500	-	525...690
Ylijännitelaukaisu	911	-	1200	-
Verkkoon jarruttavan invertterin välipiirin jännite	743*	-	1025**	-
Vastusjarruttavan invertterin jarrukatkojan toimintapiste	797	-	1099	-
*Syöttöverkon jännite 500V				
**Syöttöverkon jännite 690V				

Taulukossa 4 esitettyjen välipiirin jännitteiden huippuarvoja vertaillaan taulukossa 3 (ks. ed. s.) esitettyihin harmonisoitujen kaapeleiden käyttöjännitekestoisuuden huippuarvoihin. Voidaan huomata, että K-sarjan taajuusmuuttajissa on käytettävä vähintään 450/750 V kaapeleita. Myös F-sarjan taajuusmuuttajissa käytetään 450/750 V:n kaapeleita, vaikka taulukoiden perusteella F-sarjan verkkoon jarruttavaan taajuusmuuttajaan riittäisikin 300/500 V kaapeli. [12.]

6.4 Taajuusmuuttajan tehokaapeleiden valinta nosturikäytössä

Taajuusmuuttaja on kytketty tehokaapeleilla syöttöverkkoon ja ohjattavaan moottoriin. Taajuusmuuttajien valmistajat eivät yleensä vaadi suojattuja kaapeleita syöttöverkon puolelle. Syöttöverkon puolella ei ole tarpeen käyttää suojattuja kaapeleita, koska syöttöverkkoon johtuvat häiriöt ovat yleensä tasoltaan pieniä, eivätkä aiheuta haittoja teollisuusympäristössä. Sen sijaan taajuusmuuttajien valmistajat suosittavat yleisesti käyttämään häiriösuojattuja moottorikaapeleita. Suojattujen kaapeleiden avulla voidaan ehkäistä kaapelista tulevaa sähkömagneettista säteilyä ja moottorissa esiintyviä maavuotovirtoja. Maavuotovirrat aiheuttavat mm. moottorin laakereissa enneaikaista kulumista ja vioittumista. Taajuusmuuttajakäyttöihin tarkoitetut häiriösuojatut kaapelit ovat yleensä pyörökaapeleita, joiden vaihejohtimet ovat symmetrisessä muodossa (ks. kuva 9 seur. s.). Symmetrisen muodon takia eri vaiheiden välille ei synny epäsymmetrisiä häiriöitä.



Kuva 9 Symmetristen häiriösuojattujen moottorikaapeleiden rakenteita

Nosturien nostovaunun kaapelointi toteutetaan lähes poikkeuksetta ns. *Festoon*-kaapeloinnilla. *Festoon*-kaapeloinnissa käytetään lattakaapeleita jotka ovat ladottu liikkuviin kaapelivaunuihin. *Festoon*-kaapelointi vaatii joustavien lattakaapeleiden käyttöä, joten häiriösuojattujen pyörökaapeliin käyttö ei normaalisti ole mahdollista. Jotkin kaapelinvalmistajat tarjoavat myös häiriösuojattuja lattakaapeleita, joissa jokainen vaihejohdin on erikseen häiriösuojattu. Tämän tyyppisten epäsymmetristen häiriösuojattujen lattakaapeleiden kyky ehkäistä epäsymmetrisiä häiriöitä on vähintään kyseenalainen ja hyötyjen jäädessä kustannuksiin nähden pieniksi ei tämänkään kaltaisia häiriösuojattuja kaapeleita nostureissa pääsääntöisesti käytetä.

Huomioitavaa on myös, että nykyaikaisissa IGBT-tekniikalla toteutetuissa taajuusmuuttajissa esiintyy suuria jännitteen nousunopeuksia, jotka aiheuttavat moottorissa ja moottorikaapelissa ylimääräisiä jänniterasituksia. Ylimääräiset jänniterasitukset heikentävät kaapelin ja johtimien eristeitä ja voivat aiheuttaa kaapeleissa korona-purkauksia. Koronapurkaus syntyy, kun jännite eristeissä nousee riittävän korkeaksi, jolloin johtimen eristeen ja kaapelin vaipan väliin jäänyt ilma pääsee ionisoitumaan ja synnyttämään koronapurkauksen. Koronapurkauksessa syntyy UV -valoa ja otsonikaasuja, jotka heikentävät kaapelin ja johtimien eristettä.

Ylimääräisten jänniterasitusten vähentämiseksi voidaan käyttää erilaisia suotimia moottorivirtapiirissä, kuten du/dt -suotimia, sini-suotimia tai moottorin napoihin kytkettäviä impedansseja. [13.]

6.5 Kaapeleiden palotekniset ominaisuudet

Tulipalot aiheuttavat vuosittain tuhansia kuolemia ja henkilövahinkoja ympäri maailmaa. Henkilövahinkojen lisäksi tulipaloista aiheutuvat taloudelliset haitat ovat merkittäviä. Vaikka kaapelit itsessään aiheuttavat vain harvoin tulipaloja, saattavat ne edistää palon leviämistä, tai niistä voi syntyä myrkyllisiä tai korroosiota aiheuttavia kaasuja. Kaapelien käyttäytyminen tulipalossa riippuu monesta tekijästä, kuten eriste- ja vaippamateriaaleista, kaapelin rakenteesta ja tulipalon luonteesta.

Viranomaismääräykset kaapeleiden palo-ominaisuuksista ovat vasta kehittymässä, mutta kaapelivalmistajien valikoimista löytyy jo nyt runsaasti kaapeleita, joissa palo-ominaisuudet on otettu huomioon. Näiden kaapeleiden valmistuksessa on käytetty materiaaleja, jotka eivät tulipalon sattuessa edistä tulipalon leviämistä, eivätkä myrkytä tai saastuta ympäristöä.

Standardissa EN 60204-32 ohjeistetaan perehtymään kaapelintoimittajan ohjeisiin, kun eristetyistä johtimista ja kaapeleista voi aiheuta vaaraa siten, että ne edistävät palon leviämistä tai niistä syntyy myrkyllisiä tai korroosiota aiheuttavia kaasuja. Standardissa painotetaan, että erityisen tärkeää on kiinnittää huomiota turvatoimintoja sisältävien piirien eheyteen.

Yhdysvaltoja koskevassa NEC:n artikkelissa 610 määrätään käyttämään palonkestäviä tai palonkestävällä teipillä yksittäin tai ryhmissä peitettyjä kaapeleita, kun kaapelit voivat altistua ulkoisille lämmönlähteille.

Seuraavassa on kerrottu erilaisten palo-suojattujen kaapeleiden ominaisuuksista, ja mitä standardeja niiden tulisi täyttää. Huomioitavaa on, että termit halogeeniton, itsestään sammuva, palonkestävä ja alhainen savunmuodostus ovat erillisiä kaapeleiden palo-ominaisuuksia. Kukin näistä ominaisuuksista on määriteltävä erikseen, mutta ne voidaan myös täyttää samanaikaisesti.[11;14.]

6.5.1 Itsestään sammuva (*Flame retardant*)

Itsestään sammuvat kaapelit ovat rakenteeltaan sellaisia, että ne estävät tulipalon etenemisen kaapelissa eivätkä kykene ylläpitämään paloa ilman ulkoista tulen lähdeä. Itsestään sammuvuus on kaapelirakenteen ominaisuus, esim. samasta materiaalista eri

rakenteella tehty kaapeli ei välttämättä täytä standardin mukaista testiä. Itsestään sammuvia kaapelirakenteita voidaan tehdä PVC-materiaaleista, mutta PVC sisältää klooria, joten siitä ei voida valmistaa halogeenivapaita kaapeleita [14].

Itsestään sammuvat kaapelit testataan standardien IEC 60332-1-X *Test on electric and optical fiber cables under fire conditions* tai IEC 60332-3-XX *Tests on electric cables under fire conditions* vaatimusten mukaan [15].

6.5.2 Palonkestävä (*Fire resistant*)

Palonkestävät kaapelit säilyttävät toimintakykynsä tulipalon aikana. Palonkestävyys on myös kaapelirakenteen ominaisuus. Usein johtimen ympärille on kierretty mineraalinauha, joka on viimeinen este johtimien väliselle oikosululle [14].

Palonkestävät kaapelit testataan standardien IEC 60331-11 *Test for electric cables under fire conditions – Circuit integrity – Part 11: Apparatus – Fire alone at a flame temperature of at least 750 °C*, IEC 60331-21 *Test for electric cables under fire conditions – Circuit integrity – Part 21: Procedures and requirements – Cables of rated voltage up to and including 0,6/1kV* ja IEC 60331-23 *Tests for electric cables under fire conditions – Circuit integrity – Part 23: Procedures and requirements – Electric data cables* vaatimusten mukaan [15].

6.5.3 Halogeeniton (*Halogen free*)

Halogeenittomat kaapelit eivät sisällä halogeeneja, kuten klooria tai fluoria. Esimerkiksi yleisesti käytetty PVC sisältää klooria, jota vapautuu kaapelista palotilanteessa. Kloorin joutuessa kosketuksiin vedyn kanssa syntyy suolahappoa, joka on terveyshaitta ihmisille. Suolahappo aiheuttaa myös materiaaleissa voimakasta korroosiota, josta voi aiheutua suuria taloudellisia vahinkoja [15].

Halogeenittomuus kaapeleissa testataan standardin IEC 60754-1 *Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 1: Determination of the halogen acid gas content* mukaan.[15] Korrosoivan savukaasun testi suoritetaan standardin IEC 60754-2 *Test on gases evolved during combustion of electric cables – Part 2: Determi-*

nation of degree of acidity of gases evolved during the combustion of materials taken from electric cables by measuring pH and conductivity mukaan [15].

6.5.4 Alhainen savunmuodostus (*Low smoke density*)

Savunmuodostuksella on keskeinen vaikutus pelastus- ja sammutustöille, sillä käytännön palotilanteessa ulospääsytien näkeminen on pelastumisen edellytys. Näkyvyyshaittojen lisäksi savu sisältää ihmiselle myrkyllisiä aineyhdisteitä. PVC ja kumi tuottavat palaessaan runsaasti mustaa savua. Alhaisen savunmuodostuksen kaapeleissa käytetyt polyolefiinit, kuten PP ja PE sekä niistä kehitetyt erikoisseokset tuottavat verrattain vähän haitallisia savukaasuja [14].

Alhainen savunmuodostus testataan standardien IEC 61034-1 *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions - Part 1: Test apparatus* ja IEC 61034-2 *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions - Part 2: Test procedure and requirements* menetelmien ja vaatimusten mukaan [15].

6.6 Johtimien luokittelu

Johtimien luokittelulla määritellään johtimen rakenne, taipuisuus ja käyttösovellus. Johtimet luokitellaan taulukon 5 mukaisesti neljään luokkaan: 1, 2, 5 ja 6.

Taulukko 5 Johtimien luokitus [17, s. 146]

Luokka	Kuvaus	Käyttö/Sovellus
1	Yksilankaiset kupari- ja alumiinijohtimet	Kiinteät asennukset
2	Kerratut kupari- ja alumiinijohtimet	
5	Kerratut taivuteltavat kuparijohtimet	Asennukset, joihin kohdistuu tärinää. Kytkennät liikkuviin osiin
6	Kerratut taivuteltavat kuparijohtimet, joiden taivuteltavuus on parempi kuin luokan 5 johtimilla	

Nostureissa ei käytetä luokan 1 johtimia, sillä ne eivät kestä nostureissa esiintyvää tärinää ja liikehdintää. Nostureissa käytetään pääasiassa luokan 5 ja 6 johtimia, mutta myös luokan 2 johtimia käytetään esim. nostovaunun ja sillan kiinteisiin asennuksiin. Standardi EN 60204-32 ei varsinaisesti kiellä käyttämästä luokan 1 johtimia, mutta käytäntö on osoittanut, että ne eivät sovellu nosturikäyttöön.

6.7 Mekaaninen mitoitus

Kaapeleiden ja johtimien mekaanisessa mitoituksessa on otettava huomioon kaapelin käyttökohde ja olosuhteet. Esimerkiksi kenttäjohdotuksessa, jossa kaapeli on asennettu normaalisti kaapelikanavaan, voidaan olettaa, että kaapeliin ei kohdistu poikkeavaa rasitusta. Rasituksella tarkoitetaan tässä tapauksessa normaalista poikkeavaa vetojännitystä ja hankauksesta tai puristumisesta aiheutuvaa rikkoutumista.

