



Sähkötekniset laskelmat asuin- kiinteistössä

Tapani Mäkipää

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
Sähköinen talotekniikka

MÄKIPÄÄ, TAPANI:
Sähkötekniset laskelmat asuinkiinteistössä

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Toukokuu 2022

Työn tarkoituksena oli luoda ohjeistava dokumentti erilaisista sähköteisistä laskelmista, joita asuinkiinteistön sähkösuunnitteluprosessin aikana tulisi tehdä. Työ rajattiin kiinteistön tehonmitoitukseen, suojalaitteiden määrittämiseen, kaapelien mitoitukseen ja automaattisen poiskytkennän varmistamiseen.

Sähkösuunnitteluprosessin aikana tehtävät sähkötekniset laskelmat toimivat yhtenä tärkeimmistä toimenpiteistä kiinteistöjen toimivuuden ja turvallisuuden kannalta. Laskelmien tuloksia käytetään perustana erilaisille suunnittelun aikana tehtäville valinnoille ja ratkaisuille. Laskelmien tuloksilla suunnittelija pystyy myös todistamaan omien ratkaisujen oikeellisuuden.

Työssä käsiteltävistä laskelmista on olemassa paljon valmiita laskentamalleja ja erilaisia kokemusperäisiä nyrkkisääntöjä. Työssä pyritään esittämään laskentaa mahdollisimman perusteellisesti, jotta lukijan ei tarvitsisi turvautua aikaisempaan, kokemusperäiseen tietoon.

Laskennan tuloksien oikeellisuutta verrattiin standardeissa esitettyihin arvoihin, millä varmistettiin suunniteltujen järjestelmien toimivuus ja turvallisuus. Lopputuloksena työstä itsessään muodostui kattava dokumentti, johon on kerätty suuri määrä tietoa tehdyn laskennan pääperiaatteista sekä siinä käytettävistä standardeista.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Electrical Systems

MÄKIPÄÄ, TAPANI:
Electrotechnical Calculations in a Residential Building

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 1 pages
May 2022

Electrotechnical calculations that are made during an electrical design process function as one of the most important procedures in ensuring the functionality and safety of a residential building. The results of the calculations are used as foundation for different choices and solutions during the designing process.

The objective of the thesis was to create an instructional document for different electrotechnical calculations which should be done during the electrical design process. The thesis was outlined to contain the calculations for the maximum power consumption of a building, the specifications of electrical safety devices, dimensioning electrical cables, and ensuring the functioning of the automatic interruption of current.

In this thesis, the calculations were based and carried out on the existing floor plans of a residential building, which made it possible to highlight the variables caused by the initial data of the building in question. The calculations were carried out in a manner that mimics a real-life electrical design process.

The results of the calculations were compared to the values set in electrical standards, which was done to ensure that the designed systems were functional and safe. This comparison of the results proved the correctness of the methods used in the calculations. The validity of the used methods was highly crucial because of the instructional nature of the thesis.

In the end, the thesis itself developed into a comprehensive document in which a lot of information regarding the main principals of the calculations and the used standards were compiled. While the thesis covers a vast amount of information, it should be noted that these calculations have various details that were not covered. This exclusion of certain topics was made consciously because of the already extensive amount of content in the thesis.

Key words: electrical design, calculations, residential building

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TEORIA	6
2.1	Hetkellinen huipputeho.....	6
2.1.1	Yleisimmät ja suurimmat sähköenergian tarpeet.....	7
2.1.2	Laiteryhmien huipputehon määrittäminen.....	8
2.1.3	Tehon tasaus- ja yhdenaikaisuuskertoimet	9
2.1.4	Hetkellisen huipputehon määrittäminen ST 13.31 laskentamallin avulla.....	12
2.2	Liittymäkoon ja suojalaitteiden määrittäminen.....	13
2.2.1	Liittymäkoon mitoitus.....	13
2.2.2	Ylikuormitussuojauksen määrittäminen	16
2.3	Johdonmitoitus.....	18
2.4	Automaattinen poiskytkentä	22
3	REFERENSSIKOHTTEEN ESITTELY.....	29
4	LASKELMAT.....	30
4.1	Tehonmitoitus.....	30
4.2	Liittymäkoon ja suojalaitteiden määrittäminen.....	36
4.3	Johdonmitoitus.....	38
4.4	Automaattinen poiskytkentä	40
5	POHDINTA	46
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	48
	Liite 1. Johdonmitoitukset kiinteistön laitteille.....	48

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä esitetään erilaisia sähkötekniisiä laskelmia, joita sisältyy asuinkiinteistön sähkösuunnitteluprosessiin. Työssä hyödynnetään omakotitalon pohjapiirustusta, jonka avulla pystytään havainnollistamaan suunniteltavan kohteen vaikutusta laskelmien tuloksiin. Tarkoituksena työssä on luoda lukijalle selkeä kuva siitä, miten ja miksi erilaisia laskelmia tehdään. Työssä pohditaan esimerkkikohteeseen laskettuja tuloksia ja niiden vaikutusta suunnitteluprosessiin.

Työssä tehtyihin laskelmiin sisältyy kiinteistön tehonmitoitus, suojalaitteiden määrittäminen, kaapelien mitoitus ja automaattisen poiskytkennän varmistaminen. Työstä on rajattu pois jännitteenaleneman laskeminen ja mahdollisten sähkön pientuotantojärjestelmien vaikutus kiinteistön tehonmitoitukseen.

Usein erilaisia työssä käsiteltäviä laskelmia tehdään valmiilla laskentapohjilla, jotka eivät välttämättä sovellu kaikkiin kohteisiin. Tämä saattaa johtaa melko laajaan kiinteistön ja järjestelmien ylimitoitukseen, jos suunnittelua tekevä henkilö ei ole tietoinen laskelmien teoriasta.

Opinnäytetyö on tarkoitettu niille henkilöille, jotka tarvitseva lisätietoa tai selvennystä erilaisista sähkötekniisistä laskelmista liittyen asuinkiinteistön sähkösuunnitteluun.

2 TEORIA

Teoria osiossa käydään läpi, jokaisen työhön sisältyvän laskelman kaavat ja kerrotaan laskennan pääperiaatteita. Teoriaan viitataan myöhemmissä osioissa, joissa laskentaa tehdään.

Osiossa tullaan käymään työhön sisältyvien asioiden teoria läpi myöhempää laskentaprosessia myötäilevällä tavalla.

2.1 Hetkellinen huipputeho

Hetkellisellä huipputeholla tarkoitetaan kiinteistön suurinta hetkellistä sähköenergian käyttömäärää. Huipputeho mitoitetaan kiinteistössä ja järjestelmissä, jotta voidaan määrittää sulakekoot kiinteistöjä tai järjestelmiä palveleville keskuksille. Huipputehon määrittämiseen ei ole yhtä oikeaa tapaa ja se on yksi suunnittelu-prosessin vaihe, joka sisältää paljon kokemukseräisiä oletuksia. Tässä työssä on esitetty vain yksi monesta mahdollisesta tavasta tehdä kiinteistön tehonmitoitusta. Huipputehoa mitoittaessa suunnittelijan tulee perehtyä kiinteistön sähköisiin järjestelmiin ja pystyä määrittämään hetki, jolloin sähköenergian tarve on huipussaan. Hetkellisen huipputehon mitoitus asuinkiinteistön sähköjärjestelmiä suunnitellessa mahdollistaa liittymäkoon määrittämisen. Jos liittymäkoko ylimitoitetaan, sähköverkon perimä liittymämaksu kasvaa. Liittymän alimitoitus voi johtaa vikatilanteilta ja ylikuormitukselta suojaamiseen tarkoitettujen sulakkeiden palamiseen täysin normaalin käytön yhteydessä. Liittymäkokoja määrittäessä tulisi aina huomioida mahdolliset kiinteistön tulevaisuuden tehon tarpeet ja mahdollistaa kiinteistön joustava käyttö. Hetkellistä huipputehoa määrittäessä laskettavia sähköenergia määriä käytetään myös kaapeleiden ja suojalaitteiden mitoittamiseen.

Rakennusten sähköliittymien mitoitusta tutkivassa työssä todettiin, että tutkimuksen kohteena olleissa kiinteistöissä esiintyi yli- ja alimitoitusta. Työssä tehtyjen mittausten perusteella 15 %:ssa kiinteistöjä oli liittymän tehokapasiteetista hyödynnetty alle 30 % ja 6 %:ssa kiinteistöjä huipputeho ylitti liittymistehon. Kohteita,

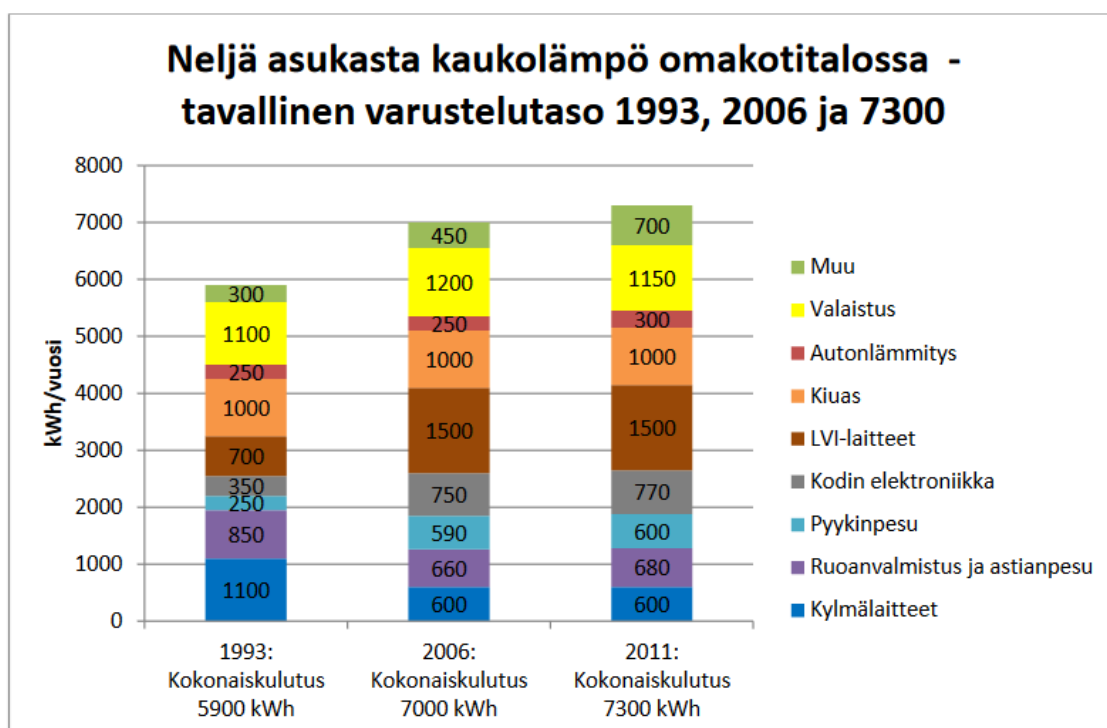
joiden huipputeho oli 80 %–100 % liittymistehosta oli myös 6 %. (Tommi Eckert 2019, 74–75). Näistä tuloksista voidaan päätellä, että ylimitoittaminen on alimitoitusta yleisempää ja tämä johtuu mitä luultavammin siitä, että ylimitoituksen yhteydessä syntyvät lisäkulut siirtyvät kiinteistön käyttäjälle ja ylimitoitusta on vaikea todeta rakennusvaiheessa ilman kattavaa tietoa rakennuksen toiminnasta.

Energiaviraston verkkopalveluehtojen (VPE) mukaan pääsulakkeiden nimellisvirtaa tai sovittua liittymistehoa ei saa ylittää edes hetkellisesti, vaikka sulakkeet tai muut verkon komponentit sen kestäisivät. (ST 13.31 15.4.2020,2)

2.1.1 Yleisimmät ja suurimmat sähköenergian tarpeet

Valaistus ja pistorasiat ovat kaikista yleisimpiä sähköenergiaa kuluttavia kohteita asuinrakennuksissa, koska ne löytyvät joissain määrin joka kohteesta. Asuinrakennuksien sähkönkäyttöä tutkivassa selvityksessä valaistus ja erilaiset pistorasia-laitteet kattoivat noin 35 % omakotitalon vuosittaisesta sähkönkulutuksesta vuonna 2011. (Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011 26.2.2013,40).

Taulukko 1. Sähkönkulutus taulukko (Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011 26.2.2013,40)



Asuinkiinteistössä suurimpia yksittäisiä sähköenergiaa kuluttavia laitteistoja ovat kiinteistön lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto, kodinkoneet, sähkökiuas ja ajoneuvojen lämmitys tai lataus. Vuotuinen sähkönkulutus ei ole suoranaisesti rinnastettavissa hetkellisen huipputehon määrittämiseen, mutta se antaa suunnittelijalle suuntaa antavan kuvan erilaisten laitteistojen tehontarpeista.

