

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMIEN KAAPELIMITOITUKSET

Opinnäytetyö

TEKIJÄ Tuomas Kyllönen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Tuomas Kyllönen			
Työn nimi Sähköautojen latausjärjestelmien kaapelimitoitukset			
Päiväys	30.5.2024	Sivumäärä/Liitteet	51/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Elvera Oy			
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää sähköautojen latausjärjestelmiin liittyviä tekijöitä, joita tulee vastaan niiden suunnittelussa. Selvitettävänä oli kiinteistön tehoreservin selvitys ja kaapelimitoituksiin liittyviä tekijöitä. Lisäksi tarkasteltiin uuden pääkeskuksen maadoituksen toteuttamistapoja ja vikavirtasuojausta sähköauton latauspisteessä. Selvitystyön lisäksi opinnäytetyössä luotiin laskentatyökalu suunnittelun avuksi. Laskentatyökalulla voidaan laskea pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta, mitoittaa ylivirtasuojaus ja laskea jännitteenalennemat pääkeskuksella, latauskeskuksella ja kauimmaisella latauspisteellä. Yhtenä tavoitteena oli myös selvittää pelastuslaitosten ohjeistusta sähköajoneuvojen latauspisteiden jännitteettömäksi tekemisestä. Myös sähköautojen lataustapoihin perehdytään ja vertaillaan 2020-luvun sähköautojen sisälatureita. Työn tilaajana toimii Elvera Oy.</p> <p>Opinnäytetyön tärkeimpänä menetelmänä toimi tiedonhakeminen ja sen jäsentely. Tiedonhaun lähteinä käytettiin muun muassa kirjallisuutta, standardeja, opinnäytetöitä ja viranomaisen tuottamaa aineistoa. Lisäksi työssä perehdyttiin kiinteistön sähköverkon mitoituksen teoriaan painottuen kiinteistön sähköverkon yleiseen rakenteeseen, kiinteistön huipputehon määrittämiseen, ylivirtasuojaukseen, syötön nopeaan poiskytkentään, johtojen valintaan ja niiden kuormitettavuuksiin ja jännitteen alenemaan. Toisena menetelmänä oli laskentatyökalun luominen Exceliin.</p> <p>Opinnäytetyöhön on saatu selvitettyä sähköautojen latausjärjestelmien suunnittelussa vastaan tulevat tekijät. Exceliin luotua laskuria voidaan käyttää mitoituksen tukena.</p>			
Avainsanat sähköautojen latausjärjestelmät, kaapelimitoitukset, oikosulkuvirrat, ylivirtasuojaus, jännitteenalennema			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author Tuomas Kyllönen	
Title of Thesis Cable Sizing for Electric Vehicle Charging Systems	
Date 30 May 2024	Pages/Appendices 51/1
Client Organisation /Partners Elvera Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of the thesis was to investigate the issues related to electric vehicle charging systems that are encountered in their design. The issues to be clarified were the power reserve of the property and issues related to cable dimensioning. In addition, the methods of implementing earthing of the new main switchboard and fault current protection at the electric vehicle charging point were examined. In addition to the survey work, the thesis created a calculation tool to assist the design. The calculation tool can be used to calculate the minimum single-phase short-circuit current, to dimension the overcurrent protection and to calculate the voltage drops at the main centre, the charging centre and the furthest charging point. One of the objectives was also to clarify the guidelines for rescue services on de-energising charging points for electric vehicles. The charging methods for electric vehicles were also studied and a comparison made of the internal chargers for electric vehicles in the 2020s. The work was commissioned by Elvera Oy.</p> <p>The main method used in the thesis was information retrieval and organization. The sources for information retrieval included literature, standards, theses, and materials produced by authorities. In addition, the thesis dealt with the theory of the sizing of the electricity network of a building, focusing on the general structure of the electricity network of a building, the determination of the peak power of a building, overcurrent protection, rapid disconnection of the supply, the selection of cables and their load capacities and voltage reduction. The second method was to create a calculation tool in Excel.</p> <p>The thesis successfully identified the issues encountered in the design of electric vehicle charging systems. The calculator created in Excel can be used to support dimensioning.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>Electric vehicle charging systems, cable sizing, short-circuit currents, overcurrent protection, voltage drop</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄT .....	8
2.1	Lataustapa 1 – Kevyeiden sähköajoneuvojen lataus .....	8
2.2	Lataustapa 2 – Hidaslataus .....	9
2.3	Lataustapa 3 – Peruslataus .....	9
2.4	Lataustapa 4 – Teholataus.....	9
2.5	Sähköautojen omat laturit vuonna 2024 .....	10
3	KIINTEISTÖN SÄHKÖVERKON MITOITUKSEN TEORIAA .....	12
3.1	Kiinteistön sähköverkon yleinen rakenne .....	12
3.2	Kiinteistön huipputehon määrittäminen .....	13
3.3	Jakelujärjestelmä .....	13
3.4	Liittymisjohto .....	14
3.5	Sähkökeskukset .....	15
3.6	Kiinteistön maadoitukset .....	16
3.7	Ylivirtasuojaus .....	17
3.8	Ylikuormitussuojaus .....	18
3.8.1	Rinnankytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaus .....	21
3.8.2	Ylikuormitussuojan pois jättäminen .....	22
3.9	Oikosulkusuojaus .....	22
3.9.1	Rinnankytkettyjen johtimien oikosulkusuojaus .....	24
3.9.2	Sulakkeet oikosulkusuojina .....	24
3.9.3	Johdonsuojakatkaisijat oikosulkusuojina .....	25
3.10	Ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen yhteensovittaminen.....	25
3.11	Syötön nopea poiskytkentä .....	25
3.12	Johtojen valinta ja kuormitettavuus .....	26
3.12.1	Johtojen kuormitettavuus .....	26
3.12.2	Asennustavat .....	27
3.12.3	Korjauskertoimet .....	29
3.12.4	Toimintatavat johdon poikkipinta-alaa mitoittaessa .....	33
3.13	Jännitteen alenema .....	33
4	SELVITYS SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELUUN LIITTYEN .....	35

4.1	Kiinteistön tehoreservi .....	35
4.2	Kaapelimitoitukset.....	36
4.2.1	Kaapelin vahventamisen tarve .....	36
4.2.2	Esimerkkilaskelma liittymiskaapelin poikkipintaa vastaavan sulakkeen mitoitukseen .....	37
4.2.3	Kaapelin rinnankytkennän vaikutus kaapelimitoituksiin .....	37
4.2.4	Läpivientien vaikutus johdon kuormitettavuuteen .....	38
4.3	Uuden pääkeskuksen maadoitus .....	38
4.4	Suositus latauspisteiden jännitteettömäksi tekemisestä .....	40
4.5	Vikavirtasuojaus sähköauton latauspisteissä .....	41
4.5.1	Vikavirtasuojien testaukset .....	41
5	EXCEL LASKURI MITOITTAMISEEN .....	43
6	YHTEENVETO.....	46
	LÄHTEET .....	47
	LIITE 1: SULAKKEIDEN SUURIMMAT SALLITUT NIMELLISVIRRRAT NIIDEN TOIMIESSA OIKOSULKUSUOJANA. JATKOJEN JA PÄÄTTEIDEN OIKOSULKUKESTOISUUS TARKASTETTAVA ERIKSEEN. (D1-2022 KÄSIKIRJA RAKENNUSTEN SÄHKÖASENNUKSISTA 2022, 142–144.).....	49
	KUVALUETTELO	
	KUVA 1. Sähköajoneuvojen ja niiden latausjärjestelmien termit ja käsitteet. (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät, ST Käsikirja 41 2022, 11) .....	8
	KUVA 2. Standardin SFS-EN 62196-2 mukainen tyyppin 2 pistorasia. (Sesko 2023, 1) .....	9
	KUVA 3. Standardin SFS-EN 62196-3 mukainen pistoke. (Sesko 2023, 2).....	10
	KUVA 4. Kiinteistön sähköverkon yleinen rakenne. (Muokattu lähteestä: Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus 2020, 163) .....	12
	KUVA 5. TN-C- ja TN-S-järjestelmät yksinkertaistetusti. (Muokattu lähteestä: CADMATIC EAC 18) .....	13
	KUVA 6. Esimerkki pienjänniteliittymän maadoituskäviöstä. (CADMATIC EAC 18).....	17
	KUVA 7. Tuntikohtaiset kulutustiedot. (Kokkolan Energia, julkaisuaika tuntematon).....	36
	KUVA 8. PEN-johtimen kytkentä erilliseen PEN-kiskoon. (Orrberg & Tiainen 2022, 122) .....	39
	KUVA 9. PEN-johtimen kytkentä PE-kiskoon. (Orrberg & Tiainen 2022, 123) .....	39
	KUVA 10. PEN-johtimen kytkentä N-kiskoon. (Orrberg & Tiainen 2022, 123).....	40
	KUVA 11. Esimerkki nolla- ja suojamaadoitusjohtimen rinnankytkennästä. (Muokattu lähteestä: (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 402) .....	40
	KUVA 12. Laskentatyökalu pääkeskuksen osalta .....	43
	KUVA 13. Kaapelin valinnan luettelonäkymä.....	44
	KUVA 14. Suojalaitteen nimellisvirran valinnan luettelonäkymä.....	44

KUVA 15. Laskentatyökalu latauskeskuksen osalta. ....	45
KUVA 16. Suojalaitteen tyyppin valinnan luettelonäkymä. ....	45
KUVA 17. Käytettävän suojalaitteen perusteella määräytyvät pienimmät sallitut oikosulkuvirrat. ....	45
KUVA 18. Laskentatyökalu kauimmaisen latauspisteen osalta. ....	45

## TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1. Erialaisten sähköautojen sisäisen laturin lataustehoja. (Salto julkaisuaika tuntematon).....	11
TAULUKKO 2. Pienin oikosulkuvirta, jonka mukaan jakeluverkon vikasuojaukseen käytetty ylivirtasuojaa voidaan mitoittaa. (Taulukko 801.1. SFS 6000-8-801 2022, 7) .....	15
TAULUKKO 3. Liittymisjohdon oikosulkusuojana toimiva sulake. (SFS 6000-8-801 2022, 11.) .....	15
TAULUKKO 4. Johtojen sallitut kuormitettavuudet käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 135.) .....	21
TAULUKKO 5. Johdinvakion k arvot vaihejohtimille. (SFS 6000-4-43 2022, 13).....	23
TAULUKKO 6. Johtojen kuormitettavuudet (A) eri asennustavoilla. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 220) .....	28
TAULUKKO 7. Kaapeleiden kuormitettavuuksia lämpöeristeen läpivienneissä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 235).....	29
TAULUKKO 8. Korjauskertoimet ilmaan asennettaville kaapeleille. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 229) .....	30
TAULUKKO 9. Korjauskertoimet asennustavoilla D1 ja D2 asennettaville kaapeleille. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 229).....	30
TAULUKKO 10. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden mukaan. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 230) .....	31
TAULUKKO 11. Eri maalajien lämpöresistiivisyyden arvoja. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 230) .....	31
TAULUKKO 12. Korjauskertoimet ryhmille, joissa on useita kaapeleita tai useita virtapiirejä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 230) .....	31
TAULUKKO 13. Korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle asennustavalla D2 asennetulle kaapelille. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 231) .....	32
TAULUKKO 14. Korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle asennustavalla D1 asennetulle kaapelille. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 231) .....	32
TAULUKKO 15. Korjauskertoimet lämpöeristeen läpäiseville kaapeleille ja asennusputkissa oleville johtimille. (SFS 6000-5-52 2022, 16).....	33
TAULUKKO 16. Esimerkki yksijohdinkaapeleiden vaihejärjestyksestä rinnankytkennässä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 237).....	38
TAULUKKO 17. Lataustapojen 1, 2 ja 3 vikavirtasuojausmenettelyt. (Sesko ry 2020, 3.) .....	42

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on sähköautojen latausjärjestelmien kaapelimitoitukset. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää sähköautojen latausjärjestelmien suunnitteluun liittyviä asioita, joita tulee vastaan suunnittelussa, kuten kiinteistön vapaan käytettävissä olevan tehokapasiteetin selvitys, kaapelimitoituksiin liittyviä selvityksiä, uuden pääkeskuksen maadoituksen toteutuksen selvitys ja vikavirtasuojaus sähköautojen latauspisteissä. Lisäksi tarkoituksena on luoda laskuri, millä voidaan laskea suunnittelukohteesta halutuista pisteistä (pääkeskus, latauskeskus ja epäedullisin piste) oikosulkuvirratt, ylivirtasuojauksen koko ja jännitehäviöt. Opinnäytetyössä perehdytään sähköauton lataustapoihin ja vertaillaan 2020-luvun sähköautojen sisäisten latureiden lataustehoja. Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on myös selvittää pelastusviranomaisten ohjeistusta sähköautojen latauspisteiden jännitteettömäksi tekemisestä. Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään kiinteistön sähköverkon teoriaa perehtymällä kiinteistön sähköverkon yleiseen rakenteeseen, kiinteistön huipputehon määrittämiseen, ylivirtasuojaukseen, syötön nopeaan poiskytkentään, johtojen valintaan ja niiden kuormitettavuuksiin ja jännitteen alenemaan.

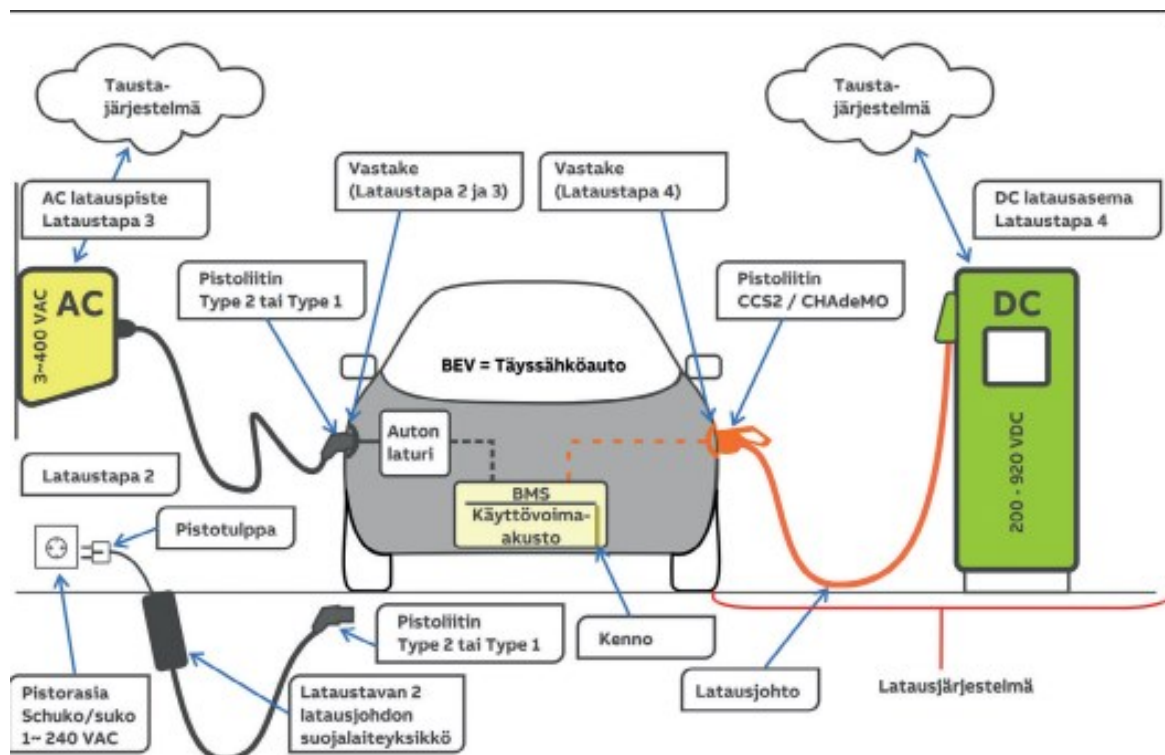
Valitsin aiheen, koska aihealue on ajankohtainen ja nopeasti kehittyvä. Sähköautoja hankitaan koko ajan enemmän ja lisää sähköautonlatauspisteitä ja siihen liittyvää infraa rakennetaan kovaa vauhtia. Vuoden 2023 lopussa sähköautoja oli liikenteessä 218 868 kpl (7,9 % koko henkilöautokannasta), joista vuoden 2023 aikana tuli lisää 71 110 kpl (Sähköinen liikenne ry 2024, 2).

Työn tilaajana on Elvera Oy. Elvera on yksi Suomen suurimmista verkosto- ja infrapalvelualan toimijoista. Elvera tarjoaa palveluita sähkö-, vesi-, lämpö-, energia ja tietoliikenne- ja ratkaisuihin.

## 2 SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄT

Sähköautojen lataukseen käytetyt lataustavat on määritelty standardissa SFS-EN IEC 61851-1. Suomessa suositellaan ensisijaisesti käytettäväksi lataustapoja peruslataus ja tehollataus. Lataustavat määräytyvät jännitteen, virran sekä käytetyn tekniikan mukaan. (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät, ST Käsikirja 41 2022, 46.)

Kuvassa 1 on esitettyä sähköajoneuvojen ja niiden latausjärjestelmien termit ja käsitteet kuvan muodossa. Seuraavissa luvuissa on selostukset erilaisista lataustavoista, sekä sähköautojen sisäisistä latuureista.



