

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# KAAPELOITUJEN PJ-LIITTYMIS- JOHTOJEN MITOITUS JA SUOJAUS

TEKIJÄ Harri Linnainmaa

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Harri Linnainmaa			
Työn nimi Kaaeloitujen PJ-liittymisjohtojen mitoitus ja suojaus			
Päiväys	30.5.2022	Sivumäärä/Liitteet	28
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Adato Energia Oy			
Tiivistelmä			
<p>Työn tavoitteena oli päivittää Energiateollisuus ry:n vuonna 2009 julkaisema verkostosuositus "SA 4:09 – Kaaeloitujen PJ-liittymisjohtojen mitoitus ja suojaus". Suositus uudistettiin vastaamaan SFS 6000 -standardisarjan uusimman painoksen mukaisia ohjeistuksia ja määräyksiä. Työ tehtiin Adato Energia Oy:lle, joka on Energiateollisuus ry:n tytäryhtiö ja verkostosuosituksen kustantaja. Tarve suunnitteluohjeen uusimiselle perustui siihen, että sen tärkeimpänä esikuvana toimiva SFS 6000 -standardisarja oli uusittu jo kaksi kertaa verkostosuosituksen ilmestymisen jälkeen.</p> <p>Päivitysprosessi oli tiedonhausta ja dokumentaatiosta koostuva kehitystyö, johon kuului myös laskentaa ja kuvien piirtämistä. Tiedonhaku toteutettiin pääosin internet-tietolähteitä apuna käyttäen. Standardien lisäksi työssä hyödynnettiin muita sähköalan ohjeita, kuten Sähköinfo Oy:n ST-kortistoa ja Energiateollisuus ry:n julkaisemia verkostosuosituksia.</p> <p>Standardien uusiutumisen myötä verkostosuositukseen oli jäänyt merkittävä määrä sellaista sisältöä, joka kaipasi uudistusta. Lopputuloksena työn tilaajalle saatiin toimitettua päivitetty versio SA 4:21, joka luovutettiin myös Savonia-ammattikorkeakoululle opetuskäyttöön.</p>			
Avainsanat liittymisjohto, pienjänniteverkko, sulakesuojaus, verkostosuositus			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author Harri Linnainmaa	
Title of Thesis Sizing and Protection of Cabled Low-Voltage Line Connections	
Date 30 May 2022	Pages/Appendices 28
Client Organization /Partners Adato Energia Oy	
<b>Abstract</b> <p>The aim of this thesis was to update the low-voltage network planning instruction SA 4:09 published by Energiateollisuus in 2009. The document, focusing mainly on sizing and protection of cabled low-voltage line connections, was updated to meet the guidelines and demands of the most recent edition of the SFS 6000 standard series. The thesis was commissioned by Adato Energia, which is a subsidiary of Energiateollisuus and the publisher of the planning instruction. The SFS 6000 standard had been renewed twice after the release of the original instruction which was the main reason for the implementation of this thesis.</p> <p>The thesis was done as research and development work that consisted mainly of utilizing information found on Internet platforms. The process also involved calculation and drawing pictures. While the main source of information was the SFS 6000 standard series, other instructions and recommendations of the electricity sector were used as well.</p> <p>It was discovered that due to the changes made in the SFS 6000 standard series, a considerable amount of outdated information was found in the planning instruction. As a result of this thesis, an updated version of SA 4:09 called SA 4:21 was provided to the client organization. Savonia University of Applied Sciences was also given access rights to the document for education purposes.</p>	
<b>Keywords</b> line connection, low-voltage network, fuse protection, planning instruction	

## ESIPUHE

Opinnäytetyön tilaajana toimi Adato Energia Oy, jonka yhteyshenkilöt olivat toimitusjohtaja Jan Wikström sekä tuotepäällikkö Pekka Rintala. Lisäksi ohjausprosessissa oli mukana Energiateollisuus ry:n asiantuntija Tuukka Heikkilä. Savonia-ammattikorkeakoulun puolelta ohjaajina toimivat yliopettaja Juhani Rouvali sekä lehtori Timo Savallampi. Kiitän Adato Energian ja Energiateollisuuden yhteyshenkilöitä sekä Savonia-ammattikorkeakoulun ohjaajia, joilla oli tärkeä rooli työn edistymisessä.

Verkostosuosituksen päivitystyö lähti alun perin käyntiin jo alkuvuodesta 2021 Savonia-ammattikorkeakoulun järjestämällä Sähköalan projekti -opintojaksolla, jossa projektiaihetta tarjottiin sähkötekniikan opiskelijoille. Tavoitteena oli, että opiskelijat päivittäisivät vuonna 2009 julkaistun pienjänniteverkon suunnitteluohjeen vastaamaan nykyisiä sähköalan standardeja. Päivitysprosessin vaatima työmäärä todettiin kuitenkin arvioitua suuremmaksi, joten Rouvali tiedusteli Adato Energialta, kiinnostaisiko heitä tehdä Savonia-ammattikorkeakoulun kanssa yhteistyötä verkostosuosituksen uusimiseksi. Lopullinen päätös prosessin jatkamisesta opinnäytetyönä tehtiin kesäkuussa 2021.

Kuopiossa 30.5.2022

Harri Linnainmaa

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	LIITTYMISJOHDON MITOITTAMISEN LÄHTÖKOHDAT .....	8
2.1	Sähköturvallisuuslaki .....	8
2.2	Kiinteistön huipputeho.....	8
3	PJ-LIITTYMISKAAPELIT.....	9
3.1	Yleisimmät kaapelityypit Suomessa .....	10
3.2	Maakaapeleiden suojaus.....	12
4	KAAPLEIDEN KUORMITETTAVUUS .....	13
4.1	Eistemateriaalit.....	13
4.2	Referenssiasennustavat.....	14
4.3	Ympäristöolosuhteet .....	14
4.4	Rinnankytketyt kaapelit .....	16
5	JAKELUVERKON SULAKESUOJAUS.....	18
5.1	Oikosulkusuojaus .....	18
5.2	Ylikuormitussuojaus .....	19
5.3	Liittymisjohdon suojausmenetelmät.....	20
5.4	Mitoitusprosessi verkostosuosituksen mallin mukaan .....	20
6	TYÖN TOTEUTUS .....	22
6.1	Työmenetelmät.....	22
6.1.1	Palaverit.....	22
6.1.2	Tiedonhaku & selvitystyö .....	22
6.1.3	Laskenta ja dokumentaatio .....	23
6.2	Verkostosuositukseen tehdyt muutokset .....	23
6.2.1	Liittymisjohdon mitoittamisen lähtökohdat & teholaskenta.....	23
6.2.2	Sähkön laatu .....	23
6.2.3	Referenssiasennustavat.....	23
6.2.4	Liittymisjohdon suojausvaatimukset.....	24
6.2.5	Kaapeleiden kuormitettavuudet & sulakkeet .....	24
6.2.6	PJ-verkon esimerkkikuvat.....	24
6.2.7	Laskuesimerkit .....	25
7	YHTEENVETO JA POHDINTA .....	26

8 LÄHDELUETTELO..... 27

## 1 JOHDANTO

Sähköverkon suunnittelussa hyödynnetään nykyisin suurissa määrin erilaisia verkostolaskentaohjelmia, mikä pienentää käsin tehtävän mitoituslaskennan merkitystä. Sähköalan ammattihenkilön on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää tuntea sekä laskennan taustalla olevat lainalaisuudet että verkon suunnitteluun vaikuttavat määräykset ja periaatteet. Standardeissa esitettyjen lakisääteisten vaatimusten lisäksi verkostosuosituksissa keskitytään yleisiin hyväksi havaittuihin toimintamalleihin, jotka muun muassa helpottavat suunnittelutyötä ja tekevät sähköalan eri toimijoiden välisistä käytännöistä yhtenäisempiä. Lisäksi verkostosuositukset ovat hyvä työkalu opiskelijoiden tai uusien verkostosuunnittelijoiden kouluttamiseen.

Verkostosuosituksessa SA 4 annetaan ohjeita ja toimintamenetelmiä liittymisjohtojen mitoituksen ja suojauksen toteuttamiseen. Sen käsittelemiä aiheita ovat muun muassa sähköliittymän huipputehon määrittäminen, kaapeleiden kuormitettavuudet ja asennustavat sekä sulakesuojauksen toteuttaminen. Lisäksi suosituksessa käsitellään lyhyesti sähkön laatua eli yliaaltoja ja jakelujännitteen ominaisuuksia. Suurin osa suunnitteluohjeen sisältämistä taulukoista on rakennettu joko SFS 6000 -standardisarjan tai Energiateollisuus ry:n julkaisemien verkostosuositusten pohjalta.