Käytettävien kaapeleiden ja johtimien mekaanisen vetolujuuden ja paksuuden on siis oltava sellainen, etteivät ne vaurioidu käytössä tai asennuksessa erityisesti asennusputkeen vedettäessä. Jos ei jostain syystä ole mahdollista käyttää riittävän lujalla eristeellä olevia kaapeleita tai johtimia, täytyy ne suojata jollain muulla keinolla, kuten suo-japutkella tai panssariletkulla.

Standardissa EN 60204-32 on määritelty pienimmät sallitut kuparijohtimien poikkipinnat, jotta riittävä mekaaninen lujuus saavutetaan. Tehonsiirrossa käytettäville yksijohdin kaapeleille pienin sallittu poikkipinta on 1,0 mm² ja monijohdinkaapeleille 0,75 mm².

NEC on myös määritellyt pienimmät sallitut poikkipinnat joita saa nosturissa käyttää. Johtimien pienin sallittu poikkipinta on 16 AWG ja ohjauspiireissä 20 AWG monijohdin-kaapelissa, jos kuormitusvirta ei ylitä 7 ampeeria.

Normaalisti kuparijohtimien vetojännitys ei saa ylittää 15 N/mm², mutta jos käyttö vaatii tätä suurempaa vetojännitystä, tulisi käyttää erikoisrakenteisia kaapeleita käyttötar-koituksen mukaan. Kaapelin vetojännitystä arvioidessa täytyy ottaa huomioon muuta-mia tekijöitä:

- kiihtyvyysoimat
- liikenopeus
- kaapelin oma paino (riippuva)
- mekaaninen ohjaustapa
- kaapelirumpujärjestelmän suunnittelu.

Jos taipuisien kaapelien johtimet ovat jotain muuta materiaalia kuin kuparia, tulisi suurimman johtimeen kohdistuvan vetojännityksen olla kaapelin valmistajan määrittelemien arvojen rajoissa. [17.]

6.8 Rummulle kelatut kaapelit

Kaapelirumpu voi olla säteittäinen tai sylinterimäinen, moottorilla kelattava tai jousella palautuva. Säteittäisessä rummussa kaapeli kelataan spiraalimaisesti lähekkäin asennettujen laippojen väliin, kun taas sylinterimäisessä rummussa kaapeli on kelattu yhteen tai useampaan kerrokseen etäällä sijaitsevien laippojen väliin (ks. kuva 10). Kaapelirumpu on tuuletettu, jos sen rummussa tai laipoissa on aukkoja ja tuulettamaton, jos rakenne on yhtenäinen.



Kuva 10 Säteittäinen ja sylinterimäinen kaapelirumpu

Rumpukaapelin valinnassa on huolehdittava, että kaapeli on mekaanisesti riittävän kestävä rumpukäyttöön. Riippuen kaapelirummusta ja käytöstä kaapelit ovat joko normaaleja taipuisia kumikaapeleita tai erikoisrakenteisia taipuisia kumikaapeleita. Lähtökohteisesti olisi hyvä keskustella rummun ja kaapelin toimittajan kanssa, jolloin sopivan kaapelin valinta on varminta.

Standardissa EN 60204-32 on ohjeistettu, että valittaessa rumpukaapelia tulisi varmistaa, että kaapelirummulle jää aina vähintään kaksi kerrosta taipuisaa kaapelia. Eli mitoitettaessa kaapelin pituutta tulisi tämä ottaa huomioon. Lisäksi tulisi huolehtia, että kaapelin pienin sallittu taivutussäde on taulukon 6 (ks. seur. s.) mukainen. NEC-artikkeli 610 ei ota kantaa rummulle kelattujen kaapeleiden mitoitukseen.

Rumpukaapelin valinnassa on myös huomioitava, että samalla poikkipinnalla oleva johdin lämpenee rumpukäytössä enemmän, kuin esimerkiksi vapaasti ilmaan asennetun kaapelin johdin. Rumpukaapelin mitoituksessa tulee siis käyttää sopivia kuormituksen korjauskertoimia. (Ks. 7.3.2 Johtimien ja kaapeleiden kuormitettavuus.) [17.]

Taulukko 6 Taipuisien kaapeleiden pienin sallittu taivutussäde kaapeliohjaimessa [18, s. 152]

Sovellutus	Kaapelin halkaisija tai lattakaapelin paksuus (d) mm		
	$d \leq 8$	$8 < d \leq 20$	$d > 20$
Kaapelirummut	6 d	6 d	8 d
Ohjausrullat	6 d	8 d	8 d
Kaapeliradat	6 d	8 d	8 d
Muut	6 d	8 d	8 d

7 Tehonsiirtokaapelien ja -johtimien mitoitus ja suojaus

7.1 Yleistä johtimien ja kaapelien kuormitettavuudesta

Johtimien ja kaapelien kuormitettavuuden määrittelee suurin sallittu johtimen lämpötila kuormitettaessa suurimmalla mahdollisella jatkuvuustilan virralla tai lämpövaikutuksiltaan vastaavan virran tehollisarvolla jaksottaisessa käytössä sekä äärimmäinen sallittu lyhytaikainen johdinlämpötila oikosulkuilanteessa. Suurin sallittu lämpötila määräytyy johtimen eristemateriaalin lämpökestoisuuden mukaan.

7.2 Lämpenemä

Johtimessa kulkeva virta aiheuttaa tehohäviöitä, jotka ilmenevät lämpenemisenä. Mitä suuremmalla virralla johdinta kuormitetaan, sitä enemmän siinä syntyy tehohäviöitä ja lämpöä. Johtimessa syntyvä tehohäviö voidaan laskea yhtälöllä

$$P_j = I^2 R_j \text{ (W)} \quad (2)$$

missä

I on johtimessa kulkeva virta (A)

R_j on johtimen resistanssi (Ω)

Tehohäviö P_j muuttuu johtimessa kokonaisuudessaan lämmöksi, lämmittäen johdinta. Johtimen lämpötila nousee aluksi nopeasti ja sitten hitaammin, kunnes johtimen loppulämpötila on saavutettu. Johtimessa syntyvä lämpöteho ei jää johtimeen, vaan se pyrkii siirtymään ympäristöön. Lämmön siirtyminen tapahtuu termodynamiikan toisen pää-

säännön mukaisesti, eli mitä suurempi lämpötila johtimella on, sitä suurempi on ympäristöön siirtyvä lämpöteho, eli lämpövirta ϕ [16].

Johtimen ja ympäristön lämpötilojen erotusta $\Delta\theta$, voidaan kutsua myös johtimen lämpenemäksi [13]. Johtimen lämpenemälle $\Delta\theta$ pätee yhtälö

$$\Delta\theta = \theta_j - \theta_y \text{ (K)} \quad (3)$$

missä

θ_j on johtimen lämpötila (K)

θ_y on ympäristön lämpötila (K)

Johtimen ja ympäristön ollessa termodynaamisessa tasapainotilassa, eli niiden välisen lämpötilaeron ollessa nolla, siirtyy kaikki johtimessa kehittyvä häviöteho P_j ympäristöön [16]. Eli tasapainotilanteessa

$$P_j = \phi \quad (4)$$

Mitä suurempi on johtimen lämpenemä, sitä suurempi on siitä poistuva lämpöteho, eli lämpövirta ϕ [16]. Lämpenemän $\Delta\theta$ ja lämpövirran ϕ välillä pätee yhtälö

$$\Delta\theta = \phi R_{th} \quad (5)$$

missä

R_{th} on lämpöresistanssi (Km/W)

Lämpöresistanssi on johtimen ja ympäristön välinen lämpövastus, joka pyrkii estämään lämmön siirtymistä johtimesta ympäristöön. Lämpöresistanssi kuvaa, miten tehokkaasti lämpö siirtyy aineen läpi. Mitä suurempi lämpöresistanssi on, sitä huonommin lämpö johtuu aineessa [16].

Johtimen lämpenemä riippuu siis lämpövirrasta ja lämpöresistanssista. Jos lämpöresistanssi on vakio, tällöin lämpenemä on

$$\Delta\theta \sim \phi \quad (6)$$

Toisaalta edellä esitettyjen perusteella lämpövirta on tasapainotilanteessa

$$\phi = I^2 R_j \quad (7)$$

Jolloin virralla I_1 lämpenemä on

$$\Delta\theta_1 = I_1^2 R_{j1} R_{th} \quad (8)$$

Ja vastaavasti viralla I_2 lämpenemä on

$$\Delta\theta_2 = I_2^2 R_{j2} R_{th} \quad (9)$$

Tarkasti ottaen johtimen resistanssi R_j riippuu myös lämpötilasta, mutta jos tämä jätetään huomioimatta, on

$$R_1 = R_2 = R \quad (10)$$

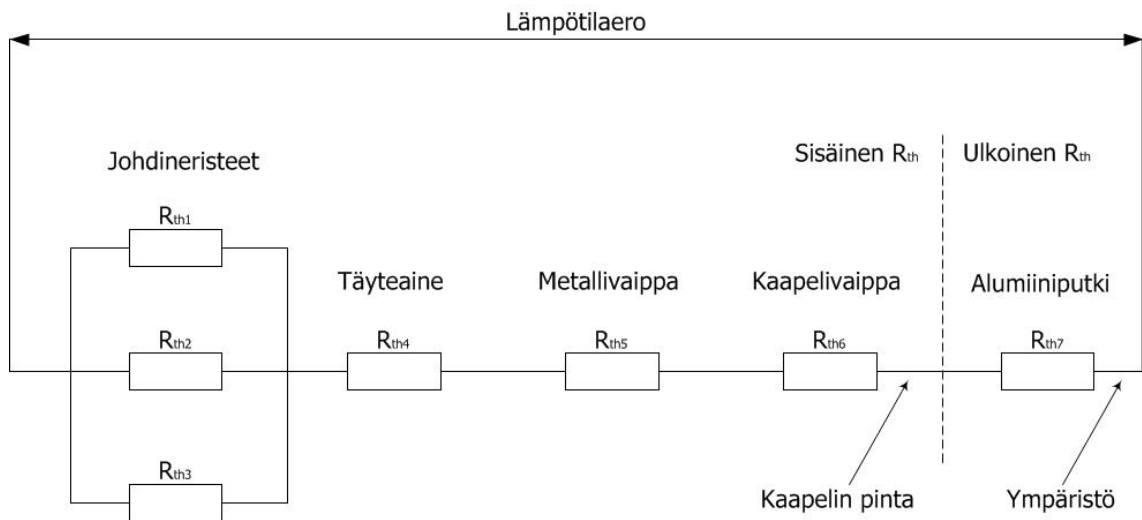
Tällöin jakamalla yhtälöt 8 ja 9 keskenään saadaan

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \left(\frac{I_1}{I_2}\right)^2 \quad (11)$$

Kuormitettaessa kolmivaiheista symmetristä metallivaippaista kaapelia, joka on asennettu esimerkiksi alumiiniseen asennusputkeen siltanosturin huoltotasolle, siirtyy siinä syntyvä lämpö ensin johtimesta johdineristeen pintaan ja siitä täyteaineiden läpi. Täyteaineesta lämpö siirtyy metallivaipan pintaan, josta taas kaapelin eristemateriaalin läpi. Lopulta lämpö siirtyy kaapelin eristemateriaalista alumiiniputkeen ja siitä ympäristöön [16].

Tätä lämmön johtumista voidaan kuvata lämpöresistansseista koostuvalla lämpövirtapiirillä. Lämmön johtumista kuvataan Fourierin lailla, joka on analogialtaan samankaltainen Ohmin lain kanssa. Ohmin lain sähköinen virta vastaa Fourierin laissa lämpövirtaa, jännitehäviö lämpenemää ja lämpöresistanssit sähköisiä resistansseja [11;16].

Kuvassa 11 (ks. seur. s.) on esimerkki lämpövirtapiirimallista.