2.1.2 Laiteryhmien huipputehon määrittäminen

Huipputehon määrittäminen kiinteistössä tulee aloittaa laiteryhmiä tehonmitoituksella. Laiteryhmillä voidaan tarkoittaa yksittäisiä laitteita, laitteistoja tai järjestelmiä, jotka palvelevat erilaisia käyttötarkoituksia kiinteistössä. Tällaisiin laiteryhmiin voidaan jakaa esimerkiksi kiinteistön valaistus, pistorasiat, lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto, kodinkoneet, sähkökiuas ja ajoneuvojen lämmitys tai lataus.

Erilaisten yksittäisten laitteiden ja järjestelmien tehonmitoitus onnistuu usein perehtymällä erilaisten laitevalmistajien tuotetietoihin. Esimerkiksi erilaiset LVI-laitteet, sähköauton latauspaikat ja nimellisteholta suuret kodinkoneet usein sisältävät laitteiden ottamat sähkötehot niiden tuotetiedoissa.

Valaistuksen tehon määrittämiseen voidaan käyttää pistekohtaista tehonmäärittäystä, jossa suunnittelija määrittelee kiinteistön valaisin määrän ja laskee tämän avulla valaistuksen vaatiman tehon. Pistekohtaisessa mitoituksessa suunnittelija perehtyy kohteen tasokuvaan ja pyrkii määrittelemään jokaisen tilan valaisinmäärän tilan koosta ja käyttötarkoituksesta riippuen. Valaisin määrän ollessa tiedossa suunnittelija määrittää oletetun keskiarvon valaisinpisteisiin kytkettävistä valaisimien sähkötehosta. Valaisinpiste määrällä ja keskimääräisellä yhden valaisinpisteen teholla suunnittelija pystyy määrittämään kaikkien tilojen valaistuksen vaatiman tehon. Tämä pistekohtaisen menetelmä on melko toimiva, kun mitoitettava kohde on valaistusratkaisuiltaan ja rakenteiltaan melko yksinkertainen. Tämä menetelmä kasvaa erittäin työllistäväksi, jos kohteena on erittäin iso kiinteistö, jossa valaisinpisteitä on suuri määrä. Valaistuksen tehon voi laskea myös neliökohtaisesti (W/m^2), jota kutsutaan myös tehotiheydeksi. Valaistuksen neliökohtaisen tehon määrittämiseen suunnittelija voi käyttää apuna ST 13.31:ssä esitettävää EU-säädöksiin perustuvaa enimmäistehotiheys taulukkoa (ST 13.31

15.4.2020,9). Neliökohtaisella tehotehdydellä laskiessa olisi suosittelavaa käyttää aikaisemmissa kohteissa määritettyjä ja toimiviksi todettuja tehotehdyksiä. Valaistuksen todellista tehoa on asuinkiinteistössä vaikea määrittää, sillä suurimmasta osasta valaisinvalinnoista ja asennuksista vastaa loppukäyttäjä. Valaistuksen tehoa määrittäessä ei tulisi olettaa, että kiinteistön loppukäyttäjä valitsee markkinoiden energiatehokkaimmat tai uusimmat valaisimet. Tulisi myös huomioida, että asuinrakennuksissa valaistus on melko pieni osa hetkellisestä huipputehosta.

Myös pistorasioiden tehon määrittäminen voidaan tehdä pistekohtaisesti. Toisin kuin valaistuspisteissä, pistorasioihin kytkettävien laitteiden tehot vaihtelevat suuresti. Pistorasioiden kautta otettava teho on pitkälti riippuvainen pistorasian sijainnista ja sen oletetusta käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi keskiverto matkapuhelimen laturi on teholtaan 10–30 W, kun taas hiustenkuivaaja voi olla teholtaan jopa 1800 W. Suunnittelija voi jakaa pistorasiat erilaisten tilojen mukaa ja määrittää keskimääräisen tehon per pistorasia tilan käyttötarkoitusten perusteella. Tässä määrittämisessä voi käyttää apuna ST 13.31 liitteen 2 taulukoita, johon on listattu erilaisten laitteiden nimellistehoja (ST 13.31 15.4.2020,14,15,16). Edellä mainitun liitteen 2 taulukoissa ilmoitettujen laitteiden määrä on melko pieni, ja ne painottuvat nimellisteholtaan suurempiin laitteisiin. Mitä suurempi otanta jokaisen tilan laitteista on, sitä tarkempi pistorasiakohtainen teho voidaan määrittää.

2.1.3 Tehon tasaus- ja yhdenaikaisuuskertoimet

Hetkellisen huipputehon määrittämisessä käytetään lähes aina nimellistehon tasauskertoimia, jotka suunnittelija määrittelee kiinteistön sähkölaiteryhmille. Nämä kertoimet mahdollistavat laityryhmien realistisen tehon määrittämisen. Kertoimet ovat kaikille laityryhmille 0–100 % välillä. Osa kertoimista ovat pitkälti suunnittelija tekemiä oletuksia, mutta niiden valitsemiseen tulisi olla jotkin perusteet. Nimellistehon tasauskerroin ilmaisee, kuinka paljon nimellisestä tehosta on käytössä järjestelmien toimiessa normaalilla kapasiteetilla. Nämä kertoimet ovat suurimmaksi osaksi riippuvaisia kiinteistön käyttötarkoituksesta ja varustelutasosta. LVI-järjestelmien nimellistehon tasauskerroin on riippuvainen laitteiston mitoituksista ja

LVI-suunnittelijan määrittelemistä tehostusvarauksista. Esimerkiksi asuinhuoneiston ilmanvaihtojärjestelmissä tulee olla vähintään 30 % tehostusvaraa (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. 30.1.2018,16–17). Tämä lisäsvara tarkoittaa, että ilmanvaihtolaitteisto on tarkoituksella ylimitoitettu ja se voidaan ottaa huomioon ilmanvaihdon laiteryhmän nimellistehon tasauskertoimessa. Kun laiteryhmä sisältää useita laitteita täytyy laiteryhmän tasauskertoimessa ottaa huomioon ryhmän sisäisten laitteiden oletettu yhdenaikainen käyttö. Esimerkiksi normaalissa asuinkiinteistössä on harvinaista, että yli 50 % pistorasioista on käytössä samanaikaisesti. Esimerkkejä erilaisista laiteryhmien tasauskertoimista löytyy ST 13.31 liitteestä 1 (ST 13.31 15.4.2020, 13)

Laiteryhmien huipputehon määrittämisen jälkeen tulee määrittää laiteryhmien yhdenaikaisuuskerroin kiinteistön huipputehon mitoitushetkellä. Huipputehon mitoitushetkellä tarkoitetaan tilannetta, jossa kiinteistön sähköenergian tarve on oletetusti suurimmillaan. Mitoitusta tekevä suunnittelija päättelee tämän tilanteen riippuen kiinteistöstä löytyvien järjestelmien ja niiden huipputehojen perusteella. (ST 13.31 15.4.2020, 5). Useimmiten tällainen tilanne on talviaikaan, kun lämmityksen tarve on suurimmillaan. Riippuen kiinteistön lämmitysmuodosta, voi olla mahdollista, että koneellisen jäähdytyksen huipputeho on lämmitystä suurempi. Tällaisessa tilanteessa hetkellisen huipputehon tilanteeksi valitaan kesä, jolloin koneellinen jäähdytys toimii täydellä mitoitettulla kapasiteetilla. Valittu tilanne voi vaikuttaa myös muihin järjestelmiin lämmitys- ja jäähdytys laitteistojen lisäksi. Esimerkiksi valaistuksen tarve voi olla kesäaikaan pienempi ja ajoneuvojen lämmittäminen on erittäin epätodennäköistä. Niin kuin aikaisemmin määritellyt nimellistehojen tasauskertoimet, ovat yhdenaikaisuuskertoimet jotain 0–100 % väliltä.

Hetkellistä huipputehoa on myös mahdollista rajoittaa erilaisilla automaatiojärjestelmillä. Nykyään yleistyvät sähköajoneuvojen latausasemat mahdollistavat dynaamisen tehonhallinnan ajoneuvon latauksen aikana. Tällainen tehonhallinta rajoittaa kulutettua sähköenergiaa kiinteistön määritellyn huipputehon hetkellä. Tehonhallinta ei kuitenkaan rajoitu pelkästään sähköajoneuvojen latausasemiin, vaan sitä voidaan käyttää esimerkiksi sähkökiukaan hetkelliseen poiskytkentään tai lämpöpumpussa olevien sähkövastuksien sammuttamiseen. Tällaiset toimenpiteet saattavat kuulostaa epäkäytännöllisiltä kiinteistön käyttäjän näkökulmasta, mutta tulee huomioida, että hetki, jossa huipputeho saavutetaan, on luultavasti erittäin lyhyt, jolloin kiinteistön käyttäjä ei edes välttämättä huomaa mahdollisia

laitteiden poiskytkentöjä. Jos kiinteistöön suunnitellaan sähköajoneuvojen latausmahdollisuus, on tehonhallinnan käyttö lähes pakollista, mikäli halutaan pitää liittymäkoko ja siitä aiheutuvat kustannukset matalana.

Mikäli mitoituksen kohteena oleva kiinteistö sisältää useamman keskuksen, tulee suunnittelija ottaa keskusten välinen yhdenaikaisuus huomioon hetkellistä kokonaishuipputehoa määrittäessä. Keskusten palvelemien alueiden ja järjestelmien pohjalta luodaan oletetulla huipputehonhetkellä keskusten välinen yhdenaikaisuuskerroin.

Taulukko 2. Esimerkki tasaus- ja yhdenaikaisuuskertoimien käytöstä.

Laiteryhmät	Laiteryhmien tehot (kW)	Tehontauskerroin	Tasattu teho (kW)	Yhdenaikaisuus kerroin	Hetkellinen huipputeho (kW)	Hetkellinen kokonaishuipputeho
Sähkökiuas	5	1,0	5	1,0	5	28,5
Valaistus	1	0,8	0,8	0,7	0,6	
Pistorasiat	10	0,6	6	0,4	2,4	
Lämmitys	5	1,0	5	1,0	5	
Ilmanvaihto	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	
Jäähdytys	5	1,0	5	0	0	
Sähköauton lataus	11	1,0	11	1,0	11	
Muut laitteet	5	1,0	5	0,6	3	
Yhteensä	43,5		39,3		28,5	

Yllä oleva taulukko on luoto ainoastaan havainnollistamaan tehonmitoitusta prosessia, ja taulukossa esitettävät arvot eivät perustu oikean kohteen tehonmitoitukseen. Taulukosta nähdään kuitenkin, miten kummatkin kertoimet vaikuttavat kokonaishuipputehoon.

2.1.4 Hetkellisen huipputehon määrittäminen ST 13.31 laskentamallin avulla

Vaihtoehtoinen tapa asuinrakennuksen hetkellisen huipputehon määrittämiseen on ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittamiseen laadittu valmis lineaarinen laskentamalli. Laskentamallit erilaisille asuinkiinteistöille perustuvat Adato Energia Oy:n julkaisuun SA 2:08 Pienjänniteverkon ja jakeluverkon mitoittaminen. Julkaisun laskentamallit perustuvat 1980-luvulla tehtyihin kuormitusmittauksiin asuinkiinteistöissä. (ST 13.31 15.4.2020,4).

Taulukko 3. ST 13.31 Asuinkiinteistöjen laskentamallit (ST 13.31 15.4.2020,4)

Asuinrakennukset	Huipputeho ⁽¹⁾ [kW]	Huomautuksia
Kerros- ja rivitalot		A on kerrosala [m ²]
– ilman kiukaita	$P_h = B + 17 \times A / 1000$ (B = 65 kW)	Yhtälöt soveltuvat kohteisiin, joissa vähintään 15 asuntoa ja kerrosala väh. 2500 m ² . Pienemmissä taloissa B korvataan arvolla $B_x = (A_{tot}/2500) \times B \geq 30$
– huoneistokohtaiset sähkökiukaat	$P_h = B + 24 \times A / 1000$ (B = 90 kW)	
Pienet rivitalot ⁽²⁾		A on lämmitetty pinta-ala [m ²]
– ei sähkölämmitystä, mutta sähkökiuas	$P_h = 30 + 26 \times A / 1000$	
– suora sähkölämmitys, kiuas	$P_h = 30 + 64 \times A / 1000$	– käyttövedenlämmitys jatkuvasti tai yöllä
– suora sähkölämmitys ⁽³⁾	$P_h = 30 + 49 \times A / 1000$	– käyttöveden lämmitys yöllä
Omakotitalot		A on lämmitetty pinta-ala [m ²]
– ei sähkölämmitystä, mutta sähkökiuas	$P_h = 7,5 + 26 \times A / 1000$	
– suora sähkölämmitys ja sähkökiuas	$P_h = 7,5 + 64 \times A / 1000$	– käyttöveden lämmitys jatkuvasti tai yöllä
– suora sähkölämmitys ⁽³⁾	$P_h = 7,5 + 49 \times A / 1000$	– käyttöveden lämmitys yöllä
Paikoitusalueet: $P_{paikoitus} = 10 \text{ kW} + 0,5 \text{ kW/paikka} \times n_{auto}$ (n_{auto} = lämmitettyjen autopaikkojen lukumäärä) ⁽⁴⁾		
Paikoitusalueet sähköajoneuvojen vähimmäisvarauksella $P_{paikoitus} = 10 \text{ kW} + 2 \text{ kW/paikka} \times n_{auto}$ (n_{auto} = sähköistettyjen autopaikkojen lukumäärä) ⁽⁵⁾		
Sähköajoneuvojen lataus: $P_{sähköajoneuvojen\ lataus} = \frac{\text{haluttu toimitusaste latauskerralla (km)} \times 0,20 \text{ kWh/km} \times n_{auto}}{\text{latauskerran aika h}}$ ⁽⁶⁾		
Huomautukset: Liittymisjohdon virtaa määritettäessä tulee huomioida kuormituksen tehokerroin $\cos \phi$. Jos loistehon osuus on vähäinen, voidaan arvioida, että $\cos \phi = 0,96$. Tehokertoimen määrittämiseksi lähtötietona voidaan käyttää myös paikallisen verkkoyhtiön loistehonnoittelua ja loistehon ilmaisosuutta. Lineaarista laskentamallia käytettäessä tulee myös huomioida, että kuormitukset noudattavat erittäin harvoin normaalijakaamaa. Tietyn tehon ylitystodennäköisyyden arvioiminen on siis hyvin haastavaa tai jopa mahdotonta, jos käytettävissä ei ole muita tietoja kuin rakennuksen tyyppi ja arvio pinta-alasta.		