Opinnäytetyön tavoitteen rajaus oli alusta asti hyvin selkeä. Ensimmäisessä ohjauspalaverissa sovittu tavoite oli verkostosuosituksen saattaminen julkaisukelpoiseen kuntoon. Käytännössä tämä tarkoitti 39-sivuisen dokumentin sisältämien tietojen tarkastamista ja tarvittaessa vanhentuneen tiedon päivittämistä. Päivitystarpeiden kartoittaminen oli yksinkertaista, sillä suurin osa suosituksen sisällöstä pohjautuu lakisääteisiin vaatimuksiin. Työn tilaaja ei esittänyt erityisiä vaatimuksia työssä käytettävien tutkimusmenetelmien suhteen.

## 2 LIITTYMISJOHDON MITOITTAMISEN LÄHTÖKOHDAT

### 2.1 Sähköturvallisuuslaki

Sähköasennusten turvallisuutta koskevat määräykset annetaan sähköturvallisuuslaissa ja valtioneuvoston asetuksessa sähkölaitteistoista. Säädöksissä annetaan turvallisuuden perusvaatimukset ja periaate, jonka mukaan määräysten vaatimukset täytetään standardeja noudattamalla. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes julkaisee luettelon standardeista, joita noudattamalla katsotaan sähköturvallisuuslain vaatimusten täyttyvän. SFS 6000 -sarjan standardit ovat keskeisiä sähköturvallisuuslain vaatimusten noudattamisessa. (SFS ry)

Sähköturvallisuuslaissa säädetään sähkölaitteista ja -laitteistoista seuraavasti:

Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

Jos sähkölaite tai -laitteisto ei täytä 1 momentissa säädettyjä edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille, luovuttaa toiselle eikä ottaa käyttöön. (Sähköturvallisuuslaki 2016/1 § 6)

### 2.2 Kiinteistön huipputeho

Kortissa ”ST 13.31 – Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen” esitetään mitoituskaavoja kerros-, rivi- ja omakotitalojen huipputehon määrittämiseksi. ST-kortti on uudistettu vuoden 2021 lopussa, ja siinä esitetyt laskentamallit on johdettu alun perin Sähköenergialiitto SENER ry:n julkaisemasta suosituksesta SA 1:87. Suosituksessa esitetään kiinteistöjen huippu- ja keskiarvotehon arviointimenetelmiä, jotka perustuvat 70- ja 80-luvulla tehtyihin asuinrakennusten kuormitusmittauksiin. Nämä laskentamallit ovat edelleen yleisessä käytössä käsin suoritettavassa tehomittoituslaskennassa. Verkkoyhtiöt kuitenkin toteuttavat suunnittelun pääosin verkkotietojärjestelmien avulla. Järjestelmät käyttävät kuormituksen mallintamiseen profiileja ja indeksisarjoja, joista voidaan myös saada arvioita kiinteistötason tehoista.

ST-kortisto on Sähkötieto ry:n ylläpitämä kattava ammattitietolähde, jota käytetään Suomessa sähköverkon suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä. ST-korteissa esitetään ohjeita, menetelmiä ja esimerkkejä, joiden mukaan toimimalla päästään hyvään säädösten, määräysten ja standardien mukaiseen lopputulokseen. (ST 00.05, 2022, s. 5)

Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittamisessa on pyrittävä todellisen huipputehon selvittämiseen laskemalla se todellisen tai oletetun tehontarpeen mukaan. Kun rakennuksen sähkötehontarvetta ja liittymän kokoa aletaan määrittämään, joudutaan poikkeuksetta tekemään arvio tarvittavasta tehosta rakennuksen laajuuden ja käyttötarkoituksen mukaisesti siten, että huomioidaan sähkönsaannin varmuus, tulevaisuuden sähkötehon tarpeet sekä mahdolliset muutostarpeet. Toisaalta liittymän tarpeeton ylimitoittaminen ei taloudellisesti ole järkevää. (ST 13.31, 2021, s. 4)

## 3 PJ-LIITTYMISKAAPELIT

Liittymisjohdolla tarkoitetaan jakeluverkon ja liittymän pääkeskuksen (päävarokkeiden) välistä johtoa, joka syöttää liittymää jakeluverkon runkojohdosta suoraan, eikä siinä ole haaroituksia (SFS 6000-8-801:2017, s. 8). Kaapeli on mitoitettava ja suojattava siten, että standardien vaatimukset täyttyvät. ST-kortin 13.31 mukaan liittymisjohdon poikkipintaa valittaessa tulee huomioida seuraavat tekijät:

- suojausehtoien toteutuminen
- jännitteenalenema johdon päässä
- jakeluverkkoyhtiön kaapelisuositukset
- johdon kuormitettavuus. (ST 13.31, 2021, s. 14)

TAULUKKO 1. Asiakkaan liittymiskaapelin mitoitus. (Savon Voima Verkko Oy, 2014)

Pääsulake In	25 A	35 A	50 A	63 A	80 A	100 A	125 A	160 A
<b>Kaapelityyppi</b>	<b>Liittymiskaapelin pituus, enintään (m)</b>							
MCMK 4x10+10	50	35	25	--	--	--	--	--
MCMK 4x16+16	80	55	40	30	--	--	--	--
AXMK 4x16	50	35	25	20	--	--	--	--
*) AXMK 4x25	75	55	40	30	25	--	--	--
AXMK 4x35	100	75	55	40	35	25	--	--
AXMK 4x50	145	100	70	55	45	36	30	--
AXMK 4x70	195	150	105	80	65	50	40	30
AXMK 4x95	--	195	145	115	90	70	60	45
AXMK 4x120	--	--	180	145	115	90	70	60
AXMK 4x150	--	--	--	175	135	110	90	70
AXMK 4x185	--	--	--	--	175	140	110	90
AXMK 4x240	--	--	--	--	--	185	145	115
AXMK 3x300+150	--	--	--	--	--	--	185	145

\*) pienin suositeltava alumiinikaapelin poikkipinta

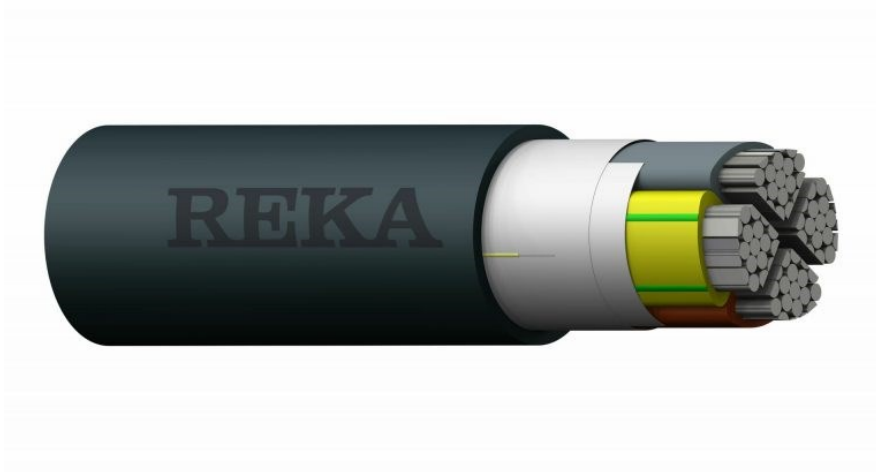
Taulukko 1 on esimerkki sähköverkkoyhtiön laatimasta liittymiskaapelin mitoitusaulukosta, jota sähköliittymän omistajan tilaama sähköurakoitsija voi käyttää apunaan johdon mitoituksessa. Taulukon johtopituudet on laskettu 1,0 % jännitteenaleneman mukaan, kun kuormituksen tehokertoimen  $\cos \varphi$  arvoksi on arvioitu 1. Liittymisjohtoina käytetään nykyisin pääsääntöisesti AXMK-kaapeleita.

Verkkoyhtiöissä on usein käytössä tietyt kaapelisuositukset. Tällöin esimerkiksi taulukon 1 alumiinikaapeleista käytettäisiin vain joka toista poikkipinta-alaa, esimerkiksi 4x25 mm<sup>2</sup>, 4x50 mm<sup>2</sup>, 4x95 mm<sup>2</sup> ja niin edelleen. Suosituspöytäkirjojen käytöllä voidaan muun muassa lyhentää tarvikkeiden toimitusaikoja, minimoida suunnittelu-, hallinto-, varastointi- ja käsittelykustannuksia sekä vähentää asennustyökalujen määrää (ABB Oy, 2000).

