

**Pienjännitejakeluverkkoon liitetyn kiinteistön jakeluverkon
suunnittelu ja mitoitus**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

kevät, 2022

Eetu Niemelä

Sähkö- ja automaatiotekniika

Tekijä Eetu Niemelä

Työn nimi Pienjännitejakeluverkkoon liitetyn kiinteistön jakeluverkon suunnittelu ja mitoitus

Ohjaaja Tommi Keikko

Tiivistelmä

Vuosi 2022

TIIVISTELMÄ

Mitoitettaessa kiinteistön jakeluverkkoa suunnittelijan tulee huomioida suojauksiin liittyvät standardit ja määritykset sekä jakeluverkon laskentaperiaatteet. Työn aihe valikoitui, kun toimeksiantajayrityksessä tarkasteltiin erään kohteen mitoitusperiaatteita.

Jakeluverkon mitoitus on aihealueena laaja ja sen suunnittelijalta vaaditaan tietämystä aiheeseen liittyvästä teoria-aineistosta ja standardeista. Työn teoreettinen viitekehys koostuu D1-käsikirjasta ja SFS-standardeista.

Työn tarkoituksena oli tarkastella varistorakennuksen alustavan sähköjakeluverkon vikasuojauksen toteutumista ja etsiä yleisiä ratkaisuja, havaintoja sekä korjausehdotuksia. Tarkoituksena oli tarkastella keskuskaaviopohjan rakennetta ja paikkaansapitävyyttä.

Työn tavoitteena oli saada alustava jakeluverkko muutettua siten, että vikasuojaus toteutuu SFS-standardin mukaisesti. Työn tavoitteena oli myös tarkastella mahdollisia kustannussäästöjä, joita voidaan saavuttaa oikeanlaisella keskuksen mitoituksella.

Työn tuloksena saatiin luotua kohteeseen Febdok-ohjelmalla vikasuojauksen todentumisen raportti. Kohteesta tehtiin huomioita esimerkiksi oikosulkuvirtojen riittävydestä ja kaapelivalinnoista, joita pystytään hyödyntämään suunnitteluvaiheessa. Tehtyjen tarkastelujen perusteella tuotiin toimenpide-ehdotus toimeksiantajayritykselle.

Avainsanat Jakeluverkko, oikosulkuvirta, vikasuojaus

Sivut 43 sivua

Electrical and Automation engineering

Abstract

Author Eetu Niemelä

Year 2022

Subject Design and dimensioning of the distribution network of a property connected to a low-voltage distribution network

Supervisors Tommi Keikko

ABSTRACT

When dimensioning the property's distribution network, the designer must take into account the standard specifications and accounting principles related to hedging. The topic of the thesis was chosen to help the client company to unify sizing principles.

The dimensioning of the distribution network is extensive as a subject area and it's designer is required to have knowledge of the relevant theoretical material and standards. The theoretical framework of the thesis consists of the D1 manual and SFS standards.

The purpose of the thesis was to examine the implementation of fault protection in the preliminary electricity distribution network of the warehouse building and to look for general solutions, observations and repair proposals. The purpose was to examine the structure and accuracy of the switchboard chart template.

The aim of the work was to change the initial distribution network so that fault protection is implemented in accordance with the SFS standard. The aim of the work was also to look at possible cost savings that can be achieved with the right sizing of the switchboard.

As a result of the work, dimensioning and examination of the object was created. Remarks were made on the site, for example, about the adequacy of short-circuit currents and cable choices that can be utilized in the design phase. Based on the reviews, a draft measure was suggested to the client company.

Keywords Main, short circuit current, fault protection.

Pages 43 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähköjärjestelmien suojaus	2
2.1	TN-Järjestelmät.....	2
2.2	Perussuojaus.....	5
2.2.1	Suojausluokat	6
2.2.2	Kotelointiluokat	7
2.3	Vikasuojaus.....	8
2.3.1	Vikasuojauksen lisäsuojaus vikavirtasuojaa käyttäen	9
2.3.2	Vikasuojauksen suunnittelu	10
2.4	Oikosulkusuojaus	14
2.4.1	Oikosulkuvirran laskeminen	15
2.4.2	Oikosulkuvirtaa rajoittavat tekijät.....	17
2.5	Ylivirtasuojaus.....	18
2.5.1	Suojalaitteiden valinta	18
2.5.2	Ylikuormitussuojaus eri suojalaitteilla	19
2.5.3	Kaapelin kuormitettavuus	20
2.6	Suojalaitteen selektiivisyys.....	22
3	Varastorakennuksen sähköjakeluverkon vikasuojauksen todentaminen	24
3.1	Lähtötietojen kerääminen.....	24
3.1.1	Jakeluverkon tarkastelu	24
3.1.2	Kaapelikoot sekä tyypit	26
3.1.3	Suojalaitteet	27
3.2	Vikasuojauksen simulointi	28
3.3	Vikasuojausraportti ja sen hyödyntäminen	35
3.4	Keskusvalmistajille ilmoitettavat oikosulkuvirran lähtöarvot	38
3.5	Laskelmien vertailu	39
4	Yhteenvedo	42
	Lähteet	43

1 Johdanto

Työn aihe nousi esille, kun esimieheni kanssa tutkimme aiemman kohteen mitoituksen perusteita. Tiesimme, että kohteen parissa oli työskennellyt moni eri työntekijä, koska ajan puutteen vuoksi kohde siirtyi työntekijältä toiselle.

Työn tarkoituksena oli tehdä suunnittelukohteen alustavasta jakeluverkon suunnitelmasta havaintoja, yleisiä ratkaisuja sekä korjausehdotuksia tarpeen vaatiessa. Tarkoituksena oli muuttaa jakeluverkko siten, että vikasuojaus todentuu standardin mukaisesti. Työn teoreettinen viitekehys perustuu D1-käsikirjaan sekä SFS-standardeihin.

Tavoitteena tässä työssä oli laatia kohteesta vikasuojausraportti, jota pystytään hyödyntämään kohteen suunnittelussa. Tavoitteena oli myös tarkastella toimeksiantajayrityksellä käytössä olevaa laskentaohjelmistoa ja sen hyödynnettävyyttä suunnitelmissa. Yrityksellä ei ole nykyiseen työkaluun pohjautuvaa teoria-aineistoa ja jokainen työntekijä joutuu etsimään tarvittavat tiedot standardeista. Tämä vie reilusti aikaa siihen verrattuna, että tieto löytyisi yhdestä paikasta. Tavoitteena oli kerryttää työn kirjoittajan ammatillista osaamista aiheesta, jotta sitä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa.

Vahanen-yhtiöt on vuonna 1955 perustettu insinööritoimisto. Alun perin Vahasen idea oli tuottaa tutkimustietoa erityisesti rakennusalan materiaaliteollisuuden tarpeisiin. Vuonna 2000 yrityksestä tuli yhtiö ja se laajentui tekemään rakennus- ja kiinteistöalan konsultointia. Vahanen-yhtiöt koostuu kahdestatoista sisaryhtiöstä, joihin lukeutuu mukaan Vahanen Talotekniikka Oy. Vahanen Talotekniikka Oy toimii toimeksiantajayrityksenä tälle työlle. Vahanen Talotekniikka Oy tarjoaa talotekniikkapalveluja osana kiinteistön kokonaisuutta. Talotekniikan sähköisiin palveluihin kuuluu muun muassa valaistussuunnittelu, talotekninen suunnittelu sekä sähköautojen latauspisteiden tarveselvitys. Työn kirjoittamisen aikana Vahanen-yhtiöt siirtyi yrityskaupan myötä ruotsalaiselle konsulttiyhtiölle lokakuussa 2021. Tästä seuraavia muutoksia ei ole vielä havaittu yrityksen sisällä. (VAHANEN, 2022)

2 Sähköjärjestelmien suojaus

SFS-6000 standardisarja on pienjännitesähköasennuksia käsittelevä standardi, joka määrittää säännöt, joiden mukaan pitää sähkölaitteistot Suomessa rakentaa. SFS-6000 standardisarjan uusinta tapahtuu viiden vuoden välein, ja uusin painos on vuodelta 2017.