1 Ylitystodennäköisyys noin 1 %.

2 Pieniksi rivitaloiksi lasketaan talot, joissa on enintään 15 asuntoa. Alle 4 asunnon rivitalot lasketaan, kuten omakotitalot, ja saadut tulokset lasketaan yhteen.

3 Vaikka kiuasta ei asennettaisikaan, suositellaan mitoittamista kiukaalle myöhemmää käyttöä ajatellen.

4 Kaava huomioi vain moottorilämmittimen varautumisen.

5 Kaava soveltuu kahden tai useamman latauspisteen vähimmäistehon laskentaan.

6 Kaava soveltuu ns. älykkään latausjärjestelmän kokonaistehon mitoittamiseen, kuitenkin vähintään 2 kW/latauspiste. Katso kortti ST 51.90 Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus sekä ST-käsikirja 41 Sähköautot ja latausjärjestelmät.

Mikäli kohteeseen on tulossa kaavojen 5 ja 6 mukaan laskettuja pisteitä, niiden tehot on niistä aiheutuva kojekuormaa laskettaessa summattava keskenään.

Taulukosta huomataan, että laskentamallissa asuinrakennuksen huipputehoon vaikuttaa pääasiassa sähkölämmityksen ja sähkökiukaan olemassaolo sekä lämmitettävä pinta-ala. Taulukosta löytyy myös ohjeet ajoneuvojen lämmitys- ja latauspaikkojen tehon mitoittamiseen.

Kyseistä lineaarista laskentamallia käyttäessä on kuitenkin hyvä huomioida, että taulukkojen laskenta perustuu todella vanhoihin tutkimustuloksiin, joten voidaan olettaa, että laitteiden energiatehokkuudet ja kiinteistöjen energiankäyttöprofiilit ovat muuttuneet huomattavasti. Vaikka nykyajan kiinteistöt ovat varmasti vanhoja kohteita energiatehokkaampia, on sähkölaitteiden ja järjestelmien määrä kasvanut. Esimerkiksi ilmanvaihtoon liittyvät vaatimukset ovat tiukentuneet vuosikymmenten saatossa ja kyseiset järjestelmät kuluttavat enemmän sähköenergiaan verrattuna vanhaan painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Lisäksi myös kuluttajaelektroniikan räjähdysmäinen kasvu kotitalouksissa on varmasti lisännyt asuin-kiinteistöjen sähköenergian kulutusta. Taulukossa laskettavan huipputehon ylitystodennäköisyydeksi on merkattu 1 %. Jos ainoastaan talon lämmitysmuoto, sähkökiuas ja pinta-ala vaikuttavat laskettavaan huipputehoon, on erittäin todennäköistä, että tätä kaavaa hyödyntämällä asuinrakennuksen liittymisteho tullaan joissain tapauksissa ylivoimaisesti ylittämään.

2.2 Liittymäkoon ja suojalaitteiden määrittäminen

Kappaleessa käydään läpi liittymän mitoittamiseen ja ylikuormitussuojaukseen liittyvää asiaa.

2.2.1 Liittymäkoon mitoitus

Kiinteistön liittymäkoko määräytyy kiinteistön oletetun huipputehon mukaan. Liittymäkoko vaikuttaa sähköverkkoyhtiön perimään liittymismaksuun ja voi vaikuttaa myös sähkönsiirron hintaan. Eri kokoisten liittymien vaikutus sähkönsiirron hintaan vaihtelee verkkoyhtiö kohtaisesti. Liittymismaksuun vaikuttaa myös sähköverkkoon liitettävän kiinteistön sijainti, koska sähköverkkoyhtiöiden palvelualueet on useimmiten jaettu vyöhykkeisiin. Vyöhykkeet kuvastavat sähköverkon kattavuutta ja tiheyttä. Jos liitettävä kiinteistö sijaitsee verkon ulommilla vyöhykkeillä, on liittymän hinta useimmiten korkeampi kuin esimerkiksi taajama-alueella. Isompien liittymäkokojen saatavuus ulommilla vyöhykkeillä voi myös vaihdella.

Liittymäkoon eli pääsulakkeiden nimellisen virran arvo määritellään pitkälti samalla tavalla kuin minkä tahansa laitteiston suojalaitteet. Kiinteistön sähköliittymän tapauksessa hetkellisen huipputehon avulla voidaan laskea yksittäisen vaiheen virta seuraavalla kaavalla:

$$I_v = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} \quad (1)$$

Kaavassa I_v on yksittäisen vaiheen suunniteltu virta, joka lasketaan käyttäen tehoa P , pääjännitettä U ja tehokerrointa $\cos \varphi$.

Liittymäkoon mitoituksessa kaavassa olevalla teholla tarkoitetaan hetkellistä huipputehoa, joka kiinteistölle on mitoitettu. Jännite on normaali pienjänniteverkossa käytettävä pääjännite eli 400 voltia. Tehokerroin $\cos \varphi$ on pätötehon ja näennäistehon suhdeluku kiinteistössä. Suuret loisteho määrät ovat harvinaisia normaaleissa asuinkiinteistöissä, joka johtaa melko suureen tehokertoimeen. Jos loistehon osuus kiinteistössä on vähäinen, voidaan tehokertoimen arvoksi arvioida noin 0,96. (ST 13.31 15.4.2020,4) Tätä samaa kaavaa voi käyttää kaikkien symmetristen kolmivaiheisten järjestelmien tai keskuksien ottamien vaihevirtojen määrittämiseen, kun kyseiset tehot ja tehokertoimet on tiedossa.

Kiinteistön hetkellisen huipputehon perusteella lasketun vaihevirran avulla voidaan määrittää suoraan pääsulakkeiden virran nimellisarvo. Sähköverkkoyhtiöiden tarjoamat pienjänniteverkko liittymät ovat seuraavanlaiset.

Taulukko 4. Tampereen sähköverkon tarjoamat liittymäluokat. (Sähköverkkoon liittyminen, tekninen ohje Tampereen sähköverkko,4)

Liittymäluokka	Pääsulake
	A
L025	3x25
L035	3x35
L050	3x50
L063	3x63
L080	3x80
L100	3x100
L125	3x125
L160	3x160
L200	3x200
L250	2 x (3 x 125)
L320	2 x (3 x 160)
L400	2 x (3 x 200)
L500	2 x (3 x 250)
L630	3 x (3 x 200)
L750	3 x (3 x 250)
L1000	4 x (3 x 250)

Useimmiten kun liittymän vaihevirtaa lasketaan, on lopputuloksena jokin arvo kahden eri liittymäkoon välillä. Liittymäkoon nimellistä virtaa ei saa ylittää verkon palveluehtojen mukaan, joten silloin valitaan seuraavaksi isompi liittymäkoko. Jos laskettu vaihevirta on erittäin lähellä sulakkeiden nimellistä virtaa, tulee suunnittelijan olla tarkkana, että aikaisemmin tehdyssä tehonmitoituksessa on varmasti huomioitu riittävän laajasti mahdollinen tehonlisäys ja järjestelmien muunneltavuus.

Pääsulakekoon lisäksi liityntäluokka määrää kiinteistöä syöttävän kaapelin koon seuraavan taulukon mukaisesti.

Taulukko 5. Ensisijaiset liittymisjohdot liittymislukittain (Sähköverkkoon liittymisen, tekninen ohje Tampereen sähköverkko,3)

Liittymän koko (A)	Ensisijainen kaapelointi	Vaihtoehtoinen kaapelointi	Vaihtoehtoinen kaapelointi
<i>Jos muuta ei ole erikseen mainittu, niin liittymiskaapelit voidaan asentaa maassa vierekkäin tai vierekkäin oleviin putkiin. Liittymäkaapeleiden asennustavan ja kuormitettavuuden vastuu on liittymän haltijan suunnittelijalla/sähköurakoitsijalla. Liittymäkaapelointi voidaan toteuttaa myös toisin mm. kuparikaapeleilla, mutta siitä on sovittava erikseen ja mitoituksista/asennustavasta vastaa liittyjä.</i>			
25	AX25		
35	AX25		
50	AX25		
63	AX25		
80	AX95		
100	AX95		
125	AX95		
160	AX185		
200	AX185		
250	2 x AX185	AX300	AX185 suoraan maahan asennettuna
320	2 x AX185	AX300 suoraan maahan asennettuna (315A)	
400	2 x AX185	2 x AX300	
500	2 x AX300	2 x AX185 suoraan maahan asennettu, kaapeleiden väli 25 cm	3 x AX185 [3x(3x160A) = 480A]
630	3 x AX300 (600 A)	3 x AX185 suoraan maahan asennettu, kaapeleiden väli 25 cm (600 A)	
750	3 x AX300		
1000	4 x AX300 putkiin asennettuna, putkien väli 25 cm	4 x AX300 suoraan maahan, kaapeleiden väli 25 cm	5 x AX300 [5x(3x200A)]

Joissain tapauksissa suunnittelija voi nähdä tarpeen valita liittymäluokalle määrätyn ensisijaista kaapelia isomman kaapelikoon tai useamman kaapelin. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi kerrostalokiinteistössä, johon on laskelmien mukaan valittu 3x200A sulakkeet. Tälle liityntäkoolle on ensisijainen kaapeli AX185 alumiinikaapeli, mutta pykälää isomman liittymän kaapeli on 2xAX185. Suurempi liittymä vaatii siis kaksi kaapelia ja jos liityntäluokkaa halutaan nostaa tulevaisuudessa, vaatii se uuden kaapelin kaivamisen kiinteistölle. Tällaisissa tilanteissa voi olla järkevää ottaa suurempaa liityntäluokkaa vastaava kaapeli tai kaapelit.

2.2.2 Ylikuormitussuojauksen määrittäminen

Kiinteistön suojalaitteiden tehtävä vikasuojauksen lisäksi on suojata niihin kytketyt kaapeleita ylikuormitukselta. Kaapeleiden ylikuormittamisella tarkoitetaan, kun kaapelissa kulkeva virta on liian suuri kaapelin kokoon nähden. Liian suuret virrat aiheuttavat kaapelin kuumenemisen ja mahdollisen vaurioitumisen, joka voi johtaa jopa tulipaloon. Kaapeleiden ylikuormitus johtuu useimmiten johtimien ja suojalaitteen epäonnistuneesta yhteensovittamisesta. Tällä tarkoitetaan, että suojalaitteen suojaamassa piirissä kulkeva virta on liian suuri johtimen kokoon

nähdän. Suojalaitteiden määrittäminen tehdään useimmiten laskemalla suojattavan piirin virta ja valitsemalla suojalaitteen nimellisvirta tämän tiedon pohjalta. Laskenta ei ole tarpeen, jos suojattavan piirin virta on jo selvillä. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi, että laitevalmistaja ilmoittaa tuotetiedoissa suojalaitteiden koon.

Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa gG tyyppin tulppa- ja kahvasulakkeella tai johdonsuojakatkaisijalla. Eroa näillä suojalaitteilla on niiden oikosulkuvirran katkaisukyky. gG tyyppin suojalaitteilla on lähtökohtaisesti huomattavasti parempi oikosulkuvirran katkaisukyky. (Lauri Timlin 2020, 21, 36). Oikosulkuvirran katkaisukyky on oleellinen teollisuudessa, sähköverkoissa ja isommissa asuinkiinteistöissä. Pienemmissä asuinrakennuksissa johdonsuojakatkaisijoiden katkaisukyky on lähtökohtaisesti riittävä.