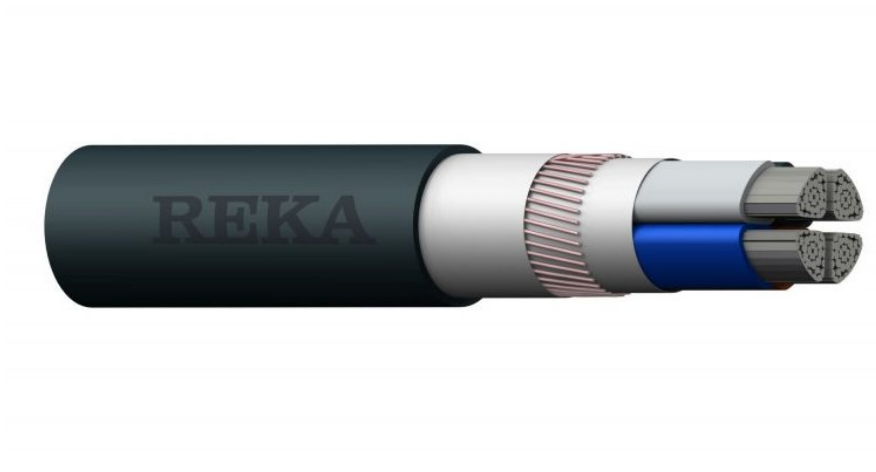
### 3.1 Yleisimmät kaapelityypit Suomessa

Jakeluverkot rakennetaan käyttäen maakaapeleita ja ilmajohtoja. Sähköliittymän syöttö jakeluverkosta toteutetaan lähtökohtaisesti aina maakaapelilla. Standardin (SFS 6000-8-801:2017, s. 11) mukaan ilmajohdon saa päättää suoraan rakennuksen seinään vain muuntamoissa ja sellaisissa rakennuksissa, joiden syöttäminen maakaapelilla esim. maaperän kallioisuuden takia ei ole mahdollista.

Liittymisjohtona käytetään alumiini- tai kuparimaakaapeleita. Kuparilla on alumiinia parempi sähköjohtavuus, mutta alumiini on huomattavasti kuparia kevyempää ja edullisempää. Kaapelin poikkipinta-aloilla 25 mm<sup>2</sup> ja siitä ylöspäin käytetäänkin yleensä alumiinia. PJ-ilmajohtoverkot toteutetaan AMKA-riippukierrekaapelilla. Alla olevassa kuvasarjassa esitellään yleisimmät PJ-kaapelityypit.



KUVA 1. AXMK-kaapelin rakenne. (Reka Kaapeli Oy)



KUVA 2. AMCMK-kaapelin rakenne. (Reka Kaapeli Oy)



KUVA 3. MCMK-kaapelin rakenne. (Reka Kaapeli Oy)



KUVA 4. AMKA-kaapelin rakenne. (Finnparttia Oy)



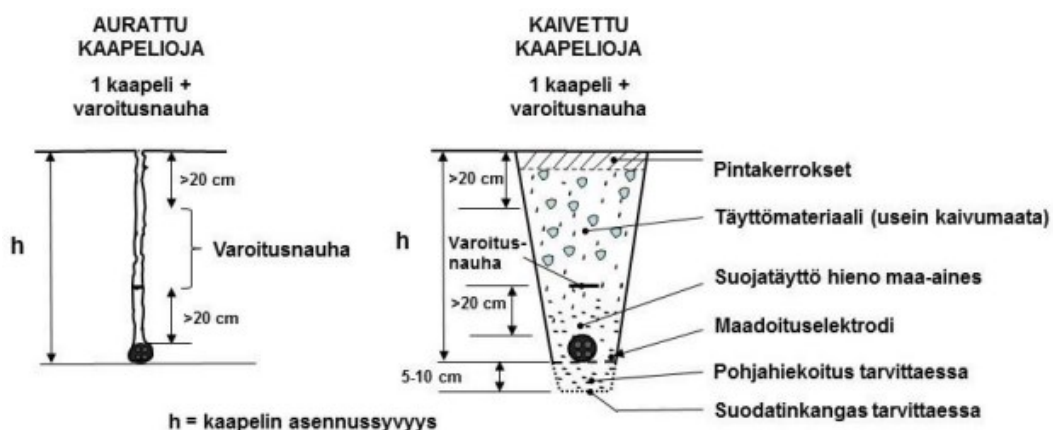
KUVA 5. AMKA-riippukierrekaapeleita puupylväässä. (Linnainmaa, 2022)

Edellä esitetyistä kaapeleista kuvassa 1 oleva AXMK on yleisin jakeluverkoissa käytettävä maakaapeli. Kaapelissa on kolme vaihejohtinta sekä PEN-johdin. Johtimien eristemateriaalina käytetään PEX-muovia ja ulkovaipassa PE-muovia. Kuparijohtimisen MCMK:n eristemateriaalina toimii PVC-muovi, jota käytetään myös ulkovaipassa. AMKA-riippukierrekaapelissa on kolme PE-muovilla eristettyä alumiinivaihejohtinta sekä eristämätön, PEN-johtimena toimiva kannatinjohdin.

### 3.2 Maakaapeleiden suojaus

Maahan asennettavat kaapelit tulee sijoittaa riittävän syvälle tai suojata mekaanisesti muulla tavalla. Asennussyvyys riippuu kaapelin tyypistä sekä paikallisista olosuhteista kuten maan laadusta ja sen routimisesta, käyttötarkoituksesta (esim. käytetäänkö maata viljelykseen), mahdollisen liikenteen määrästä ja luonteesta yms. tekijöistä. (SFS 6000-8-814:2017, s. 6)

Maassa olevan kaapelin yläpuolelle vähintään 0,2 m kaapelin yläpinnasta on suositeltavaa asettaa varoitusnauha osoittamaan kaapelin sijaintia. Jos kaapelioja on leveä ja siinä on useita kaapeleita, suositellaan asennettavaksi useita varoitusnauhoja esim. 0,6 m välein. Varoitusnauhan on oltava väriltään keltainen, ja siinä on oltava sähkökaapelista varoittava teksti ja sähkön vaaroista varoittava salamasyntoli. (SFS 6000-8-814:2017, s. 7)



KUVA 6. Kaapelikaivannon periaatepoikkileikkaus, 1 kaapeli + varoitusnauha. (RK 1:16, 2016)

Maadoitettavalla metallisella kosketussuojalla varustetuilla kaapeleilla, esim. tyypit MCMK ja AMCMK, voidaan käyttää asennuksen tekijän ja haltijan harkinnan mukaan pienempää asennussyvyyttä. Jos peittävän maakerroksen paksuus on pienempi kuin 0,3 m, kaapeli on aina suojattava mekaanisesti esim. suojaputkella. (SFS 6000-8-814:2017, s. 7)

SFS 6000 -standardissa määritellään vähimmäisvaatimukset ilman maadoitettavaa kosketussuojaa olevien kaapeleiden mekaaniselle suojaukselle. Vaatimukset on esitetty alla olevassa taulukossa.

TAULUKKO 2. Ilman metallista kosketussuojaa olevan maakaapelin suojaus eri asennussyvyyksillä (SFS 6000-8-814:2017, taul. 814.1, muokattu).

Kaapelin tai suojaputken asennussyvyys h (kaapelin asennusalustan syvyys)	Standardin SFS-EN 61386-24 mukaisen iskunkestävyyden ja puristuskestävyyden mukaan	Standardin SFS-EN 50520 mukaisen iskunkestävyyden mukaan
$h \geq 0,7$ m	varoitusnauha	varoitusnauha
$0,5$ m < $h < 0,7$ m	L 450	suojalevy, -kouru tai -nauha
$0,3$ m $\leq h \leq 0,5$ m piha- ja puistoalueilla	N 750	suojalevy, -kouru tai -nauha
$0,3$ m $\leq h \leq 0,5$ m muilla alueilla	N 450	suojalevy, -kouru tai -nauha

## 4 KAAPELEIDEN KUORMITETTAVUUS

Suurin kaapelille sallittu kuormitusvirta riippuu useasta eri tekijästä, jotka ovat ST-kortin 13.31 mukaan

- liittymisjohdon eristemateriaali
- liittymisjohdon johdinmateriaali ja poikkipinta
- liittymisjohdon asennustapa
- ympäristön lämpötila
- rinnankytketyt johtimet. (ST 13.31, 2021, s. 14)

### 4.1 Eistemateriaalit

Eriste on materiaali, joka pyrkii estämään sähkövirran kulun itsensä läpi. Kaapeleiden eristeenä käytetään yleensä kumia tai muovia. Yleisimmät Suomessa käytetyt PJ-maakaapeleiden eristemateriaalit ovat polyvinyylidikloridi (PVC) ja ristosilloitettu polyeteeni (XLPE tai PEX). Molemmat eristeet ovat muovia. SFS 6000 -standardissa määritellään kaapeleiden eristetyypeille suurimmat sallitut lämpötilat, joissa niitä voidaan jatkuvassa käytössä kuormittaa. Nämä lämpötila-arvot on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Eristetyyppien suurimmat sallitut käyttölämpötilat (SFS 6000-5-52:2017, taul. 52.1, muokattu)

Eristetyyppi	Lämpötilan raja-arvo (°C)
Termoplastinen (Polyvinyylidikloridi PVC)	70 johtimessa
Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropeenikumi (EPR)	90 johtimessa
Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa)	70 vaipassa
Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin)	105 vaipassa

Suurin sallittu jatkuvan kuormituksen lämpötila on PEX-eristeelle 90 °C ja PVC-eristeelle 70 °C. Tämä tarkoittaa sitä, että PEX-eristeistä kaapelia (esim. AXMK), voidaan kuormittaa suuremmalla virralla kuin PVC-eristeistä (AMCMK), jos johdinmateriaali ja poikkipinta on sama.