Dokumentointiin liittyvät standardit ovat Suomessa SFS-EN 61082 sekä SFS-EN 81346.

Dokumentointi laaditaan standardien mukaisesti.

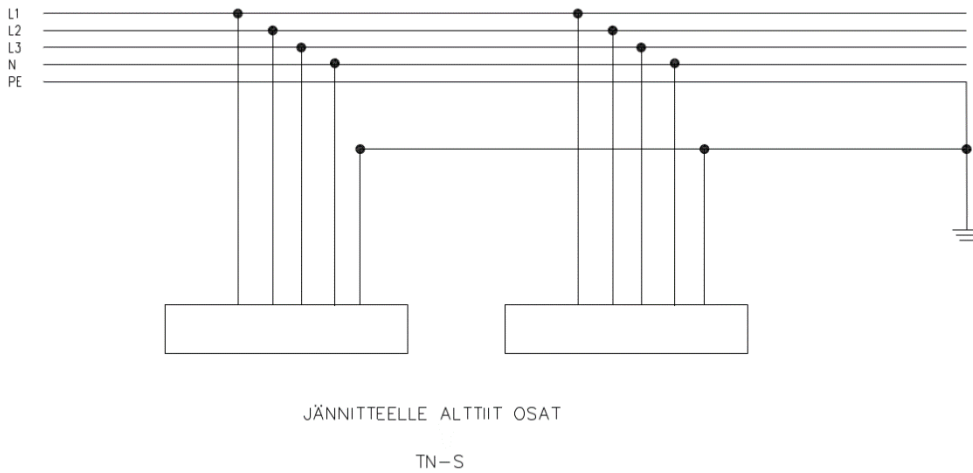
Tässä luvussa käydään läpi mitoitukseen liittyvää teoriaa, jota käytetään hyväksi lopputuotteen kanssa. Luvussa käsitellään olennaisimmat asiat mitoituksen kannalta sekä sähköverkon ominaisuuksista.

2.1 TN-Järjestelmät

TN-järjestelmillä tarkoitetaan järjestelmiä, jossa piirin yksi piste on maadoitettu, ja jännitteelle alttiit osat sähkölaitteistoissa ja -laitteissa on yhdistetty suojamaadoituksen avulla tähän pisteeseen. TN-järjestelmiin kuuluvat TN-S- ja TN-C-järjestelmät sekä näiden yhdistelmä TN-C-S-järjestelmä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, TN-järjestelmät)

TN-S- järjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jossa suojajohdin on kokonaan erotettu nollajohtimesta (Kuva 1.). Nykyisin tämä on yleisin rakennuksien sähköasennuksissa käytettävä järjestelmä. TN-S- järjestelmän käyttö on esimerkiksi pakollista lääkintätiloissa sekä räjähdys- ja paloalttiissa tiloissa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, TN-Järjestelmät)

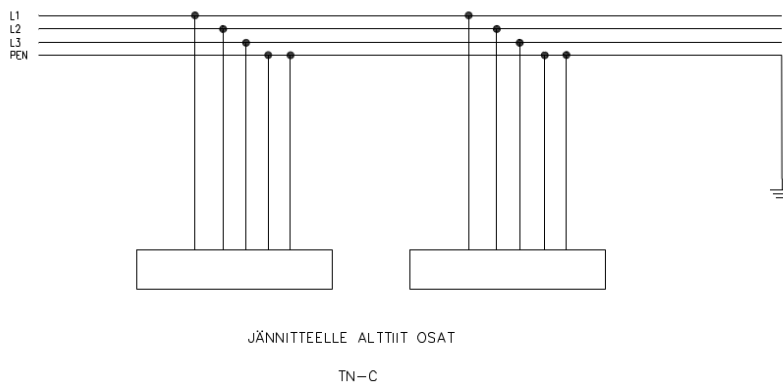
Kuva 1. TN-S-järjestelmän periaate



Johtimien määrä kolmivaihejärjestelmässä on tavallisesti joko viisi (L1, L2, L3, N ja PE) tai neljä (L1, L2, L3 ja PE), ja yksivaihejärjestelmässä kolme (L, N ja PE). Suojajohdinta ei ole 0- ja II- luokan laitteiden liitännäjohdoissa ollenkaan, eikä sitä tarvittaisi silloin keskukselta lähtevässä syöttävässä kaapelissakaan. Tällaisessa tilanteessa pitää olla varmuus siitä, ettei piiriin asennettaisi suojausluokan I laitetta. Yleisimmin edellämainittuja tilanteita ei tule, vaan sen sijaan asennetaan suojavaadoituksellinen ryhmäjohto, jolla on mahdollisuus käyttää suojausluokan I tai II laitteita. Suojausluokan II laitteita syöttävissä piireissä täytyy olla suojajohdin, joka mahdollistaa tällöin suojausluokkaan I siirtymisen tarvittaessa. Suojausluokista kerrotaan työssä myöhemmin lisää. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, TN-järjestelmät)

TN-C-järjestelmässä on yhteinen suoja- sekä nollajohdin PEN, kuten kuvassa 2 on esitetty. TN-C-järjestelmää on käytetty ennen 2000-lukua kaikissa asennuksissa, mutta nykyään PEN-johdinta voidaan käyttää vain ennen liittymäkohtaa. Liittymäkohdalla tarkoitetaan jakeluverkon ja kiinteistöverkon yhdistymiskohtaa. TN-C-järjestelmää on mahdollista käyttää nykyään ennen asennuksen liittymiskohtaa ja johtimien poikkipinta-alan kasvaessa yli 10 mm² kupari tai 16mm² alumiinia. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, TN-järjestelmät)

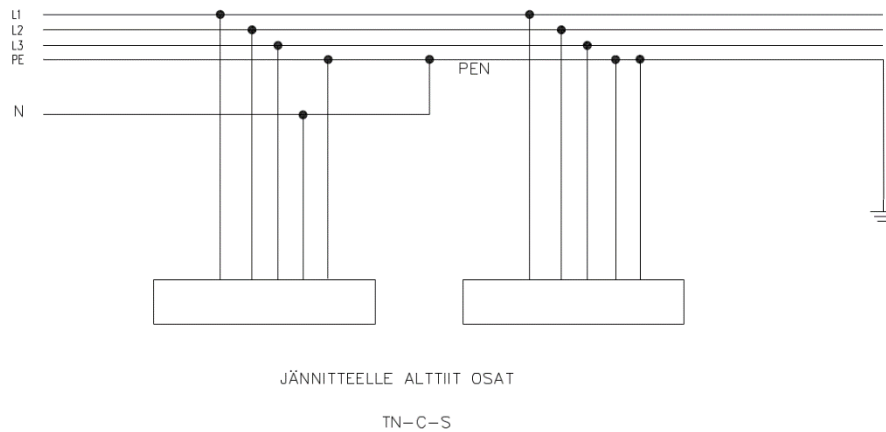
Kuva 2. TN-C-Järjestelmän periaate



Kun TN-C-järjestelmää käytetään kolmivaihejärjestelmässä, tarvitaan neljä johdinta (L1,L2,L3 ja PEN). Yksivaiheinen TN-C-järjestelmä on lähinnä teoreettinen yllä mainitun poikkipintavaatimuksen takia.