Piirin suojalaitteiden nimellisvirta voidaan määrittää laskemalla piirin vaihevirta. Suojattavan piirin ollessa kolmivaiheinen voidaan käyttää suoraan kaavaa 1, jolla saadaan laskettua yhden vaiheen virta piirin kolmivaiheisen tehon avulla. Laskiessa yksivaiheista piiriä, joutuu kaavaa muuttamaan seuraavaan muotoon:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} \quad (2)$$

Yksivaiheisen piirin kaavassa I tarkoittaa piirin suunniteltua virtaa ja U piirin jännitettä, joka on normaali yhden vaiheen jännite 230 V. P on kyseisen piirin teho. Kaavassa $\cos\varphi$ on piirin tehokerroin.

Kaapelia ylikuormitukselta suojaavien laitteiden määrittämisessä tulee täyttyä seuraava standardin SFS 6000-4-43 asettama ehto:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (3)$$

Kaavassa I_B on piirin suunniteltu virta, joka on tehosta laskettu virta esim. kaavan 1 tai 2 mukaan. I_n on suojalaitteen mitoitusvirta, joka on useimmiten suojalaitteen nimellisvirta. I_z tarkoittaa johtimen jatkuvaa kuormitettavuutta (SFS 6000-4-43:2017,8). Kaavasta ilmenee, että valitun suojalaitteen nimellisvirta tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin piirin laskettu virta. Nähdään myös, että johtimen

jatkuva kuormitettavuus tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin suojalaitteen nimellisvirran arvo. Kaapelin kuormitettavuuden laskentaa esitetään seuraavassa kappaleessa.

Joissain tapauksissa suojaava laite määräytyy suoraan ryhmän tai laitteen mukaan. Esimerkiksi pistorasia ryhmät ovat aina nimellisvirraltaan enintään 16 A suojalaitteen takana, koska Suomessa käytettävät pistorasiat on tarkoitettu korkeintaan 16 A nimellisvirralle. (SFS 5610,12). Pistorasiaryhmissä suojalaitteen nimellistavirta määräytyy käytettävän kaapelin ja pistorasioiden virran kestävyys mukaan. Useimmiten pistorasioihin kytkettävien johtimien suurin mahdollinen poikkipinta-ala on 2,5 mm². Jos siis pistorasiaryhmää suojaava laite on nimellisvirraltaan isompi kuin 16 A, johtaa se siihen, että kaavassa 3 esitetty ehto ei täyty johtimen kuormitettavuuden osalta.

On myös yleistä, että valaisinryhmille määritetään suojalaitteeksi 10 A nimellisvirraltaan oleva johdonsuojakatkaisija. 10 A on pienin yleisessä käytössä olevista johdonsuojakatkaisijoista ja tätä pienemmät koot ovat huomattavasti kalliimpia ja huonommin saatavilla. Yleisesti valaisinryhmät ovat asuinkiinteistöissä pieniä muutaman valaisinpisteen ryhmiä, joiden suojaamiseen 10 A johdonsuoja soveltuu hyvin.

2.3 Johdonmitoitus

Johdonmitoitus on toimenpide, jolla suunnittelija varmistuu aiemmin lasketun ylikuormitussuojauksen toimivuudesta. Kun piirin ylikuormitussuoja on valittu aikaisemmin lasketun piirin virran mukaan, tulee suunnittelijan valita kyseiselle piirille sopiva johdinkoko. Johdon tai kaapelin yhteensopivuus tulee todentaa laskennallisesti tässä kappaleessa esitetyllä tavalla.

Johdonmitoituksessa määritellään kaapelin yhden johtimen jatkuva kuormitettavuus, jonka avulla varmistetaan, että piiriä suojaava laite toimii, ennen kuin sen suojaama kaapeli vaurioituu ylivirran seurauksena. Kaavan 3 mukaan johtimen jatkuva kuormitettavuus tulee olla suurempi kuin sitä suojaavan laitteen nimellis-

virta. Johtimen jatkuvaan kuormitettavuuteen vaikuttaa piiriä suojaavan sulakkeen koko, sulakkeen tyyppi, asennusympäristön lämpötila ja asennustapa. Johtimen ja suojalaitteen yhteensovituksen tulee täyttää seuraava standardin SFS 6000-4-43 asettama ehto:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (4)$$

Kaavassa I_2 on virran arvo, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen sille määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa eli toimintarajavirta. Tämä tavanomaisen toiminta-ajan virran arvo on annettu laitestandardeissa tai valmistajan tuotetiedoissa. I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus (SFS 6000-4-43:2017, 8). Virran I_2 arvo on riippuvainen sulakkeen koosta ja tyypistä esimerkiksi taulukkojen 6 ja 7 mukaan.

Taulukko 6. Johdonsuojakatkaisijoiden toimintavirrat (Karjala 2018,11)

Johdonsuojakatkaisijan toimintarajavirrat							
Tyyppi	Mitoitusvirta I_N	Terminen laukaisu		Aika	Magneettilaukaisu		Aika
		Pitovirta	I_2		Pitovirta	Toimintavirta	
B	$\leq 63 \text{ A}$	$1,13 I_N$		$>1 \text{ h}$	$3 I_N$		$>0,1 \text{ s}$
			$1,45 I_N$	$< 1 \text{ h}$		$5 I_N$	$<0,1 \text{ s}$
C	$\leq 63 \text{ A}$	$1,13 I_N$		$>1 \text{ h}$	$5 I_N$		$>0,1 \text{ s}$
			$1,45 I_N$	$< 1 \text{ h}$		$10 I_N$	$<0,1 \text{ s}$
D	$\leq 63 \text{ A}$	$1,13 I_N$		$>1 \text{ h}$	$10 I_N$		$>0,1 \text{ s}$
			$1,45 I_N$	$< 1 \text{ h}$		$20 I_N$	$<0,1 \text{ s}$

Laitevalmistajan taulukosta huomataan, että kaikkien alle 63 A mitoitusvirralta olevien johdonsuojakatkaisijoiden toimintavirrat I_2 ovat $1,45 \cdot I_n$. Vaikka toimintavirran määrittämisessä käytettävä kerroin 1,45 on sama luku kuin kaavassa 4 oleva kuormitettavuuden kerroin, ei niitä tule sekoittaa keskenään.

Taulukko 7. gG-sulakkeiden toimintavirrat (Timlin 2020,23)

gG -sulakkeen toimintarajavirrat (SFS-EN 60269-1)			
Mitoitusvirta I_N	Alempi toimintarajavirta	Ylempi toimintarajavirta = I_2	Aika
2 A ja 4 A	$1,5 I_N$	$2,1 I_N$	1 h
6 A ja 10 A	$1,5 I_N$	$1,9 I_N$	1 h
$13 A \leq I_N \leq 63 A$	$1,25 I_N$	$1,6 I_N$	1 h
$63 A < I_N \leq 160 A$			2 h
$160 A < I_N \leq 400 A$			3 h
$400 A < I_N$			4 h

Yllä olevassa taulukossa on esitetty erikokoisten gG-sulakkeiden toimintarajavirtoja. Toisin kuin johdonsuojakatkaisijoiden kanssa, toimintarajavirran määrittävä nimellisen mitoitusvirran kertoja vaihtuu sulakekoon mukaan.

Kun kaavassa 4 esiintyvä I_2 puretaan osiin, saadaan seuraava kaava:

$$I_n \cdot k_s \leq 1,45 \cdot I_z \quad (5)$$

Laajennetussa kaavassa I_n on nimellinen mitoitusvirta ja k_s on toimintarajavirran määrittämiseen käytettävä suojalaitteesta riippuva kerroin.

Jotta voidaan määrittää johtimen jatkuva kuormitettavuus I_z täytyy kaavaa 5 muokata seuraavaan tapaan:

$$\frac{I_n \cdot k_s}{1,45} \leq I_z \quad (6)$$

On hyvä huomioida, että kaavan avulla laskettu I_z ei ole vielä todellinen kuormitettavuus, jonka avulla johdinkoon valinta tehdään. Jotta saadaan todellinen kuormitettavuus, tulee huomioida esimerkiksi asennustavasta ja ympäristön lämpötilasta riippuvaiset kertoimet (SFS 6000-5-52:2017, 75). Todellinen kuormitettavuus määritetään seuraavalla tavalla:

$$I_{z'} = \frac{I_z}{C_1 \cdot C_2 \cdot \dots} \quad (7)$$

$I_{z'}$ on todellinen kuormitettavuus, joka saadaan jakamalla suojalaitteen mukaan määritetty kuormitettavuus I_z , erilaisilla asennustavasta, kuormitettavasta piiristä ja ympäristön lämpötilasta johtuvilla kertoimilla C_1 , C_2 jne. Jos piiriin vaikuttaa muita tekijöitä kuten esimerkiksi maa-asennuksissa maan lämmönjohtavuus, tulee niiden kertojat myös lisätä kaavaan.

Johdon todellisen kuormitettavuuden määrittämiseen tarvittavat tiedot löytyvät standardista SFS 6000-5-52:2017, jonka kohtiin ja taulukkoihin tässä kappaleen osiossa viitataan. Lähtökohtana määritetään standardin taulukon A.52.3 mukaan mitoitettavan kaapelin referenssiasennustapa. Lisätietoa asennustavoista löytyy kohdasta B.52.6. Kun asennustapa on määritetty, voidaan katsoa asennustapaa vastaava kohta taulukosta B.52.1. Taulukko B.52.1 sisältää kaikki referenssiasennustavat sekä linkit niitä asennustapoja koskeviin taulukkoihin. Lämpötilasta ja maan lämpöresistiivisyydestä johtuvat korjauskertoimet löytyvät taulukoista B.52.14 – B.52.15. Ryhmästä johtuvat korjauskertoimet löytyvät taulukoista B.52.17 – B.52.21. Näiden korjauskertoimien avulla voidaan laskea todellinen kuormitettavuus kaavan 7 mukaan.

Todellisen kuormitettavuuden avulla voidaan määrittää johtimen koko eri asennustavoille standardin taulukoiden B.52.2 – B.52.13 mukaan. Johdinkokojen kuormitettavuuden taulukot on jaoteltu johtimen materiaalista ja kaapelin eristämateriaalista riippuen. Kun oikea kuormitettavuuden taulukko ja sarake on käytössä, voidaan verrata kaavan 7 avulla laskettua kuormitettavuutta taulukoissa esitettyihin arvoihin ja etsiä johdinkoko, jonka kuormitettavuus vastaa laskettua kuormitettavuutta. Tulee myös huomioida, että valitun johdinkoon kuormitettavuus tulisi olla aina isompi kuin laskettu kuormitettavuus.

Asennustavan ja lämpötilan vaikutusta kuormitettavuuteen selvittäessä tulee huomioida, että jos mitoitettavassa piirissä on useaa asennustapaa ja ympäristön lämpötilaa, tulee kuormitettavuus mitoitaa piirissä esiintyvien epäedullisimpien muuttujien mukaan. Esimerkiksi jos kaapeli kulkee tikashyllyllä kahden huoneen läpi ja toisessa huoneessa lämpötila on huomattavasti korkeampi, tulee kaapelin

kuormitettavuus määrittää korkeammassa lämpötilassa olevan huoneen mukaan.

2.4 Automaattinen poiskytkentä

Oleellinen osa kiinteistön sähköjärjestelmien suojausta on syötön automaattinen poiskytkentä. Poiskytkentä voidaan toteuttaa ylivirtasuojalla, vikavirtasuojalla ja niiden yhdistelmällä. Poiskytkennällä tarkoitetaan suojalaitteen tekemää toimenpidettä vikatilanteessa, jolla se katkaisee sähkönsyötön vioittuneeseen piiriin ja poistaa sähköiskun mahdollisuuden. Automaattisen poiskytkennän tulee pystyä katkaisemaan piirin syöttö tilanteessa, kun järjestelmässä jännitteinen johdin tulee kontaktiin jännitteelle alttiin osan tai suojajohtimen kanssa mitättömän pienen impedanssin kautta (SFS 6000-4-41:2017,8). Impedanssin ollessa vaihejohtimen ja suojamaan välillä erittäin pieni, puhutaan yleensä oikosulkutilanteesta. Tässä kappaleessa käsitellään vikatilanteen yhteydessä tapahtuvaa poiskytkentää ja sen toimivuuden varmistamista laskennan avulla.

Automaattisen poiskytkennän tulee täyttää standardin SFS 6000-4-41:2017 suurimmat sallitut poiskytkentäajat.