Kuva 11 Lämmön johtumista kuvaava lämpövirtapiirimalli [16;11]

Kokonaislämpöresistanssi muodostuu useasta osaresistanssista ja usein kokonaislämpöresistanssi jaetaan kahteen osaan, kaapelin sisäiseen lämpöresistanssin ja ulkoiseen lämpöresistanssiin. Sisäinen lämpöresistanssi koostuu johtimien ja kaapelin ulkopinnan välisistä resistansseista ja ulkoinen lämpöresistanssi kaapelin pinnan ja ympäristön välisistä resistansseista.

Sisäinen lämpöresistanssi ei ole riippuvainen asennusympäristöstä. Sen sijaan ulkoinen lämpöresistanssi on voimakkaasti riippuvainen asennusolosuhteista. Ulkoiseen lämpöresistanssiin vaikuttavia seikkoja ovat, mm.

- ympäristön ominaislämpövastus
- ilmanvaihto
- kouruista, asennusputkista jne. aiheutuva lisälämpöresistanssi.

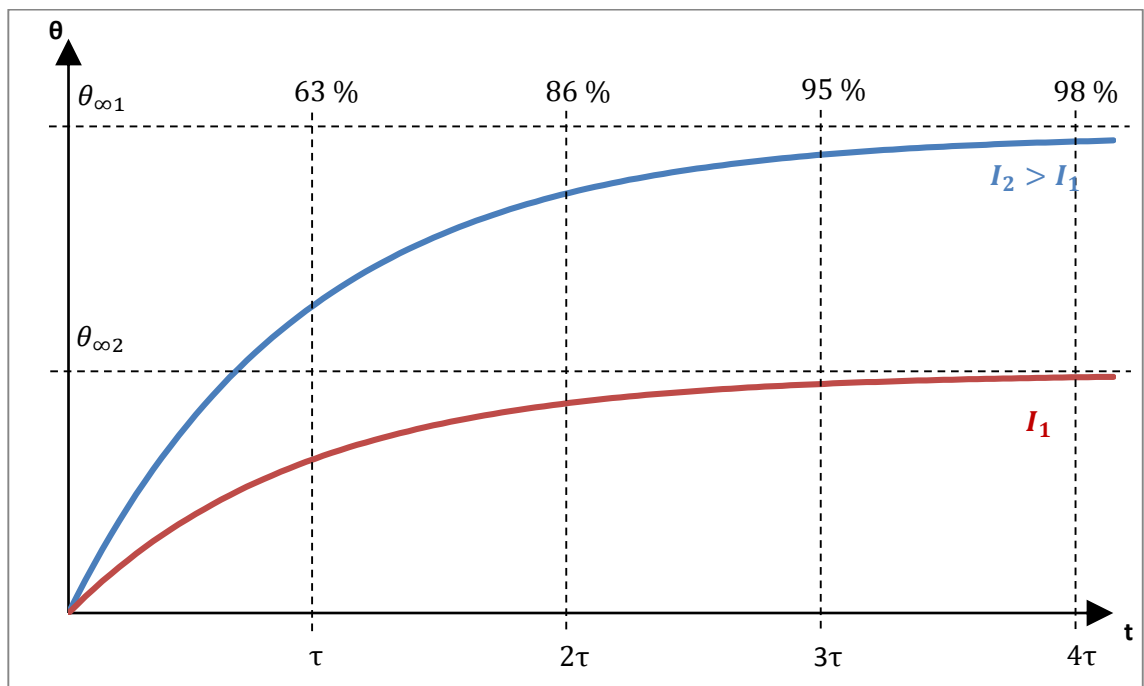
Usein sama kaapeli kulkee erilaisissa asennusympäristöissä, jolloin ulkoinen lämpöresistanssi voi vaihdella hyvinkin paljon eri kohdissa kaapelireittiä. Tällöin suurin lämpenemä saavutetaan kohdassa, jossa ulkoinen lämpöresistanssi on suurin, sillä kehittyvä lämpövirta on pituusyksikköä kohden vakio. Kaapelin suurin sallittu virta on siis mitoitettava lämmönsiirtymisolosuhteiltaan epäsuotuisimman osuuden mukaan.

Samoissa asennusolosuhteissa olevaa ohutta kaapelia voidaan kuormittaa poikkipinnan mm^2 kohti suuremmalla virralla, kuin muuten vastaavaa, mutta paksumpaa kaapelia. Tämä johtuu siitä, että johtimen jäähtyvyys on suoraan verrannollinen kaapelin uloimman vaipan pinta-alaan, joka taas on verrannollinen sen halkaisijan neliöön. Kun kaa-

pelin halkaisijaa kasvatetaan, sen johtimen poikkipinta kasvaa nopeammin kuin kaapelia jäädyttävän ulkovaipan pinta-ala. Toisin sanoen ohuempi kaapeli jäähtyy suhteessa paremmin, kun paksu. Kuormitettavuusmielessä onkin usein suotuisampaa käyttää yhden paksunnan kaapelin sijasta kahta rinnakkaista ohutta kaapelia.

Syötettäessä johdinta tai kaapelia virralla I , ei johdin saavuta välittömästi lopullista lämpötilaansa. Johdin lämpenee ensin nopeasti ja sitten hitaammin seuraten eksponenttikäyrää. Aikaa jolloin johdin saavuttaa loppulämpenemästään 63 %, kutsutaan lämpöaikavakioksi τ . Teoriassa johdin saavuttaa lopullisen lämpenemänsä vasta ajassa $\infty\tau$. Käytännössä voidaan kuitenkin katsoa, että johdin on saavuttanut lopullisen lämpenemänsä ajassa 4τ , jolloin johdin on saavuttanut noin 98 % loppulämpenemästään θ_∞ [16]. Matemaattisesti lämpenemää kuvataan eksponenttifunktiolla

$$\theta(t) = \Delta\theta \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (12)$$



Kuva 12 Johdon lämpenemä [16]

Kuvan 12 kuvaajasta nähdään, että aikavakio on aina sama riippumatta kaapelin kuormituksesta. Kuormitusvirta siis vaikuttaa vain loppulämpenemän θ_∞ suuruuteen. Seuraavassa taulukossa (ks. seur. s.) on erilaisilla poikkipinnoilla olevien johtimien lämpöaikavakioita. Huomioitavaa on, että lämpöaikavakioon vaikuttaa myös asennusolosuhteet ja kaapelin materiaalit sekä rakenne.[16.]

Taulukko 7 Johtimien lämpöaikavakiot [17, s. 220]

Poikkipinta (mm ²)	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
τ (min)	2,7	3,1	3,6	4,2	5,2	6,4	7,9	9,4	11,3	13,6	16,1	18,4	21,0	23,7	27,7	31,8

7.3 Johtimien ja kaapelien kuormitettavuus

Johtimien ja kaapelien kuormitettavuus riippuu useista tekijöistä, kuten asennustavasta, kaapelin johtimien lukumäärästä, ryhmittelystä ja ympäristön lämpötilasta. Käytännössä erilaisten kaapeleiden kuormitettavuutta ei voida laskennallisesti määrittää, vaan kuormitettavuus on selvitetty kuormituskokeilla [16]. Kaapeleissa ja johtimissa käytetty eristeaine määrää suurimman sallitun lämpötilan, jonka johto saa saavuttaa. Taulukossa 8 on standardissa EN 60204-32 annetut yleisimpien johdinmateriaalien suurimmat sallitut lämpötilat.

Taulukko 8 Eristemateriaalien suurimmat sallitut johdinlämpötilat normaalikäytössä ja oikosulkutilanteessa [17, s. 216]

Eristyksen tyyppi	Suuri johtimen lämpötila tavannukaisessa käytössä °C	Suurin lyhytaikainen johtimen lämpötila oikosulkutilanteessa* °C
Polyvinyylikloridi (PVC)	70	160
Kumi	60	200
Ristisilloitettu polyeteeni (XLPE)	90	250
Eteenipropeeniseos (EPR)	90	250
Silikonikumi (SIR)	180	350
HUOM. Tinatut ja paljaat kuparijohtimet eivät ole sopivia, kun lyhytaikainen lämpötila ylittää 200 °C. Hopealla tai nikkelillä päällystetyt kuparijohtimet ovat sopivia lämpötilan ylittäessä 200 °C.		
*Arvot perustuvat siihen, että adiabaattisen käyttäytymisen oletetaan kestävän enintään 5 s.		

Standardissa EN 60204-32 on ohjeistettu käyttämään standardissa IEC 60364-5-52 annettuja johtojen kuormitustaulukoita. Kuormitustaulukoissa on annettu PVC- ja XLPE- / EPR-johtojen suurimmat sallitut kuormitettavuudet ympäristön lämpötilan ollessa +30 °C asennustavoilla B1, B2, C ja E. (Kuormitustaulukot löytyvät liitteen 1 taulukoista 7 ja 8.)

- Asennustavat B1 ja B2 tarkoittavat johdon asentamista seinällä olevaan asennusputkeen, seinäkanavaan tai lämpenemisominaisuuksiltaan vastaavia asennustapoja. Asennustapa B1 tarkoittaa yksijohdinkaapelin ja asennustapa B2 monijohdinkaapelin käyttöä. (Ks. liite 1, kuva 1 ja 2.)
- Asennustapa C tarkoittaa monijohdinkaapelin pinta-asennusta seinälle tai lämpenemisominaisuuksiltaan vastaavia asennustapoja. (Ks. liite 1, kuva 2.)
- Asennustapa E tarkoittaa monijohdinkaapelin ilma-asennusta, kuten riippukaapelia, kaapelihylly- ja vastaavat asennukset, joissa ilma pääsee vapaasti kiertämään kaapelin ympärillä. (Ks. liite 1, kuva 2.)[17.]

Kuormitustaulukot ovat ohjeellisia ja muitakin taulukoita voidaan käyttää, jos mittamalla tai muuten voidaan osoittaa, ettei johto lämpene enempää kuin taulukko 8 (ks. ed. s.) sallii. Toisin sanoen, ensisijaisesti tulisi siis käyttää johtojen valmistajien antamia kuormitustaulukoita. Valmistajat ovat lähtökohtaisesti vastuussa ilmoittamistaan kuormitusarvoista [16].

Jos asennusolosuhteet poikkeavat em. taulukoiden olosuhteista, tulee käyttää korjauskertoimia joilla johdon virranjohtokyky korjataan vastaamaan vallitsevia käyttöolosuhteita. Korjauskertoimista lisää seuraavissa luvuissa.

7.3.1 Ympäristön lämpötilan ja johtojen ryhmittelyn korjauskertoimet

Usein kuormitustaulukoissa ilmoitetut suurimmat sallitut kuormitettavuudet ovat ympäristön lämpötilassa +30 °C ja ottavat huomioon vain yhden kuormitetun johtimen tai kaapelin. Koska johtojen todellinen asennusympäristö poikkeaa usein kuormitustaulukoiden ihanteista, tulee johtojen virranjohtokyky korjata vastaamaan todellisia käyttöolosuhteita.

Ympäristön lämpötilan poiketessa +30 °C:sta tulee käyttää liitteen 1 taulukon 3 korjauskertoimia. Taulukon korjauskertoimia voidaan käyttää vain liitteen 1 taulukoiden 7 ja 8 kuormitusten korjaamiseen, tai muihin IEC 60364-5-52 -standardin mukaisiin PVC- ja XLPE- / EPR-johtoihin.

Asennettaessa useita yksijohdin- tai monijohdinkaapeleita rinnakkain tai nippuihin tulisi käyttää liitteen 1 taulukon 4 antamia korjauskertoimia.