TN-C-S-järjestelmä on edellämainittujen järjestelmien yhdistelmä. Sekäjärjestelmällä tarkoitetaan, että se sisältää TN-C järjestelmää ja TN-S järjestelmää. TN-C- järjestelmä on aina syöttävän verkon puolella TN-S järjestelmään katsoen, koska jo erotettua suoja- ja nollajohdinta ei saa enää uudelleen kytkeä PEN-johtimeksi. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, TN-järjestelmät) Tällaista järjestelmää käytetään, jos esimerkiksi saneerataan vanhaa kohdetta, johon uusitaan huoneistoihin tulevat syöttökaapelit, mutta ei rakennuksen liittymäkaapelia.

Kuva 3. TN-C-S-Järjestelmän periaate



2.2 Perussuojaus

Perussuojaus eli kosketussuojaus on menetelmä, jossa ihmistä suojataan sähkölaitteiston jännitteisten osien kosketukselta laitteen ollessa normaalitilassa. Esimerkiksi sähköjohdot ovat suojattu johtamattomalla aineella, kuten muovilla sekä sähkölaitteiden jännitteiset osat ovat suojan tai kotelon takana.

Perussuojaus jaetaan kahteen kategoriaan: kaikelta koskettamiselta suojautuminen ja tahattomalta koskettamiselta suojautuminen. Asuinrakennuksissa käytetään tavallisimmin perussuojausmenetelmänä eristystä ja sähkölaitteet valitaan koteloituokituksen mukaisesti. Koteiluokituksen tulee olla vähintään IP20 (Taulukko 1). Perussuojauksena on myös mahdollista käyttää esteitä, ettei laitteisiin pääse käsiksi tai laitteet sijoitetaan kosketusetäisyyden ulkopuolelle. Edellämainittuja tapoja käytetään yleisimmin vain erityistapauksissa, kuten tiloissa, joihin pääsee vain sähköalan ammattihenkilö. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Perussuojaus)

2.2.1 Suojausluokat

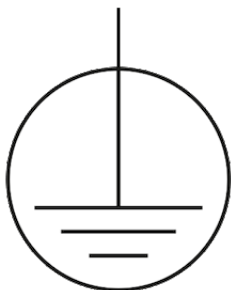
Sähköiskulta suojautumisen kannalta sähkölaitteet jaetaan neljään eri luokkaan 0, I, II ja III.

Luokitukset kertovat, miten sähkölaitteet ovat suojattu.

Luokan 0 laitteessa käytetään vain peruseristystä, eli siinä on yksinkertainen eristys. Luokan 0 suojaus perustuu siihen, että jos eristys pettää on tällöin käyttöympäristö oltava eristävä. Tästä syystä se on hankala toteuttaa ja luokan 0 laitteita ei ole myyty enää kahteen vuosikymmeneen. Luokan 0 laite on mahdollista tunnistaa pyöreästä pistotulpasta, ja se sopii vain pistorasiaan missä ei ole suojakosketinta. (STEK ry, 2018-2022)

Luokan I laitteessa sähköiskulta suojaaminen ja peruseristys on toteutettu suojamaadoituksella. Laitteen runko on yhdistetty suojamaadoituksen avulla maahan, tällöin laitteeseen saadaan aikaiseksi potentiaalintasaus. Potentiaalitasauksella ei synny runkojen välille jännite-eroja, jotka voisivat aiheuttaa sähköiskuja. Sähkölaitteiden rungon ollessa yhdistettynä maahan, eristysvika aiheuttaa maahan niin suuren virran, että suojalaitteena toimiva sulake tai katkaisija toimii nopeasti. Luokan I siirrettävissä sähkölaitteissa tulee olla suojakoskettimella varustettu pistotulppa. Luokan I laitteita ovat esimerkiksi normaalit valaisimet, kodinkoneet, moottorit jne. Luokan I sähkölaitteiden maadoitus on mahdollista tunnistaa kuvan 4 mukaisesta merkistä. (STEK ry, 2018-2022)

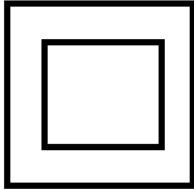
Kuva 4. Luokan I laitteiden liittimissä oleva symboli, johon myös suojamaadoitus kytketään (STEK ry, 2018-2022)



Luokan II sähkölaitteissa on peruseristys ja lisäksi lisäeristys, jonka tarkoituksena on suojata peruseristysten rikkoutuessa. Luokan II laitteisiin ei kytketä suojamaadoitusta ollenkaan, koska laitteen jännitteisiin osiin ei ole mahdollisuutta normaalitilanteessa päästä käsiksi. Tyypillisiä

luokan II laitteita ovat siirrettävät tai käytön aikana kädessä pidettävät laitteet ja kevyet viihde-elektroniikan laitteet, ne tunnistetaan kuvan 5 merkistä. Luokan II pienet laitteet sisältävät litteän pistotulpan tai pyöreän pistotulpan, jossa on suojakoskettimien kohdalla tyhjä aukot. (STEK ry, 2018-2022)

Kuva 5 Luokan II laitteen symboli (STEK ry, 2018-2022)



Luokan III laitteet ovat pienoisjännitettä käyttäviä laitteita, eli korkeintaan 50 V vaihtojännitettä tai 120 V tasajännitettä. Yleisimmin käytetään 12 V tai 24 V jännitettä. Jännite muutetaan verkkovirrasta (230 V) muuntajalla tai muulla liitälaitteella sopivaksi jännitteeksi ja tällöin saavutetaan myös syöttävästä verkosta luotettava erotus. (STEK ry, 2018-2022)

2.2.2 Kotelointiluokat

Sähkölaitteiden IP-luokitus (International Protection) on luokitus, jolla arvioidaan sähkölaitteiden veden-, pölyn- ja vieraiden esineiden kestoisuutta. Laitteesta löytyvä koodi voi olla esimerkiksi IP 44, jossa ensimmäinen numero tarkoittaa miten laite on suojattu vierailta esineiltä ja pölyltä, ja toinen numero kertoo miten se on suojattu vedeltä. On mahdollista, että mainitun esimerkin lisäksi luokitus on vielä varustettu lisäkirjaimella A-D, jossa kerrotaan, miten laite on suojattu erityisesti koskettamiselta. Sähkökeskusten IP-luokitus yleisimmin on IP-20...65 välillä. (STEK ry, 2018-2022)

Taulukko 1 IP-luokituksen selitettynä (STEK ry, 2018-2022)

IP-Luokitukset	
IP-XY	
X	
0 = Suojaamaton	
1 = Kun esineen halkaisija on yli 50mm	
2 = Kun esineen halkaisija on yli 12,5mm	
3 = Kun esineen halkaisija on yli 2,5mm	
4 = Kun esineen halkaisija on yli 1,0 mm	
5 = pölysuojattu	
6 = Pölytiivis	
Y	
0 = Suojaamaton	
1 = Pystysuoraan tippuvalta vedeltä	
2 = Tippuvalta vedeltä (+/- 15 astetta)	
3 = Satavalta vedeltä (+/- 60 astetta)	
4 = Roiskuvalta vedeltä	
5 = Vesisuihkulta	
6= Voimakkaalta vesisuihkulta	
7= Lyhytaikaisesti upotettuna	
8 = Jatkuvasti upotettuna	
9 = Korkeapaineiselta ja kuumalta vesisuihkulta	
A suojattu nyrkiltä	
B suojattu sormelta	
C suojattu työkalulta	
D suojattu langalta	