Taulukko 8. Suurimmat sallitut poiskytkentäajat (SFS 6000-4-41:2017,9)

Taulukko 41.1 Suurimmat sallitut poiskytkentäajat

Järjestelmä	50 V < $U_0 \leq 120$ V		120 V < $U_0 \leq 230$ V		230 V < $U_0 \leq 400$ V		$U_0 > 400$ V	
	s		s		s		s	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	^a	0,4	1	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	^a	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1
<p>Jos TT-järjestelmässä poiskytkentä saadaan aikaan ylivirtasuojilla ja suojaava potentiaalintasaus on kytketty kaikkiin asennuksen muihin johtaviin osiin, voidaan käyttää TN-järjestelmän poiskytkentäaikoja.</p> <p>U_0 on nimellinen tasa- ja vaihtojännite äärijohtimesta maahan.</p> <p>HUOM. Jos poiskytkentä toteutetaan vikavirtasuojan avulla, katso kohdan 411.4.4 huomautus, kohdan 411.5.3 huomautus 4 ja kohdan 411.6.4 b) huomautus 4.</p> <p>^a Poiskytkentää voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.</p>								

Normaalissa TN-järjestelmän omaavassa kiinteistössä, jossa vaihejohtimen ja maan välinen jännite on 230 V, tulee ylivirtasuojauksella toteutettu poiskytkentäaika olla enintään 0,4 sekuntia. Poikkeuksena taulukon mukaiseen 0,4 sekunnin poiskytkentäaikaan on kuitenkin enintään 5 sekunnin poiskytkentäaika, joka on

sallittu pääjohtojen, nimellisvirraltaan yli 63 A olevien ryhmäjohtojen ja yli 32 A kiinteästi asennettujen sähkölaitteistojen ylivirtasuojalaitteissa (SFS 6000-4-41:2017,8,9). Jotta standardin asettamien poiskytkentäaikojen täyttymisestä voidaan varmistua, tulee vikatilanteissa syntyvien oikosulkuvirtojen suuruus laskea ja verrata niitä käytettävien suojalaitteiden poiskytkentäajan täyttämiseen vaatimiin virtoihin. Laskenta on oleellista, kun automaattinen poiskytkentä toteutetaan ylivirtasuojalla eli sulakkeella tai johdonsuojakatkaisijalla. Taulukon 8 poiskytkentäaikojen ei tarvitse täytyä ylivirtasuojien osalta, jos piiri on suojattu lisäksi vikavirtasuojalla, joka täyttää kyseiset poiskytkentäajat. Vikavirtasuojaus on pakollista nykystandardien mukaan kaikille uusien asuinkiinteistöjen pistorasia- ja valaistusryhmiä syöttäville ryhmäjohtoille. Ainoina poikkeuksina vikavirtasuojauksen poisjättämiselle asuinkiinteistöissä olevista pistorasioista on, jos pistorasiat syöttävät pysyvästi tiettyä laitetta ja jonka syötön katkeaminen voisi aiheuttaa suurta haittaa. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi jääkaapit ja pakastimet. Lisäksi tällaiset tietyille laitteille tarkoitetut pistorasiat tulee sijoittaa siten että niihin ei ole mahdollista liittää mitä tahansa laitetta. Jos vikavirtasuojamattomien pistorasioiden käyttötarkoitus ei ole riittävän selvä niiden sijainnin perusteella, ne tulee varustaa opastuskilvellä. (SFS 6000-4-41:2017,30)

Oikosulkutilanne luo vikapiirin, jossa oikosulkuvirran suuruus riippuu vikapiirin impedanssista. Normaalisissa kiinteistöissä tapahtuvassa oikosulkutilanteessa vikapiirin impedanssi muodostuu sähköverkon ja oikosulussa olevan ryhmän välille. Tämä tarkoittaa, että vikapiiriin impedanssi koostuu sähköverkon liittymiskaapelin impedanssista ja kaikkien kiinteistön vikapaikkaan johtavien kaapelien impedansseista. Sähköverkon impedanssin määrittämisessä voidaan käyttää taulukon 9 mukaisia sähköverkko-yhtiön ilmoittamia uusien liittymien minimioikosulkuvirtoja.

Taulukko 9. Liittymien pienimmät oikosulkuvirrat (Sähköverkkoon liittyminen, tekninen ohje Tampereen sähköverkko,4)

Liityntäluokka	Pääsulake	Oikosulkuvirta min (5 s)
	A	A
L025	3x25	250 (180*)
L035	3x35	250 (180*)
L050	3x50	250
L063	3x63	320
L080	3x80	425
L100	3x100	580
L125	3x125	715
L160	3x160	950
L200	3x200	1250
L250	2 x (3 x125)	1650
L320	2 x (3 x 160)	2200
L400	2 x (3 x 200)	2840
L500	2 x (3 x 250)	3465
L630	3 x (3 x 200)	4620
L750	3 x (3 x 250)	5198
L1000	4 x (3 x 250)	6930
* poikkeustapauksissa oikosulkuvirta saattaa olla 180 A (esim. haja-asutusalueella)		
Yli 50 A nimellisvirralla pääsulakkeina tulee käyttää tulppasulakkeiden sijasta kahvasulakkeita		

Minimioikosulkuvirroista voidaan laskea verkon impedanssi seuraavalla kaavalla:

$$Z_v = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} \quad (8)$$

Kaavassa Z_v on verkon impedanssi, joka lasketaan verkon pääjännitteen U ja verkkoyhtiön ilmoittaman oikosulkuvirran I_k avulla. Kaavassa oleva c on kerroin, jolla otetaan mahdolliset jännitteen vaihtelut huomioon. Kerroin c on tyypillisesti arvoltaan 0,95.

Verkon impedanssin ollessa tiedossa, pystytään yksittäisten pisteiden oikosulkuvirrat määrittämään oikosulkuvirran kaavalla:

$$I_k = \frac{U \cdot c}{\sqrt{3} \cdot (l \cdot 2 \cdot z + Z_v)} \quad (9)$$

Oikosulkuvirran I_k kaavassa U on pääjännite, c on edelleen jännitteen aleneman huomioon ottava kerroin, l on virtasilmukan kaapelin pituus, jossa oikosulku tapahtuu. Koska oikosulkutilanteessa virta kulkee kaapeleissa silmukkana, tulee tarkasteltavan kaapelin mitta kertoa kahdella. Kaavassa z on tarkasteltavan silmukan kaapelin impedanssi käytettävää pituusyksikköä kohti. Useimmiten kaapelien impedanssi ilmoitetaan ohmi per kilometri (Ω/km). Lopuksi laskettuun virtasilmukan impedanssiin lisätään aiemmin laskettu verkon impedanssi Z_v . Oikosulkuvirtaa laskiessa tulee myös huomioida kohteen sähköverkon rakenne. Jos laskettava piiri on esimerkiksi jonkin alakeskuksen ryhmä, tulee pääkeskuksen ja alakeskuksen välisen kaapelin impedanssi laskea ja sisällyttää laskentaan seuraavan kaavan mukaisesti.

$$I_k = \frac{U \cdot c}{\sqrt{3} \cdot (l \cdot 2 \cdot z + Z_v + Z_{rk} + \dots)} \quad (10)$$

Kaavassa on lisätynä Z_{rk} , joka on pääkeskuksen ja ryhmäkeskuksen välisen kaapelin impedanssi. Kaavaan voi lisätä keskuksien välisten kaapeleiden impedansseja riippuen sähköverkon rakenteesta ja paikasta, josta oikosulkuvirta halutaan laskea.

Useimmiten kaapelien tarkat impedanssit saadaan valmistajien tuotetiedoista, mutta laskelmia tehdään tässä työssä seuraavan taulukon mukaisilla likimääräisillä impedansseilla.

Taulukko 10. Kaapelien likimääräisiä impedansseja (Ω/km) johdinlämpötilassa 80 °C. (Pekka Rantala 2014, 9)

Johtimen poikkipinta-ala [mm ²]	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
4 × 1,5	14,620	0,115	14,620			
4 × 2,5	8,770	0,110	8,770			
4 × 4	5,480	0,107	5,480			
4 × 6	3,660	0,100	3,660			
4 × 10	2,244	0,094	2,246			
4 × 16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
4 × 25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,492
4 × 35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
4 × 50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
4 × 70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
4 × 95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
4 × 120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
4 × 150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
4 × 185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
4 × 240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
4 × 300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

Laskentaa tehdessä on myös hyvä huomioida, että joissain tilanteissa vaihejohdin ja suojamaajohdin saattavat olla erikokoisia. Tällaisessa tilanteessa tulee kummankin johtimen impedanssi määrittää erikseen niiden johdinkokoja vastaavalla impedanssilla. Tällaisessa tilanteessa tulee olla tarkkana, että yksittäisen johtimen impedanssia määrittäessä käytetään pituuksina nimenomaan johtimen mittaa eikä kummankin johtimen yhteismittaa toisinkuin laskiessa samankokoisten johtimen impedanssia.

Kaavan 9 avulla laskettua oikosulkuvirran arvoa voidaan verrata kyseisten suojalaitteiden vaatimiin toimintavirtoihin ja todentaa oikosulkusuojauksen toimivuus. Vaaditut toimintavirrat ovat riippuvaisia suojalaitteen nimellisvirroista ja tyypistä seuraavien taulukoiden mukaan:

Taulukko 11. gG-sulakkeiden edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat (Pekka Rantala 2014, 8)

Sulakkeen nimellisvirta [A]	Pienimmät toimintavirrat ja vaaditut mitatut arvot [A]			
	toiminta-aika 0,4 s		toiminta-aika 5,0 s	
	toimintavirta	mitattu arvo	toimintavirta	mitattu arvo
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,5
40			190	237,5
50			250	312,5
63			320	400
80			425	531,3
100			580	725
125			715	893,8
160			950	1187,5
200			1250	1562,5
250			1650	2062,5
315			2200	2750
400			2840	3550
500			3800	4750
630			5100	6375

Taulukko 12. Johdonsuoja-automaattien poiskytkennän vaatimat oikosulkuvirrat, tyyppi B ja C (Pekka Rantala 2014, 7)

Nimellisvirta [A]	Pienimmät toimintavirrat [A] johdonsuojakatkaisijoille			
	B-tyyppi		C-tyyppi	
	toiminta-aika 0,4 s ja 5,0 s	vaadittu mitattu arvo	toiminta-aika 0,4 s ja 5,0 s	vaadittu mitattu arvo
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
13	65	81,3	130	162,5
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1000
125	625	781,3	1250	1562,5

Taulukko 13. Johdonsuoja-automaattien poiskytkennän vaatimat oikosulkuvirrat, tyyppi D ja K (Pekka Rantala 2014, 7)

Nimellisvirta [A]	Pienimmät toimintavirrat [A] johdonsuojakatkaisijoille			
	D-tyyppi		K-tyyppi	
	toiminta-aika 0,4 s ja 5,0 s	vaadittu mitattu arvo	toiminta-aika 0,4 s ja 5,0 s	vaadittu mitattu arvo
6	120	150	72	90
10	200	250	120	150
13	260	325	156	195
16	320	400	192	240
20	400	500	240	300
25	500	625	300	375
32	640	800	384	480
50	1000	1250	600	750
63	1260	1575	756	945
80	1600	2000	960	1200
125	2500	3125	1500	1875

Riittävä poiskytkentäaika tulee todentaa laskennallisesti kaikille kohteessa oleville vikavirtasuojamattomille piireille, joissa on nimellisvirraltaan eriävät suojalaitteet tai kaapelikoot. Samankaltaisten suojalaitteiden suojaamien piirien oikosulkuvirta tulee laskea epäedullisimman piirin mukaan. Epäedullisin piiri on useimmiten se missä kaapelipituus ja impedanssi ovat suurimmillaan.

Yleisesti erilaisten ryhmäkeskusten ja laitteistojen oikosulkuvirrat voidaan laskea kaavan 9 mukaan, koska niitä syöttävien kaapelien mitat pystytään määrittämään aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia. Kun kaapelimittoja ei pystytä määrittämään tarkasti tietyille ryhmille voidaan laskea kiinteistöön suojalaittekohtaiset maksimi kaapelipituudet seuraavan kaavan mukaan:

$$l_{max} = \frac{\frac{U \cdot c}{\sqrt{3} \cdot I_{kmin}} - Z_v - Z_{rk} - \dots}{z \cdot 2} \quad (11)$$

Kaava on johdettu kaavasta 10, mutta oikosulkuvirran sijaan ratkaistaan maksimi kaapelipituus l_{max} käyttäen pienintä suojalaitteen toimintavirtaa standardin vaatimassa ajassa I_{kmin} . Kaavalla siis saadaan maksimi kaapelipituus, jolla suojalaitteen poiskytkentäajan täyttymisen vaatima virta saavutetaan.

3 REFERENSSIKOHTTEEN ESITTELY

Tässä kappaleessa käydään läpi referenssikohteen lähtötiedot, jotka ovat oleellisia sähkötekniisten laskelmien osalta.

Referenssikohteenä toimii kaksikerroksinen omakotitalo, joka sisältää 5h+k+s+ph+khh+2wc+tek.tila+var. Yhteensä talon asuinpinta-ala on 138 m². Kiinteistössä lämmitysmuodoksi valikoitui maalämpö. Ilmanvaihto toteutetaan tulo- ja poistoilma koneella, joka sisältää lämmöntalteenoton ja tuloilman esilämmitysvastukset. Sähköajoneuvojen lataus mahdollisuus toteutetaan sijoittamalla yksi 11 kilowattinen Type-2 latauspaikka talon ulkoseinään. Latauspaikkaan tullaan sisällyttämään dynaaminen tehonhallinta, joka säätää lataustehoa 10–100 % välillä muun kiinteistön kulutuksen mukaan. Ajoneuvojen lämmitys toteutetaan ulkoseinissä olevista pistorasioista. Talo varustellaan kalusteiden ja ratkaisujen osalta melko tavanomaisesti, mutta erityistä huomiota asetetaan asuinhuoneiden muunneltavuuteen sähköpisteiden määrien osalta. Sähkönjakelujärjestelmä kiinteistössä tullaan toteuttamaan siten, että liittymiskaapeli tulee kiinteistön alemman kerroksen tekniseen tilaan, johon sähköpääkeskus sijoitetaan. Pääkeskuksesta lähtee nousukaapeli ylempään kerrokseen sijoitettavaan ryhmäkeskukseen.