KUVA 1. Sähköajoneuvojen ja niiden latausjärjestelmien termit ja käsitteet. (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät, ST Käsikirja 41 2022, 11)

### 2.1 Lataustapa 1 – Keveyden sähköajoneuvojen lataus

Lataustapaa 1 käytetään kevyen ja pienitehoisen sähköajoneuvon, kuten sähköpolkupyörän ja sähköskootterin lataukseen. Lataus tapahtuu vaihtosähköllä, käyttäen syötön puolella mitoitusvirraltaan korkeintaan 16 A ja mitoitusjännitteeltään korkeintaan 250 V yksivaiheista pistorasiaa tai 480 V kolmivaiheista pistorasiasta, joka on suojattu kiinteällä 30 mA:n vikavirtasuojalla. Latauksessa voidaan käyttää standardin SFS-EN 60309-2 mukaista teollisuuspistorasiaa tai standardin SFS 5610 mukaista maadoitettua kotitalouspistorasiaa. Kotitalouspistorasiaa käytettäessä ajoneuvon ottama latausvirta tulee rajoittaa 8 A:iin, koska kyseisen standardin mukaiset pistorasiat eivät sovellu sähköajoneuvojen pitkäaikaiseen lataamiseen täydellä mitoitusvirralla. (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät, ST Käsikirja 41 2022, 48.) Kuvassa 1 esitetty lataustapa 2 eroaa lataustavasta 1 siten, että lataustavalla 1 ei latauskaapelissa ole suojalaiteyksikköä.

## 2.2 Lataustapa 2 – Hidaslataus

Lataustapaa 2 käytetään lähtökohtaisesti tilapäiseen käyttöön, jos esimerkiksi lataustavan 3 mu-  
kaista latausta ei ole käytettävissä. Lataus tapahtuu vaihtosähköllä käyttäen syötön puolella korkein-  
taan 32 A ja 250 V yksivaiheista pistorasiaa tai 480 V kolmivaiheista pistorasiaa. Latauksessa käyte-  
tään henkilösuojana vikavirtasuojaa, joka on sijoitettu pistotulpan ja sähköajoneuvon väliin tai liitän-  
täkaapelin osana olevaan suojalaiteyksikköön. Kuten lataustavalla 1, jos lataus tapahtuu maadoite-  
tusta kotitalouspistorasiasta, suositellaan enintään 8 A latausvirran käyttöä. (Sesko 2023;  
Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät, ST Käsikirja 41 2022, 48.)

## 2.3 Lataustapa 3 – Peruslataus

Lataustapa 3 on suositeltavin sähköajoneuvojen lataustapa. Lataus tapahtuu sähköauton lataukseen  
tarkoitettulla, standardin SFS-EN 62196-2 mukaisella kolmivaiheisella pistorasialla (kuva 2). Lataus-  
virta voi olla 6–63 A, millä voidaan saavuttaa latausteho väliltä 1,4–43 kW. Latausjärjestelmässä  
käytettävän tiedonsiirtoväylän avulla voidaan varmistaa oikea kytkeytyminen latauspisteeseen, sekä  
ohjata kuormitusta yhden ampeerin portaisissa. (Sesko 2023; Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät,  
ST Käsikirja 41 2022, 51.)



KUVA 2. Standardin SFS-EN 62196-2 mukainen tyypin 2 pistorasia. (Sesko 2023, 1)

## 2.4 Lataustapa 4 – Teholataus

Lataustapa 4 eli tunnetummin pikalataus. Latauksessa käytetään ajoneuvon ulkopuolista laturia,  
jossa laturi syöttää tasasähköä. Nykyisten teholatureiden autoon syöttämät tasavirrat ovat satoja  
ampeereita ja lataustehot tyypillisesti 50 kW:sta useisiin satoihin kilowatteihin. (Sesko 2023;  
Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät, ST Käsikirja 41 2022, 54.) Kuvassa 3 on standardin SFS-EN  
62196-3 mukaisen rakenteen ajoneuvopistoke.



KUVA 3. Standardin SFS-EN 62196-3 mukainen pistoke. (Sesko 2023, 2)

## 2.5 Sähköautojen omat laturit vuonna 2024

Sähköajoneuvon latausnopeuteen vaikuttaa lataustavan lisäksi myös auton sisälaturin teho, joka vaihtelee merkki- ja mallikohtaisesti. Sähköautoissa käytetään korkeajänniteakkua, jotka vastaanottavat ainoastaan tasavirtaa (DC). Kun sähköautoa ladataan vaihtovirralla (AC), auton sisäinen laturi muuntaa latausasemasta tulevan vaihtovirran tasavirraksi, joka varastoituu ajoneuvon akkuun. Lataustavalla 4 (teho-/pikalataus) ladattaessa lataus tapahtuu tasavirralla, jolloin sisälaturi ohitetaan ja akkuun syötetään tasavirtaa (NordicPlug 2022). Akun lämmitys saattaa myös aktivoitua tässä vaiheessa varmistukseksi optimaalisen suorituskyvyn kylmissä olosuhteissa. Kuvassa 1 on havainnollistettu AC/DC latauksen eroa.

Sähköautoihin integroidut laturit hyödyntävät vaihtelevasti yksi- tai monivaiheisia syöttöjä, sekä niiden sisäiset laturit voivat hyödyntää virtaa seuraavasti: 1 x 16 A (3,7 kW), 1 x 20 A (4,6 kW), 1 x 32 A (7,4 kW), 2 x 16 A (7,4 kW), 3 x 16 A (11 kW) tai 3 x 32 A (22 kW) virtaa. Näistä vaihtoehdoista 1 x 16 A, 1 x 32 A ja 3 x 16 A ovat yleisimpiä. (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät, ST Käsikirja 41 2022, 104.) Taulukossa 1 on vertailtu erilaisten 2020-luvun sähköautojen sisäisten laturien lataustehoja.

TAULUKKO 1. Erialaisten sähköautojen sisäisen laturin lataustehoja. (Salto julkaisu-aika tuntematon)

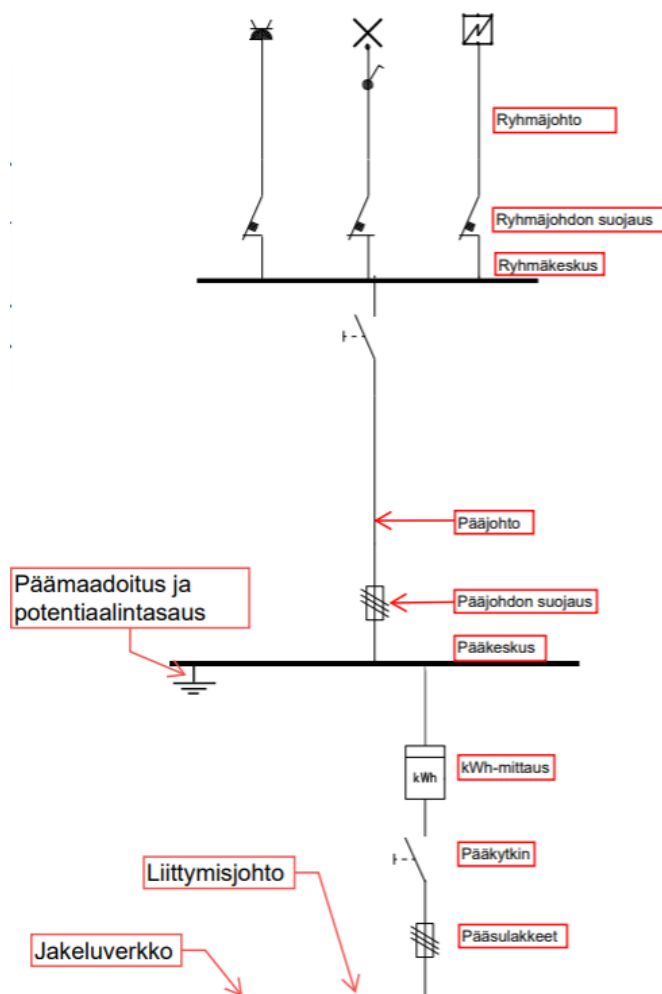
<b>Merkki / Malli</b>	<b>Sisäisen laturin teho (AC)</b>
Audi Q6 e-tron	7,4 kW/11 kW
Audi e-tron S Sportback	11 kW
BMW iX xDrive50	11 kW
BMW i3	7,4 kW/11 kW
Citroen e-C4	7,4 kW/11 kW
Citroen C5 Aircross PHEV	3,6 kW/7,2 kW
Fiat 500e	11 kW
Ford Mustang Mach-E	10,5 kW
Hyundai IONIQ 5	11 kW
Kia EV6	11 kW
Kia e-Soul	7,2 kW
Mazda CX-60 PHEV	7,2 kW
Mercedes-Benz EQE	11 kW
Mercedes -Benz EQA 350 4MATIC	11 kW
Mitsubishi Eclipse PHEV	3,7 kW
Nissan Ariya	22 kW
Opel Mokka-e	11 kW
Polestar 3	11 kW
Polestar 4	11 kW
SKODA ENYAQ iV 50	11 kW
SKODA SUPERB iV	3,6 kW
Tesla Model X	11 kW/16,5 kW
Tesla Model 3	11 kW/16,5 kW
Tesla Model Y	11 kW/16,5 kW
Volvo EX90	11 kW
Toyota bZ4X	7 kW/11 kW
Volkswagen ID.4	11 kW
Volkswagen ID.Buzz	7,4 kW/11 kW

### 3 KIINTEISTÖN SÄHKÖVERKON MITOITUKSEN TEORIAA

Tässä osiossa tutustutaan kiinteistön sähköverkon mitoituksen teoriaan, jonka pohjalta selvitetään sähköautojen latauspisteiden suunnitteluun liittyviä asioita kappaleessa 4 ja laskentatyökalun luomiseen liittyviä asioita kappaleessa 5. Teoriaosuudessa käsitellään kiinteistön sähköverkon yleistä rakennetta, kiinteistön huipputehon määrittämistä, ylivirtasuojausta, johtojen valintaa ja niiden kuormitettavuuksia ja jännitteen alenemaa, kuitenkin painottaen teoriaa enemmän sähköautojen latauspisteiden suunnittelussa hyödyksi olevaan materiaaliin.

#### 3.1 Kiinteistön sähköverkon yleinen rakenne

Kuva 4 havainnollistaa kiinteistön sähköverkon yleistä rakennetta. Kiinteistöön tuodaan sähkö jakeluverkosta pääsulakkeiden, pääkytkimen ja kWh- eli energiankulutusmittarin kautta pääkeskukseen. kWh-mittaus voi olla myös ennen pääkytkintä, jolloin energiankulutusmittari pysyy sähkössä, vaikka kiinteistön pääkytkin on avattu. Pääkeskuksessa sijaitsee päämaadoituskisko, joka toimii maadoitusten ja potentiaalintasausten koontipisteinä. Pääkeskuksesta sähköä jaetaan pääjohdolla nousukeskukselle tai ryhmäkeskukselle. Pääjohdon suojalaitteet sijoitetaan johdon alkupäähän. Jokaisella keskuksella on oma pääkytkin. Ryhmäjohdolla viedään sähkö kulutuspaikoihin, kuten pistorasioihin ja valaisimiin, ja ryhmäjohdon suojalaitteet sijoitetaan myös johdon alkupäähän.



KUVA 4. Kiinteistön sähköverkon yleinen rakenne. (Muokattu lähteestä: Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus 2020, 163)

### 3.2 Kiinteistön huipputehon määrittäminen

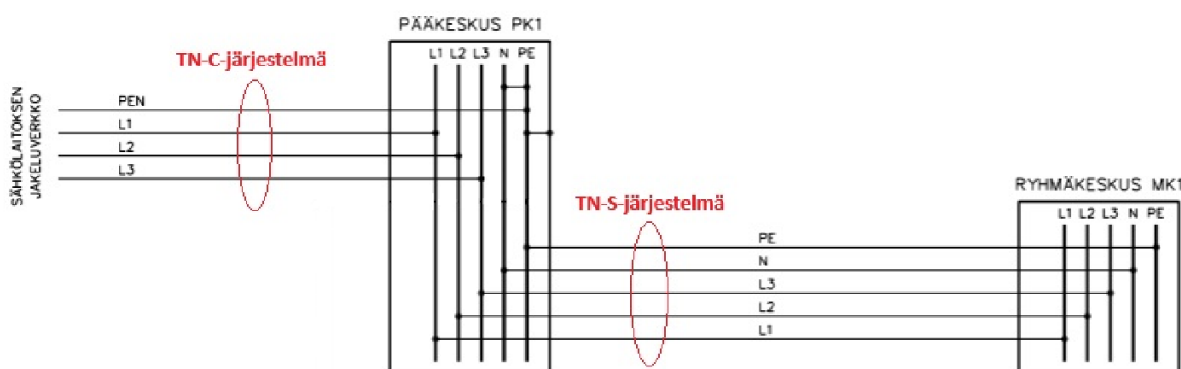
Huipputehon eli mitoittavan tehon määrittäminen on olennainen osa suunnittelua. Alimitoitettu huipputeho ja siten liittymän koko voi rajoittaa rakennuksen käyttöä ja ylimitoitettu huipputeho aiheuttaa ylimääräisiä kuluja niin rakennusvaiheessa kuin myöhemmin käyttökuluina. Rakennuksen sähköverkko ja liittymän koko tulisi suunnitteluvaiheessa mitoittaa siten, että ne vastaavat riittävästi tulevaisuuden tarpeita, mutta eivät ole kuitenkaan ylimitoitettuja. (ST 13.31 2021, 1.)

Liittymän mitoittamisessa oleellista on selvittää kiinteistön teoreettinen huipputeho laskemalla. Huipputeholla tarkoitetaan suurinta hetkellistä tehoa, joka kiinteistössä esiintyy, ja se voidaan selvittää todellisen tai oletetun tehotarpeen mukaan. Todellinen tehotarve voidaan laskea kiinteistön osatehoista, mihin kuuluu mm. valaisimet, LVI- ja jäähdytyslaitteet sekä rakennuksen varustetaso. Oletettu tehotarve voidaan määrittää kokemuseräisten kaavojen avulla, joiden ylitystodennäköisyys on noin prosentin luokkaa. (ST 13.31 2021, 4.)

Kiinteistön huipputehon määrittelyyn löytyy työkaluja ST-kortista 13.31 (ST 13.31 2021). Tässä opinäytetyössä keskitytään kiinteistön huipputehon määrittämisen sijaan enemmän kiinteistön vapaan tehokapasiteetin määrittelyyn (kappale 4.1).

### 3.3 Jakelujärjestelmä

Suomessa yleisessä sähkönjakelussa käytettävä jakelujärjestelmä on TN-järjestelmä. TN-järjestelmät jaotellaan suojajohtimien käytön perusteella. (Orrberg & Tiainen 2022, 35.) Kiinteistön pääkeskukseksi tulevassa liittymisjohdossa on yleensä käytössä TN-C-järjestelmä, eli liittymisjohdossa on neljä johdinta. TN-C-järjestelmässä nolla- ja suojamaadoitusjohdin on yhdistetty yhdeksi johtimeksi, PEN-johtimeksi. Pääkeskuksesta eteenpäin käytetään TN-S järjestelmää, eli kiinteistön pääkeskuksesta eteenpäin nolla- ja suojamaadoitusjohdin ovat erillään. Kuvassa 5 on havainnollistettu liittymisjohdon tuloa pääkeskukseksi TN-C-järjestelmällä, ja pääkeskuksesta ryhmäkeskukseen lähtöä TN-S-järjestelmällä.



KUVA 5. TN-C- ja TN-S-järjestelmät yksinkertaistetusti. (Muokattu lähteestä: CADMATIC EAC 18)

### 3.4 Liittymisjohto

Liittymisjohdolla tarkoitetaan johtoa, millä kiinteistö liitetään jakeluverkkoon. Liittymisjohtona käytetään nykyään enimmäkseen maakaapelia, mutta myös ilmajohto voi toimia liittymisjohtona.

Liittymisjohdon suojaamiseen annetaan standardissa SFS 6000-8-801 kolme eri menetelmää. Näistä menetelmistä lähtökohtaisesti käytetään menetelmää 1.