2.3 Vikasuojaus

Vikasuojauksen tarkoituksena on estää vikatilanteesta johtuva vaihe- ja suojajohtimen oikosulku riittävän nopeasti, ettei siitä aiheutuisi vaaraa ihmisille tai kotieläimille. Vikasuojauksen toteutuminen tulee tarkastaa käyttöönottovaiheessa. Tarkastuksen voi tehdä laskemalla tai mittaamalla oikosulkuvirta. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Vikasuojaus)

Yleisimmin vikasuojaus toteutetaan syötön automaattisen poiskytkennän avulla. Syötön automaattinen poiskytkentä tarvitsee riittävän suuren oikosulkuvirran toimiakseen. Riippuen suojalaitteen nimellisvirrasta, sen tulee toimia joko 0.4 sekunnissa tai 5 sekunnissa.

Jakeluverkoissa sekä yli 32 A ryhmäjohtoissa poiskytkentäaika on yleisimmin 5 sekuntia, muulloin 0,4 sekuntia. Nopean poiskytkennän lisäksi, jännitteen suuruutta vikasuojauksella pyritään rajoittamaan potentiaalintasauksella. Potentiaalintasaus toteutetaan siten, että sähkölaitteiden jännitteille alttiit osat sekä muut johtavat osat yhdistetään samaan potentiaaliin. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Vikasuojaus syötön automaattisen poiskytkennän avulla)

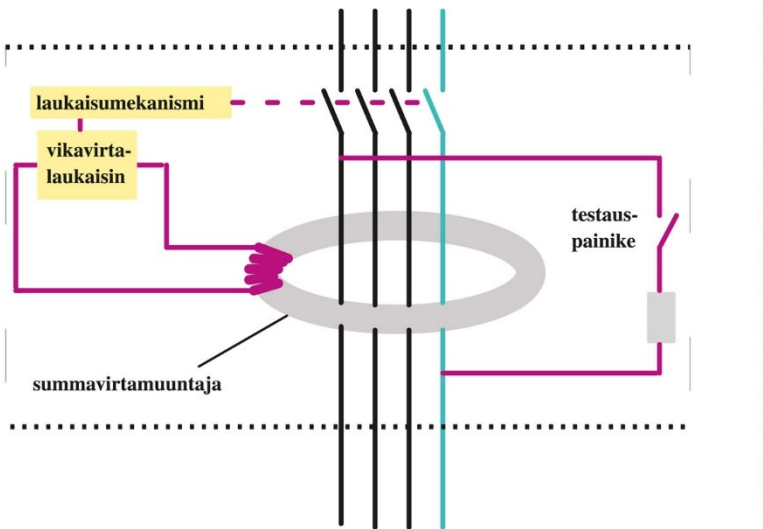
Jokaisessa rakennuksessa tulee olla potentiaalintasaus. Se toteutetaan niin, että suojaava potentiaalintasaus kytketään päämaadoituskiskoon ja kaikki sisälle tulevat sähköasennuksiin kuulumattomat metalliset osat maadoitetaan. Sellaisia ovat esimerkiksi metalliset ilmanvaihtojärjestelmä, betonirakenteiden teräkset, jotka ovat kosketeltavissa, sekä kaasu-, vesi- ja kaukolämpöputket. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Vikasuojaus syötön automaattisen poiskytkennän avulla)

Keskuksien kaikki jännitteelle alttiit osat tulee olla yhteydessä syötön suojajohtimeen tai maadoitusjohtimen kautta maadoitusjärjestelmään. Nämä liitännät on mahdollista toteuttaa esimerkiksi metallisilla ruuveilla, hitsaamalla tai muilla johtavilla liitännöillä. Maadoituskeskuksessa tulee rakentaa siten, että keskuksen mahdollinen purkaminen ei vaikuta toimivaan maadoitukseen mitenkään. (SFS-EN 61439-1, 2013 s. 72)

2.3.1 Vikasuojauksen lisäsuojaus vikavirtasuojaa käyttäen

Vikavirtasuojan toimintaperiaate on, että sähkölaitteiden vaihejohtintä pitkin menevä virta palaa nollajohdinta tai vaihtoehtoisesti muita vaihejohtimia pitkin lähtöpisteeseen, kuten kuvassa 6 on esitetty. Normaalitilanteessa näiden summavirta on nolla. Mikäli summavirta poikkeaa nolasta eli meno- ja paluuvirta eivät ole yhtä suuret, vikavirtasuojauksen laukeaa. Vikavirtasuojauksista ei ole mahdollista käyttää TN-C-järjestelmän asennuksissa, koska tällöin nollajohdin on yhteydessä maahan. (STEK ry, 2018-2022)

Kuva 6. Vikavirtasuojan toimintaperiaate (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Vikavirtasuojat).



Vikavirtasuojaja toimii lisäsuojauksena perussuojaukseen vikasuojauksen pettäessä ja havaitsee nopeasti myös niitä vikoja, joita perinteiset oikosulkusuojaukset ja vikasuojaukset ei välttämättä havaitse. Uusimpien standardien mukaisesti vikavirtasuojaa vaaditaan lähes kaikissa pistorasia-asennuksissa sekä monissa valaisinryhmissä. (STEK ry , 2018-2022)

2.3.2 Vikasuojauksen suunnittelu

Sähkölaitteistojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös vikasuojauksen toiminta.

Suojalaitteen pienin sallittu oikosulkuvirran arvo tulee selvittää, jotta suojaus toimii (taulukot 1, 2 ja 3). Mittauslämpötilan ollessa alhaisempi kuin oikosulun aikainen lämpötila, tulee mitattujen oikosulkuvirtojen olla 25% suurempia kuin suojalaitteen toimintarajavirrat. Seuraavissa taulukoissa

1, 2 ja 3 esitetään pienimmät sallitut oikosulkuvirrat eri suojalaitteilla eri toiminta-aikoina. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Vikasuojauksen suunnittelu)

Taulukko 2 Pienimmät toimintavirrat B- ja C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoille (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Vikasuojauksen suunnittelu).

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
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	1 000
125	625	781,3	1 250	1 562,5

Taulukko 3 Pienimmät toimintavirrat D- ja K-tyyppin johdonsuojakatkaisijoilla (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Vikasuojauksen suunnittelu).

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	D-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	K-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
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	1 000	1 250	600	750
63	1 260	1 575	756	945
80	1 600	2 000	960	1 200
125	2 500	3 125	1 500	1 875

Taulukko 4 Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeilla (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Vikasuojauksen suunnittelu).