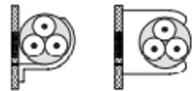

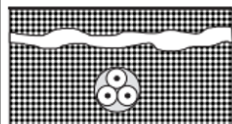
Maahan asennetuissa kaapeleissa on tärkeää rajoittaa kaapelin ulkovaipan lämpötilaa. Jos ulkovaipan lämpötila kuivattaa maata, lämpöresistiivisyys voi kasvaa ja kaapeli ylikuormittua. Eräs tapa tämän ylläampemisen ehkäisemiseksi on käyttää kaapelin lämpötilaa 70 °C, vaikka sallittu suurin käyttölämpötila on 90 °C. (SFS 6000-5-52:2017, s. 34)

Käytännössä ulkovaipan lämpötilan rajoittaminen toteutuu siten, että myös suurempia lämpötiloja kestäville PEX-eristeisille kaapeleille käytetään PVC-eristeisten kaapeleiden kuormitettavuuksia. Usein kaapelivalmistajien datalehdissä kaapelityypeille AXMK ja AMCMK määritellyt kuormitettavuudet ovatkin keskenään yhtä suuret.

## 4.2 Referenssiasennustavat

Maakaapeleiden kuormitettavuudet ilmoitetaan SFS 6000 -standardin kuormitettavuustaulukoissa valmiiksi tiettyjä asennustapoja vastaavana. Muut kuormitettavuuteen vaikuttavat asiat, kuten ympäristöolosuhteet tai useamman kuin yhden kaapelin kytkeminen rinnakkain, huomioidaan erikseen määriteltyjen korjauskertoimien avulla. Liittymiskaapelin yleisimmät asennustavat esitellään alla olevassa taulukossa.

TAULUKKO 4. Esimerkit yleisimmistä liittymiskaapelin asennustavoista. (SFS 6000-5-52:2017, taul. A.52.3, muokattu)

Asennustapa	Selite	Esimerkkikuva
<b>B2</b>	Kaapeli puu- tai kiviseinän pinnalle asennetussa putkessa alle 0,3 kertaa kaapelin halkaisijan etäisyydellä	
<b>C</b>	Kaapeli kiinni tai enintään 0,3 kertaa kaapelin halkaisijan etäisyydellä puuseinästä	
<b>D1</b>	Kaapeli maassa putken tai johtokanavan sisällä	
<b>D2</b>	Kaapeli suoraan maassa (mekaanisella lisäsuojalla tai ilman)	

Liittymisjohtona käytettävien maakaapeleiden asennusolosuhteet vastaavat yleensä taulukon 4 mukaisia asennustapoja. Lähtökohtaisesti liittymiskaapeli asennetaan suoraan maahan (asennustapa D2), mutta usein sen suojaaminen jostain kohtaa on välttämätöntä esimerkiksi tien alitusten, maasto-olosuhteiden tai riittämättömän asennussyvyyden vuoksi.

Kaapelin asennustavalla on merkittävä vaikutus siihen, miten suurella virralla sitä voidaan jatkuvasti kuormittaa. Kun lämmön haihtumisolosuhteet vaihtelevat asennusreitien eri osien välillä, kuormitettavuus on määritettävä asennusreitien hankalimpien olosuhteiden mukaisesti (SFS 6000-5-52:2017, s. 16). Esimerkiksi maa-asennuksessa kaapelin asentaminen putkeen (asennustapa D1) heikentää kuormitusvirrasta aiheutuvan lämmön haihtumista ympäristöön, mikä johtaa pienempään kuormitettavuuteen kuin suorassa maa-asennuksessa (asennustapa D2). Kaapeli on tällöin mitoitettava asennustavan D1 mukaan.

## 4.3 Ympäristöolosuhteet

SFS 6000 -standardi esittää kaapeleiden kuormitettavuudet kansainvälisen IEC 60364-5-52 -esikuvastandardin mukaisia referenssiolosuhteita vastaavana. Ympäristön lämpötilalle käytetään standardissa arvoa +30 °C ja maan lämpötilalle +20 °C. Lisäksi huomioidaan maan lämpöresistivisyys, jonka referenssiarvo on 2,5 Km/W. Tämä arvo on standardin SFS 6000-5-52 (2017, s. 32) mukaan katsottu tarpeelliseksi maailmanlaajuiseen käyttöön, kun maaperän tyyppiä ja maantieteellistä sijaintia ei ole määritelty.

Edellä mainittujen arvojen mukaiset kuormitettavuudet eivät kuitenkaan yleensä vastaa Suomessa vallitsevia olosuhteita. Kuormitettavuuden laskentaa käsittelevän standardisarjan IEC 60287 osan 3-1 mukaan Suomessa käytetään lämpötiloja 25 °C ilmassa ja 15 °C maassa (SFS 6000-5-52:2017, s. 31). Lämpöresistiivisyytenä käytetään arvoa 1,0 Km/W (SFS 6000-5-52:2017, s. 32). Näitä olosuhteita vastaavat kuormitettavuudet löytyvät yleensä valmiina kaapelivalmistajien datalehdistä, tai vaihtoehtoisesti ne voidaan laskea SFS 6000 -standardin ilmoittamista "lähtöarvoista" käyttäen korjauskertoimia, jotka esitellään alla olevissa taulukoissa.

TAULUKKO 5. Vapaasti ilmassa olevien kaapelien korjauskertoimet muille ympäristön lämpötiloille kuin 30 °C (SFS 6000-5-52:2017, taul. B.52.14, muokattu)

Ympäristön lämpötila °C	Eristys	
	PVC	PEX ja EPR
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	0,50	0,71

TAULUKKO 6. Korjauskertoimet ympäröivän maan muulle lämpötilalle kuin 20 °C – sovelletaan maassa suoraan ja suojaputkessa oleviin kaapeleihin (SFS 6000-5-52:2017, taul. B.52.15, muokattu)

Maan lämpötila °C	Eristys	
	PVC	PEX ja EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65

TAULUKKO 7. Korjauskertoimet suoraan tai maassa olevaan suojaputkeen asennetuille kaapeleille muille maan lämpöresistiivisyyden arvoille kuin 2,5 K·m/W. (SFS 6000-5-52:2017, taul. B.52.16, muokattu)

Lämpöresistiivisyys, K·m/W	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	3
Korjauskerroin putkiin asennetuille kaapeleille	1,28	1,2	1,18	1,1	1,05	1	0,96
Korjauskerroin suoraan maahan asennetuille kaapeleille	1,88	1,62	1,5	1,28	1,12	1	0,9

#### 4.4 Rinnankytketyt kaapelit

Kaapeleiden tai johtimien asentaminen toistensa läheisyyteen alentaa niiden kuormitettavuutta, koska kaapelit lämmittävät toisiaan. Kuormitettavuutta voidaan arvioida käyttämällä esimerkiksi kaapelivalmistajien tai standardien antamia korjauskertoimia. Verkostosuositus RK 1:16 ohjeistaa kaapeleiden asentamisesta seuraavasti:

Rinnakkaiset kaapelit sijoitetaan siten, että niiden välinen etäisyys on vähintään kaapelin halkaisijan suuruinen. Suositeltava etäisyys on normaalisti kuitenkin 5 cm. Sijoitettaessa kaapeli suojakouruun voivat rinnakkaiset kourut olla kiinni toisissaan, ellei tilaaja edellytä suurempaa väliä. Kaapeleita, joilla on kuormitusvirrasta johtuva lämpeneminen pientä, voidaan sijoittaa kiinni toisiinsa. Ne voidaan vetää myös samaan putkeen. (RK 1:16, 2016, s. 11)

TAULUKKO 8. Korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle ryhmälle suoraan maahan asennetulle kaapelille. (SFS 6000-5-52:2017, taul. B.52.18, muokattu)

Piirien lukumäärä	Kaapelien välinen etäisyys		
	Nolla (kaapelit koskettavat toisiaan)	Yksi kaapelin halkaisija	0,125 m
2	0,75	0,80	0,85
3	0,65	0,70	0,75
4	0,60	0,60	0,70
5	0,55	0,55	0,65
6	0,50	0,55	0,60
7	0,45	0,51	0,59
8	0,43	0,48	0,57
9	0,41	0,46	0,55
12	0,36	0,42	0,51
16	0,32	0,38	0,47
20	0,29	0,35	0,44

Taulukossa 8 on suoraan maahan rinnakkain asennettujen kaapeleiden korjauskertoimia. Kertoimet perustuvat standardin SFS 6000-5-52 (2017, s. 53) mukaan asennussyvyyteen 0,7 m ja maan lämpöresistiivisyyteen 2,5 K\*m/W.