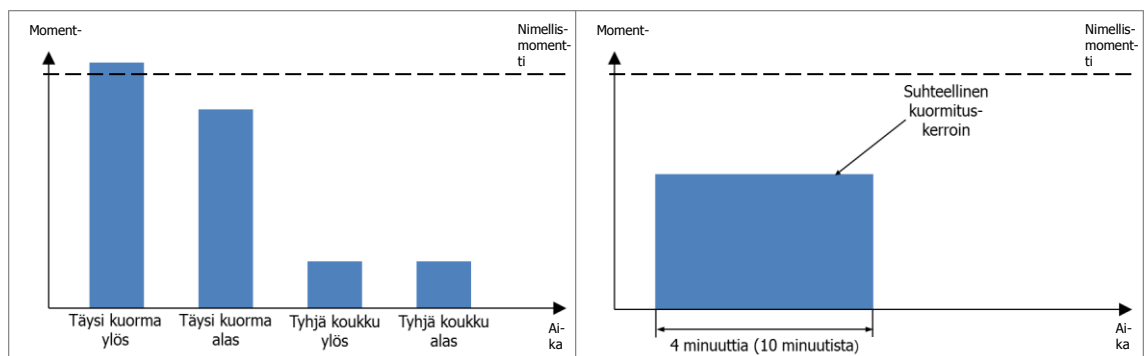
7.3.2 Rummulle kelattujen kaapeleiden kuormitettavuus

Rummulle kelattavien kaapeleiden kuormitettavuutta määriteltäessä tulisi huolehtia, että käytettävien johtimien suurinta sallittua lämpötilaa ei ylitetä normaalikäytön kuormituksella, kun kaapeli on kokonaisuudessaan kelattu rummulle [17]. Kaapeleiden kuormitettavuutta tulisikin korjata liitteen 1 taulukon 6 korjauskertoimia käyttäen.

Usein käytettävien rumpukaapeleiden johtimien poikkipinnat ovat pieniä esim. 2,5 mm², jotta kaapelin riittävä taipuisuus säilyy. Tämä johtaa usein siihen, että suurempia kuormitusvirtoja vaativissa asennuksissa käytetään rumpukaapelissa useita rinnakkaisia johtimia saman vaiheen syöttämiseen. Tällöin on huomioitava, että oikosulkukestoisuuden määrää piirin heikoin kohta, joka usein on poikkipinnaltaan äärijohdinta pienempi nolla- tai suojajohdin. (Ks 7.5.2 Oikosulkusuojaus.)

7.3.3 Johtimien kuormitettavuus jaksottaisessa käytössä

Nosturien sähkömoottoreiden kuormitus on usein luonteeltaan jaksottaista. Jaksottaisessa käytössä sähkömoottoria ei kuormiteta jatkuvasti nimellisteholla, vaan kuormitus vaihtelee. Nostureissa sähkömoottoreiden käyttöjakso ilmoitetaan ED-prosentin avulla. ED-prosentti ilmoittaa, kuinka pitkään moottoria voidaan käyttää nimellisteholla 10 minuutin pituisella jaksolla aiheuttamatta ylikuumenemista. Nosturin nostomoottorin työjakso voi olla esimerkiksi kuvassa 13 esitetyn kaltainen jossa ED% on 40 % [18].



Kuva 13 Nostomoottorin ajoittaiskäyttökertoimen määrittelyesimerkki [18, s. 18]

Jaksottaisessa käytössä johdin ei saavuta käyttöjakson aikana loppulämpenemäänsä, jos se on mitoitettu käytön nimellisvirran mukaa. Mitoituksessa voidaan käyttää korjauskerrointa, jolla johtimen virranjohtokyky jaksottaisessa käytössä saadaan määritettyä.

Liitteen 1 taulukon 2 korjauskertoimia voidaan käyttää, kun toimintajakson kesto jaksottaisessa käytössä on 10 minuuttia ja tämä onkin yleisin tapa taajuusmuuttaja käytöisille moottoreilla. Jos jakson aika on jostain syystä jokin muu kuin 10 minuuttia, tulisi korjauskerroin laskea yhtälöllä

$$f_{ED} = \sqrt{\frac{1 - e^{-\left(\frac{T_a + T_i}{\tau}\right)}}{1 - e^{-\left(\frac{T_a}{\tau}\right)}}} \quad (13)$$

missä

τ on johtimen lämpöaikavakio (s)

T_a on käyntiaika (s)

T_i on poissaoloaika (s)

Standardi EN 60204-32 suosittaa, että käytöissä, joiden kuormitus ja nopeus vaihtelevat esimerkiksi kuvan 14 tavalla (ks. seur. s.), tulisi johtimet mitoittaa lämpöekvivalentin virran mukaan. Lämpöekvivalentti virta lasketaan yhtälöllä

$$I_q = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N I_k^2 \times t_k}{t_s}} \quad (\text{A}) \quad (14)$$

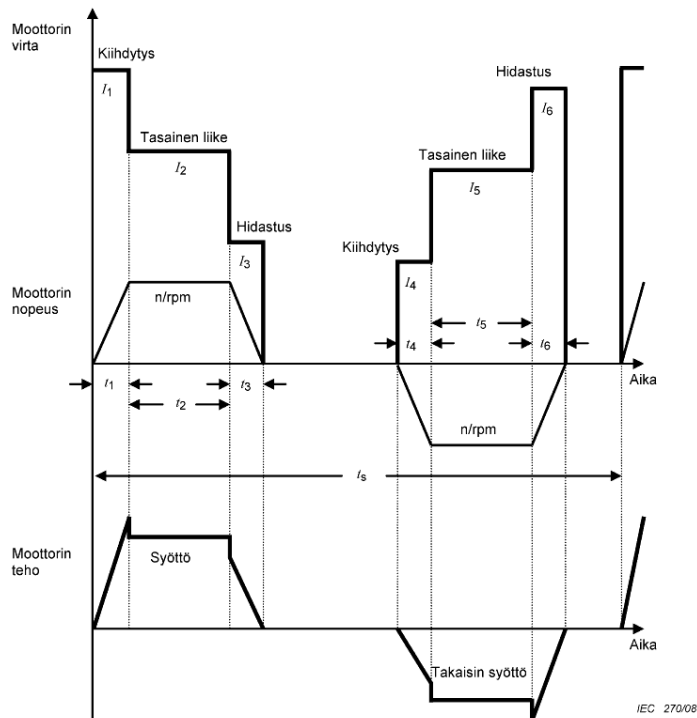
missä

I_q on lämpöekvivalentti virta (A)

t_s on toimintajakso (s)

I_k on toimintajakson virtasegmentti (A)

t_k on toimintajakson aikasegmentti (s)



Kuva 14 Esimerkki vaihtelevan nostokäytön toimintajakson virta- ja aikasegmenteistä [17, s. 222]

NEC määrittelee, että Yhdysvalloissa tulisi käyttää moottorikaapelin mitoitusvirtana moottorin tyyppikilvessä ilmoitettua täyden kuormituksen virtaa. Liitteen 3 taulukossa 1 on NEC:ssa annettu kuormitustaulukko ja ympäristön lämpötilan korjauskertoimet joiden mukaan valinta tulisi suorittaa. [19, s. 528 – 529.]

7.4 Jännitteen alenema

Johtimessa kulkeva virta aiheuttaa johtimen impedansseissa tehohäviötä ja jännitteen alenemaa. Jännitteen aleneman täytyy pysyä määritellyissä rajoissa, jotta voidaan varmistaa laitteiden turvallinen sekä oikeanlainen toiminta. Jännitteen alenemaa määritellyssä tulisi ottaa huomioon mahdolliset syöttöverkon jännitevaihtelut sekä se, että kontaktorien oletetaan kestävän päästämättä 15 % jännitteen alenema [18].

Nostureissa suurin sallittu jännitteen alenema nosturin syöttömuuntajan ja moottorin välillä on 10 %. Tämä on jaettu kolmeen osaan niin, että asiakkaan toimittamalle nousujohdolle sallitaan enintään 5 %, nosturin syöttökiskolle 2,5 % ja moottorikaapelille 2,5 % alenema. Eri osioiden jännitteen alenemat voivat myös kompensoida toisiaan [18].

Standardi EN 60204-32 sallii enintään 5 % jännitteen aleneman syötönerotuskytkimeltä moottorille tai taajuusmuuttajakäyttöisen moottorin muuttajan verkkoliittimiin. Vaatimuksen täyttämiseksi saattaa olla tarpeellista käyttää suurempia poikkipinta-aloja kuin liitteen 1 taulukoissa 9 - 11 on kyseisille mitoitusvirroille annettu[17].

NEC:n nostureita käsittelevä artikkeli 610 ei ota kantaa jännitteen aleneman suuruuteen.

Kolmivaiheisen kaapelin jännitteen alenema saadaan laskettua yhtälöllä

$$U_h = \frac{\sqrt{3} \times l \times I_{max} \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}{U_n} \times 100\% \quad (\%) \quad (15)$$

missä

I_{max} on kuorman maksimivirta (A)

l on johtimen pituus (km)

R_j on johtimen resistanssi (Ω/km)

X_j on johtimen induktiivinen reaktanssi (Ω/km)

φ on vaihevirran ja -jännitteen välinen vaihesiirtokulma

U_n on nimellisjännite (V)

7.4.1 Johtimen resistanssi

Kaapelivalmistajat ja -toimittajat ilmoittavat yleensä kaapeleiden ja johtimien resistanssit, mutta jos niitä ei ole jostain syystä saatavilla, voidaan johtimen likimääräinen tasavirtaresistanssi laskea yhtälöllä

$$R_{DC} = \rho \times \frac{l}{A} \quad (\Omega) \quad (16)$$

missä

ρ on johdinmateriaalin ominaisvastus ($\Omega\text{m}/\text{mm}$)

l on johtimen pituus (m)

A on johtimen poikkipinta-ala (mm^2)

Johdinmateriaalin lämpötila vaikuttaa johtimen resistanssiin niin, että resistanssi kasvaa lämpötilan kasvaessa. Johtimen käyttölämpötilan poiketessa 20 °C voidaan resistanssin arvo laskea yhtälöllä

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha_{20}(t - 20)] \quad (\Omega) \quad (17)$$

missä

R_t on johtimen resistanssi lämpötilassa $t^\circ\text{C}$ (Ω)

R_{20} on johtimen resistanssi lämpötilassa 20°C (Ω)

α_{20} on ominaisvastuksen lämpötilakerroin lämpötilassa 20°C

t on johtimen lämpötila ($^\circ\text{C}$)

Taulukko 9 Yleisimpien johdinmateriaalien ominaisvastukset ja lämpötilakertoimet [11]

Johdinmateriaali	Ominaisvastus ρ @ 20°C Ωm	Ominaisvastuksen lämpötilakerroin α_{20} 1/°C
Kupari (hehkutettu)	$1,626 \times 10^{-8}$	0,0039
Kupari (kylmänä vedetty)	$1,724 \times 10^{-8}$	0,0039
Tinattu kupari	$1,741-1,814 \times 10^{-8}$	0,0039
Alumiini (pehmeä)	$2,803 \times 10^{-8}$	0,0040
Alumiini (puolikova-kova)	$2,826 \times 10^{-8}$	0,0040

7.4.2 Johtimen induktiivinen reaktanssi

Kaapelivalmistajat ja -toimittajat eivät yleensä ilmoita reaktanssia pienemmille johtimille ja kaapeleille. Reaktanssia ei yleensä ilmoiteta, sillä sen vaikutukset jäävät verrattain pieniksi verrattuna resistanssiin pieniä poikkipintoja käytettäessä. Johtimen induktiivinen reaktanssi voidaan laskea likimääräisesti yhtälöllä

$$X_j = 2\pi f \left(K + 0,2 \times \log_e \frac{2S}{d} \right) \times 10^{-3} \quad (\Omega/\text{km}) \quad (18)$$

missä

f on syöttöverkon taajuus (Hz)

K on johtimen rakenteesta riippuva kerroin

S on johtimien välinen etäisyys (mm)

d on johtimen halkaisija (mm)

Johtimen induktiivisen reaktanssin vaikutus jännitteen alenemaan tulisi arvioida aina tapauskohtaisesti, sillä induktiiviseen reaktanssiin vaikuttaa mm. kaapelin rakenne, käytetyt materiaalit ja ympäristö. Tästä syystä tulisikin ensisijaisesti konsultoida kaapelivalmistajaa reaktanssia selvittäessä, jos valmistajalta ei jostain syystä ole saatavilla reaktansseja, voidaan käyttää liitteen 1 taulukon 5 reaktansseja.