Kuva 1. Referenssikohteenä olevan rakennuksen 3D malli.

4 LASKELMAT

Tässä kappaleessa käydään läpi laskelmat teorian esittämässä järjestyksessä. Laskenta on tehty pääosin esimerkkinä teorian havainnollistamiseksi.

4.1 Tehonmitoitus

Kappaleessa tullaan esittämään yksi tapa tehdä tehonmitoitus ja käymään läpi siihen liittyvää asiaa. Tehon mitoitus aloitettiin määrittämällä kaikkien kiinteistön laiteryhmiä ja järjestelmien nimellinen sähköteho.

Ensimmäisenä nimellistehonmitoituksessa määritetään kiinteistön sähköenergiaa kuluttavat laitteet ja järjestelmät. Näihin sisältyy erilaiset kiinteät kodinkoneet, lämmitysjärjestelmä, sähköauton latauspaikka, ilmanvaihtojärjestelmä ja sähkökiuas. Laitteiden ja järjestelmien valinta tehtiin kohteen lähtötietojen perusteella. Laitteet koottiin taulukkoon, johon sisällytettiin laitteiden liitännät. Taulukkoon sisällytettiin laitteita ja järjestelmiä, joiden olemassaolo kiinteistössä on olennaista kiinteistön toimivuuden kannalta tai kuluttajan näkökulmasta. Yksilöitävien laitteiden ja järjestelmien määrä voi vaihdella riippuen kiinteistön koosta ja varustelutasosta.

Taulukko 14. Yksilöitäviä laitteita ja järjestelmiä

Erilaisia kiinteistön yksilöitäviä laitteita	Laitteiden tehot (kW)
Sähkö kiuas	7
Ilmanvaihtokone	1,5
Maalämpöpumppu	6
LVI-oheislaitteet	1
Sähköauton latauslaitteisto	11
Jääkaappi/Pakastin	0,8
Uuni	2,5
Liesi	2,5
Astianpesukone	2
Pyykinpesukone	2
Kuivausrumpu	0,8

Pistorasiakuormien mitoitus aloitettiin luomalla kohteen pohjakuvien perusteella erilaisia tilatyyppejä. Tilatyypeillä tarkoitetaan eri huoneiden kategoriointia tilan käyttötarkoituksen perusteella. Jokaiselle tilatyypille määritettiin pistorasiakohtainen teho laskemalla keskiarvoja kyseisille tiloille tyypillisistä pistorasiaan kytkettävistä laitteista seuraavan taulukon mukaisesti.

Taulukko 15. Esimerkki keittiön keskimääräisen pistorasiatehon laskemisesta

Keittiö pistorasia laitteet	Laitteen teho (W)
LED-valojen muuntaja	100
Leivänpaahdin	1000
Mikroaaltouuni	1000
Kahvinkeitin	1500
Vedenkeitin	2000
Tehosekoitin	1500
Sauvasekoitin	800
Yleiskone	1200
Sähkövatkain	400
Vohvelirauta	1400
Voileipägrilli	1000
Mehupuristin	150
Riisinkeitin	700
KESKIMÄÄRÄINEN TEHO per PR (W)	980,8

Tilatyypien pistorasiakohtaisen tehon määrittämisen jälkeen voidaan tehdä pohjakuvien perusteella arvio jokaisen eri tilatyyppin pistorasioiden määrästä. Tilatyypien pistorasiakohtaisella teholla ja pistorasioiden määrällä voidaan laskea jokaisen huoneen pistorasioiden tehontarve.

Taulukko 16. Huonekohtaisten pistorasiatehojen laskenta

Tila	Huonetyypitys käytettyjen laitteiden pohjalta	Pistorasioiden määrä	Keskimääräinen pistorasiakohtainen teho (W/PR.)	Huoneen pistorasiateho (W)
Olohuone	Olohuone	10	191	1908
Ruokailuhuone	Olohuone	6	191	1145
Makuuhuone 1	Makuuhuone	8	193	1542
Makuuhuone 2	Makuuhuone	8	193	1542
Parveke	Terassi/Parveke	2	100	200
Keittiö	Keittiö	8	981	7846
Tuulikaappi	Eteinen/käytävä	2	157	314
WC	WC	4	610	2440
Pesuhuone	WC	0	610	0
Makuuhuone 3	Makuuhuone	8	193	1542
Varasto	Eteinen/käytävä	4	157	628
Kodinhoituhuone	Kodinhoituhuone	8	748	5984
Makuuhuone 4	Makuuhuone 4	8	193	1542
Sauna	Sauna	0	0	0
WC 2	WC	4	610	2440
Porrashuone	Eteinen/käytävä	2	157	314
Käytävä	Eteinen/käytävä	4	157	628
Tekninen tila	Tekninen tila	6	300	1800
Ulkotilat (kellarikerros)	Ulkokäyttö	4	1131	4525
Ulkotilat (1. kerros)	Ulkokäyttö	4	1131	4525

Kiinteistön valaistuksen nimellisteho määritetään myös pistekohtaisesti, käyttäen tasokuvista laskettua oletettua valaisinmäärää ja keskimääräistä valaisinpisteiden tehoa. Oletettu valaisinmäärä pystyttiin määrittämään kaikille kiinteistön tiloille, tasokuvien ja oletetun valaistustarpeen avulla. Keskimääräinen valaisinpisteiden teho määritettiin samaksi kaikille kiinteistön valaisinpisteille, koska kiinteistössä ei ole poikkeavia tiloja tai ratkaisuja, jotka vaikuttaisivat valaistuksen tehon tarpeeseen.

Taulukko 17. Huonekohtaisen valaistuksen tehon määrittäminen

Tila	Valaisinpisteiden määrä	Keskimääräinen teho per valaisinpiste (W/piste)	Huoneen valaistuksen kokonaisteho
Olohuone	3	35	105
Ruokailuhuone	1	35	35
Makuuhuone 1	2	35	70
Makuuhuone 2	2	35	70
Parveke	1	35	35
Keittiö	1	35	35
Tuulikaappi	1	35	35
WC	1	35	35
Pesuhuone	1	35	35
Makuuhuone 3	2	35	70
Varasto	1	35	35
Kodinhoitohuone	2	35	70
Makuuhuone 4	2	35	70
Sauna	1	35	35
WC 2	1	35	35
Porrashuone	2	35	70
Käytävä	2	35	70
Tekninen tila	1	35	35
Ulkotilat (kellari kerros seinä)	2	35	70
Ulkotilat (1. kerros seinä)	2	35	70
Yhteensä	31		1085

Kiinteistön laiteryhmiä nimellistehojen ollessa selvillä voidaan ne koota taulukoon. Tässä tapauksessa, kun kiinteistössä on kaksi sähkökeskusta, määritetään kummankin keskuksen palvelualueelle omat laiteryhmiä, johon sisältyy keskuksien palvelualueiden sisältämät laitteet ja järjestelmät. Esimerkiksi pistorasiakuormat kellarikerroksessa ja 1. kerroksessa ovat omissa laiteryhmissään. Laiteryhmiä jakaminen mahdollistaa alakeskuskohtaisen tehon määrittämisen ja sen myötä suojalaitteiden määrittämisen myöhemmässä vaiheessa.

Taulukko 18. Laiteryhmät ja niiden nimelliset tehot

Laiteryhmä	Laiteryhmän keskus	Laiteryhmän nimellisteho (W)
1. kerroksen kodinkoneet	RK	7800
1. kerroksen PR	RK	21462
1. kerroksen valaistus	RK	490
LVI-laitteisto	PK	8500
Kellarikerroksen kodinkoneet	PK	2800
Sähköauton lataus	PK	11000
Sähkökiuas	PK	7000
Kellarikerroksen PR	PK	19403
Kellarikerroksen valaistus	PK	595

Taulukosta nähdään, miten laiteryhvät on jaoteltu niitä palvelevien keskuksien mukaan. Taulukkoon on myös merkattu kunkin laiteryhmän nimellisteho. Laiteryhmän nimellistehoon tulee kuitenkin sisällyttää nimellistehon tasauskerroin, jonka avulla voidaan määrittää laiteryhmiä mitoittava teho.

Taulukko 19. Laiteryhmien tasauskerroimet ja mitoittavat tehot

Laiteryhmä	Laiteryhmän keskus	Laiteryhmän nimellisteho (W)	Laiteryhmän tasauskerroin	Laiteryhmän mitoittava teho (W)
1. kerroksen kodinkoneet	RK	7800	0,6	4680
1. kerroksen PR	RK	21462	0,3	6439
1. kerroksen valaistus	RK	490	0,7	343
LVI-laitteisto	PK	8500	0,6	5100
Kellarikerroksen kodinkoneet	PK	2800	0,6	1680
Sähköauton lataus	PK	11000	1	11000
Sähkökiuas	PK	7000	1	7000
Kellarikerroksen PR	PK	19403	0,3	5821
Kellarikerroksen valaistus	PK	595	0,7	417

Taulukosta nähdään kullekin laiteryhmälle määritetyt tasauskerroimet. Tasauskerroimet ovat perusteltavia oletuksia järjestelmien todellisesta käytöstä. Esimerkiksi LVI-laitteiston tasauskerroimeen on otettu huomioon laitteiden ylimitoitus ja epätodennäköisyys, että koko LVI-laitteisto toimisi nimellistehollaan samanaikaisesti. Kummankin keskuksen palvelualueilla olevat kodinkoneiden laiteryhmiä tasauskerroimiin päädyttiin toteamalla, että kaikki kodinkoneet ovat epätodennäköisesti samaan aikaan käytössä ja kodinkoneiden ottama sähköteho vaihtelee

niiden käytön aikana suuresti, joka lisää entisestään epätodennäköisyyttä siitä, että laiteryhmiä nimellisteho saavutettaisiin. Pistorasioiden ja valaistuksen osalta on tehty kokemusperäiset oletukset, että pistorasioiden yhdenaikainen käyttöaste on noin 30 % ja valaistuksella noin 70 %. Laitteistojen kuten sähköauton lataus ja sähkökuuas tasauskertoimeksi on valittu 100 %, koska nämä toimivat lähtökohtaisesti aina täydellä teholla.

Hetkellisen huipputehon määrittämiseen käytetään hetkellisen huipputehon yhdenaikaisuuskertoimia, joiden avulla arvioidaan laiteryhmiä yhdenaikaisuutta huipputehon toteutumisaikana.

Taulukko 20. Hetkellisen huipputehon laskenta

Laiteryhmä	Laiteryhmän keskus	Laiteryhmän mitoittava teho (W)	Hetkellisen huipputehon yhdenaikaisuuskerroin	Hetkellisen huipputehon mitoittava teho (W)
1. kerroksen kodinkoneet	RK	4680	0,8	3744
1. kerroksen PR	RK	6439	0,4	2575
1. kerroksen valaistus	RK	343	0,8	274
LVI-laitteisto	PK	5100	0,6	3060
Kellarikerroksen kodinkoneet	PK	1680	0,2	336
Sähköauton lataus	PK	11000	0,1	1100
Sähkökuuas	PK	7000	1	7000
Kellarikerroksen PR	PK	5821	0,4	2328
Kellarikerroksen valaistus	PK	417	0,8	333
Yhteensä				20751
+ 10 % lisäsvara				22827

Hetkellisen huipputehon ajaksi valikoitui normaali talvinen iltapäivä, jolloin on käynnissä ruuan valmistus ensimmäisessä kerroksessa sekä saunan lämmitys kellarikerroksessa. Sähköauton lataus tällä huipputehon hetkellä on rajoitettu toimimaan 10 % kapasiteetilla. LVI-laitteisto on oletettu toimivan 60 % kapasiteetilla johtuen talviaikana pienemmästä ilmanvaihtokoneen sähköenergian kulutuksesta sekä myös lämmityksen käytettävän energian tarpeesta, joka on iltapäivällä pienempi kuin esimerkiksi yöaikaan. Pistorasioiden käyttöasteeksi on oletettu vähäinen 40 %. Valaistuksen käyttöasteeksi on oletettu 80 %, johtuen talviaikana

syntyvästä valaistuksen tarpeesta. Kodinkoneiden käyttö 1. kerroksessa on oletettu korkeaksi johtuen ruuan laiton yhteydessä käytettävistä laitteista. Kellarikerroksen kodinkoneet on oletettu olevan melko pienellä käytöllä tässä kyseisessä tilanteessa.