Liittymisjohdon suojauksessa voidaan käyttää seuraavia vaihtoehtoja (SFS 6000-8-801 2022, 10.):

1. Kun liittymisjohto on varustettu johdon syötön puoleiseen päähän sijoitetulla ylivirtasuojalla siten, että oikosulku kytketään pois alle 5 sekunnissa, noudatetaan normaaleja standardin SFS 6000-4-43 mukaisia vaatimuksia.
2. Kun liittymisjohdon alkupäässä ei ole ylivirtasuojaa, jolla oikosulku kytketään pois alle 5 sekunnissa, liittymisjohto asennetaan koko matkaltaan palokestävästi, esim. maahan asennettuna kaapelina, kivirakenteen sisään tai palamattomalle alustalle asennettuun SFS-EN 61386 mukaiseen lujuusluokan 4 putkeen tai vahvaan metalliputkeen. Kaapelin lähellä ei saa olla muita kaapeleita tai mitään palavaa materiaalia. Liittymiskaapeli ylikuormitussuojataan loppupäästään ja vikasuojaus toteutetaan taulukon 801.1 [Taulukko 2] ja oikosulkusuojaus taulukon 801.2 [Taulukko 3] neljännen sarakkeen mukaisesti.
3. Mikäli ei voida noudattaa kohdan 1 tai 2 vaatimuksia, on liittymisjohdon asennuksessa ja suojauksessa noudatettava seuraavia kokemusperäisiä vaatimuksia:
  - a) Liittymiskaapelin poikkipinta on vähintään 10 mm<sup>2</sup> kuparia tai 16 mm<sup>2</sup> alumiinia ja johdon loppupäässä on liittymisjohtoa ylikuormitukselta suojaavat suojalaitteet, esim. pääsulakkeet.
  - b) Liittymiskaapelin pituus rakennuksen sisäpuolella ja ulkoseinällä rajoitetaan mahdollisimman lyhyeksi.
  - c) Liittymisjohdon läpivienti rakennukseen tehdään vähintään SFS-EN 61386 mukaisella lujuusluokan 4 asennusputkella tai vahvalla metalliputkella, ellei seinän tai perusmuurin rakenne sinänsä täytä paloturvallisuudelle ja mekaaniselle lujuudelle asetettuja vaatimuksia (esim. tiili tai betoni). Liittymiskaapelin läpivienti sijoitetaan siten, että se on tarkastettavissa kiinteitä rakenteita purkamatta. Läpiviennin saa seinäpinnalla kuitenkin peittää jakokeskuksella. Liittymiskaapeli suojataan mekaaniselta rasitukselta esim. suojaamalla se vähintään lujuusluokan 4 putkella, vahvalla metalliputkella tai vastaavalla tavalla tai sijoittamalla kaapeli lukittavaan jakokeskushuoneeseen tai -komeroon.
  - d) Liittymiskaapelin asennus rakennuksessa tehdään siten, ettei siitä aiheudu palovaaraa tai oikosulkuvaaraa. a) asennustapa on asennus betoniin tai vastaavan kivirakenteen sisään tai asentaminen vastaavan palamattoman materiaalin pinnalle siten, että lähellä ei ole muita kaapeleita tai muuta palavaa ainetta. Liittymiskaapeli asennetaan siten, ettei se missään kohdassa kosketa muita kaapeleita. Jos asennuspinta ei ole palamaton, kaapelin asennusalusta on suojattava palamattomalla materiaalilla, kuten mineraalilevyllä.

e) Suunnittelijan ja rakentajan harkinnan mukaan voidaan Taulukon 801.1 [Taulukko 2] mukaan määräytyneenä liittymisjohdon suurimpana mahdollisena oikosulkusuojasulakkeena käyttää johdon alkupäässä olevaa Taulukossa 801.2 [Taulukko 3] sarakkeessa 3 määriteltyä sulaketta.

Mikäli tavoilla 2 tai 3 suojatussa liittymisjohdossa tapahtuu oikosulku, on liittymisjohto tarkastettava sähköalan ammattilaisen toimesta silmämääräisesti sekä siitä on mitattava eristysresistanssi ennen uudelleen käyttöönottoa. Jos liittymisjohdossa huomataan vaurioita, on se vaihdettava. (SFS 6000-8-801 2022, 10.)

Taulukon 2 mukaisesti voidaan mitoittaa automaattiseen poiskytkentään käytettävän sulakkeen pienin oikosulkuvirta. Mikäli gG-tyyppin sulakkeen nimellisvirta on enintään 63 A, voi pienin oikosulkuvirta olla 2,5 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Kun taas nimellisvirralta yli 63 A olevan gG-tyyppin sulakkeen pienimmän oikosulkuvirran kertoimena on 3,0.

TAULUKKO 2. Pienin oikosulkuvirta, jonka mukaan jakeluverkon vikasuojaukseen käytetty ylivirtasuojaja voidaan mitoittaa. (Taulukko 801.1. SFS 6000-8-801 2022, 7)

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

Taulukon 3 sarakkeessa 3 on liittymisjohdon oikosulkusuojana toimivan, standardin SFS-EN 60269 mukaisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta ampeereina niille jakeluverkon osille, joissa suojaava sulake on määritelty taulukon 2 mukaan. Sarakkeessa 4 suojaava sulake on määritelty standardissa SFS 6000-4-43 esitetyn 5 s suojalaitteen toiminta-ajan mukaan.

TAULUKKO 3. Liittymisjohdon oikosulkusuojana toimiva sulake. (SFS 6000-8-801 2022, 11.)

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		
1	2	3	4
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

Ylivirtasuojajasta käsitellään enemmän kappaleessa 3.7, 3.8 ja 3.9 ja kaapelin mitoitusta ja kuormitettavuutta käsitellään kappaleessa 3.12.

### 3.5 Sähkökeskukset

Sähkökeskus on yhdistelmä yhdestä tai useammasta pienjännitekytkinlaitteesta sekä niihin liittyvistä ohjaus-, mittaus-, merkinanto- ja säätölaitteista. Sähkökeskukseen kuuluu myös suojalaitteet, kuten sulakkeet ja johdonsuojakatkaisijat. Lisäksi sähkökeskuksiin kuuluvat kaikki sisäiset sähköiset ja mekaaniset kytkennät ja rakenneosat, jotka alkuperäinen valmistaja on määritellyt ja jotka voidaan asentaa alkuperäisen valmistajan ohjeiden mukaisesti. (SFS 61439-1 2022, 11.)

Kiinteistöissä on aina vähintään pääkeskus, joka toimii sähköverkon jakopisteenä. Liittymisjohto kytetään pääkeskuksen pääsulakkeisiin. Pääkeskukseen on sijoitettuna yleensä vähintään pääsulakkeet, pääkytkin, kiinteistön pääenergian mittausta ja tarvittavia suojalaitteita, kuten sulakkeita ja johdonsuojakatkaisijoita. Isommissa kiinteistöissä voi olla ryhmäkeskuksia, nousukeskuksia, jakokeskuksia ja mittauskeskuksia.

### 3.6 Kiinteistön maadoitukset

Sähkölaitteiston tärkeät osat ovat maadoitukset ja potentiaalintasaukset. Maadoitusten ensisijainen tarkoitus sähköturvallisuuden näkökulmasta on rajoittaa kosketusjännitteitä ja askeljännitteitä vika tapauksissa. Lisäksi ne estävät vaarallisten jännitteiden siirtymisen järjestelmästä toiseen, ehkäisevät haitallisia vuotovirtoja, kipinöiden ja valokaarien syntyä sekä mahdollistavat maasulku- ja vikasuojauksen toiminnan. Varsinaisen maadoituselektrodin ohella maadoitukseen liittyy myös potentiaalintasausjärjestelmä, mihin maadoitukset liitetään. Potentiaalintasauksessa luodaan sähköinen yhteys jännitteelle alltiiden osien välille liittämällä yhteen jännitteelle alltiiden osien suojajohtimet ja muut johtavat osat. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 281.)

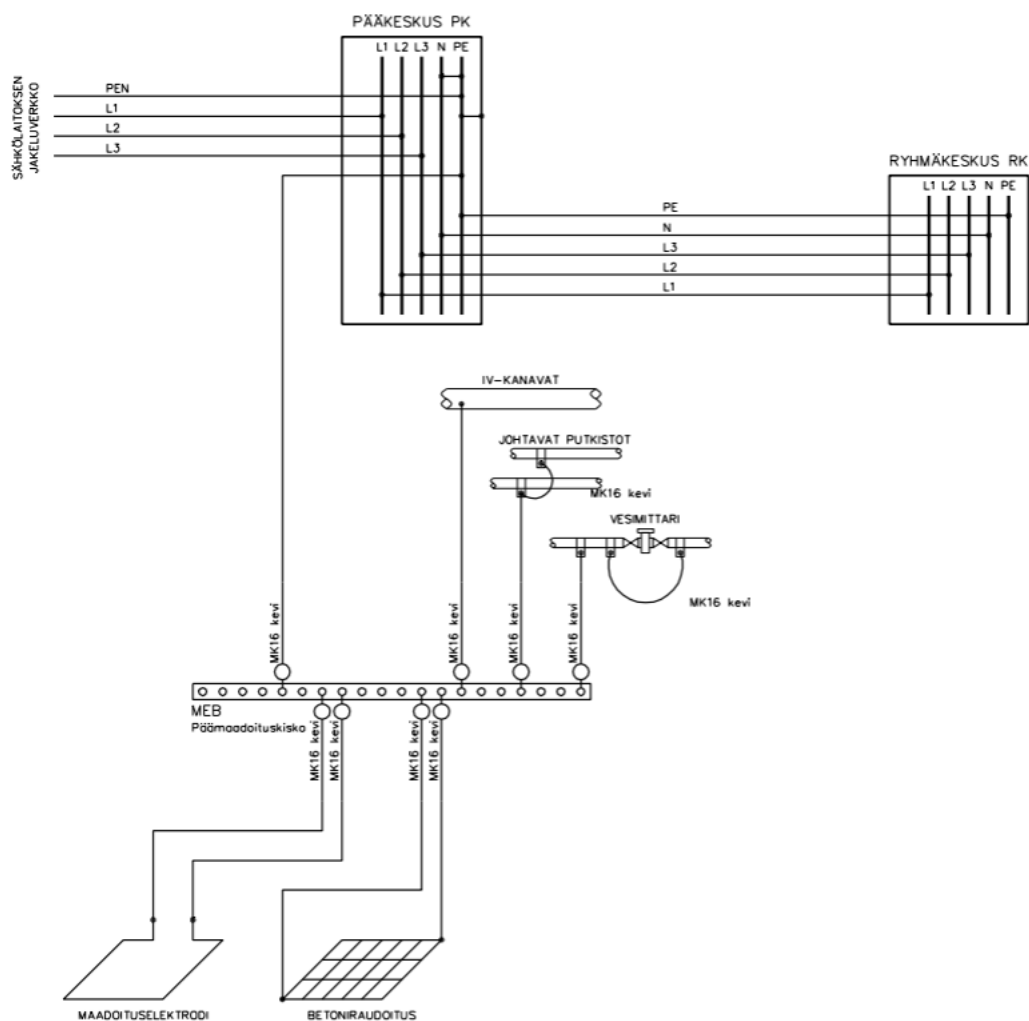
Kuvassa 6 on esimerkki tyypillisestä pienjänniteliittymän maadoituksesta. Liittymisjohto tulee nelijohdotuksena, minkä PEN-johdin liitetään keskuksen PE-liitimeen ja siitä edelleen yhdistetään nolapiiriin. Suojajohtimen ja N-johdotuksen yhdistys on tehtävä niin, että se voidaan avata eristysresistanssin mittauksen ja suojajohtimen jatkuvuuden mittauksen suorittamiseksi. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 310.)

Kuvan 6 alareunassa on maadoituselektrodi (perustusmaadoituselektrodi), joka on sähköisessä yhteydessä maahan suoraan tai johtavan väliaineen kuten betonin kautta. Maadoituselektrodin laajuus ja muoto vaikuttavat sen maadoitusresistanssiin ja potentiaalintasausvaikutukseen. Maadoituselektrodin vieressä olevan betoniraudoituksen maadoitus voi myös toimia perustusmaadoituselektrodina, jos pystytään varmistamaan, että johtavien rakenteiden väliset yhdistykset ovat luotettavia, ja että saavutetaan riittävän pieni maadoitusresistanssi ja hyvä potentiaalintasausvaikutus. Perustusmaadoituselektrodilla tarkoitetaan rengasmaista elektrodia. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 286.)

Kuvassa 6 on havainnollistettu, miten sähköasennukseen kuulumattomia osia, joissa voi olla tietty potentiaali (esim. maan potentiaali), on maadoitettu. Jos muuta johtavaa osaa ei yhdistetä potentiaalintasaukseen, sen ja jännitteelle alltiin osan välille voi esiintyä vian aikana kosketusjännitettä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 287.)

Kuvassa 6 näkyvät maadoitukset on liitetty päämaadoituskiskoon (MEB) joka toimii maadoitusten ja potentiaalintasauksien koontipisteenä. Maadoitukset on yhdistettävä kiskoon siten, että jokainen johdotin voidaan irrottaa yksitellen. Päämaadoituskisko sijoitetaan yleensä pääkeskuksen/rakennuksen suurimman keskuksen läheisyyteen. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 285.)

Edellä mainittujen maadoitusten lisäksi tulisi maadoittaa myös antennijärjestelmä, puhelinjärjestelmä ja muut telelaitteet.



KUVA 6. Esimerkki pienjänniteliittymän maadoituskaaviosta. (CADMATIC EAC 18)

### 3.7 Ylivirtasuojaus

Standardissa SFS 6000-4-43 yleisvaatimuksena on, että suojalaitteet poiskytkävät piirin johtimissa esiintyvän ylivirran ennen kuin sen aiheuttavat termiset tai mekaaniset vaikutukset voivat vahingoittaa eristystä, jatkoksia, liittimiä tai muita johtimia ympäröiviä materiaaleja. (SFS 6000-4-43 2022, 6.)

Standardi SFS-6000-4-43 (SFS 6000-4-43 2022, 6) määrittelee johtimien suojaamisen seuraavasti:

#### 431 Piirien rakenteesta johtuvat vaatimukset

##### 431.1 Äärijohtimien suojaaminen

431.1.1 Kaikki äärijohtimet on varustettava ylivirtasuojalla lukuun ottamatta kohdan 431.1.2 mukaisia tapauksia. Ylivirtasuojan on katkaistava ylivirta, joka esiintyy kyseisessä äärijohtimessa, mutta sen ei tarvitse katkaista virtaa muista jännitteisistä johtimista. Jos yksittäisen vaiheen poiskytkettyminen voi aiheuttaa vaaraa, kuten kolmi-vaihemoottoreissa, on ryhdyttävä sopiviin varotoimenpiteisiin.

431.1.2 TT- tai TN-järjestelmissä kahden äärijohtimen välillä syötetyn virtapiirin toisessa äärijohtimessa ei tarvitse olla ylivirtasuojaa, jos ei käytetä nollajohdinta ja seuraavat ehdot täyttyvät samanaikaisesti:

a) samassa piirissä tai sen syöttöpuolella on suojalaite, joka valvoo epätasapainossa olevia kuormituksia ja kytkee pois kaikkien äärijohtimien syötöt

b) nollajohdinta ei syötetä keinotekoisesta tähtipisteestä sellaisesta kohdasta virtapiiriä, joka sijaitsee kohdassa a) mainitun suojalaitteen kuormituspuolella.

#### 431.2 Nollajohtimen suojaaminen

##### 431.2.1 TT- tai TN-järjestelmät

Kun nollajohtimen poikkipinta on vähintään yhtä suuri kuin äärijohtimien, eikä sen virran odoteta ylittävän äärijohtimen virtaa, nollajohtimen virtaa ei tarvitse ilmaista eikä siinä tarvitse olla poiskytkentälaitetta. Kun nollajohtimen poikkipinta on pienempi kuin äärijohtimien, on tarpeen ilmaista nollajohtimen virtaa sen poikkipinnan mukaisesti. Tämän ilmaisun on kytkettävä pois äärijohtimet, mutta sen ei tarvitse kytkeä pois nollajohdinta. Kummassakin tapauksessa nollajohdin on suojattava oikosulkuvirralla. HUOM. Suojaus voidaan toteuttaa käyttämällä äärijohtimissa ylivirtasuojia. Siinä tapauksessa ei ole tarpeen toteuttaa nollajohtimen ylivirtasuojasta tai sijoittaa kyseiseen johtimeen poiskytkentälaitetta. Jos nollajohtimen virran odotetaan ylittävän äärijohtimen virran, viitataan kohtaan 431.2.3. PEN-johdinta koskevat samat vaatimukset kuin nollajohdinta poiskytkentävaatimusta lukuun ottamatta.

(--)

##### 431.2.3 Harmoniset virrat

Jos monivaiheisissa piireissä harmonisten virtojen osuus on niin suuri, että nollajohtimen virran oletetaan ylittävän johtimen kuormitettavuuden, nollajohtimessa on oltava ylikuormituksen ilmaisu. Ylikuormituksen ilmaisulaitteen on sovittava nollajohtimen kautta kulkeviin virtoihin ja sen on saatava aikaan kaikkien äärijohtimien, mutta ei välttämättä nollajohtimen poiskytkentä. Jos nollajohdin kytketään, kohdan 431.3 vaatimukset ovat voimassa.

HUOM. Lisätietoja nollajohtimen suojaamisesta on annettu standardissa SFS 6000-5-52.

##### 431.3 Nollajohtimen poiskytkentä ja sen kytkeminen takaisin

Kun vaaditaan nollajohtimen poiskytkentää, se ei saa kytkeytyä pois ennen äärijohtimia ja sen on kytkeydyttävä takaisin samanaikaisesti tai aikaisemmin kuin äärijohtimet.

Ylivirtasuojaus käsittää ylikuormitussuojauksen sekä oikosulkusuojauksen. Yleensä sama suojalaite toimii sekä ylikuormitussuojana että oikosulkusuojana. Kiinteän asennuksen ylikuormitussuojana olevaa suojalaitetta ei ole tarkoitettu suojaamaan asennukseen liitettäviä kulutuskojeita. (D1-2022 Käsi- kirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 132.)