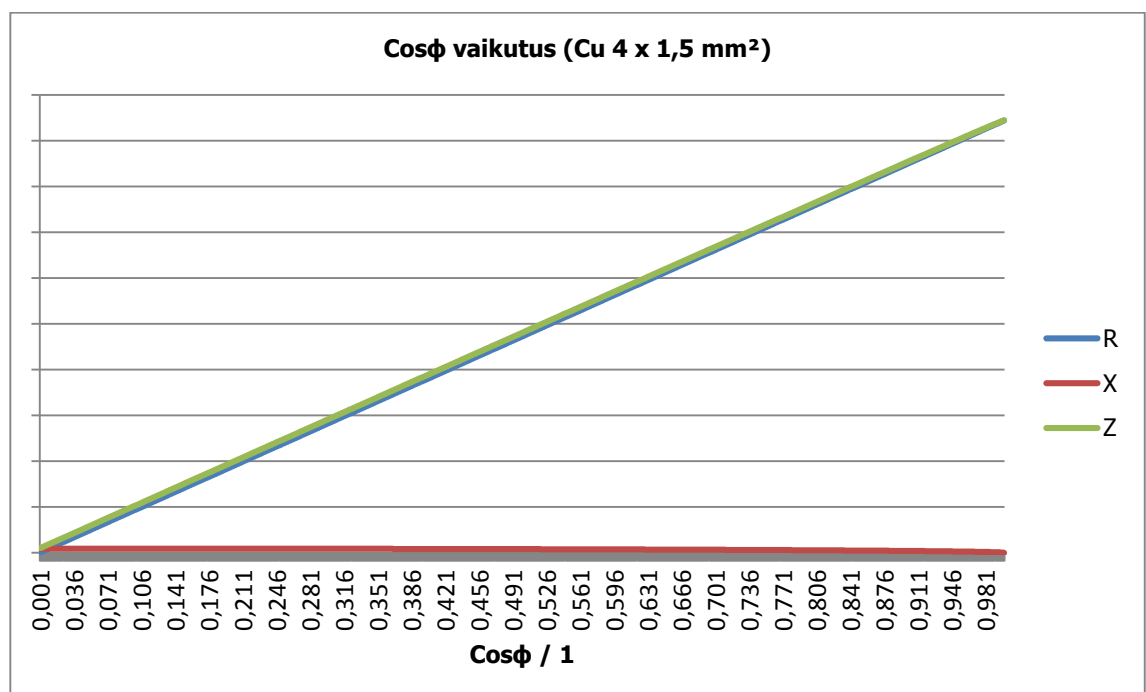
Seuraavassa on esimerkin vuoksi selvitetty miten resistanssi, reaktanssi ja impedanssi muuttuvat suhteessa toisiinsa kuorman tehokertoimen $\cos\phi$ funktiona käytettäessä liitteen 1 taulukon 5 resistanssi ja reaktanssi arvoja. Kuvaajissa käytetyt funktiot ovat

$$R(\cos\phi) = R \times \cos\phi \quad (19)$$

$$X(\cos\phi) = X \times \sin(\cos^{-1}(\cos\phi)) \quad (20)$$

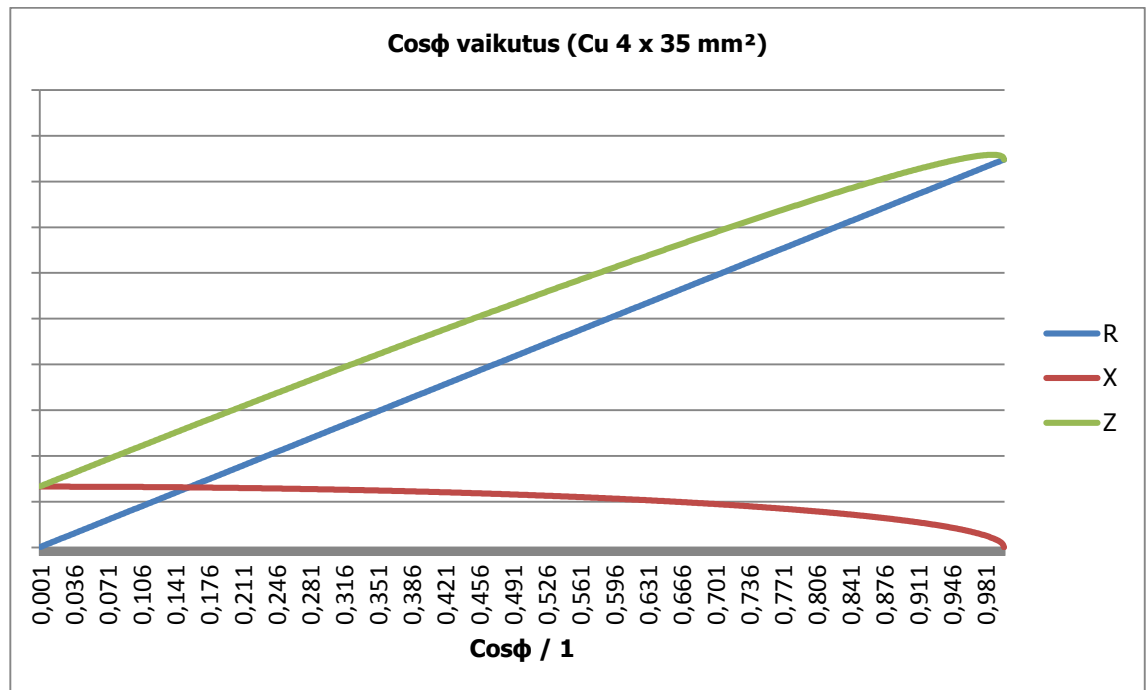
$$Z(\cos\phi) = R(\cos\phi) + X(\cos\phi) \quad (21)$$

Jotkin kaapelin valmistajat ja kaapelin mitoitus käsittävät oppaat ohjeistavat, että induktiivinen reaktanssi olisi hyvä ottaa huomioon, jos käytetään suuruusluokan ≥ 120 mm²:n poikkipintoja. Tästä syystä seuraavaan vertailun suurimmaksi kaapeliksi on valittu 120 mm²:n kaapeli, jota vertaillaan 1,5 mm²:n ja 35 mm²:n kaapeleihin.



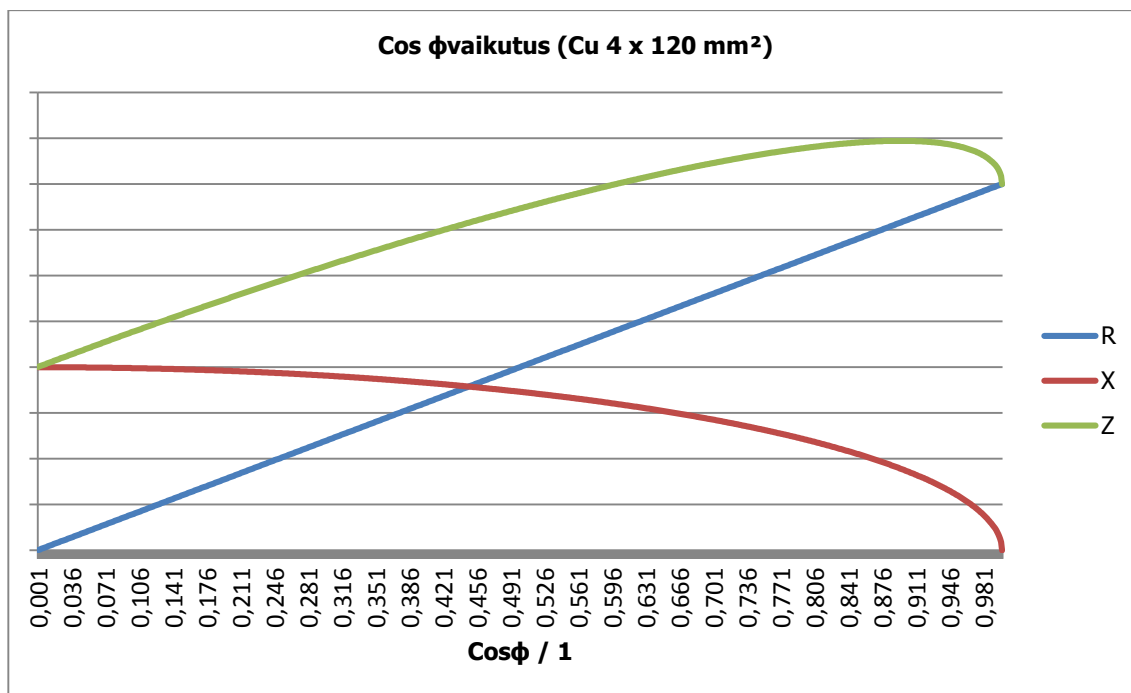
Kuva 15 4 x 1,5 mm Cu-kaapelin impedanssi Z, resistanssi R ja reaktanssi X kuorman tehokertoimen $\cos\phi$ funktiona

Kuvan 15 (ks. ed. s.) kuvaajasta voidaan havaita, että 1,5 mm²:n kaapelissa ei tarvitse ottaa reaktanssia huomioon laskettaessa jännitteen alenemaa, sillä reaktanssi suhteessa resistanssiin on mitätön ja tästä syystä sen vaikutukset impedanssiin jäävät vähäisiksi.



Kuva 16 4 x 35 mm² Cu-kaapelin impedanssi Z, resistanssi R ja reaktanssi X kuorman tehokerroimen cosφ funktiona

Kuvan 16 kuvaajasta voidaan todeta, että 35 mm²:n kaapelin reaktanssi on kasvanut suhteessa resistanssiin verrattaessa kuvan 15 kuvaajaan. Reaktanssi on silti vielä verrattain pieni, eikä sitä tarvitse ottaa huomioon jännitteen aleneman laskemisessa, jos kuorman tehokerroin $\cos\phi = 0,8 \dots 1,0$. Tehokerroimen ollessa em. välillä on impedanssin ja reaktanssin ero alle $\pm 10\%$, jota voidaan pitää sopivana raja-arvona suurimmalle sallitulle virheelle.



Kuva 17 4 x 120 mm² Cu-kaapelin impedanssi Z, resistanssi R ja reaktanssi X kuorman tehokertoimen $\cos\phi$ funktiona

Kuvan 17 kuvaajasta voidaan havaita, että poikkipinnan kasvaessa luokkaan ≥ 120 mm² reaktanssin vaikutus impedanssiin kasvaa merkittäväksi. Esimerkiksi tehokertoimen $\cos\phi$ ollessa $\sim 0,5$ vaikuttaa resistanssi ja reaktanssi yhtä paljon impedanssin suuruuteen.

Verrattaessa kuvia 14, 15, 16 ja 17 on nähtävissä, että reaktanssi kasvaa suhteessa resistanssiin, kun johtimen poikkipinta-alaa kasvatetaan. Näin ollen johtimen poikkipinta-alan kasvaessa reaktanssin huomioiminen jännitteen aleneman laskemisessa tulee merkittävämmäksi.

7.5 Oikosulkukestoisuus ja ylivirtasuojaus

Standardissa EN 60204-32 edellytetään, että kaikki nosturin virtapiirit on varustettava ylivirtasuojalla tai suojalaitteella, joka suojaa johtimet ylivirralla niin, että kaapelissa kulkeva oikosulkuvirta katkaistaan, ennen kuin johtimen lämpötila saavuttaa suurimman sallitun lämpötilan oikosulkutilanteessa [17].

Ylivirtasuojat jaetaan oikosulku- ja ylikuormitussojiin. Oikosulkusuojat on tarkoitettu suurien, normaalia kuormitusvirtaa monin verroin suurempien, oikosulkuvirtojen katkaisemiseen. Oikosulkuvirta saa aikaan vahinkoja jo lyhyenkin ajan kuluessa, joten oiko-

sulkusuojan tulee katkaista sähkönsyöttö mahdollisimman nopeasti. Nopean toiminnan lisäksi oikosulkusuojalla tulee olla suuri oikosulkuvirran katkaisukyky. Katkaisukyvyyn ollessa riittämätön, oikosulkuvirran katkaisu epäonnistuu ja mitä todennäköisimmin oikosulkuvirta saa aikaan suurta tuhoa suojattavassa piirissä. Oikosulkusuoja toimii vasta niin suurella virralla, ettei se sovellu johdon ylikuormitussuojaksi. Tyypillisesti oikosulkusuoja on relekatkaisija, mutta myös sulakkeita voidaan käyttää oikosulkusuojana.

Johdon ylikuormitussuojan tarkoitus on suojata johtoa lämpenemästä yli sallittujen rajojen. Hyvä ylikuormitussuoja mahdollistaa johdon täyden kuormitettavuuden ja katkaisee virran vasta, kun johdon suurin sallittu lämpötila ylitetään. Tyypillinen ylikuormitussuoja on moottorisuojakytkin.[16.]