## 5 JAKELUVERKON SULAKESUOJAUS

Suomessa pienjännitejakeluverkon suojaamiseen käytetään gG-tyyppin kahvasulakkeita. Sulaketyypin etuliitteessä oleva "gG" tarkoittaa yleiskäyttöön tarkoitettua sulaketta, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen (SFS-EN 60269-1:2008, s. 24). Erikseen määritellyjä poikkeustapauksia lukuun ottamatta sekä oikosulku- että ylikuormitussuojat on sijoitettava sellaiseen kohtaan, jossa muutos esim. johtimen poikkipinnassa, johdinlajissa, asennustavassa tai muussa rakenteessa pienentää johtimen kuormitettavuutta (SFS 6000-4-43:2017, s. 10).

Jakeluverkon vikasuojauksessa pitää yleensä noudattaa SFS 6000-4-41 kohdan 411.3.2.3 vaatimuksia, eli syötön automaattisen poiskytkennän aika saa olla enintään 5 s. Jakeluverkkojen luonteesta ja sijoituksesta johtuen voidaan jakeluverkossa verkon haltijan harkinnan mukaan hyväksyä pidemmät poiskytkentäajat. (SFS 6000-8-801:2017, s. 6)

Jakeluverkossa syötön automaattiseen poiskytkentään käytettävä sulake voidaan mitoittaa alla olevan taulukon mukaan edellyttäen, että liittymiä koskevat suojausvaatimukset toteutuvat. Lisäksi suojausten tulisi verkon käyttövarmuuden vuoksi olla selektiivinen. (SFS 6000-8-801:2017, s. 6-7)

TAULUKKO 9. Pienin oikosulkuvirta, jonka mukaan jakeluverkon vikasuojaukseen käytetty ylivirtasuoja voidaan mitoittaa (SFS 6000-8-801:2017, taul. 801.1, muokattu)

Ylivirtasuoja	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG-tyyppin sulake $I_N \leq 63 \text{ A}$	$2,5 \times I_N$
gG-tyyppin sulake $I_N > 63 \text{ A}$	$3,0 \times I_N$

### 5.1 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksessa käytetään vikatapauksissa syntyvien oikosulkuvirtojen katkaisuun. Oikosulkusuojan tulee katkaista vikavirta mahdollisimman nopeasti ja sillä täytyy olla suuri virran katkaisukyky. Oikosulkusuojan tulee myös rajoittaa sen suojaamaan johtoon päästämä energia sellaiseksi, ettei se vaurioita johdon rakennetta vian aikana. (Digma)

TAULUKKO 10. Liittymisjohdon oikosulkusuojana toimivan sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta ampeereina (SFS 6000-8-801:2017, taul. 801.2, muokattu).

Kaapelin poikkipinta mm <sup>2</sup>		gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta, kun 5 s poiskytkentäaika ei toteudu	gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta, kun 5 s poiskytkentäaika toteutuu
kupari	alumiini		
10	16	100	125
16	25	125	160
25	35	160	200
35	50	200	250
50	70	250	315
70	95	315	400
95	120	400	500

Liittymisjohdon oikosulkusuojaukseen tulee käyttää sulaketta, joka on nimellisvirraltaan enintään taulukon 10 mukainen. Vaikka jakeluverkon puolella tapahtuvissa oikosuluissa yli 5 sekunnin poiskytkentäajat ovat sallittuja, on liittymisjohdot suojattava ensisijaisesti 5 s laukaisuehdon mukaan. Poikkeuksena tähän sääntöön ovat sellaiset uudet liittymät, jotka liitetään aikaisemmin rakennettuun verkkoon. Aikaisemmin rakennettuna verkkona pidetään ennen SFS 6000 -standardin vuoden 2007 painoksen käyttöönottoa rakennettuja jakeluverkkoja (SFS 6000-8-801:2017, s. 14). Näiden liittymien osalta standardi hyväksyy enintään 15 sekunnin poislaukaisujan.

## 5.2 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojauksen tehtävänä on huolehtia siitä, ettei normaalitilanteessa johdon virta lämmitä liikaa johtoa. Se siis estää liian suuren kuormituksen kytkemisen johdon syöttämään ryhmään.

(Digma)

Standardin SFS 6000-4-43 mukaan kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien on täytettävä seuraavat kaksi ehtoa:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad (2)$$

missä:

$I_B$  = piirin suunniteltu virta

$I_z$  = johtimen jatkuva kuormitettavuus

$I_n$  = suojalaitteen mitoitusvirta ja

$I_2$  = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. (SFS 6000-4-43:2017, s. 8).

Kuten edellä olevassa kaavassa 1 esitetään, on johdon jatkuvan kuormitettavuuden oltava vähintään suojalaitteen mitoitusvirran suuruinen. Standardin SFS 6000-5-52 opastavassa liitteessä 52Y johtimen kuormitettavuuden minimiarvo määritellään ylikuormitussuojana toimivan sulakkeen nimellisvirran mukaan. Tietyissä tapauksissa ylikuormitussuojaus voidaan myös jättää myös pois. Standardissa SFS 6000-4-43 määritellään seuraavat ehdot ylikuormitussuojan poisjättämiselle:

Ylikuormitussuojaa ei vaadita:

- Johdossa, joka sijaitsee johtimen poikkipinnan, johdinlajin, asennustavan tai muun rakenteen muutoskohdan kuormituspuolella, jos syöttöpuolen suojalaite suojaaa johdon tehokkaasti ylikuormitukselta
- Johdossa, joka ei todennäköisesti ylikuormitu, on oikosulkusuojattu luvun 434 vaatimusten mukaisesti, eikä sitä ole haaroitettu eikä siinä ole pistorasioita
- Liittymisjohdossa, joka on suojattu SFS 6000-8-801 mukaisesti
- Tietoliikenteeseen, ohjaukseen, merkinantoon ja vastaaviin liittävissä asennuksissa

- e) Jakeluverkoissa, jotka koostuvat maahan asennetuista kaapeleista tai ilmajohdoista, joiden ylikuormitus ei aiheuta vaaraa ks. SFS 6000-8-801. (SFS 6000-4-43:2017, s. 9).