### 3.8 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojaus on tarkoitettu suojaamaan virtapiiriä ylivirralla, joka on suurempi kuin johtimien suurin sallittu kuormitettavuus ja esiintyy virtapiirissä sen ollessa ylikuormitettuna. Ylikuormitussuojaus toteutetaan usein sulakkeiden, johdonsuojakatkaisijoiden tai muiden katkaisijoiden avulla, jotka kykenevät reagoimaan ylikuormitustilanteisiin. (Heikkinen 2018, 15–16.)

Standardin SFS 6000-4-43:2022 (SFS 6000-4-43 2022, 8–9) mukaan ylikuormitussuojat sijoitetaan kohtaan, missä muutos johtimessa tai muussa rakenteessa pienentää johtimen kuormitettavuutta. Poikkeuksia tähän sääntöön ovat:

433.2.2 Johdon ylikuormitussuojan saa sijoittaa mihin tahansa kohtaan johtoa, ellei (johtimen poikkipinnan, johdinlajin, asennustavan tai muun rakenteen) muutoskohdan ja ylikuormitussuojan sijoituspaikan välillä johtoa haaroiteta eikä välillä ole pistorasioita. Lisäksi vähintään toisen seuraavista ehdoista on täyttyvä:

a) johto on oikosulkusuojattu luvun 434 [Kappale 3.9] vaatimusten mukaisesti

b) johto on enintään 3 m pitkä ja se on tehty siten, että oikosulun vaara on mahdollisimman pieni, eikä johtoa ole sijoitettu lähelle palavaa ainetta (katso 434.2.1) [Kappale 3.9].

Ylikuormitussuojauksen mitoittamiseen vaikuttaa virtapiirin mitoitusvirta  $I_b$  ja johtimen jatkuva kuormitettavuus  $I_z$ . Ylikuormitussuojan nimellisvirran tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin virtapiirin mitoitusvirta, mutta pienempi tai yhtä suuri kuin johtimen jatkuva kuormitettavuus.

Kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen on täytettävä seuraavat kaksi vaatimusta (SFS 6000-4-43 2022, 8.)

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

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

Missä

$I_b$  on piirin mitoitusvirta

$I_z$  on johtimen jatkuva kuormitettavuus

$I_n$  on suojalaitteen nimellisvirta

$I_2$  on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen sille määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa

Jos piirin mitoitusvirtaa ei tiedetä, se voidaan laskea kaavalla 3, kun tiedetään piirin huipputeho.

$$I_b = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad (3)$$

Missä

$P_{max}$  = piirin huipputeho

$U$  = pääjännite (400 V)

$I_b$  = piirin mitoitusvirta (A)

$\cos\varphi$  = kolmivaihejärjestelmän tehokerroin (asuinkiinteistöissä  $\cos\varphi = 0,96$ )

Johdonsuojakatkaisijat, joiden terminen toimintarajavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta (ehto 2 täyttyy), on yksinkertaista mitoittaa ylikuormitussuojaksi. Ylikuormitussuoja mitoitetaan tällöin suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella. Esimerkiksi, jos johtimen kuormitettavuus on 16

A, voidaan ylikuormitussuojaksi valita 16 A johdonsuojakatkaisija. Tällaisia johdonsuojakatkaisijoita ovat standardin SFS-EN 60 898 mukaiset B-, C- ja D-tyyppiset johdonsuojakatkaisijat. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 133.)

Sulakkeilla on korkeampi sulamisrajavirta, mikä tarkoittaa virtaa, jolla sulake toimii varmasti yleensä tunnissa. Sulakkeen sulamisrajavirta on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Tällöin ylikuormitussuojaa ei voi mitoittaa suoraan johtimen kuormitettavuuden perusteella, vaan mitoituksessa on käytettävä kaavaa 4. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 134.)

$$k \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z \quad (4)$$

Missä

$I_n$  on suojalaitteen nimellisvirta

$I_z$  on johtimen jatkuva kuormitettavuus

$k$  on sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja nimellisvirran suhde

D1-2022 käsikirjassa (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 134.) on esitettyä D-tyypin tulppasulakkeiden  $k$ -arvot:

$$k = 2,1, \text{ kun } I_n \leq 4 \text{ A} \rightarrow I_n \leq 0,69 \cdot I_z$$

$$k = 1,9, \text{ kun } 4 \text{ A} < I_n \leq 10 \text{ A} \rightarrow I_n \leq 0,76 \cdot I_z$$

$$k = 1,75, \text{ kun } 10 \text{ A} < I_n \leq 25 \text{ A} \rightarrow I_n \leq 0,82 \cdot I_z$$

$$k = 1,6, \text{ kun } I_n > 25 \text{ A} \rightarrow I_n \leq 0,90 \cdot I_z$$

Ja gG-tyypin tulppasulakkeiden  $k$ -arvot:

$$k = 2,1, \text{ kun } I_n \leq 4 \text{ A} \rightarrow I_n \leq 0,69 \cdot I_z$$

$$k = 1,9, \text{ kun } 4 \text{ A} < I_n \leq 16 \text{ A} \rightarrow I_n \leq 0,76 \cdot I_z$$

$$k = 1,6, \text{ kun } I_n \geq 16 \text{ A} \rightarrow I_n \leq 0,90 \cdot I_z$$

Useimmiten gG-sulakkeen suurinta sallittua nimellisvirtaa ei tarvitse laskea kaavan 4 avulla, vaan voidaan käyttää apuna taulukkoa 4, johon on laskettu valmiiksi johtojen pienimmät sallitut kuormitettavuudet käytettäessä standardikokoista gG-sulaketta ylikuormitussuojana.

TAULUKKO 4. Johtojen sallitut kuormitettavuudet käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 135.)

gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	Johdon sallittu kuormitus vähintään A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883
1000	1103
1250	1379

### 3.8.1 Rinnankytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaus

Rinnankytkettyjä johtimia voi suojata yksittäisellä suojalaitteella, mutta tällöin johtimia ei saa haaroittaa, eikä niissä saa olla erotus- tai kytkinlaitteita (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 136).

Ylikuormitussuojalaitteen mitoituksessa rinnankytkettyjen johtimien kuormitettavuudet summataan yhteen, mikäli käytetään yhtä ylikuormitussuojaa suojaamaan useita johtimia, joissa virta jakautuu tasaisesti johtimien kesken (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 136).

Jos virta jakautuu epätasaisesti (yli 10 %) eri johtimien välillä, on kunkin johtimen kuormitettavuus ja ylikuormitussuojaus käsiteltävä erikseen. Virranjako johtimien välillä määräytyy johtimien impedanssien perusteella. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 136.)

Suurilla johdinpoikkipinnoilla reaktiivisen komponentin osuus kokonaisimpedanssista kasvaa, joka johtaa siihen, että impedanssiin vaikuttaa muun muassa kaapelin fyysinen sijainti. Esimerkiksi, jos samanpituiset ja paksuiset kaapelit sijaitsevat epäedullisesti toisiinsa nähden, voi virranjako näiden välillä olla hyvinkin 70/30 %. Virranjakoa voi selvittää laskemalla, mutta se suositellaan varmistettavaksi myös mittaamalla. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 136–137.)

Esimerkkinä kahden rinnankytketyn johtimen mitoitusvirran laskukaava:

$$I_{a1} = \frac{I_a}{\left(\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_2}\right)} \quad (5)$$

Missä

$I_a$  = virtapiirin mitoitusvirta

$I_{a1}$  = johtimen 1 mitoitusvirta

$Z_1, Z_2$  = johtimen 1 ja 2 impedanssit

### 3.8.2 Ylikuormitussuojan pois jättäminen

Aina ei kuitenkaan ylikuormitussuojaa vaadita. Standardin SFS 6000-4-43:2022 (SFS 6000-4-43 2022, 9) mukaan ylikuormitussuojaa ei vaadita seuraavissa tapauksissa:

- a) Johdossa, joka sijaitsee johtimen poikkipinnan, johdinlajin, asennustavan tai muun rakenteen muutoskohdan kuormituspuolella, jos syöttöpuolen suojalaite suojaa johdon tehokkaasti ylikuormitukselta.
- b) Johdossa, joka ei todennäköisesti ylikuormitu, on oikosulkusuojattu luvun 434 [Kappale 3.9] vaatimusten mukaisesti, eikä sitä ole haaroitettu eikä siinä ole pistorasioita.
- c) Tietoliikenteeseen, ohjaukseen, merkinantoon ja vastaaviin liittyvissä asennuksissa.
- d) Jakeluverkoissa, jotka koostuvat maahan asennetuista kaapeleista tai ilmajohtoista, joiden ylikuormitus ei aiheuta vaaraa katso standardi SFS 6000-8-801.

Tarkennus kohtaan d standardista SFS 6000-8-801 (SFS 6000-8-801 2022, 9):

#### 801.433 Ylikuormitussuojaus

Maakaapeleilla ja paljailla tai itsestään sammuvalla johdineristeellä varustetuilla avojohdoilla asennetuista jakeluverkon johdoista voidaan ylikuormitussuojaus jättää pois. Johtojen osat, jotka eivät ole asennettu palonkestävästi on asennettava siten, etteivät ne ole lähellä palavaa ainetta. Ilmajohtojen sijainnin on täytettävä ilmajohtoja koskevien standardien etäisyyksiä ja korkeuksia koskevat vaatimukset.

Riippukierrekaapeli (AMKA) on varustettava ylikuormitussuojalla.

Ylikuormitussuoja voi sijaita myös johdon loppupäässä. Ylikuormitussuojana voivat toimia yhden tai useamman liittymän pääsulakkeet, joiden mitoitusvirtojen summa on pienempi tai yhtä suuri kuin johdon kuormitettavuuden mukaisen suurimman sulakkeen mitoitusvirta.

### 3.9 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen keskeisinä vaatimuksina on pystyä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta, ja poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat. Prospektiivinen oikosulkuvirta kuvaa virran tehollisarvoa, joka kulkee piirin oikosuljetuissa syöttöjohtimissa, jotka on oikosuljettu niin läheltä keskuksen syöttöliittimiä kuin mahdollista. Prospektiivista oikosulkuvirtaa käytetään määriteltäessä suojalaitteen katkaisukykyä. Suojalaitteen

oikosulkuvirtaa rajoittavaa vaikutusta ei oteta huomioon määrittelyssä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 139.) Sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden ominaisuuksia oikosulkusuojauna käsitellään kappaleissa 3.9.1 ja 3.9.2.

Oikosulkusuojausten sijoittelusta säädetään standardissa SFS 6000-4-43:2022 (SFS 6000-4-43 2022, 10–11). Oikosulkusuojaus tulisi sijoittaa yleensä sellaiseen kohtaan, jossa johtimen poikkipinta-ala pienenee, tai ominaisuudet muutoin muuttuvat. Poikkeuksia sijoitteluun on esitetty standardin SFS 6000-4-43:2022 kohdissa 434.2.1, 434.2.2 ja 434.3.

Standardin SFS 6000 kohdassa 434.5.2 on esitetty mitoituskaava (kaava 6), jolla voidaan laskea enintään 5 sekuntia kestävässä oikosuluissa aika  $t$ , jonka kuluessa johtimen lämpötila saavuttaa suurimman sallitun rajalämpötilan. Johtimen terminen rasitus ei saa oikosulun aikana ylittää suojalaitteen lämpöpäästämää energiaa. Liitteessä 1 on esitetty sulakkeiden suurimpia sallittuja nimellisvirtoja, jotka soveltuvat yleisiin sovelluksiin. (SFS 6000-4-43 2022, 12; D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 139.)

$$t = \left(k \cdot \frac{S}{I}\right)^2 \quad (6)$$

Missä

$t$  = oikosulun sallittu kesto-aika sekunteina

$k$  = johdinvakio (taulukosta 5)

$I$  = oikosulkuvirran suuruus tehollisarvona (A)

$S$  = johtimen poikkipinta ( $\text{mm}^2$ )

TAULUKKO 5. Johdinvakion  $k$  arvot vaihejohtimille. (SFS 6000-4-43 2022, 13)

Ominaisuus/ olosuhde	Johtimen eristys							
	PVC		PVC 90°C		EPR PEX	Kumi 60°C	Mineraali	
	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300			PVC päällystetty	Paljas päällystämätön
Johtimen poikki-pinta-ala $\text{mm}^2$	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300				
Alkulämpötila °C	70		90		90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	160	140	250	200	160	250
<b>Johtimen materiaali:</b>								
<b>Kupari</b>	115	103	100	86	143	141	115	135 - 115 <sup>a</sup>
<b>Alumiini</b>	76	68	66	57	94	93	-	-
<b>Kuparijohtimien tinajuotetut liitokset</b>	115	-	-	-	-	-	-	-

Oikosulun kestäessä kauemmin, kuin 5 sekuntia, on oikosulkusuojausten toimivuus tarkistettava suojalaitteen toimintakäyrää ja johtimen lämpenemiskäyrää vertailemalla. Kaavaa 6 ei yleensä tarvitse käyttää, jos käytetään yhteistä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa. Näissä tapauksissa riittää, että varmistetaan, että suojalaitteen katkaisukyky on riittävä ja ylikuormitussuojaus toteutuu. (ST 53.24 2017, 2; D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 140.)

Oikosulkusuojaus asianmukaisen toiminnan varmistamiseksi on selvitettävä suurimmat ja pienimmät oikosulkuvirrat sähkökeskuksissa ja tarpeen vaatiessa myös ryhmäjohtoon päässä esiintyvä pienin oikosulkuvirta. (ST 53.24 2017, 2.)

### 3.9.1 Rinnankytkettyjen johtimien oikosulkusuojaus

Yhdellä oikosulkusuojualla voidaan suojata useita rinnankytkettyjä johtimia oikosululta, jos oikosulkusuojaus toimii silloinkin, kun oikosulku tapahtuu yhden johtimen epäedullisimmassa paikassa. Suunnittelussa on otettava huomioon oikosulkuvirran jakautuminen eri johtimien kesken, ja on huomioitava, että rinnankytketyssä johdossa oikosulkupaikkaan voi virta kulkea molemmista päistä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 145.)

Tapauksissa, joissa yhden oikosulkusuojualaitteen käyttö ei toimi rinnankytkettyjen johtimien suojana riittävän tehokkaasti, käytetään joitain seuraavista menettelyistä: (SFS 6000-4-43 2022, 11.)

- a) Johto asennetaan siten, että pienennetään kaikkien rinnankytkettyjen johtimien oikosulun vaara minimiin esimerkiksi mekaanisella suojauksella. Lisäksi johtimet on asennettava siten, että minimoidaan henkilö- ja paloriskit.
- b) Kahdelle rinnankytketylle johtimelle oikosulkusuojualaitteet sijoitetaan kunkin rinnankytketyn johtimen alkuun.
- c) Useamman kuin kahden rinnankytketyn johtimen oikosulkusuojualaitteet sijoitetaan kunkin johtimen alkuun ja loppuun.

### 3.9.2 Sulakkeet oikosulkusuojuina

Sulakkeissa kirjainmerkinnät kuvaavat sulakkeen katkaisualuetta ja käyttöluokkaa, joista ensimmäinen kirjain ilmaisee katkaisualueen ja toinen kirjain osoittaa käyttöluokan ja määrittelee tarkasti virta-aika-ominaisuudet. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 260.) Sulakkeet ovat hyviä oikosulkusuojuja, koska ne rajoittavat virtapiirin vikavirtaa (ST 53.14 2018, 9).

Ensimmäinen, katkaisualueen määrittävä kirjain:

- g-sulakkeen katkaisukyky käsittää koko virta-alueen
- a-sulakkeen katkaisukyky käsittää tietyn osa-alueen

Toinen, käyttöluokan ja virta-aika-ominaisuuksien määrittävä kirjain:

- gG-sulake on yleiskäyttöön tarkoitettu sulake, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen
- gM-sulake on moottoripiirin suojaukseen tarkoitettu sulake, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen
- aM-sulake on moottoripiirin suojaukseen tarkoitettu sulake, jonka katkaisukyky käsittää virran tietyn osa-alueen

(D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 260.)

Lisäksi käytetään tulppasulakkeita ja kahvasulakkeita. Tulppasulakkeet soveltuvat sekä ylikuormitusuojaksi että oikosulkusuojuksi. Oikosulkusuojuina käyttöä rajoittaa tulppasulakkeen katkaisukyky,

joka on 500 V tulppasulakkeella standardin mukaisesti 20 kA. Kahvasulakkeiden katkaisukyky on vähintään 50 kA, joten ne soveltuvat erittäin hyvin oikosulkusuojiksi. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 260.)

### 3.9.3 Johdonsuojakatkaisijat oikosulkusuojina

Johdonsuojakatkaisijan valinnassa on otettava huomioon niiden katkaisukyky, nimellisvirta ja -jännite sekä laukaisukäyrä. Johdonsuojakatkaisijoiden suositeltavat nimellisvirrat ovat 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 ja 125 A. Johdonsuojakatkaisijoiden tavallinen katkaisukyky 400 V:n jännitteellä on 6000 A. Standardin SFS-EN 898 standardinmukaiset arvot johdonsuojankatkaisijoiden katkaisukyvyille ovat: 3000 A, 4500 A, 6000 A, 10 000 A, 15 000 A, 20 000 A ja 25 000 A. Jos oikosulkuvirta ylittää johdonsuojakatkaisijan katkaisukyvyyn, voidaan sen edessä käyttää lisäsuojana esimerkiksi sulaketta. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 261.)