7.5.1 Ylikuormitussuojaus

Johtimet ja suojalaitteet on sovittava yhteen niin, että suojan nimellisvirran tulee olla suurempi kuin suojattavan kohteen nimellisvirran. Johdon sallitun kuormitusvirran tulee sen sijaan olla suojan nimellisvirtaa suurempi [17, s. 214]. Tämä voidaan myös ilmaista seuraavalla epäyhtälöllä

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (22)$$

missä

I_b on virtapiirin mitoitusvirta

I_z on kaapelin kuormitettavuus

I_n on suojalaitteen nimellisvirta

Koska suojalaitteet eivät toimi nimellisvirrallaan, tulee suojan laukaisuvirta sovitaa johdon suurinta sallittua jatkuvaa kuormitusvirtaa vastaavaksi [17, s. 214]. Tämä voidaan myös ilmaista seuraavalla epäyhtälöllä

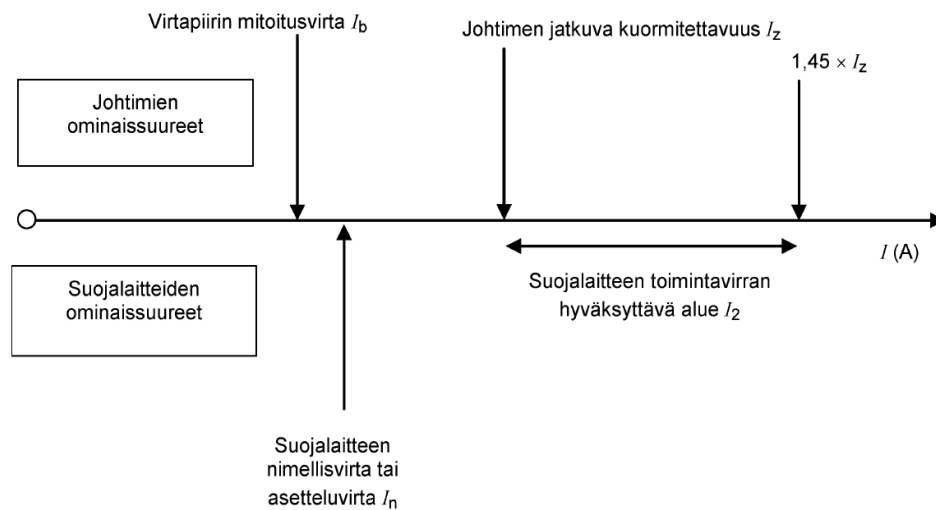
$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (23)$$

missä

I_z on kaapelin kuormitettavuus

I_2 on pienin virta, jolla suojalaite laukeaa määritellyssä toiminta-ajassa

Virran I_z määrittelyssä on huolehdittava, että mahdolliset korjaus- ja muuntokertoimet on otettu kuormitettavuudessa huomioon. Virran I_2 arvon saa joko laitestandardista tai se pitää pyytää valmistajalta [16]. Kuvassa 18 on havainnollistettu johtimien ja suojalaitteiden suhdetta ylikuormitussuojauksessa.



Kuva 18 Johtimien ja suojalaitteiden ominaisuudet [18]

7.5.2 Oikosulkusuojaus

Tässä osiossa ei syvennyttä oikosulkuvirran laskemiseen, vaan oletetaan, että se tunnetaan. Oikosulkusuoja on mitoitettava niin, että se katkaisee pienimmän virtapiirissä esiintyvän vikavirran, mutta sen on myös kyettävä katkaisemaan suurin, kiloampeerien suuruinen virta. Suurin oikosulkuvirta esiintyy heti suojalaitteen jälkeen ja pienin virtapiirin äärimmäisessä päässä [16].

Johdon oikosulkusuojauksessa on huomioitava, että laukaisuaika ei saa missään tapauksessa ylittää 5 sekuntia [17]. Kun oikosulku kestää enintään 5 sekuntia, voidaan yhtälöllä 24 laskea aika, jonka kuluessa johtimen lämpötila nousee suurimpaan sallittuun lämpötilaan oikosulussa

$$t = \left(k \times \frac{S}{I_k}\right)^2 \quad (24)$$

missä

S on johtimen poikkipinta-ala

I_k on oikosulkuvirran tehollisarvo

k on kuparijohtimen eristeaineesta riippuva kerroin

Taulukossa 10 on standardissa EN 60204-32 annetut eristeaineen kertoimet. Kertoimiin vaikuttaa johdinmateriaalin resistiivisyys, lämpötilakerroin ja lämmönvarauskyky sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat.

Taulukko 10 Kuparijohtimen eristeainekerroin [18, s. 216]

Eristeaine	PVC	Kumi	SiR	XLPE	EPR
k	115	141	132	143	143

8 Tulokset

Tämän insinööriyön yhtenä tavoitteena oli kartoittaa, miten Konecranes Industrial Crane Solutions -liiketoimintayksikön suunnitteluohjeet toimivat osana laadunhallintajärjestelmää. Kartointu oli tarkoituksena suorittaa laatimalla sähkösuunnitteluohje nosturien tehonsiirtokaapeleiden mitoitukselta ja valinnasta. Suunnitteluohjeen teoreettinen pohja saatiin koottua tähän työhön, mutta ohjetta ei ehditty laatimaan määrättyssä ajassa, joten kartointu tehtiin simuloimalla suunnitteluohjeen laadintaprosessia. Laadintaprosessin simulointi suoritettiin haastatteleamalla avainhenkilöitä, kuten aikaisemmin ohjeita laatineita henkilöitä, suunnittelun esimiestä ja dokumentointi päällikköä.

Simuloinnin tuloksena selvisi, että nykyisessä laadintaprosessissa oli poikkeamia. Osa poikkeamista oli lievempiä ja osa hieman vakavampia. Hyvänä tai ehkä mieluummin huonona esimerkkinä voidaan pitää laadullista poikkeamaa, joka esiintyi suunnitteluohjeiden tarkastajan ja hyväksyjän jäljitettävyydessä. Simuloinnissa selvisi, että dokumenttien hallintajärjestelmästä tai suunnitteluohjeesta ei löytynyt minkäänlaista kohtaa josta olisi selvinnyt, kuka ohjeen on tarkastanut tai hyväksynyt. Toisena esimerkkinä suunnitteluohjeiden ajantasaisuuden hallinnassa oli myös havaittavissa poikkeama. Ohjeiden päivitystarpeen määrittelyyn ei ollut olemassa mitään järjestelmällistä tapaa,

vaan ohjeiden päivitystarve määräytyi täysin ohjeiden käyttäjien palautteen perusteella. Yhteistyössä laadunhallinnan parissa työskentelevien henkilöiden kanssa tultiinkin tulokseen, että suunnitteluohjeiden laadun, ajantasaisuuden ja paikkansapitävyyden varmistamiseksi tulisi ottaa käyttöön ajoittainen katselmointi.

Simuloinnin lisäksi työn tiimoilta laadittiin ehdotelma miten laadintaprosessi voitaisiin suorittaa laadukkaammin ja ISO 9001 -standardissa esitettyjen dokumentointia koskevien vaatimusten mukaisesti. Ehdotuksen yhteyteen laadittu prosessikuvaus sai positiivista palautetta laadunhallintajärjestelmän parissa työskenteleviltä henkilöiltä, ja se omaksuttiin nopeasti epäviralliseen käyttöön. Aika tulee näyttämään, että tuleeko siitä nykymuodossaan tai ainakin pääpiirteittäin uusi ohjenuora suunnitteluohjeiden laadintaan.

Työn toisena tavoitteena oli laatia sähkösuunnitteluohje nosturien tehonsiirtokaapelien valinnasta ja mitoituksesta. Ajan loppuessa kesken ohjetta ei ehditty laatimaan, mutta se voidaan laatia myöhemmin tähän työhön koottujen teoriaosuuksien pohjalta. Kaapeleita käsittelevissä osioissa oli haasteellista spesifioida selvät rajat, joiden puitteissa tehtävää lähdettiin viemään eteenpäin. Työn alkuvaiheessa sovittiinkin, että rajataan kaapelit ainoastaan eurooppalaisiin harmonisoituihin kaapeleihin, mikä taas loi ristiriitaisia tunteita Yhdysvaltoja koskevan NEC-normin kanssa. Tästä syystä kaapelien valintaa käsittelevässä osassa ei ole varsinaisesti ohjeistettu kaapelityyppien valinnassa, vaan pysytty pääasiassa yleisellä tasolla ja esitetty standardien vaatimuksia.

Työn edetessä tuli ilmi mahdollisesti lisätarkastelua vaativa seikka. Nosturien kaapelien valinta on aika ajoin pitkä ja aikaa vievä prosessi. Aikaa ja sitä myöten resursseja kuluu, koska nostureissa käytettävien kaapeleiden valikoima on vähintäänkin laaja. Valintaa voisi huomattavasti nopeuttaa määrittelemällä nk. suosituimmuuskaapelit tai standardikaapelit erityyppisille nostureille erilaisissa olosuhteissa.

Lähteet

1. Standardisoinnin maailmankartta. Verkkodokumentti. Suomen standardisoi-
misliitto SFS r.y.
<[http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoin-
nin_maailmankartta](http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoin-
nin_maailmankartta)>. Luettu 10.3.2012.
2. SFS-EN ISO 9000:2005, 2. painos, Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sa-
nasto. 2005. Suomen standardisoi-
misliitto SFS.
3. SFS-EN ISO 9001:2008, 4. painos, Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset.
2008. Suomen standardisoi-
misliitto SFS.
4. General instructions for technical information documents, DG165en, Rev. A.
2011. Konecranes dokumentti. <vain sisäiseen käyttöön.>.
5. Saikkonen, Mikko. 2012. Delivery Engineering Manager (Electrics & Automa-
tion), Industrial Crane Solutions, Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. Keskustelu
25.5.2012.
6. Päivinen, Jani. 2012. Leading Engineer (Electrical), Industrial Crane Solutions,
Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. Keskustelu 25.5.2012.
7. Salomäki, Hannu. 2012. Leading Engineer (Electrical), Industrial Crane Solu-
tions, Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. Keskustelu 25.5.2012.
8. Jussila, Tuomas. 2012. Documentation Manager, Industrial Crane Solutions,
Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. Keskustelu 21.5.2012
9. Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas, 2. painos. 2012. Verkkodokumentti.
Euroopan komissio, yritys- ja teollisuustoiminta.
<[http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/machinery/guide-
appl-2006-42-ec-2nd-201006_fi.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/machinery/guide-
appl-2006-42-ec-2nd-201006_fi.pdf)>. Luettu 10.3.2012
10. Adoption of the National Electrical Code®. 2012. Verkkodokumentti. NEMA.
<<http://www.nema.org/stds/fieldreps/NECAdoption/implement.cfm>>. Luettu
10.3.2012.
11. G.F. Moore. 1997. Electric Cables Handbook/BICC Cables, 3. painos. Blackwell
Science Ltd. ISBN 0-632-04075-0.
12. Redlig, Ari. 2012. Leading Engineer (Electrical), Industrial Crane Solutions,
Konecranes Finland Oy, Hyvinkää. Keskustelu ja sähköpostit 15.3.2012

13. Martin, Janne. 1998. Voltage Stresses on Frequency Converter Driven Motors in Cranes. Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, Espoo, Finland, August 26-27, 1998.
14. Hämäläinen, Markku. 2006. Kaapelien paloterminologia tutuksi. SÄHKÖALA 10/2006.
15. IEC Kaapeleiden valinta, DI0015fi, Rev. A. 2011. Konecranes dokumentti. <vain sisäiseen käyttöön.>.
16. Ruppä, Eero. 2004. Johdon ja sen ylivirtasuojan mitoitus. Verkkodokumentti. <salabra.tp.samk.fi/er/siirto/ylivsuoj.doc>. Luettu 13.5.2012
17. SFS-EN 60204-32:2008, 2. painos, Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 32: Vaatimukset nostokoneille. 2008. Suomen standardisoimisliitto SFS.
18. Makkonen, Tarmo. 2008. Diplomityö, Siltanosturin päävirtapiirin sähkötekniiset mitoitusvaatimukset. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
19. NFPA 70®: NATIONAL ELECTRICAL CODE® (NEC®), 2011 Edition. 2011. Verkkodokumentti. National Fire Protection Association, NFPA. <http://www.nfpa.org/onlinepreview/online_preview_document.asp?id=7011SB#>. Luettu 20.4.2012.
20. IEC 60364-5-52:2001, 2. painos, Electrical installations of buildings - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems. 2001. International Electrotechnical Commission.