Kertoimien avulla hetkelliseksi huipputehoksi saadaan 20 751 wattia. Huipputehohon tulee kuitenkin lisätä jonkinlainen lisäysvara. Lisäysvara on riippuvainen kiinteistöstä ja siihen kohdistuvista mahdollisista muutoksista. Tässä tapauksessa lisäysvaraksi on otettu 10 %, koska suuria muutoksia kiinteistön sähkönkulutukseen liittyen pidetään epätodennäköisinä. Lopulliseksi hetkelliseksi huipputehoksi muodostuu 22 827 wattia.

Jotta seuraavassa osiossa laskentaa voidaan määrittää ryhmäkeskuksen suoja-laitteet, tulee laskea ryhmäkeskuksen laiteryhmiä tehon summa.

Taulukko 21. Ryhmäkeskuksen mitoittava teho

Ryhmäkeskuksen laiteryhmät	Laiteryhmän keskus	Laiteryhmän mitoittava teho
1. kerroksen kodinkoneet	RK	4680
1. kerroksen PR	RK	6439
1. kerroksen valaistus	RK	343
	Yhteensä	11462
	+ 10 % lisäysvara	12608

4.2 Liittymäkoon ja suoja-laitteiden määrittäminen

Hetkellisen huipputehon avulla pystytään määrittämään liittymäkoko laskemalla vaihevirta kaavan 1 avulla.

$$\frac{22\,827\text{ W}}{400\text{ V} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,95} = 34,68\text{ A}$$

Kun laskettua vaihevirtaa verrataan taulukon 5 liittymäluokkiin, voidaan valita liittymäluokaksi 3x35 A. Liittymän kaapeliksi määräytyy taulukon mukaan AX25 eli AXMK 4x25 alumiinikaapeli. Samaa alumiinikaapelia käytetään kaikkiin liittymäluokkiin 3x63 A asti.

Myös kiinteistön ryhmäkeskuksen suojalaitteet voidaan mitoittaa laskemalla vaihevirta kaavan 1 mukaan käyttäen taulukossa 21 esitettyjä ryhmäkeskuksen tehoja.

$$\frac{12\,608\text{ W}}{400\text{ V} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,95} = 19,2\text{ A}$$

Lasketun vaihevirran avulla voidaan määrittää ryhmäkeskuksen suojalaitteiksi 3x20 A gG taulukon 11 mukaan. gG- tyyppin suojalaite valittiin johdonsuojakatkaisijan sijaan pääasiassa vain sen takia, että saadaan tehtyä johdonmitoitus kummallekin suojalaitetyypille.

Kohteen yksittäisten laitteiden sulakekoon määrittäminen tehtiin etsimällä laitevalmistajan tuotetiedoista laitteelle suositeltu sulakekoko tai hyödyntämällä laitteelle ilmoitettua nimellisvirtaa.

Taulukko 22. Kiinteistön laitteiden laitevalmistajien suosittelemat sulakekoot

Erilaisia kiinteistön yksilöitäviä laitteita	Valmistajan määrittelemät sulakekoot
Sähkö kiuas	3x16 A Johdonsuojakatkaisija
Maalämpöpumppu	3x25 A Johdonsuojakatkaisija
Sähköauton latauslaitteisto	3x16 A Johdonsuojakatkaisija
Uuni/liesi	3x16 A Johdonsuojakatkaisija
Ilmanvaihtokone	1x16 A Johdonsuojakatkaisija

Taulukko 23. Kiinteistön ryhmille määritetyt suojalaitteet

Kiinteistön ryhmät	Ryhmille määritellyt sulakekoot
Pistorasia ryhmät	16A Johdonsuojakatkaisija
Valaisin ryhmät	10A Johdonsuojakatkaisija

Pistorasiaryhmien suojalaitteiksi valittiin 16 A nimellisvirralta olevat johdonsuojakatkaisijat, teorian sivulla 17 esitettyjen seikkojen perusteella. Valaistusryhmille valittiin nimellisvirralta 10 A olevat johdonsuojakatkaisijat. 10 A suojalaitteen valinta tehtiin pienien ryhmäkohtaisten tehojen perusteella.

4.3 Johdonmitoitus

Ryhmien suojalaitteiden ollessa tiedossa pystytään siirtymään kaapelien mitoitus laskentaan. Laskenta suoritetaan pääkeskuksen ja ryhmäkeskuksen välisen nousujohdon lisäksi kaikille erillisille kolmivaiheisille ryhmille.

Ensimmäinen mitoitus tehdään pääkeskuksen ja ryhmäkeskuksen väliselle kaapelille. Kaapelia suojaa nimellisvirraltaan 20 A gG tyyppin sulake. Aloitetaan laskemalla kaapelin kuormitettavuus kaavan 6 mukaan.

$$\frac{20 \text{ A} \cdot 1,6}{1,45} = 22,07 \text{ A}$$

Kuormitettavuuden laskemisen jälkeen todellinen kuormitettavuus saadaan laskemalla asennusolosuhteista ja ympäristön lämpötilasta johtuvat kertoimet mukaan kuormitettavuuteen. Tasokuvista voidaan kaapelille määrittää kaksi eri asennustapaa, jotka ovat pinta-asennus seinässä muiden kaapelien kanssa kosketuksessa teknisessä tilassa 40°C lämpötilassa ja seinän sisässä putkessa 30°C lämpötilassa. Kummallekin asennustavalle lasketaan kuormitettavuus ja määrääväksi kuormitettavuudeksi valitaan epäedullisempi vaihtoehto. Kappaleessa viitataan taulukoihin ja arvoihin, jotka löytyvät SFS 6000-5-52:2017 standardista.

Pinta-asennuksen asennustavaksi määräytyy standardin taulukon A.52.3 mukaan asennustapa C. Asennustavan kuvaus on yksi- tai monijohdinkaapeli kiinni tai enintään 0,3 x kaapelin halkaisijan etäisyydellä seinästä. Taulukosta B.52.1 löytyy linkit asennustapaan C liittyviin taulukoihin. Taulukosta B.52.17 löytyy asennustavan ryhmästä johtuvat kertoimet. Asennustavan ryhmän kertoimeksi valikoituu 0,71. Tämä kerroin tulee taulukon mukaan, kun kaapeli on asennettu yhdessä kerroksessa kahdeksan muun piirin tai monijohdinkaapelin kanssa.

Kun ryhmän korjauskerroin on löydetty, voidaan siirtyä ympäristön lämpötilasta johtuvaan kertoimeen. Lämpötilasta johtuvat kertoimet asennustavalle C löytyvät taulukosta B.52.14. Kerroin määritetään PVC-eristeiselle kaapelille ja oletettu ympäristön lämpötila on 40°C. Kerroin on siis taulukon mukaan 0,87.

Näiden kahden korjausketoimen ollessa tiedossa pystytään laskemaan todellinen kuormitettavuus kaavan 7 mukaan.

$$\frac{22,07}{0,71 \cdot 0,87} = 35,73 \text{ A}$$

Todellista kuormitettavuutta verrattaessa asennustapakohtaiseen johtimien kuormitettavuustaulukkoon B.52.4, nähdään että PVC-eristetyin kuparikaapelin johdinkoon tulisi olla 6mm². Jos kyseessä on PVC-eristetty alumiinikaapeli johdinkoko tulisi olla 10 mm².

Asennustavan ollessa putkitus seinän sisään, referenssiasennustapana on taulukon A.52.3 mukaan A2. A2 asennustavan kuvaus on monijohdinkaapeli asennettuna eristetyin seinän sisään upotetussa putkessa. Ryhmästä ja ympäristön lämpötilasta johtuvat kertoimet löytyvät samoista taulukoista, mutta eri kohdista kuin aikaisemman asennustavan kertoimet. Ryhmästä riippuvaksi kertoimeksi määräytyy 1,0 ja ympäristön lämpötilasta johtuvaksi kertoimeksi 1,0 ympäristön lämpötilan ollessa 30°C.

$$\frac{22,07}{1,0 \cdot 1,0} = 22,07 \text{ A}$$

Todellista kuormitettavuutta verrataan asennustapakohtaiseen johtimien kuormitettavuustaulukkoon B.52.4, josta nähdään, että PVC-eristetyin kuparikaapelin johdinkooksi määräytyy 4mm². PVC-eristetyille alumiinikaapelille määräytyvä johdinkoko on 6 mm².

Johdinkoon määrääväksi asennustavaksi valitaan aina epäedullisempi asennustapa, joten ensimmäisen asennustavan määräämät 6 mm² kuparikaapeli ja 10 mm² alumiinikaapeli valitaan.

Loput kuormitettavuuslaskennat tehtiin käyttäen Excel laskentataulukkoa, joka on esitetty liitteessä 1.

Kaapelien kuormitettavuuslaskenta on olennainen osa sähkösuunnitteluprojektia, koska sen avulla suunnittelija pystyy määrittämään rakennusvaiheessa käytettävät kaapelit. Suunnittelija voi myös pyrkiä pitämään kaapelikoot mahdollisimman pieninä määrittelemällä asennustavat siten, että kuormitettavuus ei huonone ratkaisevasti valittujen asennustapojen myötä. Tällaisen kaapelikokojen minimoinnin hyöty ilmenee erityisesti, jos kohteena on isompi kiinteistö kuten rivitalo, jossa on paljon pitkiä kaapelivetoja pääkeskuksen ja alakeskuksen välillä. Luonnollisesti paksummat kaapelit maksavat enemmän ja jos pitkiä kaapelivetoja on mahdollista toteuttaa pienemmällä johdinkoolla, vaikuttaa se suuresti toteutettavan projektin materiaalien hintaan. On kuitenkin hyvä ottaa huomioon, että asennustavat, joilla kaapelien kuormitettavuutta pyritään parantamaan voivat itsessään lisätä materiaalikustannuksia. Tällainen tapaus voi olla esimerkiksi, jos kuormitettavuutta pyritään parantamaan asentamalla kalliimpi ja leveämpi tikashylly, jolla saadaan kaapelit pidemmän etäisyyden päähän toisistaan. Tällaisia asioita suunnittelijan tulisi myös miettiä johdonmitoitusta tehdessä.

4.4 Automaattinen poiskytkentä

Oikosulkuvirtojen laskenta aloitetaan määrittämällä verkon impedanssi käyttäen taulukossa 9 esitettyjä verkkoyhtiön ilmoittamia minimioikosulkuvirtoja. Verkon impedanssi lasketaan kaavalla 8 seuraavalla tavalla:

$$\frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 250 \text{ A}} = 0,878 \Omega$$

Kun sähköverkon impedanssi on laskettu, voidaan siirtyä laskemaan kiinteistön ryhmäkeskuksen oikosulkuvirtaa. Ryhmäkeskuksen oikosulkuvirran laskennassa käytetään johdonmitoitus osiossa määritetyn 6 mm² johdinkoon omaavan kuparikaapelin likimääräisimpedanssia taulukon 10 mukaan. Ryhmäkeskusta syöttävän kaapelin pituus arvioidaan tasokuvien avulla olevan noin 20 metriä. Laskenta tehdään kaavaan 9 mukaisesti

$$\frac{400 \text{ V} \cdot 0,95}{\sqrt{3} \cdot (0,02 \text{ km} \cdot 2 \cdot 3,66 \Omega/\text{km} + 0,878\Omega)} = 214,2 \text{ A}$$

Tuloksena saatua oikosulkuvirran arvoa 214,2 A verrataan ryhmäkeskusta suojaavan 20 A gG sulakkeen toimintavirtaan, jossa vaadittu 5,0 sekunnin poiskytkentäaika täyttyy. Minimi toimintavirta 5,0 sekunnin laukaisuajalla 20 A gG sulakkeelle on 85 A taulukon 11 mukaan. Tästä nähdään siis, että oikosulkuvirta riittää hyvin toteuttamaan automaattisen poiskytkennän vaatimukset.

Kun ryhmäkeskuksen poiskytkennän toiminta on tarkastettu, siirrytään laskemaan ryhmäkeskukselta syötettävän lieden ja uunin oikosulkuvirtaa. Liesi ja uuni sijaitsevat talon 1.kerroksessa noin 15 metrin päässä ryhmäkeskuksesta. Aikaisempien laskentojen mukaan suojalaitteiksi valittiin C-tyyppin 16 A johdonsuojakatkaisija ja kaapeliksi johdinkooltaan 2,5 mm² kuparikaapeli.

Oikosulkuvirran laskentaan voidaan käyttää aikaisempaa laskutoimitusta, kun siihen lisätään valitun ryhmäjohton impedanssi seuraavalla tavalla:

$$\frac{400 \text{ V} \cdot 0,95}{\sqrt{3} \cdot (0,015 \text{ km} \cdot 2 \cdot 8,77 \Omega/\text{km} + 0,02 \text{ km} \cdot 2 \cdot 3,66 \Omega/\text{km} + 0,878 \Omega)} = 170,4 \text{ A}$$

Kyseinen kaava sisältää verkon impedanssin, pääkeskukselta lähtevän ryhmäkeskusta syöttävän kaapelin impedanssin ja ryhmää syöttävän kaapelin impedanssin.