### 3.10 Ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen yhteensovittaminen

Jos ylivirtasuojaksi valittu suojalaite on mitoitettu ylikuormitussuojaksi ja sillä on riittävän suuri vikavirran katkaisukyky, se kelpaa myös oikosulkusuojaksi. Yleensä suojalaitteen toimiessa ylikuormitussuojana ja oikosulkusuojana se suojaa myös oikosulkuvirran lämpövaikutuksilta. (SFS 6000-4-43 2022, 13.)

Erillisiä suojalaitteita (ylikuormitus- oikosulkusuoja) käytettäessä niiden ominaisuudet on valittava niin, että oikosulkusuojan läpi kulkema energia ei ylitä sitä energiaa, jonka ylikuormitussuoja kestää ilman vaurioitumista. (SFS 6000-4-43 2022, 14.)

### 3.11 Syötön nopea poiskytkentä

Vian nopeaan poiskytkentään käytetään yleisesti ylivirtasuojia. Jos oikosulkuvirta on riittämätön ylivirtasuojan toimintaan tai ei ole muutoin mahdollista käyttää ylivirtasuojaa, voidaan suojaus toteuttaa käyttämällä vikavirtasuojaa. Tällöin tulee varmistaa, että vikavirta on vähintään viisi kertaa vikavirtasuojan nimellistoimintavirtaa suurempi. (Orrberg & Tiainen 2022, 175.)

Standardissa SFS 6000 määritellään, että vaihejohtimen ja jännitteelle alttiina olevan osan välinen vika on kytkettävä pois enintään 0,4 sekunnissa alle 32 A:n ryhmäjohton ylivirtasuojilla. Yli 32 A ryhmäjohtoilla ja pääjohtoilla vika on kytkettävä pois 5 sekunnissa. (Orrberg & Tiainen 2022, 175.)

Suojauksen toimivuus saadaan selville määrittämällä ryhmän pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta. Yhdessä virtapiirissä riittää oikosulkuvirran määrittäminen suojalaitteesta kauimmaisesta pisteestä. Kauimmaisen pisteen oikosulkuvirran selvityksellä varmistetaan nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen, sillä oikosulkuvirta pienenee kauemmaksi mentäessä johtuen kasvavasta impedanssista. Hankalimman virtapiirin arvoja voi käyttää muidenkin virtapiirien suojauksen toimivuuden selvityksessä. Oikosulkuvirta voidaan määrittää joko mittamalla tai laskemalla. Mitattujen oikosulkuvirtojen tulee olla 25 % suurempia, kuin suojalaitteiden toimintavirrat. Kaavassa 7 on esitetty yksinkertaistettu laskukaava yksivaiheisen oikosulkuvirran laskentaan. Tällä kaavalla laskettaessa virhe voi yleensä olla korkeintaan 10 % turvalliseen suuntaan, eli laskettu oikosulkuvirta on pienempi kuin todellinen oikosulkuvirta. Yksinkertaistus kaavassa tehdään osaimpedanssien laskennassa, jotka las-

ketaan aritmeettisesti yhteen. Tällöin laskettu impedanssi on todellista impedanssia suurempi ja laskettu vikavirta siten pienempi. Kaavaa 7 ei voida kuitenkaan käyttää suojalaitteiden katkaisukyvyn selvittämiseen, sillä lasketut oikosulkuvirrat ovat todellisuudessa isompia. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 88–90.)

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (7)$$

Missä

$I_k$  = pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

$c$  = liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne. jännitteenaleneman huomioon ottava kerroin ( $c=0,95$ )

$U$  = pääjännite

$Z$  = impedanssi vikapaikasta katsottuna

### 3.12 Johtojen valinta ja kuormitettavuus

Kaapelit ja johtimet valitaan siten, että ne ovat nimellisjännitteeltään ja poikkipinnaltaan sopivia asennukseen. Kaapelin rakenteen tulee täyttää standardit ja johtimien värien tulee noudattaa standardissa SFS 6000 kohdassa 514 annettuja vaatimuksia. Kaapeli on valittava asennuspaikan mukaan siten, että se kestää myös ulkoiset vaikutukset. Johdon mitoituksessa tulee ottaa myös huomioon taloudellisuus, jännitehäviöt ja virtapiirin suurimman sallitun impedanssin asettamat rajoitukset. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 191;219.)

#### 3.12.1 Johtojen kuormitettavuus

Johtimen poikkipinnan koko määräytyy ensisijaisesti sen kuormitusvirran sekä kuormitusvirran aiheuttaman lämpenemän mukaan. Johtimen kuormitettavuus määräytyy johdolle sallitun suurimman lämpötilan mukaan. Johtimen jatkuvaa ylintä sallittua lämpötilaa ei saa ylittää, koska yllämpötila lyhentää johdon käyttöikää nopeuttamalla eristemateriaalin ikääntymistä, tai pahimmillaan yllämpötila voi aiheuttaa jopa tulipalon. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 218.)

Johdon kyky siirtää virran aiheuttama lämpö ympäristöön määrää sen kuormitettavuuden. Johdon kuormitettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- johdinmateriaali
- eristemateriaali
- ympäristön lämpötila
- asennustapa
- muiden virtapiirien läheisyys

(D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 218.)

Johtimien kuormitettavuutta ei käytännössä määritetä pelkästään sille sallittujen lämpötilojen avulla, vaan tarvitaan myös tietoa sallituista kuormitusvirroista. Standardin SFS 6000 kappaleessa 523 on

esitetty kuormitettavuustaulukoita. Kuormitustaulukoiden pohjana on käytetty standardia IEC 364-5-523. Taulukoiden referenssiolosuhteet ovat:

- ilman lämpötila + 30 °C
- maan lämpötila + 20 °C
- maan lämpöresistiivisyys 2,5 K·m/W

(D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 218.)

### 3.12.2 Asennustavat

Referenssiasennustavoille on määritelty kuormitettavuus joko testaamalla tai laskelmien avulla. Nämä arvot ovat esitettyinä taulukossa 6 alempana. Taulukko sisältää arvot seuraaville asennuksille:

#### Asennustapa A:

Kaapelin asennus tehdään lämpöeristettyyn seinään upotetussa muovisessa tai metallisessa putkessa joko eristetyillä johtimilla (A1) tai monijohdinkaapelilla (A2). Seinä muodostuu ulkopinnasta, lämpöeristyksestä ja sisäpinnasta, joka voi olla puuta tai vastaavaa materiaalia, jonka lämmönjohtavuus on vähintään 10 W/m<sup>2</sup>K. Muovinen tai metallinen putki on asennettuna mahdollisimman lähelle sisäpintaa siten, että kaapeleista tulevan lämmön oletetaan poistuvan sisäpinnan kautta johtumalla.

#### Asennustapa B:

Kaapelin asennus tehdään puuseinälle asennettuun muoviseen tai metalliseen putkeen joko eristetyillä johtimilla (B1) tai monijohdinkaapelilla (B2) siten, että putken ja seinän pinnan välinen etäisyys on pienempi kuin 0,3 kertaa putken halkaisija. Taulukon 6 sarakkeen A kuormitettavuusarvoja voidaan käyttää asennustavoille B1 ja B2.

#### Asennustapa C:

Kaapelin asennus tehdään puuseinälle siten, että kaapelin ja pinnan väli on pienempi kuin 0,3 kertaa kaapelin halkaisija. Samoja kuormitettavuuden arvoja voidaan käyttää myös kivirakenteiselle (myös muille lämpöä eristämättömille materiaaleille) seinälle tai sen sisään asennetulle kaapelille.

#### Asennustapa D:

Monijohdinkaapelin asennus tehdään suoraan maahan yhteydessä olevaan muoviseen, keraamiseen tai metalliseen putkeen (D1), tai kaapeli asennetaan suoraan maahan (D2). Maan lämpöresistiivisyys on 2,5 K·m/W ja asennussyvyys 0,7 metriä.

#### Asennustavat E, F, G:

Yksi- tai monijohdinkaapeli kulkee ilmassa tuettuna siten, että lämmön haihtumista ei ole estetty. Ympäristön aiheuttama lämpeneminen on otettava huomioon. Käytännössä voidaan soveltaa asennustavan E kuormitettavuusarvoja asennuksille, missä kaapelin sekä minkä tahansa lähellä olevan tason välinen etäisyys on vähintään 0,3 kertaa monijohdinkaapelin halkaisija tai yksijohdinkaapelin koko halkaisija. Asennustapa E:ssä käytetään monijohdinkaapelia ja asennustavoissa F ja G käytössä

on eri tavoin asennettuja yksijohdinkaapeleita. Taulukon 6 sarakkeen E arvoja voidaan käyttää asennustavoille E, F ja G.

(SFS 6000-5-52 2022, 32; D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 219–221)

Standardin SFS 6000-5-52 taulukossa A.52.3 on esitettyä tarkemmat määritelmät referenssiasennustavoille.

TAULUKKO 6. Johtojen kuormitettavuudet (A) eri asennustavoilla. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 220)

Johtimen nimellispoikkipinta (mm <sup>2</sup> )	SFS 6000:n mukaiset asennustavat				
	A	C	D1	D2	E
<b>Kupari</b>					
1,5	13	17,5	18	19	18,5
2,5	17,5	24	24	24	25
4	23	32	30	33	34
6	29	41	38	41	43
10	39	57	50	54	60
16	52	76	64	70	80
25	68	96	82	92	101
35	83	119	98	110	126
50	99	144	116	130	153
70	125	184	143	162	196
95	150	223	169	193	238
120	172	259	192	220	276
150	196	299	217	246	319
185	223	341	243	278	364
240	261	403	280	320	430
300	298	464	316	359	497
<b>Alumiini</b>					
16	41	59	50	53	61
25	53	73	64	69	78
35	65	90	77	83	96
50	78	110	91	99	117
70	98	140	112	122	150
95	118	170	132	148	183
120	135	197	150	169	212
150	155	227	169	189	245
185	176	259	190	214	280
240	207	305	218	250	330
300	237	351	247	282	381

Taulukossa 7 on esitettyä kaapeleiden kuormitettavuuksia lämpöeristeen läpiviennissä. Kuormitettavuudet on laskettu pinta-asennustavan C mukaisista kuormitusarvoista. Taulukon arvot soveltuvat enintään 10 mm<sup>2</sup> johdoille. Taulukkoa ei suoraan tarvitse käyttää muiden läpivientien, kuin lämpöeristeen läpiviennissä silloin, kun läpiviennin lämmönjohtavuus on selkeäsi parempi, kuin 0,0625 W/K·m. Muidenkin läpivientien mahdollinen vaikutus kuormitettavuuteen tulisi ottaa huomioon, vaikkei sille erillisiä kertoimia olekaan esitetty. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 235.)

TAULUKKO 7. Kaapeleiden kuormitettavuuksia lämpöeristeen läpivienneissä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 235)

Lämpöeristeen paksuus cm	Kaapelin poikkipinta mm <sup>2</sup> (Cu)	Kaksi kuormitettua johdinta, kuormitettavuus A	Kolme kuormitettua johdinta, kuormitettavuus A
5	1,5	17,3	15,5
10	1,5	15,7	14,1
20	1,5	13,2	11,9
40	1,5	10,7	9,6
50	1,5	9,7	8,7
5	2,5	24	21,3
10	2,5	21,8	19,4
20	2,5	18,3	16,3
40	2,5	14,8	13,2
50	2,5	13,5	12
5	4	32	28,4
10	4	29,1	25,9
20	4	24,4	21,7
40	4	19,8	17,6
50	4	18	16
5	6	40,9	36,4
10	6	37,2	33,2
20	6	31,2	27,8
40	6	25,3	22,5
50	6	23	20,5
5	10	56	50,7
10	10	51	46,01
20	10	42,8	38,7
40	10	34,6	31,3
50	10	31,5	28,5

### 3.12.3 Korjauskertoimet

Kuormitettavuudet eri johtotyypeille on ilmoitettu referenssiolosuhteissa taulukossa 6. Kuormitettavuuteen heikentävästi voi vaikuttaa myös lähistöllä olevat muut kaapelit. Referenssiolosuhteista poiketessa tulee todellinen kuormitettavuus arvioida käyttäen apuna korjauskertoimia. Todellinen kuormitettavuus kaapelille saadaan kaavalla 8: (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 229; SFS 6000-5-52 2022, 70)

$$I_z = I_t \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \dots \quad (8)$$

Missä

$I_z$  = johtimen jatkuva kuormitettavuus

$I_t$  = taulukossa 5 esitetty arvo kuormitettavuudelle referenssiolosuhteissa yhdelle virtapiirille

$C_1, C_2, C_3$  = asennusolosuhteet huomioon ottavat korjauskertoimet

Tavallisimmat korjauskertoimet ovat maan-/ympäristön lämpötila, maan lämpöresistiivisyys ja viereiset virtapiirit. Taulukossa 8 on korjauskertoimet ilmaan asennettaville kaapeleille, eli asennustavoilla E, F ja G, kun ympäristön lämpötila poikkeaa referenssiolosuhteista (ilman lämpötila + 30°C). Standardissa SFS 6000-8-801 (SFS 6000-8-801 2022, 15) on esitetty, että jakeluverkon kaapelien kuorimitettavuutta määritettäessä ympäristön lämpötilana ilmaan asennettaville kaapeleille voidaan käyttää arvoa + 25°C.

TAULUKKO 8. Korjauskertoimet ilmaan asennettaville kaapeleille. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 229)

Ympäristön lämpötila °C	Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX ja EPR
10	1,00	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
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Taulukossa 9 on korjauskertoimet maahan asennettaville kaapeleille, eli asennustavoille D1 ja D2, kun ympäröivän maan lämpötila poikkeaa referenssiolosuhteista (maan lämpötila + 20°C).

TAULUKKO 9. Korjauskertoimet asennustavoilla D1 ja D2 asennettaville kaapeleille. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 229)

Maan lämpötila °C	Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan	
	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

Taulukossa 10 on korjauskertoimet maahan asennettaville kaapeleille eli asennustavoille D1 ja D2, kun maan lämpöresistiivisyyden arvo poikkeaa referenssiolosuhteista (maan lämpöresistiivisyys 2,5 K·m/W). Taulukossa 11 on eri maalajeille annettuja lämpöresistiivisyyden arvoja.

Standardissa IEC 60364-5-52 maan lämpöresistiivisyyden referenssiarvoksi on annettu 2,5 K·m/W, joka on turvallinen arvo maailmanlaajuisesti (SFS 6000-5-52 2022, 31). Standardissa SFS 6000-8-

801 (SFS 6000-8-801 2022, 15) on esitetty, että jakeluverkon kaapelien kuormitettavuutta määritettäessä maahan asennettavien kaapeleiden kuormitettavuusarvoina voidaan käyttää maan lämpöresistiivisyyttä 1,0 K·m/W ja lämpötilaa +15°C.

TAULUKKO 10. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden mukaan. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 230)

Lämpöresistiivisyys, K·m/W	0,50	0,70	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
Korjauskerroin putkiin asennetuille kaapeleille	1,28	1,20	1,18	1,10	1,05	1,00	0,96
Korjauskerroin suoraan maahan asennetuille kaapeleille	1,88	1,62	1,50	1,28	1,12	1,00	0,90

TAULUKKO 11. Eri maalajien lämpöresistiivisyyden arvoja. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 230)

Maalaji	Lämpöresistiivisyys, K·m/W
Kuiva hiekka (kosteus 0 %)	3
Kuiva sora tai savi	1,5
Puolikuiva sora, suomuta ja hiekka (kosteus 10 %)	1,2
Puolikuiva savi ja kostea sora	1
Kostea savi ja hiekka (kosteus 25 %)	0,7

Taulukossa 12 on korjauskertoimia ryhmille, joissa on useita kaapeleita tai useita virtapiirejä. Kertoimet soveltuvat samanlaisille ja samalla tavalla kuormitetuille kaapeliryhmille. Samat kertoimet ovat käytössä sekä monijohdinkaapeleille että kahden tai kolmen yksijohdinkaapelin ryhmille. Korjauskerroimia ei tarvitse käyttää, jos kaapeleiden etäisyys toisistaan ylittää kaksi kertaa niiden kokonaishalkeisuuden.

TAULUKKO 12. Korjauskertoimet ryhmille, joissa on useita kaapeleita tai useita virtapiirejä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 230)

Sijoitus (kaapelit koskettavat toisiaan)	Virtapiirien tai monijohdinkaapeleiden lukumäärä											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
Nipussa ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon sisällä	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai reiittämättömällä kaapelihyllyllä	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70			
Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puukaton alapuolelle	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
Yhdessä kerroksessa reiitetyllä kaapelihyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Taulukossa 13 on korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle suoraan maahan asennetuille kaapeleille (asennustapa D2).

TAULUKKO 13. Korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle asennustavalla D2 asennetulle kaapelille. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 231)

Piirien lukumäärä	Kaapelien välinen etäisyys				
	0 m	Yksi kaapelin halkaisija	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
7	0,45	0,51	0,59	0,67	0,76
8	0,43	0,48	0,57	0,65	0,75
9	0,41	0,46	0,55	0,63	0,74
12	0,36	0,42	0,51	0,59	0,71
16	0,32	0,38	0,47	0,56	0,68
20	0,29	0,35	0,44	0,53	0,66

Taulukossa 14 on korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle maassa olevaan putkeen asennetuille kaapeleille (asennustapa D1).