### 5.3 Liittymisjohdon suojausmenetelmät

Liittymisjohdon suojausmenetelmät voidaan jakaa seuraaviin vaihtoehtoihin:

1. Liittymisjohto on suojattu siten, että sen syöttöpuolelle asennettu suojalaite kytkee oikosulun pois enintään 5 sekunnissa. Tällöin reitille ei asenneta standardin SFS 6000-4-43 perusvaatimuksista poikkeavia lisäehtoja.
2. Liittymisjohdon alkupäässä ei ole ylivirtasuojaa, joka kytkee oikosulun pois enintään 5 sekunnissa. Tällöin ylikuormitusuoja asennetaan johdon loppupäähän, jakeluverkon vikasuojaus toteutetaan aiemmin esitetyn taulukon 9 mukaisesti ja oikosulkusuojaus taulukon 10 sarakkeen 4 mukaisesti. Liittymisjohto on asennettava koko matkaltaan palonkestävästi, eikä sen lähellä saa olla muita kaapeleita tai palavaa materiaalia.
3. Kohtien 1 tai 2 vaatimuksia ei voida noudattaa. Jos johtoa ei esimerkiksi saada asennettua palonkestävästi tai poiskytkentäajat eivät toteudu, on liittymisjohdon täytettävä standardissa erikseen määritellyt vaatimukset. Liittymisjohdon pituus rakennuksen sisällä tulee rajoittaa mahdollisimman lyhyeksi, sen poikkipinta-alan on oltava vähintään 10 mm<sup>2</sup> kuparia tai 16 mm<sup>2</sup> alumiinia ja johto on suojattava loppupäästään ylikuormitukselta. Lisäksi asennusreitille rakennuksen sisällä määritellään paloturvallisuutta ja mekaanista suojausta koskevia lisävaatimuksia. Johdon läpivienti rakennuksessa tulee toteuttaa palonkestävästi ja siten, että sen kunto on helposti tarkastettavissa. (SFS 6000-8-801:2017, s. 9)

### 5.4 Mitoitusprosessi verkostosuosituksen mallin mukaan

SA 4:ssa näytetään kaksi laskuesimerkkiä liittymiskaapelin ja sen suojausmitoitamisesta. Molemmille esimerkeille on annettu omat lähtötiedot, ja mitoitusmenetelmä on seuraava:

1. Asuinrakennuksen keskiarvo- ja maksimihuipputehot lasketaan rakennuksen tyypin, koon ja varustelutason perusteella käyttäen suosituksessa esitettyjä mitoitusaulukoita.
2. Liittymisjohdon keskimääräinen kuormitusvirta  $I_{ke}$  sekä maksimivirta  $I_{max}$  lasketaan edellä saaduista tehoista kaavalla

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} \quad (3)$$

missä

$P$  = kohdan 1 mukaan laskettu huipputeho (kW)

$U$  = pääjännite (400 V)

$\cos \varphi$  = rakennustyyppin mukaan arvioitu tehokerroin

3. Kun keskimääräinen kuormitusvirta  $I_{ke}$  on tiedossa ja kuormituksen huipunkäyttöajasta on arvio, haetaan taloudellisin kaapelikoko suosituksen taulukosta "Liittymiskaapeleiden taloudelliset poikkipinnat". Tätä toimintamallia ei nykyään juuri sovelleta, vaan kaapeli valitaan

lähtökohtaisesti muiden määrävien raja-arvojen mukaan verkkoyhtiökohtaisista kaapelisuosituksista.

4. Valitaan kaapeleiden jännitteenalenemäkäyrästöistä kuormitusvirran mukaan pienin kaapeli, jolla pysytään sallitun jännitteenaleneman rajoissa. Vaihtoehtoisesti alumiinikaapeleille jännitteenaleneman likiarvo voidaan verkostosuosituksen (SA 4:09, s. 36) mukaan laskea kaavalla

$$U_h(\%) = \frac{teho (kW) * pituus (m)}{50 * poikkipinta (mm^2)} \quad (4)$$

5. Valitaan pääsulakekoko, joka on nimellisarvoltaan kohdassa 2 laskettua maksimivirtaa suurempi. Sulakekoon perusteella katsotaan pienin sallittu kaapelikoko.
6. Valitaan suurin kaapelikoko, joka esiintyy kohdissa 3, 4 ja 5. Lopuksi tarkistetaan oikosulkuvirtojen riittävyys kyseisellä kaapelilla. Jos oikosulkuvirrat eivät ole riittäviä, voidaan kasvattaa kaapelin poikkipinta-alaa.

## 6 TYÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyön toteutusvaihe käynnistyi syyskuussa 2021, jolloin pidettiin aloituspalaveri. Aloituspalaverissa sovittiin tärkeimmistä työhön liittyvistä asioista kuten sopimusten laatimisesta, työn varsinaisesta sisällöstä sekä aikataulusta. Työn valmistumispäivämääräksi sovittiin Adato Energia Oy:n kanssa tehdyssä työsopimuksessa 31.1.2022.

Työ aloitettiin laatimalla opinnäytetyölle alustava aikataulusuunnitelma, jossa verkostosuosituksen eri aihealueiden päivittämiseksi oli arvioitu tietyt aikajaksot. Suunnitelma käytiin ohjaajan ja tilaajan kanssa yhdessä läpi. Tässä vaiheessa pyrittiin myös tekemään mahdollisimman tarkka selvitys siitä, mitä materiaaleja työn toteuttamiseen tarvittaisiin. Tämä tieto välitettiin opinnäytetyön tilaajalle, jotta materiaalihankinnat saatiin tehtyä riittävän ajoissa.

### 6.1 Työmenetelmät

#### 6.1.1 Palaverit

Ohjauspalaverit järjestettiin Microsoft Teams -sovelluksessa, ja niissä oli paikalla itseni lisäksi yliopettaja Juhani Rouvali, Adato Energia Oy:n tuotepäällikkö Pekka Rintala, Energiateollisuus ry:n asiantuntija Tuukka Heikkilä sekä verkostosuositus SA 2:n päivittämisestä vastannut Aleks Eklund. Ennalta määrättyä kokousaikataulua ei ollut sovittuna, vaan seuraavan palaverin ajankohta mietittiin aina tapauskohtaisesti tarpeiden mukaan. Keskimäärin palavereja pidettiin syksyn aikana noin 2–3 viikon välein, ja kaiken kaikkiaan niitä oli toistakymmentä kappaletta.

Palavereissa esiteltiin työn senhetkistä tilannetta ohjaajalle ja tilaajalle, jotka antoivat palautetta ja kehitysideoita jatkoa varten. Välillä työn toteutuksessa ilmeni ongelmakohtia, joihin mietittiin yhdessä ratkaisuja. Tilaajan edustajat vastasivat työhön tarvittavien materiaalien toimittamisesta ja antoivat muun muassa vinkkejä sähköalan toimijoista ja tietolähteistä, joista voisi olla apua selvitystyössä. Ohjauspalavereista laadittiin muistiot työn etenemisen seurantaan varten.

#### 6.1.2 Tiedonhaku & selvitystyö

Tiedonhakuun käytettiin pääsääntöisesti internet-lähteitä. Tärkeimpiä lähteitä olivat SFS 6000 -standardisarja, ST-kortisto sekä tilaajan kautta käyttöön saadut verkostosuositukset ja sähköalan käsikirjat. Lisäksi apuna käytettiin vanhoja sähkötekniikan opinnäytetöitä. Työ toteutettiin yleensä kotoa käsin, mutta tiedon hakemiseen hyödynnettiin myös Savonia-ammattikorkeakoulun kirjastoa. Yleisesti ottaen tiedonhaussa pyrittiin etenemään järjestelmällisesti asiakokonaisuus kerrallaan verkostosuosituksen etenemisjärjestyksessä. Työ ei tosin yleensä edennyt tämän mallin mukaan, vaan aiemmin käsiteltyjen osioiden aiheisiin jouduttiin palaamaan melko säännöllisesti työn edetessä.

Alkuperäisen verkostosuosituksen pohjana käytetyt tietolähteet käytiin järjestelmällisesti läpi. Mahdollinen tietojen vanhentuminen tarkistettiin vertaamalla lähteiden vanhoja ja uusia painoksia keskenään. Täysin uusien kohtien lisääminen verkostosuositukseen tehtiin harkiten ja vain silloin, kun sille oli erityinen tarve. Itsenäisen tiedonhaun lisäksi prosessi koostui yhteydenpidosta sähköalan asiantuntijoiden kanssa. Työn aikana neuvoa kysyttiin mm. Savon Voima Verkon, Voimatelin sekä SESKO ry:n edustajilta.

### 6.1.3 Laskenta ja dokumentaatio

Päivitystyöhön sisältyi kaapeleiden kuormitettavuuslaskentaa. SFS 6000 -standardisarjan vuoden 2017 painoksessa oli siirrytty käyttämään sen aiemmista versioista poikkeavaa kuormitettavuuslaskentamallia, minkä vuoksi verkostosuosituksessa esitetyt kuormitettavuudet oli laskettava uusiksi. Uuden standardin mukaiset kuormitettavuuden korjauskertoimet siirrettiin Excel-tiedostoon, jossa tehtiin tarvittavat laskelmat.

Verkostosuosituksen alkuperäinen versio siirrettiin Energiateollisuus ry:n dokumenttipohjalle, jossa tehtiin muun muassa tarvittava tekstinkäsittely, kuvien ja taulukoiden muokkaus sekä otsikointi. Dokumentointityöhön sisältyivät kaikki konkreettiset muutokset, joita suunnitteluohjeeseen tehtiin.

Suosituksessa SA 4 on mukana PJ-verkon mitoituksen ja suojauksen esimerkkikuvia, joissa esitetään mallitilanteita uuden verkon rakentamisesta ja vanhan saneerauksesta. Kuvat piirrettiin uusiksi, ja piirtämiseen käytettiin PDF-XChange Editor -ohjelmaa.