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	gG-sulake 0,4 s	Vaadittu mitattu	gG-sulake 5,0 s	Vaadittu mitattu
A	A	arvo A	A	arvo A
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	206,3
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	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

Piirin suojauksen osalta on haastavaa selvittää, onko oikosulkuvirta riittävä. Suojauksen toimivuuden selvittäminen jo suunnitteluvaiheessa on erittäin tärkeää, koska suojauksen korjaaminen tai muuttaminen jo työn valmistuttua on erittäin työlästä. Tarkasteltaessa poiskytkentäehtoja on ensimmäiseksi hyvä selvittää, miten laajasti ja mistä kohdista oikosulkuvirta tulee määrittää. Yhdessä virtapiirissä riittää, että oikosulkuvirta määritetään kauimmaisesta pisteestä suojalaitteeseen nähden. Jos kauimmaisessa pisteessä oikosulkuvirta on riittävä, sen on oltava riittävä myös suojalaitetta lähempänä olevissa pisteissä. On myös mahdollista käyttää hyväksi suojauksen osalta heikointa piirin oikosulkuvirran arvoa muiden piirien toimivuuden selvittämisessä. Oikosulkuvirta tulee määrittää vaihe- ja suojajohtimen väliltä, jotta vikasuojausehdot toteutuvat. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Vikasuojauksen suunnittelu)

2.4 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksella tarkoitetaan johtimen suojaamista oikosulkuvirran dynaamisilta sekä lämpövaikutuksilta. Oikosulkusuojausten on toteuduttava johtimien välisessä oikosulussa aina, tapahtui se sitten missä kohtaa johdinta tahansa. Vikatilanteessa voi tapahtua oikosulku, josta voi syntyä isojaikin oikosulkuvirtoja.

Keskuksen tulee kestää sellainen oikosulkuvirta, joka ei ylitä mitoitusarvoja sekä kestää oikosulkuvirran aiheuttamat termiset ja dynaamiset rasitukset. (SFS-EN 61439-1, 2013, s. 92).

Oikosulkusuojaukselle on kaksi vaatimusta, joiden tulee täyttyä:

- Oikosulkusuojan on katkaistava piirin suurin prospektiivinen oikosulkuvirta.
- Poiskytkennän pitää tapahtua ennen kuin piiri, jota suojalaite suojaa vaurioituu.

Prospektiivisella oikosulkuvirralla tarkoitetaan virtaa, joka kulkee piirin syöttöjohtimissa, kun ne on oikosuljettu merkityksettömän impedanssin omaavalla johtimella niin lähellä keskuksen syöttöliittimiä kuin mahdollista. Prospektiivista oikosulkuvirtaa käytetään suojalaitteen katkaisukykyä määriteltäessä, jolloin suojalaitteen oikosulkuvirtaa rajoittavaa vaikutusta ei voida ottaa huomioon. Suojalaitteen virtaa rajoittava vaikutus voidaan kuitenkin ottaa huomioon keskuksen oikosulkukestoisuutta määritettäessä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Oikosulkusuojaus) Virtapiiri tulee suunnitella standardin SFS 6000 434.5.2 mitoituskaavan mukaisesti (1) (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017).

$$t = \left(k \cdot \frac{A}{I}\right)^2 \quad (1)$$

jossa

t= oikosulun sallittu kesto aika (s)

k= Johdinvakio

A= Johtimen poikkipinta-ala (mm²)

I= Oikosulkuvirran suuruus (A)

Terminen rasitus johtimessa oikosulun aikana ei saa ylittää suojalaitteesta läpipääsevää energiaa. Käytännössä tämä pystytään usein varmistamaan valmistajan antamien taulukoiden ja käyrien avulla. Mikäli sellaista ei ole saatavilla, on mahdollista käyttää taulukkoa 1, 2 ja 3.

Yllä olevaa yhtälöä on mahdollista käyttää silloin, kun vikatilanne on enintään 5 sekuntia. Mikäli oikosulun kesto on kauemmin kuin 5 sekuntia, edellyttää se suojalaitteen toimintakäyrien ja johtimen lämpenemiskäyrien vertailua toimivuuden varmistamiseksi.

Laskentakaavaa käytetään silloin, kun on erillinen ylikuormitussuoja ja oikosulkusuoja. Tällöin oikosulkusuoja on nimellisvirraltaan suurempi kuin johtimeen kohdistuva todellinen kuormitettavuus. Tilanteessa jossa on yhteinen ylikuormitus- ja oikosulkusuoja, ei tarvitse kaavaa käyttää, koska riittää että varmistetaan, että suojalaitteen katkaisukyky on riittävä.

2.4.1 Oikosulkuvirran laskeminen

Oikosulkuvirta saadaan laskettua Thevenin menetelmällä. Menetelmässä luodaan sijaiskytkentä, ja verkosta tehdään yksinkertainen malli. Oikosulkuimpedanssilla korvataan verkon komponentit, joita ovat nolla-, vasta ja myötäimpedanssi. Oikosulkuvirta voidaan laskea yhtälöllä 2 (ABB Oy, 2000).

$$I_k = \frac{cU}{\left(\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_k^2 + X_k^2)}\right)} = \frac{cU}{\sqrt{3}Z_k} \quad (2)$$

I_k = alkuoikosulkuvirta

c = jännitekerroin, joka on 0,95, tällöin otetaan huomioon myös jännitteenalennema sulakkeissa, liittimissä, johdoissa ja kytkimissä.

U = pääjännite

R_k = resistanssi verkossa

X_k = reaktanssi verkossa

Z_k = impedanssi verkossa

Dynaaminen oikosulkuvirta on sysäysoikosulkuvirta eli suurin mahdollinen oikosulkuvirran arvo. Dynaamista oikosulkuvirtaa on mahdollista rajoittaa käyttämällä katkaisijaa, sulaketta tai näiden yhdistelmää. (SFS-EN 61439-1, 2013, ss. 92-94)

$$I_{pk} = n \cdot I_{cp} \quad (3)$$

I_{pk} = dynaaminen oikosulkuvirta

n = tehokerroin taulukon 5 mukaisesti

I_{cp} = prospektiivinen oikosulkuvirta

Taulukko 5. Sysäyskerroin laskettaessa huippuvirtaa (SFS-EN 61439-1, 2013, s. 94).

Oikosulkuvirran tehollisarvo kA	Sysäyskerroin n	$\cos \phi$
$I_k \leq 5$	1,5	0,7
$5 < I_k \leq 10$	1,7	0,5
$10 < I_k \leq 20$	2	0,3
$20 < I_k \leq 50$	2,1	0,25
$50 < I_k$	2,2	0,2

Oikosulkuvirran arvoa, joka kuvaa komponenttien fyysistä virtakestoisuutta kutsutaan termiseksi oikosulkuvirraksi. Termistä oikosulkuvirtaa käytetään keskuksen mitoituksessa. Termistä oikosulkuvirtaa mitoittaessa aiheutetaan laskennallisesti kohteeseen terminen rasite. Terminen oikosulkuvirta määritetään yleensä sekunnin aikana tapahtuvasta rasituksesta, ja se voidaan laskea yhtälöllä 4 (ABB Oy, 2000).

$$I_{CW} = I_k \cdot \sqrt{(m + n) \cdot t_k} \quad (4)$$

I_{CW} = terminen oikosulkuvirta

I_k = alkuoikosulkuvirta

m = tasavirtatekijä

n = vaihtovirtatekijä

t_k = vian kesto aika sekunteina (1s)

Tasa- ja vaihtovirtatekijöiden summa on 1 pienjänniteverkon oikosulkuvirtalaskelmissa, oikosulun keston olessa yli 0.5 s. Tämä saadaan yhtälöllä 5.