TAULUKKO 14. Korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle asennustavalla D1 asennetulle kaapelille. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 231)

Piirien lukumäärä	Putkien välinen etäisyys			
	0 m	0,25 m	0,50 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90
7	0,57	0,76	0,80	0,88
8	0,54	0,74	0,78	0,88
9	0,52	0,73	0,77	0,87
10	0,49	0,72	0,76	0,86
11	0,47	0,70	0,75	0,86
12	0,45	0,69	0,74	0,85
13	0,44	0,68	0,73	0,85
14	0,42	0,68	0,72	0,84
15	0,41	0,67	0,72	0,84
16	0,39	0,66	0,71	0,83
17	0,38	0,65	0,70	0,83
18	0,37	0,65	0,70	0,83
19	0,35	0,64	0,69	0,82
20	0,34	0,63	0,68	0,82

Taulukossa 15 esitettyä korjauskertoimia läpivienneissä lämpöeristeen paksuuden vaikutuksista kuormitettavuuteen. Nämä arvot soveltuvat enintään 10 mm<sup>2</sup> johdinpoikkipinnoille. Lämmönjohtavuus lämpöeristeessä on suurempi kuin 0,0625 W/K·m. Esimerkkinä tavanomaisen vuorivillan lämmönjohtavuus voi olla jopa alle 0,04 W/K·m, jolloin lämpö poistuu kaapelista vielä huonommin, joten voi olla tarpeen käyttää pienempiä kertoimia.

TAULUKKO 15. Korjauskertoimet lämpöeristeen läpäiseville kaapeleille ja asennusputkissa oleville johtimille. (SFS 6000-5-52 2022, 16)

Lämpöeristeen paksuus (mm)	Korjauskerroin
50	0,89
100	0,81
200	0,68
400	0,55
500	0,50

### 3.12.4 Toimintatavat johdon poikkipinta-alaa mitoittaessa

Toimintatavat johdon poikkipinta-alaa mitoittaessa hyödyntäen korjauskertoimia:

1. Mitoitetaan kaavan 1 mukaisesti suojalaitteen nimellisvirta  $I_n$ . Suojalaitteen nimellisvirta on oltava suurempi tai yhtä suuri, kuin piirin mitoitusvirta  $I_b$ , joka voidaan laskea kaavalla 3.
2. Suojalaitteen nimellisvirran perusteella valitaan johdolle sallittu pienin kuormitettavuus  $I_z$ . gG-tyyppin sulakkeella kuormitusvirta valitaan taulukon 4 toisesta sarakkeesta. B-, C- ja D-tyyppisillä johdonsuojakatkaisijoilla voidaan käyttää suojalaitteen nimellisvirtaa.
3. Määritetään kaapelin asennusolosuhteet ja niitä vastaavat korjauskertoimet, kuten viereiset virtapiirit, maan-/ilman lämpötila, maan lämpöresistivisyys (kappale 3.12.3). Kohdassa 2 määritetty johdolle sallittu pienin kuormitettavuus  $I_z$  jaetaan korjauskertoimien tulolla.
4. Etsitään taulukosta 6 käytettyä asennustapaa vastaava johdon poikkipinta-ala, joka on kuormitettavuudeltaan laskettua virtaa suurempi.

(D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 232.)

### 3.13 Jännitteen alenema

Standardi SFS 6000 suosittaa, että jännitteenalenema sähkölaitteiston nimellisjännitteestä saisi olla sähkölaitteiston liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä enintään 5 %. Jännitteenalenema voidaan laskea käyttämällä kaavoja 9–12. (Orrberg & Tiainen 2022, 179.)

Tasajännitteellä:

$$\Delta U = I \cdot 2 \cdot r \cdot l \quad (9)$$

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \cdot 2 \cdot l \cdot (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (10)$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \cdot l \cdot \sqrt{3} \cdot (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (11)$$

Suhteellinen jännitteenalenema:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100\% \quad (12)$$

Missä

$\Delta U$  = jännitteenalenema (V)

$I$  = kuormitusvirta (A)

$l$  = johdon pituus (m)

$r$  = johdon ominaisresistanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$x$  = johdon ominaisreaktanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$\varphi$  = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

$\Delta u$  = suhteellinen jännitteen alenema

$U_n$  = nimellisjännite

Kaavoissa 10 ja 11 plusmerkkiä käytetään kuorman ollessa induktiivista ja miinusmerkkiä käytetään kapasitiivisella kuormalla. (Orrberg & Tiainen 2022, 179–180.)

## 4 SELVITYS SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELUUN LIITTYEN

Tässä osiossa selvitetään sähköautojen latausjärjestelmiin liittyviä asioita, joita suunnittelijalla tulee vastaan työssään. Lisäksi tässä osiossa käydään läpi aiemmin käydyn teorian pohjalta Excel-laskurin toteutusta, joka on avuksi sähköautojen latausjärjestelmien mitoituslaskelmien tekemiseen.

### 4.1 Kiinteistön tehoreservi

Kiinteistön tehoreservin, eli kiinteistön vapaan käytettävissä olevan tehokapasiteetin määrittäminen on tärkeä vaihe sähköautojen latauspisteitä suunniteltaessa. Kiinteistön vapaa tehokapasiteetti saadaan selville laskemalla kiinteistön teoreettinen huipputeho liittymän pääsulakkeiden nimellisvirran perusteella (kaava 13).

$$P_{\max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_n \cdot \cos\varphi \quad (13)$$

Missä

$P_{\max}$  = kiinteistön huipputeho

$U$  = pääjännite (400 V)

$I_n$  = pääsulakkeen nimellisvirta (A)

$\cos\varphi$  = kolmivaihejärjestelmän tehokerroin (asuinkiinteistöissä  $\cos\varphi = 0,96$ )

Kiinteistön huipputehosta vähennetään kiinteistön toteutunut huipputeho (kaava 14), jolloin saadaan selville kiinteistön tehoreservi. Liittymän toteutunut huipputeho (tuntihuippu) saadaan sähkönsiirtoyhtiöltä tai sähkönsiirtäjältä. Tuntihuippuna on hyvä käyttää esimerkiksi yhden tai useamman kokonaisen vuoden ajalta toteutuneiden kulutuksien tuntihuippua, jolloin varmistetaan eri vuodenaikojen vaikutuksesta tuntihuippuun. Kuvassa 7 on esimerkkitapaus kiinteistön tuntikohtaisesta energiankulutuksesta.

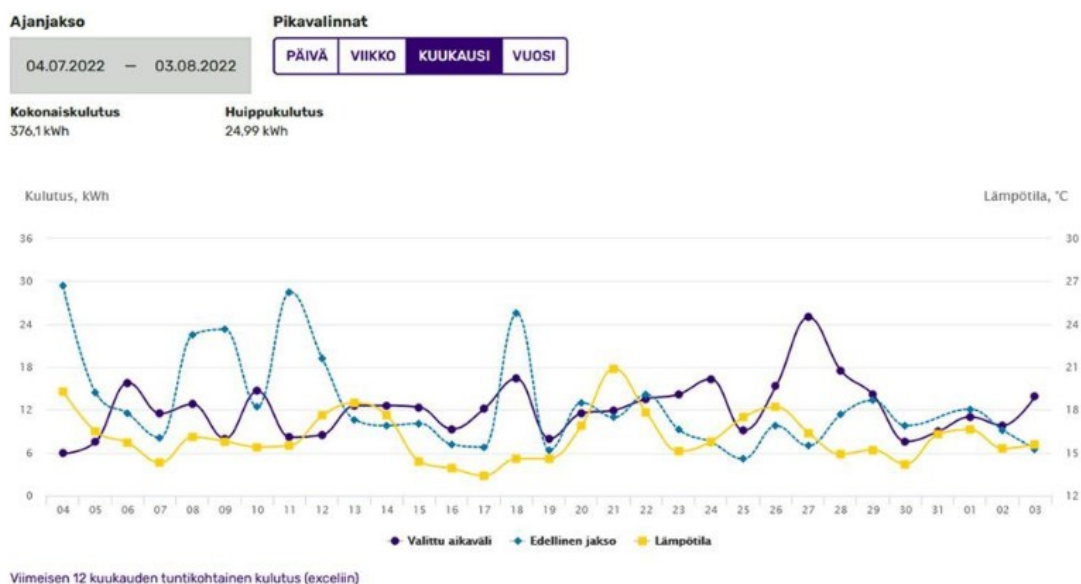
$$P_{\text{vapaa}} = P_{\max} - P_{\text{tuntihuippu}} \quad (14)$$

Missä

$P_{\text{vapaa}}$  = kiinteistön tehoreservi

$P_{\max}$  = kiinteistön huipputeho

$P_{\text{tuntihuippu}}$  = liittymän toteutunut tuntihuippu



KUVA 7. Tuntikohtaiset kulutustiedot. (Kokkolan Energia, julkaisuaika tuntematon)

## 4.2 Kaapelimitoitukset

Kaapelimitoitusten osalta tässä opinnäytetyössä selvitetään kaapelin vahventamisen tarve, kaapeleiden rinnankytkennän vaikutusta mitoituksiin ja läpivientien vaikutuksia kaapelin kuormitettavuuteen. Selvitykset tehdään pääasiassa kappaleen 3 teoriaosuuteen pohjautuen.

### 4.2.1 Kaapelin vahventamisen tarve

Silloin, kun kiinteistön tehoreservi ei riitä mitoitetulle sähköauton latausjärjestelmälle, on yhtenä vaihtoehtona sähköliittymän koon kasvattaminen, jota varten on selvittävää, onko liittymiskoon kasvattaminen mahdollista nykyisellä liittymiskaapelilla. Tätä varten täytyisi selvittää liittymiskaapelin tyyppi ja koko sekä liittymiskaapelin asennustapa (taulukko 6) ja asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet. Kappaleessa 3.12 käsitellään kaapelin mitoitukseen liittyviä asioita ja korjauskertoimia.

Kaapelin poikkipintaa vastaava sulake saadaan määriteltä seuraavasti:

1. Määritellään kaapelin asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet (kappale 3.12.3)
2. Etsitään taulukosta 6 kaapelin asennustapaa vastaava kuormitusvirta, joka kerrotaan korjauskertoimilla (kaava 8).
3. Etsitään taulukon 4 toisesta sarakkeesta edellisessä kohdassa korjattua kuormitusvirtaa lähimpänä oleva pienempi virta.
4. Johdon saa suojata taulukon 4 ensimmäisessä sarakkeessa ilmoitetulla, edellisen kohdan virtaa vastaavalla tai pienemmällä sulakkeella.
5. Sulakkeen nimellisvirta on sama kuin suurin sallittu kuormitusvirta.

(D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 232.)

#### 4.2.2 Esimerkilaskelma liittymiskaapelin poikki pintaa vastaavan sulakkeen mitoitukseen

##### **Esimerkin lähtötiedot:**

Liittymiskaapelin tyyppi ja koko:

MCMK 3 x 70 + 35

Asennustapa:

Alkupää suoraan maahan asennettu (asennustapa D2), maan lämpötila 15 °C maan lämpöresistiivisyys 1,0 K·m/W (Suomessa tyypillisesti käytettävät asennusolosuhteet). Kiinteistön pääkeskukselle nousu betoniseinää pitkin (asennustapa C), ympäristön lämpötila 30 °C. Lähellä ei ole viereisiä virtapiirejä.

Käytetään edellisessä kappaleessa esitettyä toimintatapaa. Lasketaan kaapelin kuormitettavuudet erikseen jokaiselle asennustavalle.

Kuormitettavuus suoraan maahan asennettuna:

Taulukon 6 mukaan kaapelin kuormitettavuus ilman korjauskertoimia,  $I_t = 162 \text{ A}$

Taulukosta 9 korjauskerroin maan lämpötilalle,  $C_1 = 1,05$

Taulukosta 10 korjauskerroin maan lämpöresistiivisyydelle,  $C_2 = 1,5$

Kaavan 8 mukaan korjattu kuormitettavuus:

$$I_z = I_t \cdot C_1 \cdot C_2 = 162 \text{ A} \cdot 1,05 \cdot 1,5 = 255,15 \text{ A}$$

Kuormitettavuus betoniseinälle asennettuna:

Taulukon 6 mukaan kaapelin kuormitettavuus ilman korjauskertoimia,  $I_t = 184 \text{ A}$

Taulukosta 8 korjauskerroin lämpötilalle,  $C_1 = 1,0$

Kaavan 8 mukaan korjattu kuormitettavuus:

$$I_z = I_t \cdot C_1 = 184 \text{ A} \cdot 1,0 = 184 \text{ A}$$

Ylikuormitussuoja valitaan kaapelin pienimmän kuormitettavuuden perusteella, joten betoniseinälle asennettu osuus määrää kuormitettavuuden. Etsitään taulukon 4 toisesta sarakkeesta 184 A kuormitusvirtaa lähimpänä oleva pienempi virta ja valitaan ylikuormitussuoja tätä virtaa vastaavalla sulakkeella. Ylikuormitussuojaksi voidaan valita 160 A gG-tyyppin sulake.

#### 4.2.3 Kaapelin rinnankytkennän vaikutus kaapelimitoituksiin

Rinnan kytkettyinä kaapeleina on yleensä käytettävä samanlaisia kaapeleita, että kuormitusvirta jakautuu tasan rinnankytkettyjen kaapeleiden välillä. Tämän katsotaan toteutuvan käytettäessä samasta materiaalista valmistettuja, saman poikki pinnan omaavia ja suunnilleen yhtä pitkiä kaapeleita, joita ei haaroiteta välillä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 237.)

Yksijohdinkaapeleilla lähes tasainen virranjako toteutuu, kun käytetään samanlaisia ja yhtä pitkiä kaapeleita, jotka asennetaan esimerkiksi taulukon 16 mukaisesti.

TAULUKKO 16. Esimerkki yksijohdinkaapeleiden vaihejärjestyksestä rinnankytkennässä. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 237)

Tasoasennus	L1	L2	L3	L3	L2	L1
Kolmioasennus		L2			L3	
	L1		L3	L2		L1

Eri poikkipinta-alaisia kaapeleita rinnan kytkettäessä virranjaosta on varmistuttava laskemalla ja tarkistettava mittaamalla ennen käyttöönottoa. Rinnankytkettyjen kaapeleiden kokonaisvirta saadaan osajohtimien mitatuilla tai lasketuilla virroilla. Impedanssiltaan pienintä kaapelia voidaan ainoastaan kuormittaa sille määritetyllä kuormitusvirralla ympäristöolosuhteet huomioon otettuna. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 237.)

Ylivirtasuojauksista suunnitellessa on otettava huomioon jokaisen johdon oikosulkusuojaus ja ylikuormitusuojaus, kappaleessa 3.8 ja 3.9 on käsitelty ylivirtasuojauksen suunnittelusta rinnankytketyille kaapeleille.

#### 4.2.4 Läpivientien vaikutus johdon kuormitettavuuteen

Johdon kulkiessa esimerkiksi seinän läpi, lämpöeristeen kohdalla johdon lämpötila voi nousta lyhyellä matkalla huomattavasti, jopa kymmeniä asteita johdon ollessa jatkuvasti suurimmalla kuormalla. Johtoa ei tämän takia tulisi sijoittaa lämpöeristeen sisälle, pois lukien välttämättömät ja mahdollisimman lyhyet läpiviennit. Lämpöeriste ei saa ympäröidä kaapelia tai putken asennettuja johtimia läpivientejä lukuun ottamatta. Jos kaapeli tai putki asennetaan lämpöeristettyyn seinään, tulee kaapeli tai putki olla kosketuksissa toiselta sivultaan lämpöä johtavaan seinään. Kaapeli tai putki tulee asentaa niin, että lämpö pääsee johtumaan joltakin sivulta, koska lämpö ei pitkäikäisyyssuunnassa huomattavasti siirry. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 234.)

Taulukossa 7 on esitetty kaapeleiden kuormitettavuuksia lämpöeristeen läpivienneissä. Taulukossa 15 on esitettyä korjauskertoimet kaapelille eri paksuisissa lämpöeristeissä. Taulukon arvot soveltuvat enintään 10 mm<sup>2</sup> johdinpoikkipinnoille. Lämmönjohtavuus lämpöeristeessä on suurempi kuin 0,0625 W/K·m. Esimerkkinä tavanomaisen vuorivillan lämmönjohtavuus voi olla jopa alle 0,04 W/K·m, jolloin lämpö poistuu kaapelista vielä huomattavasti nopeammin, joten voi olla tarpeen käyttää pienempiä kertoimia. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 234.)