Taulukko 1 Johtimien lämpöaikavakiot [18, s. 220]

Poikkipinta (mm ²)	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
τ (min)	2,7	3,1	3,6	4,2	5,2	6,4	7,9	9,4	11,3	13,6	16,1	18,4	21,0	23,7	27,7	31,8

Taulukko 2 Korjauskerroin 10 minuutin jaksolle [18, s. 218]

Poikki- pinta mm ²	f_{ED} 10-minuutin jaksolle $T_a/(T_a + T_i)$			
	0,6	0,4	0,25	0,15
1,5	1,044	1,120	1,265	1,505
2,5	1,058	1,150	1,315	1,580
4	1,075	1,183	1,369	1,660
6	1,092	1,215	1,421	1,737
10	1,116	1,260	1,493	1,842
16	1,139	1,303	1,561	1,942
25	1,161	1,344	1,626	2,037
35	1,177	1,373	1,673	2,105
50	1,193	1,403	1,719	2,173
70	1,207	1,429	1,760	2,231
95	1,219	1,450	1,793	2,280
120	1,227	1,464	1,816	2,314
150	1,234	1,477	1,836	2,343
185	1,240	1,488	1,854	2,369
240	1,247	1,501	1,874	2,397
300	1,252	1,510	1,888	2,419

Taulukko 3 Ympäristön lämpötilan korjauskertoimet [18, s. 87]

Ympäristön lämpötila	Eristemateriaali	
	PVC	XLPE ja EPR
C°		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,5	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41
85	-	
90	-	
95	-	

Taulukko 4 Muuntokertoimet monijohdinkaapeleille 10 mm² poikkipintaan asti [18, s. 212]

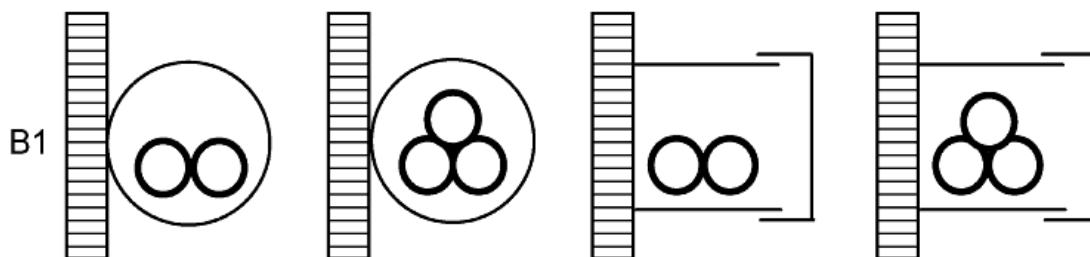
Kuormitettujen johtimien tai parien lukumäärä	Johtimet >1 mm ² (huom. 3)	Parit (0,25 ... 0,75 mm ²)
1	-	1
3	1	-
5	0,75	0,39
7	0,65	0,34
10	0,55	0,29
24	0,4	0,21
HUOM. 1 - Sovelletaan monijohdinkaapeleille, joiden johtimet ovat samalla tavalla kuormitettuja. HUOM. 2 - Monijohdinkaapeleiden ryhmittely, ks. taulukon 4 kertoimet. HUOM. 3 - Kertoimet ovat peräisin standardista IEC 60364-5-52.		

Taulukko 5 Ryhmittelystä johtuvat kuormitusvirran muuntokertoimet [18, s. 212]

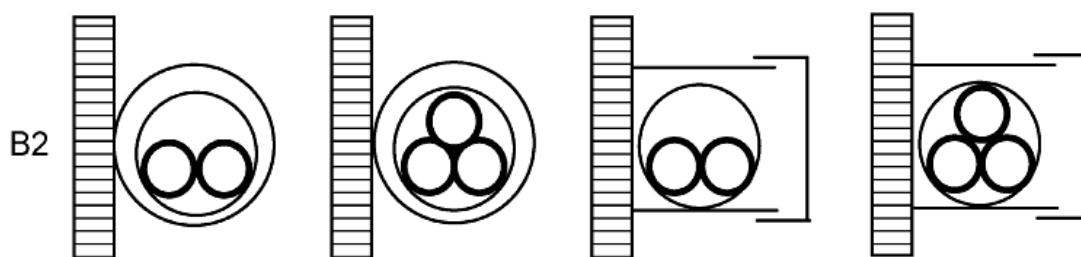
Asennustavat (ks. kuvat 7-9) (ks. huom. 3)	Kuormitettujen virtapiirien/kaapeleiden lukumäärä			
	2	4	6	9
B1 (virtapiirit) ja B2 (kaapelit)	0,80	0,65	0,57	0,50
C yhteen kerrokseen asennetut kaapelit, kun kaapeleiden välissä ei ole ilmväliä	0,85	0,75	0,72	0,70
E yhdelle rei'itetylle kaapelihyllylle yhteen kerrokseen asennetut kaapelit, kun kaapeleiden välissä ei ole ilmväliä	0,88	0,77	0,73	0,72
E kuten edellä, mutta asennettuna 2...3 päällekkäiselle kaapelihyllylle, kun hyllyjen välinen etäisyys on 300 mm (ks. Huom. 4)	0,86	0,76	0,71	0,66
Poikkipinnaltaan $\leq 0,5 \text{ mm}^2$ ohjausvirtapiiriin johdinparit riippumatta asennustavasta	0,76	0,57	0,48	0,40
<p>HUOM. 1 Näitä kertoimia sovelletaan, kun</p> <ul style="list-style-type: none"> - kaikki kaapelit on kuormitettu samalla tavalla ja kaapeleiden johtimet on kuormitettu symmetrisesti - eristettyjen johtimien tai kaapeleiden virtapiiriryhmillä on sama suurin sallittu toimintalämpötila. <p>HUOM. 2 Samoja kertoimia sovelletaan</p> <ul style="list-style-type: none"> - kahden tai kolmen yksijohdinkaapelin ryhmille - monijohdinkaapeleille. <p>HUOM. 3 Kertoimet ovat peräisin standardista IEC 60364-5-52</p> <p>HUOM. 4 Rei'itettyssä kaapelihyllyssä reikien ala on vähintään 30 % hyllyn pohjan pinta-alasta (peräisin standardista IEC 60364-5-52).</p>				

Taulukko 6 Kupari- ja alumiinijohtimien ominaisresistanssin ja -reaktanssin likimääräisiä arvoja o/km 20 C lämpötilassa [11, liite 6]

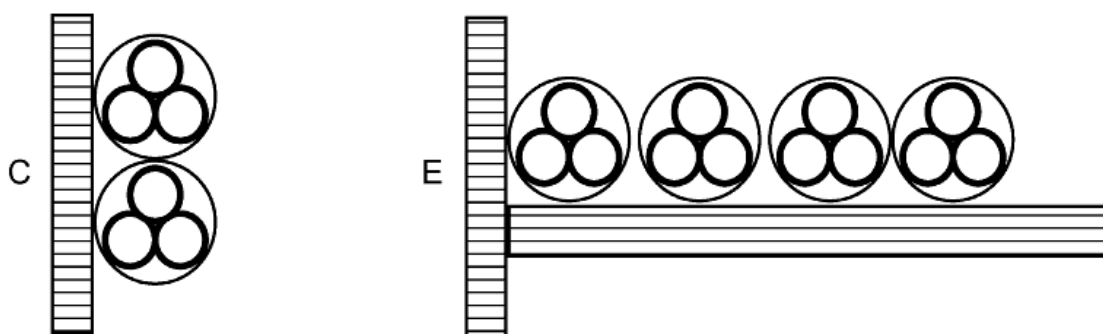
Johtimien poikkipinta A/mm ²	Kupari		Alumiini	
	Resistanssi R	Reaktanssi X	Resistanssi R	Reaktanssi X
4 x 1,5	11,80	0,115	-	-
4 x 2,5	7,07	0,110	-	-
4 x 4	4,42	0,107	-	-
4 x 6	2,95	0,100	-	-
4 x 10	1,81	0,094	-	-
4 x 16	1,14	0,090	1,87	0,090
4 x 25	0,72	0,086	1,20	0,086
4 x 35	0,53	0,083	0,88	0,083
4 x 50	0,39	0,083	0,64	0,083
4 x 70	0,27	0,082	0,44	0,082
4 x 95	0,20	0,082	0,32	0,082
4 x 120	0,16	0,080	0,25	0,080
4 x 150	0,13	0,080	0,21	0,080
4 x 185	0,16	0,080	0,17	0,080
4 x 240	0,08	0,079	0,13	0,079
4 x 300	0,06	0,079	0,11	0,079



Kuva 1 Asennusputkeen ja johtokanavajärjestelmään asennetut johtimet ja yksijohdinkaapelit [18, s. 210]



Kuva 2 Asennusputkeen ja johtokanavajärjestelmään asennetut monijohdinkaapelit [18, s. 210]



Kuva 3 Seinälle ja avoimelle kaapelihyllylle asennetut kaapelit [18, s. 210]

Taulukko 7 Rummulle kelattujen kaapeleiden muuntokertoimet [18, s. 152]

Kaapelirummun tyyppi	Kaapelikerrosten lukumäärä				
	Ei rajoitusta	1	2	3	4
Sylinterimäinen, tuuletettu	-	0,85	0,65	0,45	0,35
Säteittäinen, tuuletettu	0,85	-	-	-	-
Säteittäinen tuulettamaton	0,75	-	-	-	-

HUOM. 1 Säteiläisessä rummussa kaapeli on spiraalimaisesti lähekkäin asennettujen laippojen välissä. Rumpu on tuulettamaton, jos laipat ovat yhtenäiset ja tuuletettu, jos laipat ovat aukolliset.

HUOM. 2 Sylinterimäisessä tuulettetussa rummussa kaapelikerrokset ovat etäällä sijaitsevien laippojen välissä ja rummussa sekä laipoissa on tuuletusaukkoja.

HUOM. 3 Suositellaan, että muuntokertoimien käytöstä keskustellaan kaapelin ja rummun valmistajan kanssa. Tämä saattaa johtaa muiden kertoimien käyttöön.