## 6.2 Verkostosuosituksen tehdyt muutokset

Kun verkostosuosituksen päivitetty versio SA 4:21 oli saatu valmiiksi, sen käyttöoikeudet siirtyivät opinnäytetyön tilaaja Adato Energia Oy:n käyttöön. Koska suositus ei ole saatavilla julkisena, ei päivitetyn version tietoja voida sellaisinaan jakaa. Tästä syystä työn aikana tehtyjä muutoksia esitellään tässä osiossa aihepiireittäin.

### 6.2.1 Liittymisjohdon mitoittamisen lähtökohdat & tehollisuuslaskenta

Suunnitteluohjeen osio "Liittymisjohdon mitoittamisen lähtökohdat" päivitettiin vastamaan nykyisin voimassa olevien ST-julkaisujen ohjeistuksia. Merkittävin tietolähde tämän aihealueen päivittämisessä oli ST-kortti 13.31 – "Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen". Liittymisjohdon taloudellista mitoittamista koskevia tekstiosuuksia muokattiin, koska ne koettiin osittain vanhentuneeksi tiedoksi.

Kiinteistön huipputehon arviointiin soveltuvia laskentakaavoja tarkasteltiin verkostosuositus SA 1:87:n sekä ST 13.31:n avulla. Päivitetyn version kaavoja on selkeytetty, ja tehomitoitusosioon on lisätty sähköautojen latauspisteiden mitoittamiseen liittyvää tietoa, jota ei alkuperäisessä suosituksessa ollut. Tässä apuna käytettiin korttia ST 51.90 – "Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus".

### 6.2.2 Sähkön laatu

Yliaaltoja käsittelevän osion tiedot tarkistettiin erilaisten sähköalan ohjekirjojen avulla. Yksi käytetty lähde oli Sähköinfo Oy:n "Yliaallot ja kompensointi", joka saatiin tilaajan avulla käyttöön. Sähkön laadun osalta muutoksia tuli lähinnä jakelujännitteen ominaisuuksiin. Tehdyt muutokset perustuvat SFS 6000 -standardiin, ja ne koskevat jakelujännitteen suositus- ja raja-arvoja. Standardin uusimisen myötä mm. asiakkaan verkossa sallittuun jännitteenalenemaan on tullut muutoksia.

### 6.2.3 Referenssiasennustavat

PJ-kaapeleiden referenssiasennustapoja käsittelevät tekstiosat, viittaukset ja taulukot päivitettiin verkostosuositukseen vastaamaan uutta standardia, jossa asennustavat jaotellaan nykyisin useampaan

osaan kuin aiemmin. Esimerkiksi kaapelin maa-asennus (aiemmin tapa D) jaetaan asennustapoihin D1 ja D2 sen mukaan, onko kaapeli asennettu suoraan maahan vai suojaPUTKEN sisälle.

#### 6.2.4 Liittymisjohdon suojausvaatimukset

Liittymiskaapelin suojausvaihtoehtoja käsittelevä tekstiosuus rakennettiin uusiksi. Suojausvaatimukset on tiukennettu mm. siten, että liittymisjohto on suojattava 5 sekunnin laukaisuehdon mukaan. Vaikka suojaus toteutuisikin 5 sekunnissa, on johdon asennus tehtävä palonkestävästi, mikäli sulake ei sijaitse liittymisjohdon alkupäässä.

#### 6.2.5 Kaapeleiden kuormitettavuudet & sulakkeet

Uuden standardin mukaan lasketut maakaapeleiden kuormitettavuudet poikkeavat osittain aiemmista. Laskennan lisäksi päivitettiin AMKA-ilmajohtojen tiedot sekä tarkistettiin gG-sulakkeiden nimellisarvot ja toiminta-ajat. Pienjännitevarokkeita käsittelevä eurooppalainen standardi SFS-EN 60269-1 vuodelta 2008 on vieläkin voimassa, joten sulaketietoihin ei muutoksia tullut.

TAULUKKO 11. Liittymiskaapeleiden ylivirtasuojat ja kuormitettavuudet. (SA 4:09, taul 6, muokattu)

		YLIKUORMITUSSUOJA <sup>1)</sup>	OIKOSULKUSUOJA <sup>1)</sup>		KUORMITETTAVUUS <sup>5)</sup>	
		KULUTTAJAN PÄÄSULAKE (I <sub>N</sub> ) <sup>2)</sup>	JAKOKAAPISSA/MMO (I <sub>N</sub> ) <sup>3)</sup>	ILMAJOHDOLLA (I <sub>N</sub> ) <sup>4)</sup>	AS. TAPA SEINÄ / MAA (A)	
AXMK,	AXCMK	300 mm <sup>2</sup>	315	500	-	458 / 430
AXMK,		240 mm <sup>2</sup>	315	400	-	397 / 375
AXMK,	AXCMK	185 mm <sup>2</sup>	250	315	-	336 / 330
AXMK, AURA,		150 mm <sup>2</sup>	250	315	-	294 / 280
AXMK,	AXCMK	120 mm <sup>2</sup>	200	250	400 (500)	255 / 255
AXMK, AURA,		95 mm <sup>2</sup>	160	200	315 (400)	219 / 220
AXMK,	AXCMK	70 mm <sup>2</sup>	160	200	250 (315)	181 / 185
AXMK, AURA,		50 mm <sup>2</sup>	100(125)	125 (160)	200 (250)	129 <sup>6)</sup> / 150
AXMK,	AXCMK	35 mm <sup>2</sup>	80(100)	100 (125)	160 (200)	107 <sup>6)</sup> / 125
AXMK,	AXCMK	25 mm <sup>2</sup>	63 (80)	80 (100)	125 (160)	87 <sup>6)</sup> / 100
AXMK,	AXCMK	16 mm <sup>2</sup>	50 (63)	63 (80)	100 (125)	66 <sup>6)</sup> / 78

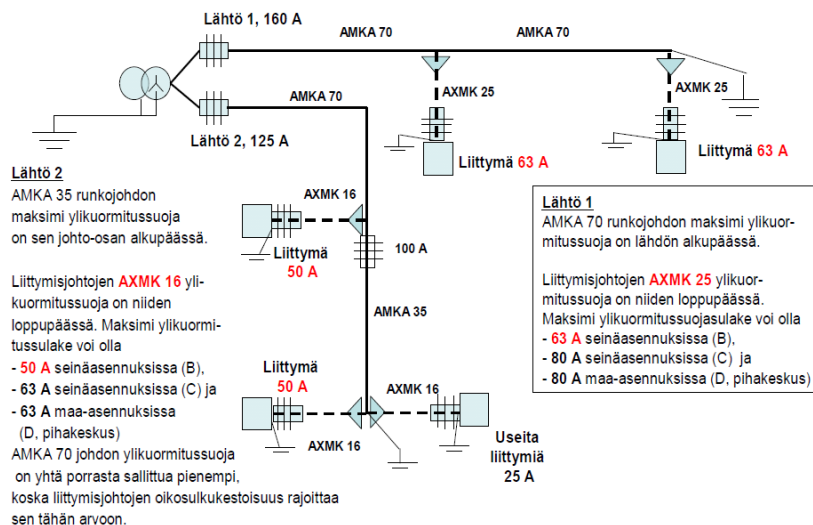
Taulukko 11 on ote verkostosuositus SA 4:n alkuperäisestä taulukosta numero 6. Taulukossa esitetään AXMK:n lisäksi MCMK- ja AMCMK -maakaapeleiden kuormitettavuudet ja niiden suojaamiseen suositellut sulakkeet sekä 1–4 AXMK-kaapelin rinnankytkentöjen kuormitettavuudet. Taulukkoarvot laskettiin uusiksi standardin SFS 6000:2017 mukaan, ja lisäksi tehtiin tarvittavat muutokset sulakearvoihin ja taulukon alaviitteisiin.

#### 6.2.6 PJ-verkon esimerkkikuvat

Verkostosuosituksessa esitetään 9 esimerkkikuvaa ilma- ja maakaapeliverkon mitoituksesta ja suojauksesta. Lisäksi vanhan verkon peruskorjauksesta annetaan kaksi esimerkkiä.