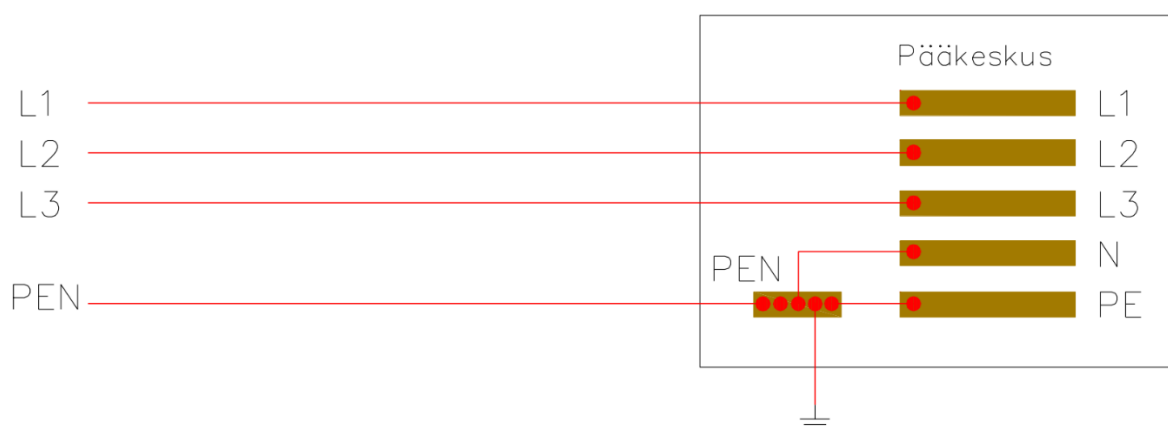
#### 4.3 Uuden pääkeskuksen maadoitus

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on selvittää maadoituksen toteutus tilanteissa, joissa vanha pääkeskus (TN-C-järjestelmällä) uusitaan katkaisemalla olemassa oleva liittymiskaapeli ja asentamalla katkaisukohtaan uusi pääkeskus (TN-S-järjestelmällä). Uusi pääkeskus on viisijohtiminen, ja siitä vietään nousukaapeli vanhalle pääkeskukselle.

Näissä tapauksissa käytetään TN-C-S-järjestelmää. Tässä järjestelmässä yhdistetään TN-C- ja TN-S-järjestelmät siten, että TN-C-järjestelmä on aina syöttävän verkon puolella TN-S-järjestelmästä katsoen, sillä erotettua nolla- ja suojamaadoitusjohdinta ei saa kytkeä takaisin PEN-johtimeksi. (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 58.)

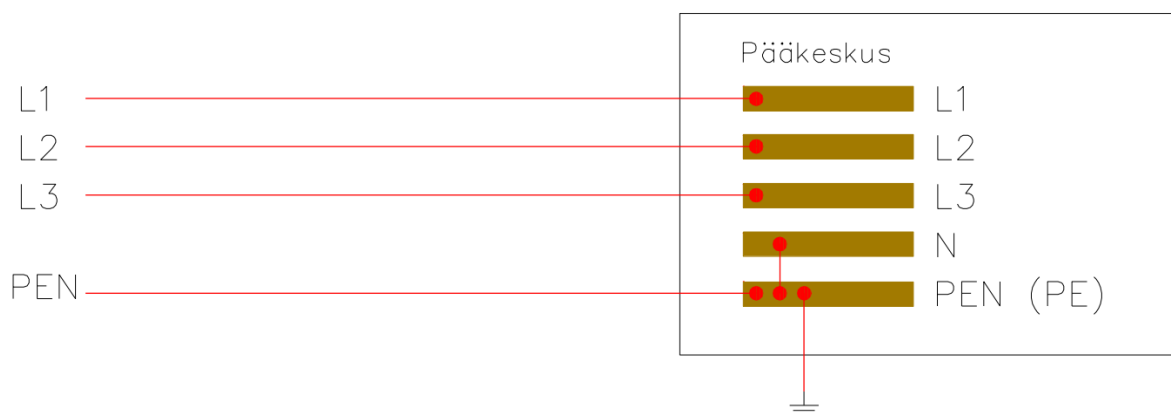
Syöttävän liittymiskaapelin PEN-johtimen kytkentään TN-S-järjestelmän mukaiseen viisikiskoiseen keskukseen on olemassa useita vaihtoehtoja. Suositeltavin tapa on, että keskuksessa on erillinen PEN-kisko, josta tehdään yhdistykset N-kiskolle ja PE-kiskolle (kuva 8). PE-kiskon tai N-kiskon yhdistys voidaan irrottaa mittauksia varten. (Orrberg & Tiainen 2022, 122.)

Aikaisemmin asennettuja PEN-johtimia sisältäviä johtojärjestelmiä saa käyttää keskuksien välisissä johdoissa, vaikka niiden tunnusvärinä ei ole standardin SFS 6000-5-51 kohdan 514.3 mukainen keltavihreä. Jos tunnusväri poikkeaa nykyisistä vaatimuksista, varustetaan johtimen päät sinisellä ja keltavihreällä lisämerkillä tai PEN tekstillä. (SFS 6000-8-802 2022, 11.)



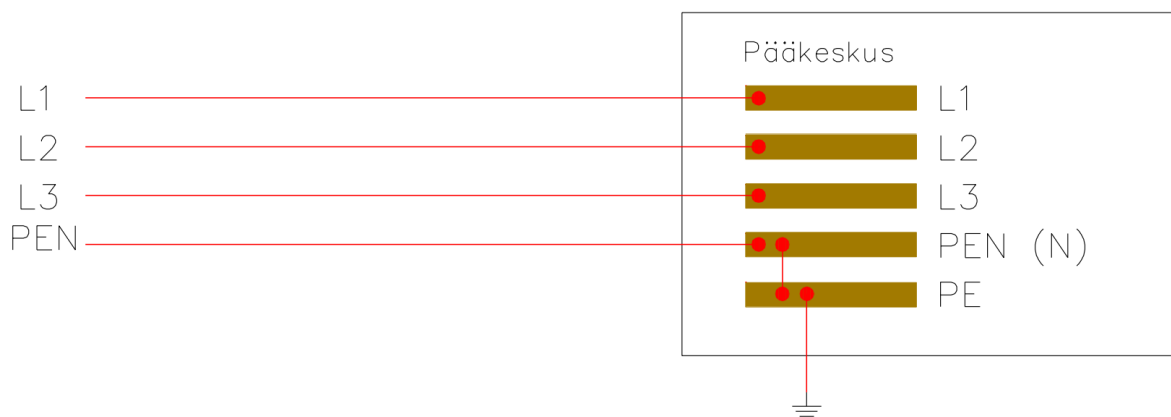
KUVA 8. PEN-johtimen kytkentä erilliseen PEN-kiskoon. (Orrberg & Tiainen 2022, 122)

Jos keskuksessa ei ole erillistä PEN-kiskoa, seuraavaksi suositeltavin tapa on kytkeä PEN-johdin PE-kiskoon (kuva 9). Jos yhdistys N- ja PE-kiskon välillä jää auki, vikasuojaus toimii, mutta laitevaurioita voi syntyä ylijännitteiden takia. (Orrberg & Tiainen 2022, 122.)



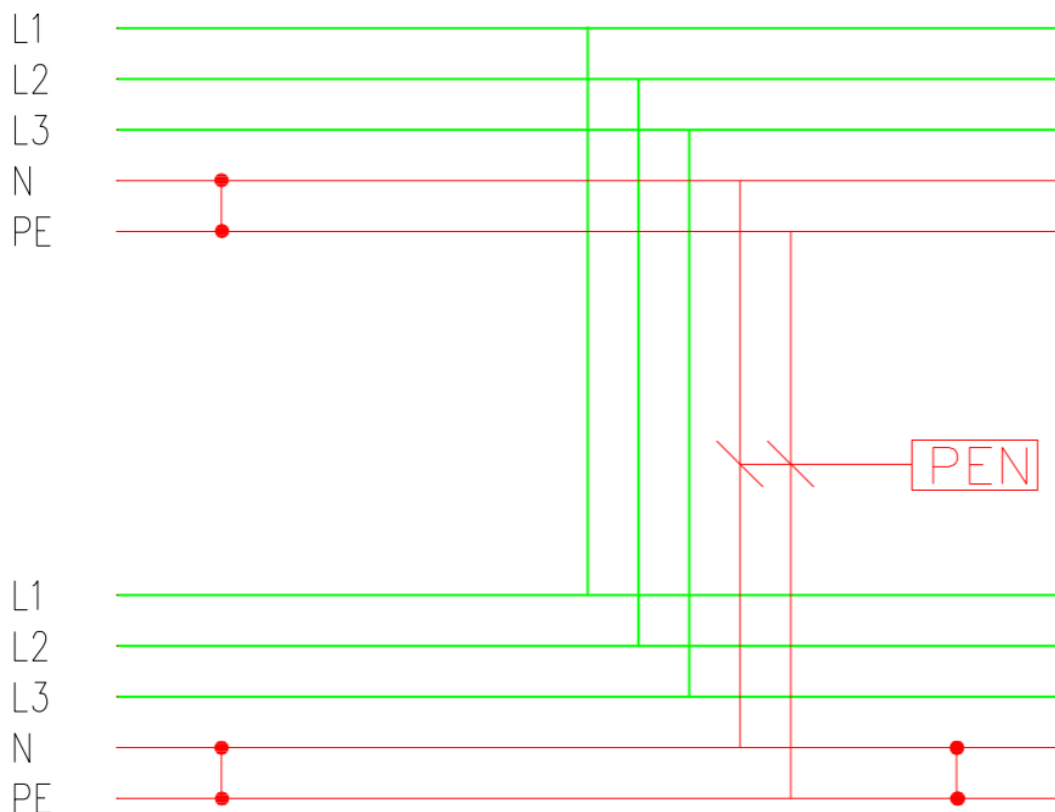
KUVA 9. PEN-johtimen kytkentä PE-kiskoon. (Orrberg & Tiainen 2022, 123)

Jos kumpaakaan ylemmistä vaihtoehtoista ei voida toteuttaa, voidaan PEN-johdin kytkeä N-kiskoon (kuva 10). Kytkennässä on huonoa se, jos yhdistys N- ja PE-kiskon välillä jää auki, vikasuojaus ei toimi suojajohdinyhteyden ollessa poikki. Kytkentätapa voi olla vanhempien asennusten muutos- ja laajennustöissä käyttökelpoisempi, mutta muuten sitä kannattaisi välttää. (Orrberg & Tiainen 2022, 123.)



KUVA 10. PEN-johtimen kytkentä N-kiskoon. (Orrberg & Tiainen 2022, 123)

Kuvassa 11 on esimerkki nolla- ja suojamaadoitusjohtimen rinnankytkennästä. Rinnankytkentä on tehtävä syöttävässä keskuksessa ja syötettävässä keskuksessa. Viisikiskoisessa keskuksessa suojamaadoitusjohtimen ja PEN-johtimen rinnankytkentä puretaan, kun ei enää käytetä PEN-johtimia. (SFS 6000-8-802 2022, 11.)



KUVA 11. Esimerkki nolla- ja suojamaadoitusjohtimen rinnankytkennästä. (Muokattu lähteestä: (D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022, 402)

#### 4.4 Suositus latauspisteiden jännitteettömäksi tekemisestä

Sähköautojen akkupalot ovat pelastuslaitokselle haastavia, kestävät pitkään ja aiheuttavat uudelleensyttymisriskin, jos niitä ei riittävästi jäähdytetä. Kuumenneet litiumioniakut muodostavat itse palamiseen tarvittavat elementit ja tuottavat myrkyllisiä palo- ja savukaasuja, joista osa on myrkyllisempiä perinteiseen autopaloon verrattuna. Merkittävä haaste sähköautopaloissa on sammutusveden kohdistaminen suoraan sähköautojen akkuihin. (Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto 2022, 3.) Sähköautojen latauspisteet tulisi saada jännitteettömäksi akkupalon aikana.

Pelastuslaitosten kumppanuusverkoston (Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto 2022, 4) tekemän ohjeen mukaan latauspisteiden jännitteettömäksi tekeminen tulisi olla mahdollista yhdestä keskiteytystä paikasta ilman, että sähköt jouduttaisiin kytkemään pois koko kiinteistöstä. Jännitteettömäksi tekeminen suoritettaisiin ns. hätä-seis-painikkeella tai turvakytkimellä. Hätä-seis-painike suositellaan sijoitettavaksi siten, että sitä voidaan käyttää menemättä pysäköintitilaan, missä latauspisteet sijaitsevat, kuten esimerkiksi mahdollisen paloilmoitin- tai savunpoistokeskuksen yhteyteen. Laajemmat ja monikerroksiset pysäköintirakennukset voidaan tehdä jännitteettömäksi esimerkiksi kerroksittain.

#### 4.5 Vikavirtasuojaus sähköauton latauspisteissä

Standardissa SFS 6000-7-722 määritetään, että jokaista sähköajoneuvon liitäntäpistettä tulee suojata vähintään tyyppin A mukaisella ja mitoitusomintavirralla enintään 30 mA:n vikavirtasuojalla. (SFS 6000-7-722 2022, 12.)

Mikäli sähköajoneuvon latausasemassa on SFS-EN 62196 mukainen pistorasia tai pistoke (tyyppi 2), on virtapiiri suojattava myös tasasähkövikavirralla, ellei latausasemassa ole suojausta sitä varten. Tasasähkövikavirralla suojaus tulee suorittaa seuraavilla tavoilla:

- B-tyypin vikavirtasuojalla
- A-tyypin vikavirtasuojaa yhdessä korkeintaan 6 mA tasasähkövikavirran tunnistimen kanssa
- F-tyypin vikavirtasuojaa yhdessä korkeintaan 6 mA tasasähkövikavirran tunnistimen kanssa

(SFS 6000-7-722 2022, 12; Sesko ry 2024, 1–2.)

Tasasähkövikavirran tunnistimien (RDC-DD eli residual direct current detecting device) tulee olla standardin IEC 62955 mukaiset. Tunnistimen olemassaolo täytyy varmistaa laitteen valmistajalta. Jos tunnistinta ei suojalaitteesta löydy, on liitäntäpiste suojattava B-tyypin vikavirtasuojalla. (SFS 6000-7-722 2022, 12–13.)

##### 4.5.1 Vikavirtasuojien testaukset

B-tyypin vikavirtasuojat testataan mitoitusomintavirran mukaisella sinimuotoisella vikavirralla, eli mitoitusomintavirrallaan 30 mA B-tyypin vikavirtasuojaa testataan 30 mA:n sinimuotoisella vikavirralla. Suojan laukeamista tasavikavirralla voi testata asennustestereillä. Suoja saa lauetta tasavikavirralla, joka on suuruudeltaan puolet mitoitusomintavirrastaan, ja sen pitää lauetta tasavikavirralla, joka on suuruudeltaan kaksinkertainen mitoitusomintavirrastaan. Eli 30 mA B-tyypin vikavirtasuojalla tasavikavirran ollessa 15 mA suoja saa lauetta ja tasavikavirran ollessa 60 mA suojan pitäisi viimeistään lauetta. (Sesko ry 2024, 1–2.)

A-tyypin vikavirtasuojaa testataan samalla tavalla sinimuotoisella mitoitusomintavirran mukaisella vikavirralla. Korkeintaan 6 mA tasasähkövikavirran tunnistimen testausta ei vaadita (Sesko ry 2024, 1–2.)

Tuotestandardissa IEC 62955 on esitetty seuraavat vaatimukset tasasähkövikavirran tunnistimen laukaisuajoille tasavikavirroilla:

- 6 mA tasavikavirralla 10 sekuntia
- 60 mA tasavikavirralla 300 millisekuntia

- 200 mA tasavikavirralla 100 millisekuntia

(Sesko ry 2024, 1–2.)

Tasavikavirran tunnistimelta vaaditaan myös, että se ei saa laueta enintään 30 mA vaihtosähkövikavirralla, jolloin A-tyyppin vikavirtasuojauksen testaus on mahdollista. Hitaasti nousevilla vikavirroilla, joka kasvaa alle 2 mA:sta 6 mA:iin 30 sekunnissa, suojan pitää laueta viimeistään 6 mA virralla ja se saa laueta jo 3 mA virralla. Arvoille hyväksyttävä toleranssi on 5 %. (Sesko ry 2024, 2.)

Taulukossa 17 on esitettyä yhteenveto vikavirtasuojausmenettelyistä lataustavoilla 1, 2 ja 3.

TAULUKKO 17. Lataustapojen 1, 2 ja 3 vikavirtasuojausmenettelyt. (Sesko ry 2020, 3.)

Lataustapa	Pistorasiatyyppi	Käyttövirta	Vikavirtasuojaus
1 Kevyen sähköajoneuvon lataus	Sukopistorasia	Korkeintaan 8 A	A-tyyppin 30 mA vikavirtasuojasennuksessa
2 Sähköajoneuvon hidas lataus	Sukopistorasia	Korkeintaan 8 A	A-tyyppin 30 mA vikavirtasuojasennuksessa ja liitäntäjohdon suojalaitetekelossa vikavirtasuojaus vaihtovirralla ja enintään 6 mA tasavirralla
	Teollisuuspistorasia tai erityisrakenteinen sukopistorasia	Pistorasian mukaan, yleensä 16 A	
3 Sähköajoneuvon peruslataus	Eriyinen sähköajoneuvopistorasia SFS-EN 62196-2 tyyppi 2	Korkeintaan 63 A	B-tyyppin 30 mA vikavirtasuojasuoja tai A-tyyppin vikavirtasuojasuoja yhdessä enintään 6 mA tasavirtavikasuojausten kanssa

## 5 EXCEL LASKURI MITOITTAMISEEN

Opinnäytetyössä toteutettiin Excel-laskentatyökalu sähköisiä mitoituksia varten. Laskurilla voidaan mitoittaa ylivirtasuojaus, pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta ja jännitteenalenema pääkeskukselta, latauskeskukselta ja kauimmaiselta latauspisteeltä. Alla olevat kuvat ovat laskentoja fiktiivisestä kohteesta. Laskuri toteutettiin enimmäkseen kappaleessa 3 käydyn teorian pohjalta.