Taulukko 8 PVC-eristeisten kupari- ja alumiinijohtimien kuormitettavuudet eri asennusmenetel- millä, kun ympäristön lämpötila on +30 C [21, s. 63, 79, 81]

Poikkipinta mm ²	Asennusmenetelmät			
	B1	B2	C	E
	Kaksi kuormitettua johdinta Suurin sallittu kuormitettavuus Iz [A]			
Kupari				
1,5	17,5	16,5	19,5	22
2,5	24	23	27	30
4	32	30	36	40
6	41	38	46	51
10	57	52	63	70
16	76	69	85	94
25	101	90	112	119
35	125	111	138	148
50	151	133	168	180
70	192	168	213	232
95	232	201	258	282
120	269	232	299	328
150	-	-	344	379
185	-	-	392	434
240	-	-	461	514
300	-	-	530	593
Alumiini				
2,5	18,5	17,5	21	23
4	25	24	28	31
6	32	30	36	39
10	44	41	49	54
16	60	54	66	73
25	79	71	83	89
35	97	86	103	111
50	118	104	125	135
70	150	131	160	173
95	181	157	195	210
120	210	181	226	244
150	-	-	261	282
185	-	-	298	322
240	-	-	352	380
300	-	-	406	439

Taulukko 9 PVC-eristeisten kupari- ja alumiinijohtimien kuormitettavuudet eri asennusmenetelmillä, kun ympäristön lämpötila on +30 C [21, s. 67, 79, 81]

Poikkipinta mm ²	Asennusmenetelmät			
	B1	B2	C	E
	Kolme kuormitettua johdinta Suurin sallittu kuormitettavuus Iz [A]			
Kupari				
1,5	15,5	15	17,5	18,5
2,5	21	20	24	25
4	28	27	32	34
6	36	34	41	43
10	50	46	57	60
16	68	62	76	80
25	89	80	96	101
35	110	99	119	126
50	134	118	144	153
70	171	149	184	196
95	207	179	223	238
120	239	206	259	276
150	-	-	299	319
185	-	-	341	364
240	-	-	403	430
300	-	-	464	497
Alumiini				
2,5	16,5	15,5	18,5	19,5
4	22	21	25	26
6	28	27	32	33
10	39	36	44	46
16	53	48	59	61
25	70	62	73	78
35	86	77	90	96
50	104	92	110	117
70	133	116	140	150
95	161	139	170	183
120	186	160	197	212
150	-	-	227	245
185	-	-	259	280
240	-	-	305	330
300	-	-	351	381

Taulukko 10 XLPE- ja EPR-eristeisten kupari- ja alumiinikaapeleiden kuormitettavuudet eri asennusmenetelmillä, kun ympäristön lämpötila on +30 C [21, s. 65, 83, 85]

Poikkipinta mm ²	Asennusmenetelmät			
	B1	B2	C	E
	Kaksi kuormitettua johdinta Suurin sallittu kuormitettavuus Iz [A]			
Kupari				
1,5	23	22	24	26
2,5	31	30	33	36
4	42	40	45	49
6	54	51	58	63
10	75	69	80	86
16	100	91	107	115
25	133	119	138	149
35	164	146	171	185
50	198	175	209	225
70	253	221	269	289
95	306	265	328	352
120	354	305	382	410
150	-	-	441	473
185	-	-	506	542
240	-	-	599	641
300	-	-	693	741
Alumiini				
2,5	25	23	26	28
4	33	31	35	38
6	43	40	45	49
10	59	54	62	67
16	79	72	84	91
25	105	94	101	108
35	130	115	126	135
50	157	138	154	164
70	200	175	198	211
95	242	210	241	257
120	281	242	280	300
150	-	-	324	346
185	-	-	371	397
240	-	-	439	470
300	-	-	508	543

Taulukko 11 XLPE- ja EPR-eristeisten kupari- ja alumiinikaapeleiden kuormitettavuudet eri asennusmenetelmillä, kun ympäristön lämpötila on +30 C [21, s. 69, 83, 85]

Poikkipinta mm ²	Asennusmenetelmät			
	B1	B2	C	E
Kolme kuormitettua johdinta				
Suurin sallittu kuormitettavuus Iz [A]				
Kupari				
1,5	20	19,5	22	23
2,5	28	26	30	32
4	37	35	40	42
6	48	44	52	54
10	66	60	71	75
16	88	80	96	100
25	117	105	119	127
35	144	128	147	158
50	175	154	179	192
70	222	194	229	246
95	269	233	278	298
120	312	268	322	346
150	-	-	371	399
185	-	-	424	456
240	-	-	500	538
300	-	-	576	621
Alumiini				
2,5	22	21	24	24
4	29	28	32	32
6	38	35	41	42
10	52	48	57	58
16	71	64	76	77
25	93	84	90	97
35	116	103	112	120
50	140	124	136	146
70	179	156	174	187
95	217	188	211	227
120	251	216	245	263
150	-	-	283	304
185	-	-	323	347
240	-	-	382	409
300	-	-	440	471

Taulukko 1 NEC mukaisten kaapeleiden kuormitustaulukot ja lämpötilan korjauskertoimet [20, s. 491]

ARTICLE 610 — CRANES AND HOISTS

610.14

Table 610.14(A) Ampacities of Insulated Copper Conductors Used with Short-Time Rated Crane and Hoist Motors. Based on Ambient Temperature of 30°C (86°F).

Maximum Operating Temperature	Up to Four Conductors in Raceway or Cable ¹				Up to Three ac ² or Four dc ¹ Conductors in Raceway or Cable		Maximum Operating Temperature
	75°C (167°F)		90°C (194°F)		125°C (257°F)		
Size (AWG or kcmil)	Types MTW, RHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW		Types TA, TBS, SA, SIS, PFA, FEP, FEPB, RHH, THHN, XHHW, Z, ZW		Types FEP, FEPB, PFA, PFAH, SA, TFE, Z, ZW		Size (AWG or kcmil)
	60 Min	30 Min	60 Min	30 Min	60 Min	30 Min	
16	10	12	—	—	—	—	16
14	25	26	31	32	38	40	14
12	30	33	36	40	45	50	12
10	40	43	49	52	60	65	10
8	55	60	63	69	73	80	8
6	76	86	83	94	101	119	6
5	85	95	95	106	115	134	5
4	100	117	111	130	133	157	4
3	120	141	131	153	153	183	3
2	137	160	148	173	178	214	2
1	143	175	158	192	210	253	1
1/0	190	233	211	259	253	304	1/0
2/0	222	267	245	294	303	369	2/0
3/0	280	341	305	372	370	452	3/0
4/0	300	369	319	399	451	555	4/0
250	364	420	400	461	510	635	250
300	455	582	497	636	587	737	300
350	486	646	542	716	663	837	350
400	538	688	593	760	742	941	400
450	600	765	660	836	818	1042	450
500	660	847	726	914	896	1143	500

AMPACITY CORRECTION FACTORS

Ambient Temperature (°C)	For ambient temperatures other than 30°C (86°F), multiply the ampacities shown above by the appropriate factor shown below.						Ambient Temperature (°F)
21–25	1.05	1.05	1.04	1.04	1.02	1.02	70–77
26–30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	79–86
31–35	0.94	0.94	0.96	0.96	0.97	0.97	88–95
36–40	0.88	0.88	0.91	0.91	0.95	0.95	97–104
41–45	0.82	0.82	0.87	0.87	0.92	0.92	106–113
46–50	0.75	0.75	0.82	0.82	0.89	0.89	115–122
51–55	0.67	0.67	0.76	0.76	0.86	0.86	124–131
56–60	0.58	0.58	0.71	0.71	0.83	0.83	133–140
61–70	0.33	0.33	0.58	0.58	0.76	0.76	142–158
71–80	—	—	0.41	0.41	0.69	0.69	160–176
81–90	—	—	—	—	0.61	0.61	177–194
91–100	—	—	—	—	0.51	0.51	195–212
101–120	—	—	—	—	0.40	0.40	213–248

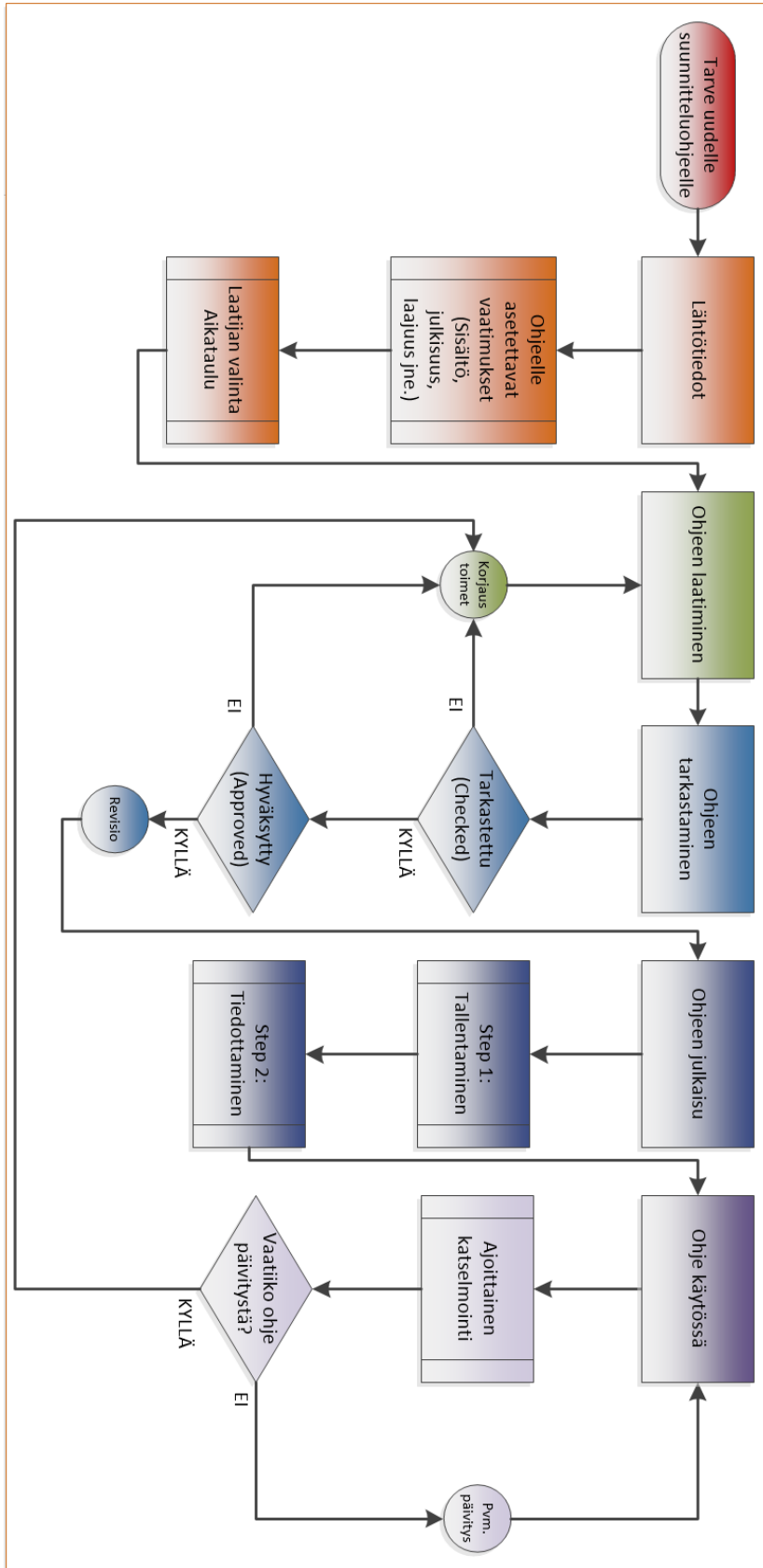
Note: Other insulations shown in Table 310.13 and approved for the temperature and location shall be permitted to be substituted for those shown in Table 610.14(A). The allowable ampacities of conductors used with 15-minute motors shall be the 30-minute ratings increased by 12 percent.

¹ For 5 to 8 simultaneously energized power conductors in raceway or cable, the ampacity of each power conductor shall be reduced to a value of 80 percent of that shown in this table.

² For 4 to 6 simultaneously energized 125°C (257°F) ac power conductors in raceway or cable, the ampacity of each power conductor shall be reduced to a value of 80 percent of that shown in this table.

Taulukko 2 Johdinkokojen vertailutaulukko [18, s. 226]

Johtimen koko	Mitta no.	Poikkipinta		Kuparin tasavirtaresistanssi 20 C lämpötilassa	Circular mils - mitat
mm ²	AWG	mm ²	tuuma ²	Ω / km	
0,2		0,196	0,000304	91,62	387
	24	0,205	0,000317	87,6	404
0,3		0,283	0,000438	63,46	558
	22	0,324	0,000504	55,44	640
0,5		0,5	0,000775	36,7	987
	20	0,519	0,000802	34,45	1020
0,75		0,75	0,001162	24,8	1480
	18	0,823	0,001272	20,95	1620
1		1	0,00155	18,2	1973
	16	1,31	0,002026	13,19	2580
1,5		1,5	0,002325	12,2	2960
	14	2,08	0,003228	8,442	4110
2,5		2,5	0,003875	7,56	4934
	12	3,31	0,005129	5,315	6530
4		4	0,0062	4,7	7894
	10	5,26	0,008152	3,335	10380
6		6	0,0093	3,11	11841
	8	8,37	0,012967	2,093	16510
10		10	0,00155	1,84	19735
	6	13,3	0,02061	1,32	26240
16		16	0,0248	1,16	31576
	4	21,1	0,03278	0,8295	41740
25		25	0,0388	0,734	49338
	2	33,6	0,0521	0,5211	66360
35		35	0,0542	0,529	69073
	1	42,4	0,0657	0,4139	83690
50		47	0,0728	0,391	92756



Kuva 1 Suunnitteluohjeen laadinta- ja ylläpitoprosessin kaavio