$$I_{CW} = I_k \cdot \sqrt{t_k} \quad (5)$$

I_{CW} = Terminen oikosulkuvirta

I_k = alkuoikosulkuvirta

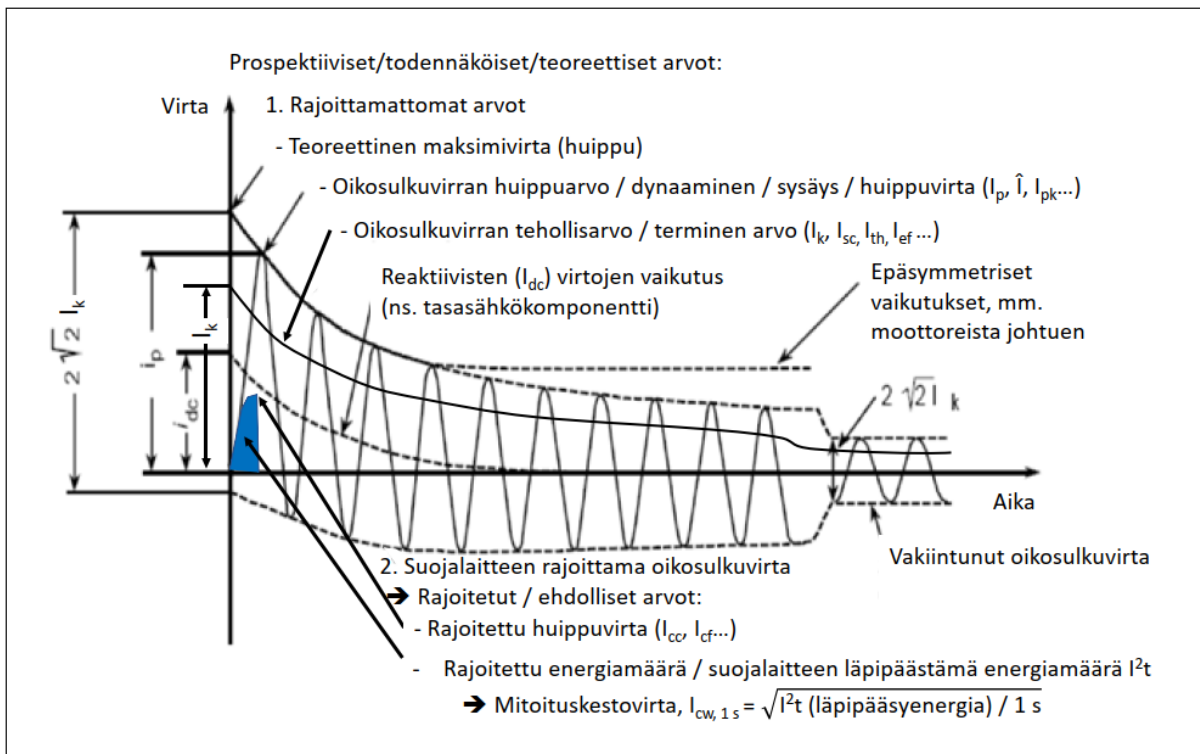
t_k = vian kesto aika sekunteina

2.4.2 Oikosulkuvirtaa rajoittavat tekijät

Eri suojalaitteet rajoittavat oikosulkuvirran arvoja eri tavoin. Käytettäessä ilmakatkaisjoissa suurilla oikosulkuvirran arvoilla ei katkaisijalla ole rajoittavia ominaisuuksia. Kompaktikatkaisijoiden sekä sulakkeiden virranrajoituksella tarkoitetaan, että oikosulkutilanteessa suojalaite toimii niin nopeasti, että se katkaisee virran ja leikkaa virran huippuarvoa. Pienemmillä oikosulkuvirran arvoilla kahvasulake päästää enemmän virtaa läpi eli oikosulkuvirran arvo on suurempi. Tästä syystä rajoitettua tehollisarvoa tarkasteltaessa käytetään suojalaitteen ilmoittamaa pienintä oikosulkuvirran arvoa. Rajoitetuilla virran arvoilla mahdollistetaan kevyemmän rakenteen käyttäminen keskuksissa. Tällä saadaan merkittävä taloudellinen vaikutus. Virranrajoituksen huomioinnin puutteet aiheuttavat virheen kuitenkin vain turvallisempaan suuntaan, koska tällöin keskuksat ovat ylivoimattuja ja metallia kuluu vain liikaa (Orrberg, 2018, ss. 33-34).

Kuvassa 15 esitetään, miten suojalaitte rajoittaa teoreettisessa tilanteessa oikosulkuvirran huippuarvoa sekä tehollisarvoa. Kuvassa siniaallon mustavalkoisessa alueessa kuvataan tilannetta, jossa ei ole mitään, mikä rajoittaisi oikosulkuvirran huippu- ja tehollisarvoa. Sinisessä alueessa kuvataan suojalaitetta, joka on rajoittava tekijä.

Kuva 7. Oikosulkuvirran käyrämuoto (Orrberg, 2018).



2.5 Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojaus jakaantuu kahteen eri osa-alueeseen ylikuormitussuojaukseen ja oikosulkusuojaukseen. Ylikuormitussuojauksen tarkoituksena on, että johtojen virta ei lämmitä johtoja liikaa. Käytännössä se siis estää liian suuren kuorman kytkemisen syöttävään ryhmään. Oikosulkusuojauksen tarkoituksena on suojata sähkölaitteita vikatilanteessa.

2.5.1 Suojalaitteiden valinta

Suojalaitteiden valinta on tärkeää, sillä niitä on mahdollista valita sekä suojaamaan ylikuormitusta oikosulkuvirroilta tai erikseen kummaltakin. Suojalaitteita, jotka suojaavat niin ylikuormitukselta kuin oikosulkuvirroilta, ovat sulakkeet, johdonsuojakatkaisijat ja katkaisijat.

Suojalaitteen toimiessa sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojana, pitää suojalaite valita nimellisvirraltaan siten, että johdon ei ole mahdollista ylikuormittaa. Suojalaitteen katkaisukyvyssä vähintään suurimman prospektiivisen oikosulkuvirran suuruinen, oikosulkusuojaus toteutuu. Oikosulkuvirran arvojen ollessa pieniä suojalaite toimii ylikuormitustilanteessa vastaavalla tavalla. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Suojalaitteet, jotka suojaavat sekä ylikuormitus- että oikosulkuvirroilla)

Moottorinsuojakytkin on yksi esimerkki pelkästään ylikuormitussuojana toimivasta suojalaitteesta. On mahdollista, että sulake tai johdonsuojakatkaisija toimii myös pelkästään, ellei suojalaitteen katkaisukyky ole riittävä. Silloin kun käytetään erillistä ylikuormitussuojaa, nimellisvirraltaan oikosulkusuoja voi olla suurempi kuin johtimen jatkuva kuormitettavuus. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Ylivirtasuojat, jotka toimii vain ylikuormitussuojana)

Ylivirtasuojan toimiessa ainoastaan oikosulkusuojana sulakkeen nimellisvirta ei saa olla ylikuormitussuojaan nähden suurempi. Moottorien oikosulkusuojana käytettävä aM-sulake on suojalaite joka sopii tällaisiin tilanteisiin. Oikosulku- ja ylikuormitussuojaa erikseen käytettäessä pitää huomioida, että ylikuormitussuojan nimellisvirta ei ylitä johdon jatkuvaa kuormitettavuutta. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Ylivirtasuojat, jotka toimii vain oikosulkusuojana)