## PYLVÄSMUUNTAMO JA ILMAJOHTOLÄHDÖT, YLIKUORMITUSSUOJAUS

LIITTYMISJOHDOT AXMK 4 x 25 JA AXMK 4 x 16. (PEX-eristeiset)



KUVA 7. Ilmajohtoverkko. Ylikuormitussuojaus, PEX eristeiset liittymiskaapelit. (SA 4:09, kuva 3.1.A)

Kuvassa 7 on muuntopiiri, jossa runkojohtona käytetään AMKA 70- ja AMKA 35 -ilmajohtoja. Liittymisjohtoina on käytetty kaapeleita AXMK 25 ja AXMK 16. Kuvassa kerrotaan lisäksi ylikuormitussuojauksen vaihtoehdot. Kaapeleiden asennustapa vaikuttaa kuormitettavuuden kautta siihen, kuinka suuria sulakkeita johtojen suojaamiseen voidaan käyttää.

Kaikki esimerkkikuvat piirrettiin uusiksi, jotta niistä saataisiin selkeämmän näköiset. Kuviin lisättiin myös mm. puuttuvia maadoituksia, joita alkuperäisiin kuviin ei ollut piirretty. Uudet liittymisjohdon suojausvaatimukset päivitettiin kuvien tekstikenttiin.

### 6.2.7 Laskuesimerkit

Liittymisjohdon mitoitusta koskevien laskuesimerkkien tulokset tarkistettiin päivitettyjen mitoitustaulukoiden ja kuormitettavuuslaskelmien avulla. Esimerkkien selkeyttämiseksi niihin lisättiin viittaukset käytettyihin kaavoihin. Lisäksi laskutoimitukset rakennettiin uusiksi Wordin kaavaeditorilla, jotta ne olisivat helpolukuisempia.

## 7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli päivittää verkostosuositus ”SA 4:09 – Kaapeloitujen PJ-liittymisjohtojen mitoitus ja suojaus” nykyisin voimassa olevien sähköalan määräysten mukaiseksi. Käytännössä työ koostui tiedonhausta, dokumentaatiosta ja laskennasta. Työ tehtiin Adato Energia Oy:lle, joka on verkostosuosituksen julkaisija.

SFS 6000 -standardisarjan kolme viimeisintä uudistusta ovat vuosilta 2007, 2012 ja 2017. Samaa viiden vuoden uudistussykliä seurataan edelleen, sillä seuraava painos on määrä julkaista vuoden 2022 aikana. On mielenkiintoista nähdä, miltä nyt päivitetyn suosituksen sisältö tulee uuden standardin valossa näyttämään. Ihanteellisin ajankohta työlle olisi varmastikin ollut heti standardiuudistuksen jälkeen. Toisaalta nyt tehtyä päivitustyötä on tarpeen vaatiessa helppo jatkaa myöhemmin, sillä ainakin suurin osa päivitetystä sisällöstä on todennäköisesti ajan tasalla vielä lähitulevaisuudessa.

Verkostosuositus päivitettiin vastaamaan uusimpia sähköalan vaatimuksia ja ohjeistuksia. Vaikka ensisijainen tavoite oli korjata standardien uudistumisen myötä vanhentuneet tiedot, lisättiin suunnitteluohjeeseen myös jonkin verran uutta asiaa. Uutta suunnitteluohjetta tullaan käyttämään ainakin Savonia-ammattikorkeakoulussa sähkötekniikan opetusmateriaalina. Työn voidaan todeta onnistuneen, sillä päivitetty versio SA 4.21 saatiin palautettua tilaajalle sovituksessa aikataulussa muutamaa pientä jälkikäteen tehtyä korjausta lukuun ottamatta.

Itseni kannalta merkittävin motivoiva tekijä työn toteuttamiselle oli jo ammattikorkeakouluopintojeni alkuvaiheilla syntynyt kiinnostus sähköjakeluverkkoja ja niiden suunnittelua kohtaan. Työn edetessä sain paljon lisätietoa PJ-verkon suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvistä periaatteista ja säännöksistä. Etsiessäni tietoa standardeista, verkostosuosituksista ja muista sähköalan ammattitietolähteistä opin myös tulkitsemaan ja tuntemaan niitä paremmin.

## 8 LÄHDELUETTELO

- ABB Oy. (2000). TTT-käsikirja 2000-07. *Luku 19: Sähköjohtojen mitoittaminen*. Helsinki, Suomi: ABB Oy. Haettu 6. 4. 2022 osoitteesta  
[https://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/19\\_1\\_S%84hk%94johtojen%20mitoittaminen.pdf](https://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/19_1_S%84hk%94johtojen%20mitoittaminen.pdf)
- Digma. (ei pvm). *Johdon mitoitus*. Tampere, Suomi. Haettu 9. 1. 2022 osoitteesta  
<https://moodle.amk.fi/course/view.php?id=46>
- Finnparttia Oy. (ei pvm). AMKA 3x16+25 alumiiniriippukierrekaapeli. Perniö, Suomi: Finnparttia Oy. Haettu 3. 5. 2022 osoitteesta <https://www.finnparttia.fi/AMKA-3x1625>
- Linnainmaa, H. (2022). *AMKA-riippukierrekaapeleita puupylväässä*. Kuopio, Suomi. Haettu 27. 4. 2022
- Reka Kaapeli Oy. (ei pvm). AMCMK. Hyvinkää, Suomi: Reka Kaapeli Oy. Haettu 27. 1. 2022 osoitteesta  
<https://www.reka.fi/tuoteryhma/amcmk/>
- Reka Kaapeli Oy. (ei pvm). AXMK. Hyvinkää, Suomi: Reka Kaapeli Oy. Haettu 27. 1. 2022 osoitteesta  
<https://www.reka.fi/tuoteryhma/axmk/>
- Reka Kaapeli Oy. (ei pvm). MCMK. Hyvinkää, Suomi: Reka Kaapeli Oy. Haettu 27. 1. 2022 osoitteesta  
<https://www.reka.fi/tuoteryhma/mcmk/>
- RK 1:16. (2016). Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4 – 45 kV. Helsinki, Suomi: Energiateollisuus ry. Haettu 2. 4. 2022
- SA 1:87. (1987). Pienjänniteverkon mitoitusvahvuudet ja -energiat. Helsinki, Suomi: Sähköenergiailiitto ry SENER. Haettu 2. 4. 2022
- SA 4:09. (2009). Kaapeloitujen PJ-liittymisjohtojen mitoitus ja suojaus. Helsinki, Suomi: Energiateollisuus ry. Haettu 7. 4. 2022
- Savon Voima Verkko Oy. (1. 1. 2014). Asiakkaan liittymiskaapelin mitoitus. Toivala, Suomi: Savon Voima Verkko Oy. Haettu 6. 4. 2022 osoitteesta [https://savonvoima.fi/wp-content/uploads/2020/11/liite-c1\\_asiakkaan-liittymiskaapelin-mitoitus-2014-01-01.pdf](https://savonvoima.fi/wp-content/uploads/2020/11/liite-c1_asiakkaan-liittymiskaapelin-mitoitus-2014-01-01.pdf)
- SFS 6000-4-43:2017. (18. 8. 2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Helsinki, Suomi: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Haettu 3. 4. 2022 osoitteesta <https://online.sfs.fi/>
- SFS 6000-5-52:2017. (18. 8. 2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki, Suomi: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Haettu 11. 1. 2022 osoitteesta <https://online.sfs.fi/>
- SFS 6000-8-801:2017. (18. 8. 2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-801: Täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot. Helsinki, Suomi: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Haettu 24. 1. 2022 osoitteesta <https://online.sfs.fi/>

SFS 6000-8-814:2017. (18. 8. 2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-814. Täydentävät vaatimukset. Kaapelien asentaminen maahan tai veteen. Helsinki, Suomi: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Haettu 2. 4. 2022 osoitteesta <https://online.sfs.fi/>

SFS ry. (ei pvm). SFS 6000 Pienjännitesähköasennusten standardisarja. Helsinki, Suomi: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Haettu 27. 1. 2022 osoitteesta <https://sfs.fi/standardeista/tutustu-standardeihin/suosittu-standardit/sfs-6000-pienjannitesahkoasennusten-standardisarja/>

SFS-EN 60269-1:2008. (23. 6. 2008). Pienjännitevarokkeet. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki, Suomi: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Haettu 9. 1. 2022 osoitteesta <https://online.sfs.fi/>

ST 00.05. (3. 1. 2022). Voimassa olevat ST-julkaisut. Espoo: Sähkötieto ry. Haettu 27. 1. 2022

ST 13.31. (17. 11. 2021). Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Espoo, Suomi: Sähkötieto ry. Haettu 9. 1. 2022

Sähköturvallisuuslaki 2016/1 § 6. (16. 12. 2016). Helsinki, Suomi. Haettu 27. 1. 2022 osoitteesta <https://stek.fi/sahkoturvallisuus/sahkoturvallisuuden-vaatimukset/sahkoturvallisuuslainsaadanto/>