Ryhmän oikosulkuvirraksi muodostuu 170,4 A, jota jälleen verrataan ryhmää suojaavan laitteen toimintarajavirtaan. Koska kyseessä on ryhmäjohton suojalaite, tulee suojauksen täyttää 0,4 sekunnin poiskytkentäaika. Taulukon 12 mukaan ryhmän suojaamiseen käytettävässä 16 A C-tyyppin johdonsuojakatkaisijassa toimintarajavirta on 160 A. Taulukosta nähdään, että toimintarajavirran arvo täyttyy kyseisen ryhmän osalta.

Kun aikaisempien laskentamallien avulla lasketaan pääkeskuksesta syötettävän maalämpöpumpun ryhmän oikosulkuvirta ja saadaan tulokseksi 238,1 A. Tätä verrattaessa määritetyn 25 A C-tyyppin johdonsuojakatkaisijan vaatimaan toimintavirtaan 250 A, voidaan todeta, että suojaus ei toimi vaatimusten mukaisesti.

Tilanne voidaan ratkaista valitsemalla suojalaitteeksi B-tyyppin johdonsuojakatkaisija, joka toimii taulukon 12 mukaan huomattavasti pienemmällä 125 A virralla.

Kun kaikkien suojausmenetelmiltään ja kaapeliko'oilta eriävien ryhmien oikosulkuvirroista voidaan koota seuraavanlainen taulukko, josta voidaan todeta suo-
jauksen toimivuus.

Taulukko 24. Erillisten ryhmien oikosulkuvirtoja

Ryhmä	Suojalaite	Suojalaitteen tyyppi	Laskettu oikosulkuvirta (A)	Vaadittu oikosulkuvirta (A)
Ryhmäkeskus	gG	20 A gG	214,2	85
Uuni/liesi	JSK	16 A C-tyyppi	170,4	160
Maalämpöpumppu	JSK	25 A B-tyyppi	238,1	125
Sähkö kiuas	JSK	16 A C-tyyppi	192,3	160
Sähköauton latauspaikka	JSK	16 A C-tyyppi	166,7	160
JSK= johdonsuojakatkaisija				

Vaadittuna oikosulkuvirtana taulukossa on käytetty aikaisempien laskennassa viitattujen taulukoiden mukaisia suojalaittekohtaisia toimintavirtoja kyseisten ryhmien vaatimalle poiskytkentäajalle.

Erillisiä pistorasia ryhmiä varten lasketaan niille määritettyjen suojalaitteiden ja kaapelien avulla suurimmat mahdolliset vetopituudet niitä palvelevilta keskuksilta. Maksimaaliset vetopituudet kaapeleille tulee määrittää kummallekin keskukselle erikseen, koska keskuksien oikosulkuimpedanssit eroavat toisistaan. Vetopituudet lasketaan kaavan 11 mukaan. Ensimmäiseksi lasketaan pääkeskukselta lähtevän 16 A C-tyypin johdonsuojakatkaisijalla ja 2,5 mm² kaapelilla varustetun ryhmän suurin mahdollinen kaapelin vetopituus.

$$\frac{400 \text{ V} \cdot 0,95}{\sqrt{3} \cdot 160 \text{ A}} - 0,878 \Omega = \frac{0,878 \Omega}{8,77 \Omega/\text{km} \cdot 2} = 0,028 \text{ km}$$

Maksimi vetopituudeksi 16 A C-tyypin johdonsuojakatkaisijalle ja 2,5 mm² kaapelilla tulee noin 28 metriä.

Jos sama laskutoimenpide tehdään ryhmäkeskukselta lähtevälle ryhmälle, laskentaan lisätään pääkeskuksen ja ryhmäkeskuksen välinen impedanssi seuraavalla tavalla:

$$\frac{400 \text{ V} \cdot 0,95}{\sqrt{3} \cdot 160 \text{ A}} - \frac{(0,878 \Omega + 0,02 \text{ km} \cdot 2 \cdot 3,66 \Omega/\text{km})}{8,77 \Omega/\text{km} \cdot 2} = 0,0198 \text{ km} \quad (10)$$

Tulokseksi tulee luonnollisesti pienempi 19,8 metrin vetopituus. Kahdesta edellisestä laskennasta nähdään hyvin ryhmäkeskuksien tärkeys liittyen kaapelien vetopituuksiin. Pääkeskukselta kyseisen kaapelin pisin mahdollinen vetopituus oli noin 28 kun taas 20 metriä kauemmalta ryhmäkeskukselta se oli noin 20 metriä. Ryhmäkeskuksen olemassaolo lisäsi mahdollista kaapelin vetopituutta noin 12 metriä. Ryhmäkeskuksien olemassaolo ja sijoittelu on erityisen tärkeää mitä isompi kiinteistö on kyseessä.

Tällä samalla laskentatyylillä voidaan määrittää suurimmat mahdolliset vetopituudet jokaiselle erityyppisille 10 A ja 16 A johdonsuojakatkaisijoille. Laskennan tulokset koottiin seuraaviin taulukoihin.

Taulukko 25. Suurimmat mahdolliset vetopituudet 10 A ja 16 A JSK-ryhmille pääkeskukselta

16 A ryhmille pääkeskukselta			
Suojalaite	Min. Vaadittu oikosulkuvirta	Max. Kaapelipituus (km)	Max. Kaapelipituus (m)
JSK 16 A C-tyyppi	160	0,0281	28,1
JSK 16 A B-tyyppi	80	0,1063	106,3
JSK 16 A D-tyyppi	320	-0,0109	-10,9
JSK 16 A K-tyyppi	192	0,0151	15,1
10 A ryhmille pääkeskukselta			
Suojalaite	Min. Vaadittu oikosulkuvirta	Max. Kaapelipituus (km)	Max. Kaapelipituus (m)
JSK 10 A C-tyyppi	100	0,0450	45,0
JSK 10 A B-tyyppi	50	0,1201	120,1
JSK 10 A D-tyyppi	200	0,0075	7,5
JSK 10 A K-tyyppi	120	0,0325	32,5

Taulukko 26. Suurimmat mahdolliset vetopituudet 10 A ja 16 A JSK-ryhmille ryhmäkeskukselta

16 A ryhmille ryhmäkeskukselta			
Suojalaite	Min. Vaadittu oikosulkuvirta	Max. Kaapelipituus (km)	Max. Kaapelipituus (m)
JSK 16 A C-tyyppi	160	0,0198	19,8
JSK 16 A B-tyyppi	80	0,0980	98,0
JSK 16 A D-tyyppi	320	-0,0193	-19,3
JSK 16 A K-tyyppi	192	0,0068	6,8
10 A ryhmille ryhmäkeskukselta			
Suojalaite	Min. Vaadittu oikosulkuvirta	Max. Kaapelipituus (km)	Max. Kaapelipituus (m)
JSK 10 A C-tyyppi	100	0,0400	40,0
JSK 10 A B-tyyppi	50	0,1150	115,0
JSK 10 A D-tyyppi	200	0,0025	2,5
JSK 10 A K-tyyppi	120	0,0275	27,5

Taulukoista nähdään, että D-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden vetopituuksissa esiintyy negatiivista arvoa. Tämä tarkoittaa, että kyseisellä keskuksella tällaisen tyyppin laite ei täytä poiskytkennän vaatimuksia millään kaapelin pituuksilla.

Automaattisen poiskytkennän laskennallisessa varmistamisessa tulee huomioida, että standardissa SFS 6000-4-41:2017 kerrotaan, miten kaikkien piireille määritettyjen poiskytkentäaikojen tulee täyttyä. Standardi ei kuitenkaan ota kantaa saavutetaanko kyseinen poiskytkentä aika ylivirtasuojalla tai vikavirtasuojalla. Jos viallinen piiri on suojattu ylivirtasuojalla ja vikavirtasuojalla niin periaatteessa pelkän vikavirtasuojan aiheuttaman poiskytkennän tulisi olla riittävä sähköiskulta suojaamisessa, vaikka piirin oikosulkuvirta ei riittäisi aiheuttamaan poiskytkentää ylivirtasuojassa. Toivottu tilanne kuitenkin omasta mielestä olisi, että riittävä poiskytkentä aika saavutettaisiin kummallakin suojalaite tyyppillä. Tämä tarkoittaisi, että jokaisen piirin oikosulkuvirta laskettaisiin ja todettaisiin riittäväksi, jonka jälkeen piireihin johon standardi velvoittaa lisättäisiin vikavirtasuojaus. Tällä menetelmällä, jokaisessa vikavirtasuojatussa piirissä suojaus sähköiskulta olisi niin sanotusti kaksoisvarmistettu. Poiskytkennän toteuttaminen ainoastaan vikavir-

tasuojalla tulisi omasta mielestä olla enemmänkin normaalista poikkeava toimenpide tapauksissa, jossa poiskytkennän toimivuutta ei pystytä takaamaan ylivirtasuojauksen osalta.

5 POHDINTA

Työssä tavoitteena oli luoda lukijalle selkeä kuva käsitellyistä laskelmista ja niihin liittyvistä säädöksistä. Laskentaa tehtiin johdonmukaisessa järjestyksessä ja tuloksia verrattiin erilaisiin velvoittaviin standardeihin, jolla varmistettiin laskennan kohteena olleiden järjestelmien toimivuus ja turvallisuus. Työssä hyödynnettiin referenssikohdetta, jolla saatiin sisällytettyä erilaisten lähtötietojen ja ratkaisujen vaikutukset laskentaan.

Kaikista työhön sisältyvistä laskelmista ja mitoituksista tehonmitoitus todettiin varsin hankalaksi, koska kyseessä on mitoitus, jonka tekemiselle ei ole yhtä oikeaa tapaa ja useimmiten se tehdään kokemuseräisten tietojen ja laskentamallien avulla. Työssä saatiin esitettyä yksi tapa tehonmitoitukselle, jonka paikkansäilytävyyttä ei kuitenkaan pystytty täysin todentamaan. Tehdyssä mitoituksessa ei kuitenkaan ollut niinkään tarkoituksena luoda toimivaa mitoitusmallia vaan yrittää näyttää lukijalle erilaisia tapoja, joita tehonmitoituksessa tulisi käyttää. Kaikille muille laskelmille ja mitoituksille löytyy selkeät säännöt ja kaavat laskennan oikeellisuuden todentamiseen. Näistäkin laskelmista jouduttiin jättämään joitain niihin liittyviä asioita pois, jotta saatiin pidettyä työ sille asetetuissa aikamääreissä. Itse käsiteltävien laskelmien kannalta oleelliset asiat käsiteltiin työssä ainakin jossain määrin.

Työn aihealue oli ehkä hieman laaja, jonka myötä kaikkia aiheita ja tuloksia ei pystytty käsittelemään niin yksityiskohtaisesti kuin oli tarkoitus. Sisällytettyjen laskelmiin liittyi paljon enemmän huomioon otettavia asioita, kuin alun perin oli ajateltu. Tästä huolimatta uskon, että työ täytti sille asetetut tavoitteet melko hyvin.

LÄHTEET

Eckert, T. 2019. Rakennusten sähköliittymien mitoitus. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. Opinnäytetyö.

Karjala, J. 2018. Lämpötilan vaikutus suojalaitteiden toimintaan. Sähkö- ja automaatiotekniikka. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. 26.2.2013. Adato Energia Oy. Luettu 20.12.2021. https://www.motiva.fi/files/8300/Kotitalouksien_sahkon_kaytto_2011_Tutkimusraportti.pdf

Rantala, P. 2014. Sähkötaulukot. Taulukokoelma. <https://docplayer.fi/20696006-Sahkotaulukoita-johtojen-kuormitettavuus-2-oikosulkuvirrat-7-kaapelien-ominaisarvoja-9.html>

Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. 30.1.2018. Talotekniikkainfo. Luettu 22.12.2021. https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/talotekniikkainfo_sisisailmasto_ja_ilmanvaihto_-_opas_30.1.2018.pdf

SFS 5610. 2015. Kotitalouksiin ja vastaaviin käyttöihin tarkoitetut pistokytkimet. Yleiset vaatimukset. Helsinki: Standardisoimisliitto SFS. Luettu 24.3.2022.

SFS 6000-4-41:2017. Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Helsinki: Standardisoimisliitto SFS. Luettu 8.1.2022.

SFS 6000-4-43. 2017. Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Helsinki: Standardisoimisliitto SFS. Luettu 5.1.2022.

SFS 6000-5-52. 2017. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki: Standardisoimisliitto SFS. Luettu 7.1.2022.

ST 13.31 - Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. ST-kortti. Espoo: Sähköinfo. Laadittu 15.4.2020.

Tampereen sähköverkko. n.d. Sähköverkkoon liittyminen, tekninen ohje Luettu 23.12.2021. <https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkoverkko/tsv-ohjepankki/2.sahkonsuunnittelijalle-ja-urakoitsijalle/1.-sahkoverkkoon-liittyminen/sahkoverkkoon-liittyminen-asiakasohje-pj-liittymat-202111308.pdf>

Timlin, L. 2020. Sähkökeskuksen oikosulkukestoisuus. Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