2.5.2 Ylikuormitussuojaus eri suojalaitteilla

Johdonsuojakatkaisijoilla ylikuormitussuojan mitoituksessa käytetään yksinkertaista sääntöä: Suojalaitteen terminen toimintarajavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Jos johtimen kuormitettavuus olisi esimerkiksi 13.5 A, niin silloin ylikuormitussuojaksi valitaan 10 A. Tällaisia suojalaitteita ovat johdonsuojakatkaisijat, jotka on varustettu B- C- ja D-tyypillä. K-tyypin johdonsuojakatkaisijassa käytetään mitoituksessa 1,2-kertaista lukemaa, eli tämä antaa paremman suojauksen, kuin B- tai C-tyypin johdonsuojakatkaisija. K-tyypin johdonsuojakatkaisijassa ei voi kuitenkaan nimellisvirta olla kaapelin kuormitettavuutta suurempi. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijoilla) Katkaisijoita käytettäessä pystyy toimintavirran asettelemaan, asettelun tulee olla maksimissaan kaapelin kuormitettavan suuruinen. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Ylikuormitussuojaus katkaisijoilla)

Ylikuormitussuojausta käytettäessä sulakkeilla, ei tätä voi valita suoraan kaapelin kuormitettavuuden mukaisesti, sillä sulakkeen nimellisvirtaan verrattuna sulamisrajavirta on noin

1,6-2,1 suuruinen. Sulamisrajavirralla tarkoitetaan virtaa, jolla sulake toimii varmasti tunnin kuluessa. Mitoituksessa käytetään yhtälöä 6. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Ylikuormitussuojaus sulakkeilla)

$$k \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z \quad (6)$$

jossa

I_n = suojalaitteen nimellisvirta

I_z = kaapelin jatkuva kuormitettavuus

k = sulakkeen sulamisrajavirran suhde ja sulakkeen nimellisvirran suhde

Vaihtoehtoisesti helpompi tapa on käyttää taulukkoa 7, johon on koottu gG-sulaketta käytettäessä pienimmät kuormitettavuudet. Taulukkoa käytettäessä ei tarvitse erikseen laskea johtimien minimikuormitettavuutta.

2.5.3 Kaapelin kuormitettavuus

Kuormitettavuuden avulla tehdään johtimien poikkipinta-alan mitoitus. Kaapelin kuormitettavuus määritellään sen suurimman sallitun lämpötilan perusteella. Kuormitettavuusarvon jatkuva ylittyminen johtaa kaapelin eristeen käyttöiän lyhenemiseen. Liian suuri lämpötila pahimmillaan voi johtaa tulipaloon. Johtimien kuormitettavuusarvot on määritelty SFS6000-5-52- standardissa referenssiasennusolosuhteilla yksittäisille kaapeleille. Referenssiasennusolosuhteissa lämpötila asennustavalla E on 30 °C ja asennustavalla D 20 °C. (ABB Oy, 2000)

SFS6000-5-52-standardiin on koottu asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet.

Korjauskertoimia on käytetään silloin kun referenssiolosuhteet poikkeavat asennusolosuhteista.

(ABB Oy, 2000) Tarkemman mitoituksen ollessa tarpeellista tulee ottaa huomioon johtimen asennustapa ja siihen liittyvät korjauskertoimet. Korjauskertoimet kerrotaan keskenään ja tulolla jaetaan suojalaitteen nimellisvirta tai taulukosta 6 saatu kuormitettavuuden vähimmäisarvo.

Asennustapa A eli uppoasennus sisältää asennukset, joissa kaapeli menee putkessa seinän sisässä tai kaapeli mene eristetyssä seinässä.

Asennustapa C eli pinta-asennus sisältää asennukset, joissa kaapeli menee seinän pinnalla, kivrakenteessa tai asennuskanavassa.

Asennustapa D tarkoittaa maassa olevaa kaapelia putkessa tai suoraan maassa.

Asennustavassa E kaapeli kulkee ilmassa vapaana. Asennustapaan E kuuluu myös kaapelihyllyasennukset.

Taulukko 6. Johtimien kuormitettavuus asennustapojen mukaisesti (ABB Oy, 2000)

Johtimien poikkipinta mm ²	Johtimien suurin sallittu jatkuva kuormitettavuus A			
	Asennustapa			
	A	C	D	E
Kupari				
1.5	14	18.5	26	19
2.5	19	25	35	26
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	133	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
Alumiini				
16	43	62	78	65
25	56	77	100	83
35	69	95	125	102
50	83	117	150	124
70	104	148	185	159
95	125	180	220	194
120	143	209	255	225
150	164	240	280	260
185	187	274	330	297
240	219	323	375	350
300	372	372	430	404

Taulukko 7. Johtimen kuormitettavuuden minimiarvot (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, Ylikuormitussuojaus sulakkeilla).

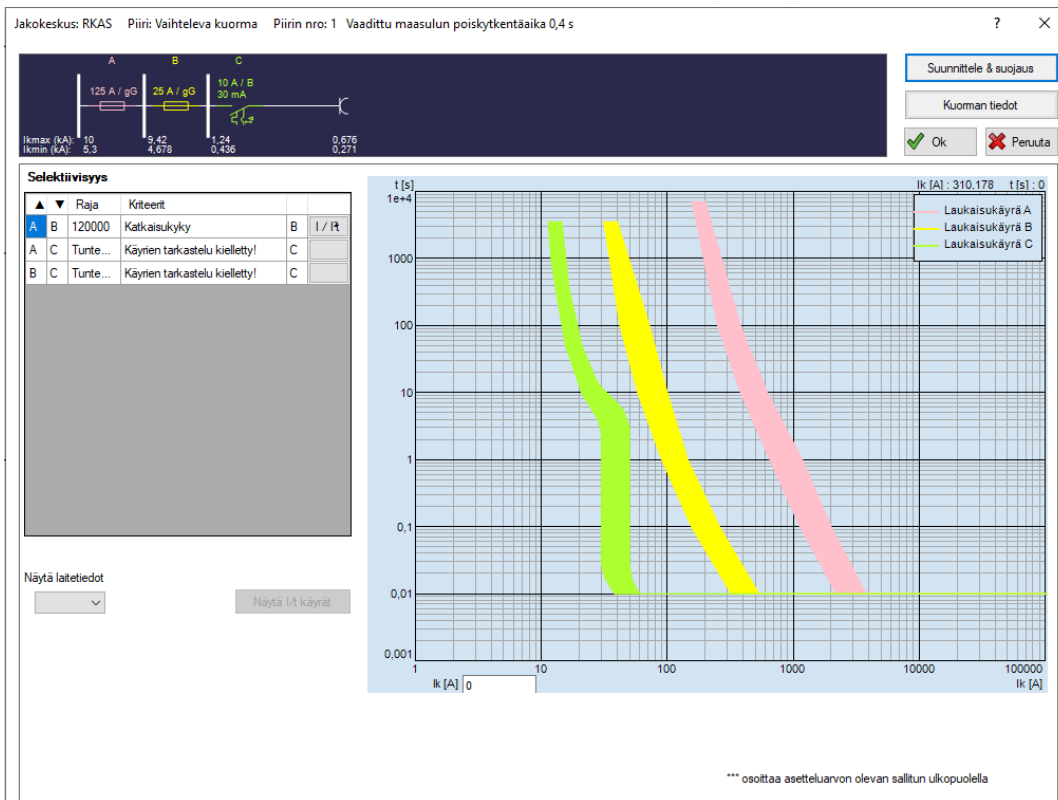
gG-tyyppin sulakkeen nimellivirta A	Kuormitettavuuden minimiarvo A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883