Kuvassa 12 on esitettyä laskuri pääkeskuksen osalta. Laskentatyökaluun syötetään oranssilla pohjalla oleviin soluihin lähtötiedot, joita ovat tehokerroin (induktiivinen/kapasitiivinen), liittymiskaapeli ja sen pituus, kiinteistön huipputeho, liittymän suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta  $I_{k3,max}$ , liittymän pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta  $I_{k1,min}$  ja pääsulakkeiden koko.

Syötettyjen lähtötietojen perusteella määritetään:

- Pääkeskuksen silmukkaimpedanssi kaavalla 15

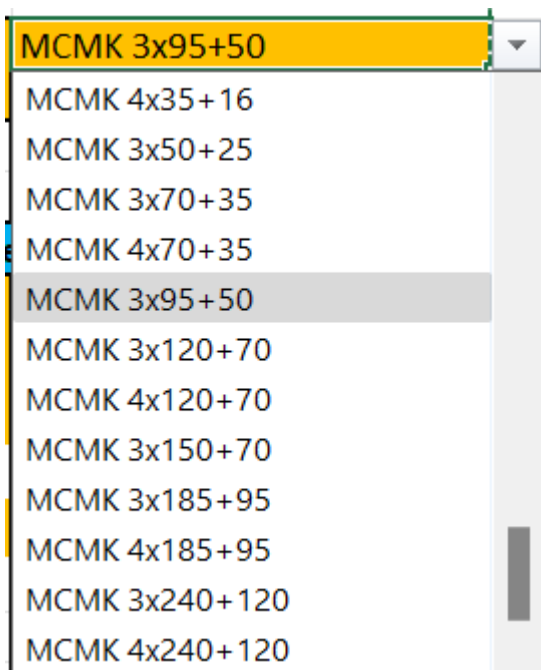
$$Z_{k,PK} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{k1,min}} \quad (15)$$

- Virtapiirin mitoitusvirta  $I_b$  kaavalla 3
- Johtimen jatkuva kuormitettavuus käytettävän suojalaitteen mukaan (taulukon 4 arvot)
- Vaihejännite ja pääjännite jännitteenalenema huomioituina
- Jännitteenalenema kaavan 11 mukaan

OHJE		
Syötä tarvittavat lähtötiedot tämän värisiin kenttiin		
Syötä tehokerroin (kiinteistöissä yleensä 0,95). Valitse joko induktiivinen tai kapasitiivinen kuorma.	<b>TEHOKERROIN PF(cosφ)</b>	<b>IND/KAP</b>
	0,95	IND
Valitse liittymiskaapeli luettelosta solussa C8 Syötä liittymiskaapelin pituus metreinä	<b>Liittymiskaapeli</b> <b>Liittymiskaapelin pituus (m)</b>	MCMK 3x95+50 38
<b>Pääkeskus</b>		
Syötä kiinteistön huipputeho	<b>P<sub>max</sub> (kW)</b>	110,7
Syötä liittymän suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta	<b>I<sub>k3,max</sub></b>	3612
Syötä liittymän pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta	<b>I<sub>k1,min</sub></b>	1430
Virtapiirin mitoitusvirta	<b>I<sub>b</sub> (A)</b>	168,39
Valitse suojalaitteen nimellisvirta luettelosta solussa C17	<b>I<sub>n</sub> (A)</b>	200
Johtimen jatkuva kuormitettavuus	<b>I<sub>z</sub> (A)</b>	221
Pääjännite	<b>U (V)</b>	394,09
Vaihejännite	<b>U<sub>v</sub> (V)</b>	227,53
Jännitteenalenema	<b>ΔU (V)</b>	2,47
Suhteellinen jännitteenalenema	<b>Δu (%)</b>	0,62
Pääkeskuksen impedanssi	<b>Z<sub>PK</sub></b>	0,15

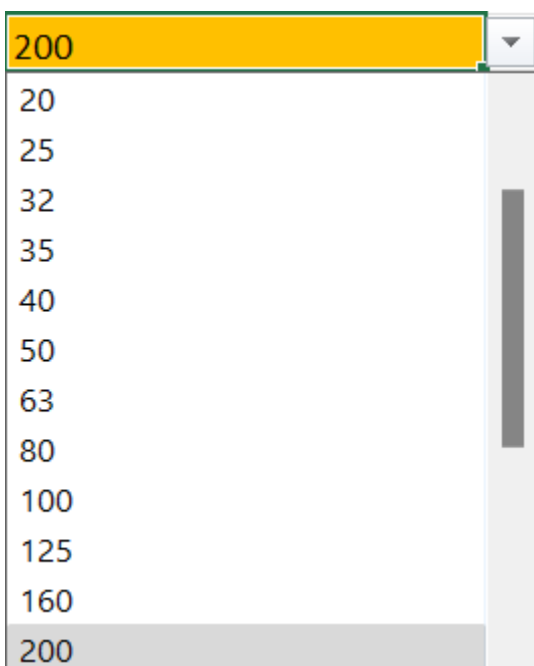
KUVA 12. Laskentatyökalu pääkeskuksen osalta.

Kuvassa 13 on luettelonäkymä kaapelin valinnasta. Laskuriin on syötetty yleisimpien käytössä olevien kaapeleiden johdinvakiot.



KUVA 13. Kaapelin valinnan luettelonäkymä.

Kuvassa 14 on luettelonäkymä suojalaitteen nimellisvirran valinnasta. Vaihtoehtoina on sulakekoot 6 ampeerista 1250 ampeeriin.



KUVA 14. Suojalaitteen nimellisvirran valinnan luettelonäkymä.

Kuvassa 15 on esitettyä laskuri latauskeskuksen osalta. Laskentatyökaluun syötetään oranssilla pohjalla oleviin soluihin lähtötiedot, joita ovat nousujohto ja sen pituus, latauskeskuksen huipputeho ja käytettävän suojalaitteen tyyppi. Näiden lähtötietojen perusteella laskentatyökalu määrittää samat arvot, kuin pääkeskuksella, ja latauskeskuksen pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran ( $I_{k1,min}$ ). Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta määritetään kaavalla 7.

Lisäksi käytettävän suojalaitteen perusteella pienimmät sallitut oikosulkuvirrat 0,4 s ja 5,0 s poiskyt-kentäajoilla (kuva 17).



## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön teoriaosuudessa tarkoituksena oli perehtyä sähköautojen lataustapoihin ja selvittää pelastusviranomaisten ohjeistusta sähköautojen latauspisteiden jännitteettömäksi tekemisestä ja perehtyä kiinteistön sähköverkon teoriaan syventymällä kiinteistön sähköverkon yleiseen rakentamiseen, kiinteistön huipputehon määrittämiseen, ylivirtasuojaukseen, syötön nopeaan poiskytkentään, johtojen valintaan ja niiden kuormitettavuuksiin ja jännitteen alenemaan. Opinnäytetyössä selvitettiin sähköautojen latausjärjestelmiin liittyviä asioita, joita tulee vastaan suunnittelussa, kuten kiinteistön vapaan käytettävissä olevan tehokapasiteetin selvitys, kaapelimitoituksiin liittyviä selvityksiä, uuden pääkeskuksen maadoituksen toteutuksen selvitys ja vikavirtasuojaus sähköautojen latauspisteissä.

Teoriaosuudesta oli saatavilla paljon tietoa, ja teoriaa käsiteltiin aika laajasti. Haasteita teoriaosuuden kirjoittamisessa aiheutti johdonmukaisuus ja teoriaosien käsittelyjärjestys. Haastavaa teorian kirjoittamisessa oli myös päättää, mistä aiheista kirjoittaa ja kuinka paljon. Tärkeimpinä lähteinä toimivat standardit, sekä standardien pohjalta kirjoitetut käsikirjat. Selvitykset sähköautojen latausjärjestelmien suunnitteluun liittyen onnistuivat enimmäkseen helposti kirjoitetun teorian pohjalta. Laskentatyökäluä tehdessä oppi hyödyntämään kirjoitettua teoriaa ja kaavoja. Laskentatyökäluun olisi voinut lisätä myös kaapelimitoitus toiminnon, joka huomioisi käytettävät asennustavat ja niiden korjauskertoimet. Taulukot korjauskertoimille olisi ollut valmiina opinnäytetyön teoriaosuudessa ja käytettävien suojalaitteiden vaatimat johtojen jatkuvat kuormitettavuuden laskentatyökäluun tulee automaattisesti. Pelastusviranomaisten ohjeistusta kysyttiin opinnäytetyötä varten pelastuslaitokselta, mutta valitettavasti heiltä ei saatu vastausta riittävän nopeasti, mutta pelastuslaitosten kumppanuuks verkoston tekemästä ohjeesta sai hyvät yleispätevät ohjeet.

Opinnäytetyön toteuttaminen onnistui hyvin. Sain opinnäytetyön tekemisen aikana paljon tietoa sähköautoista ja niiden latauspisteiden suunnittelusta, kiinteistön sähköverkon teoriasta ja Excel-laskurin tekemisestä. Opinnäytetyön keskeiset tavoitteet onnistuttiin saavuttamaan.

Tulevaisuudessa laskentatyökäluä voisi kehittää lisäämällä aiemmin mainitut kaapelinmitoitukset laskuriin. Lisäksi laskurin käyttöliittymää voitaisiin parantaa visuaalisesti selkeämmäksi ja mahdollisesti jopa eri alustalle. Myös käytettävien komponenttien valintamahdollisuus, joiden pohjalta tulisi tekniset tiedot laskuihin, mikä helpottaisi laskennan tarkkuutta.

## LÄHTEET

D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2022. 29. painos. Espoo: Sähköinfo Oy

Heikkinen, Antti 2015. Pienjännitesähköasennusten mitoitusyökalu. Opinnäytetyö. Tekniikan ja liikenteen ala, sähkötekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu.  
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018121822308>

Kokkolan Energia julkaisuaika tuntematon. Seuraa energiankulutustasi. Verkkajulkaisu.  
<https://www.kokkolanenergia.fi/asiakaspalvelu/omat-kulutustiedot/>. Viitattu 22.5.2024

Orrberg, Matti & Tiainen, Esa 2020. Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus. Espoo: Sähköinfo Oy

Orrberg, Matti & Tiainen, Esa 2022. Sähköasennukset 1. Espoo: Sähkötieto ry

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, Sähköautot ja latauspisteet -työryhmä. Sähköajoneuvojen latauspisteet kiinteistöissä ja pelastustoiminnan edellytysten huomioiminen. Ohje toiminnanharjoittajalle. Pdf-tiedosto. Julkaistu 14.6.2022. [https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2022-08/S%C3%A4hk%C3%B6autojen\\_latauspisteet\\_kiinteist%C3%B6ss%C3%A4\\_ja\\_pelastustoiminnan\\_edellytysten\\_huomioiminen.pdf](https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2022-08/S%C3%A4hk%C3%B6autojen_latauspisteet_kiinteist%C3%B6ss%C3%A4_ja_pelastustoiminnan_edellytysten_huomioiminen.pdf)

Salto julkaisuaika tuntematon. Løsninger for hjemmelading. Verkkajulkaisu.  
<https://www.salto.no/lade-egen-bil/hjemme>. Viitattu 20.4.2024

Sesko ry 2020. Sähköajoneuvojen latauspisteiden suojausvaatimukset. Pdf-tiedosto. Julkaistu 13.3.2020. [https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/11/Sahkoajoneuvojen\\_latausjarjestelmien\\_vikavirtasuojavaatimukset\\_2020\\_2020-03-13-1.pdf](https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/11/Sahkoajoneuvojen_latausjarjestelmien_vikavirtasuojavaatimukset_2020_2020-03-13-1.pdf). Viitattu 16.4.2024.

Sesko ry 2023. Sähköajoneuvojen lataussuositus. Verkkajulkaisu. Päivitetty 18.5.2023.  
<https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/lataussuositus/>. Viitattu 20.2.2024

Sesko ry 2024. Sähköauton latauspisteen vikavirtasuojaus. Pdf-tiedosto. Julkaistu 6.2.2024.  
<https://sesko.fi/wp-content/uploads/2024/02/Sahkoauton-latauspisteen-vikavirtasuojaus.pdf>. Viitattu 16.4.2024.

SFS 6000-4-43:2022. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4–43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS 6000-5-52:2022. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät

SFS 6000-7-722:2022. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7–722. Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö.

SFS 6000-7-722:2022. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7–722: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS 6000-8-801:2022. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8–801: Täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS

SFS 6000-8-802:2022. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8–802: Täydentävät vaatimukset. Sähköasennusten korjaus-, muutos- ja laajennustyöt.

SFS-EN IEC 61439-1. 2022. Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleisvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

ST 13.31, 2021. Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Espoo: Sähkötieto ry.

ST 51.90, 2023. Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus. Espoo: Sähkötieto ry.

ST 53.24, 2017. Ohjeita kiinteistöjen enintään 1000 V johtojen mitoituksesta ja suojauksesta. Espoo: Sähkötieto ry.

ST Käsikirja 41, 2022. Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät. Espoo: Sähkötieto ry

Sähköajoneuvojen lataussuositus - Sesko ry – (<https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-lataus-jarjestelmat/lataussuositus/>)

Sähköisen liikenteen tilannekatsaus – Q1/2024. Sähköinen liikenne ry. Pdf-tiedosto. Julkaistu 24.4.2024. [https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2024%20Q1%20Sa%CC%88hko%CC%88inenLiikenne%20tilannekatsaus%202024%2004%2024%20jaettava\\_0.pdf](https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2024%20Q1%20Sa%CC%88hko%CC%88inenLiikenne%20tilannekatsaus%202024%2004%2024%20jaettava_0.pdf)

LIITE 1: SULAKKEIDEN SUURIMMAT SALLITUT NIMELLISVIRRAT NIIDEN TOIMIESSA OIKOSULKUSUOJANA. JATKOJEN JA PÄÄTTEIDEN OIKOSULKUKESTOISUUS TARKASTETTAVA ERIKSEEN. (D1-2022 KÄSIKIRJA RAKENNUSTEN SÄHKÖASENNUKSISTA 2022, 142–144.)

1	2	3
Johdon poikkipinta mm <sup>2</sup>	Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	Am-sulake
Kuparijohdin, PVC-eristys (esim. MMJ, MK, yms.) <sup>1</sup>		
0,75	10	-
1	16	-
1,5	25	10
2,5	32	16
4	40	25
6	63	40
10	80	63
16	125	100
25	200	160
35	250	200
50	315	315
70	400	400
95	500	500
120	630	630
150	800	800
185	1000	1000
240	1000	1250
300	1250	1250

1) Sulake valitaan johdon poikkipinnalta pienimmän johtimen mukaan.

1	2	3
Johdon poikkipinta mm <sup>2</sup>	Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	Am-sulake
Kuparijohdin, PVC-eristys, konsentrisen kuparijohdin (esim. MCMK)		
n x 1,5 + 1,5	25	10
n x 2,5 + 2,5	32	16
n x 4 + 4	40	25
n x 6 + 6	63	40
n x 10 + 10	80	63
n x 16 + 16	125	100
n x 25 + 25	160	125
n x 35 + 16	160	125
n x 50 + 25	250	200
n x 70 + 35	315	250
n x 95 + 50	400	315
n x 120 + 70	5500	500
n x 150 + 70	500	500
n x 185 + 95	630	630
n x 240 + 120	800	800

(jatkuu)

(jatkuu)

1	2	3
Johdon poikkipinta mm <sup>2</sup>	Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	Am-sulake
Alumiinijohtimet, PVC-eristys (esim. AMMK) <sup>1</sup>		
16	100	63
25	125	100
35	200	125
50	250	200
70	315	250
95	400	315
130	500	400
150	630	500
185	630	630
240	800	800
300	1000	1000
400	1000	1250
500	1250	1250
630	1250	1250
800	1250	1250

1) Sulake valitaan johdon poikkipinnalta pienimmän johtimen mukaan.

1	2	3
Johdon poikkipinta mm <sup>2</sup>	Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	Am-sulake
Alumiinijohtimet, PEX-eristys (esim. AXMK) <sup>1</sup>		
16	125	80
25	160	125
35	250	200
50	315	250
70	400	315
95	500	500
130	630	630
150	630	630
185	800	800
240	1000	1000
300	1250	1250
400	1250	1250
500	1250	1250
630	1250	1250
800	1250	1250

1) Sulake valitaan johdon poikkipinnalta pienimmän johtimen mukaan.

(jatkuu)

(jatkuu)

1	2	3
Johdon poikkipinta mm <sup>2</sup>	Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	Am-sulake
Alumiinijohtimet, PEX-eristys + konsentrinen kuparijohdin (esim. AXCMK)		
3 x 16 Al + 10 Cu	125	80
3 x 35 Al + 10 Cu	160	125
3 x 70 Al + 21 Cu	315	250
3 x 120 Al + 41 Cu	500	400
3 x 185 Al + 57 Cu	630	500
3 x 300 Al + 88 Cu	800	800