2.6 Suojalaitteen selektiivisyys

Suojalaitteiden selektiivisyydellä tarkoitetaan, että suojalaite toimii ainoastaan sille tarkoitettulla suojausalueella ylikuormitus- ja oikosulkutilanteissa. Selektiivisyydellä on tarkoitus rajata sähköverkossa vikatilanteista aiheutuvat häiriöt mahdollisimman pienelle alueelle. Tällöin verkosta pyritään irrottamaan vain vioittunut osa. Suojalaitteen selektiivisyyttä tarkastellaan valmiiden taulukoiden sekä toiminta-aikakäyrien avulla. Suojalaitteiden selektiivisyys saavutetaan, kun lähimpänä kuormaa olevan suojalaitteen ominaiskäyrä ei ylitä syötön puolen suojalaitetta tai leikkaa sitä. Vertaillessa ominaiskäyriä käytetään kuorman suojalaitteen suurinta toimintakäytää sekä syötön puolen pienintä toimintakäyrää. Täydellistä selektiivisyyttä ei ole aina tarpeen toteuttaa, koska se voi johtaa suojalaitteiden ylimitoitukseen. Sulakkeellisen järjestelmän selektiivisyys saadaan toteutettua, kun kahden peräkkäisen sulakkeen välillä on yksi sulakekoko. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017 Ylivirtasuojalaitteiden välinen selektiivisyys)

Aikaselektiivisyydellä tarkoitetaan, että kuorman puoleinen suojalaite toimii kaikilla ylivirroilla syötön puoleista suojalaitetta nopeammin (ABB Oy, 2000). Kuvassa 8 on esitetty esimerkki selektiivisyydestä, jossa vihreä esittää johdonsuojakatkaisijaa B10 A ja keltainen sulaketta 25A gG. Kuvasta voidaan todeta aikaselektiivisyyden toteutuminen.

Kuva 8. Esimerkki selektiivisyyden toteutumisesta sulakkeen ja johdonsuojakatkaisijan välillä.



3 Varastorakennuksen sähköjakeluverkon vikasuojauksen todentaminen

Tässä luvussa tarkastellaan vikasuojauksen todentamista konkreettiselle kohteelle, joka on työn alla toimeksiantajayrityksellä. Kohteen kerrosala on yli 50 000 m², joten kohteen koon johdosta vikasuojauksen todentaminen on erityisen tärkeää. Vikasuojauksen todentamiseen käytettiin SFS-6000 noudattavaa Febdok-laskentatyökalua.

Luvussa kerrotaan jakeluverkosta löytyneistä huomoista sekä esitetään niihin liittyen toimenpide-ehdotukset. Lisäksi kerrotaan tehdystä asiantuntijahaastattelusta sekä sen pohjalta luoduista toimenpide-ehdotuksista toimeksiantajayritykselle. Lopuksi tarkastellaan ohjelman ja käsinlaskettujen arvojen eroja.

3.1 Lähtötietojen kerääminen

Alaluvuissa kerrotaan lähtötietojen hankinnasta lopputuotetta varten. Kohteesta oli tehty alustavia suunnitelmia sekä laskelmia, joista tarvittava tieto löydettiin. Alaluvuissa kerrotaan jakeluverkosta, kaapeleiden tyypeistä sekä suojalaitteiden tyypeistä.

Kiinteistöön ja verkkoon liittyvät esitiedot tarkasteltiin kohteen vastaavan suunnittelijan kanssa, samalla päädyttiin käyttämään ohjelmassa lämpötilojen referenssiarvoja. Kaapeleiden mitoituskäyttäjän korjauskerroin oli alkuperäisesti 0.7 ja se nostettiin 0.85, jotta kaapeleiden kuormitettavuusarvot saatiin taulukon 6 mukaisiksi.

3.1.1 Jakeluverkon tarkastelu

Ennen jakeluverkon suunnitelmaa kohteesta oli tehty sähköjärjestelmäkuvaus, josta ilmenee kohteen sähköjakelun yleiskuvaus. Järjestelmäkuvauksesta saatiin yleistä tietoa, kuten että sähköjakelu toteutetaan rakennuksiin kaapelein ja piha-alueille jakelualueittain sijoitettujen nousu- ja jakokeskusten kautta. Vikasuojauksen todentamisen simuloinnin kannalta tärkeä tieto oli, että pääkeskuksesta alkaen rakennuksen sähköjakelu toteutetaan TN-S-järjestelmällä.

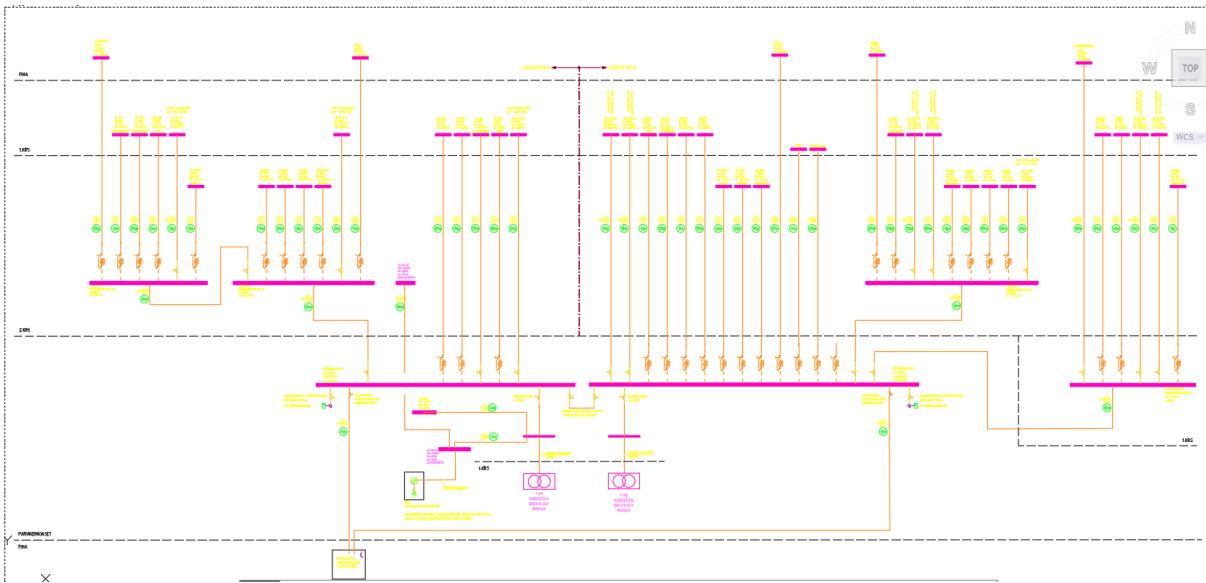
Vikasuojauksen todentamiseen oleellisia lähtötietoja aloitettiin keräämään kohteen nousujohtokaaviosta, minkä avulla saatiin kokonaiskuva alustavasta jakeluverkon suunnitelmasta. Suunnitelmista voitiin todeta, että kohteen koosta johtuen vikasuojauksen todentaminen on

erityisen tärkeää, koska todennäköisiä vika- ja riskipaikkoja on mittakaava huomioon ottaen varsin paljon ja tarkasteltavia pisteitä useita.

Kohteessa on puistomuuntamoiden sijaan päädytty asiakasmuuntamoihin, eli muuntajat sijaitsevat rakennuksen sisällä. Pääkeskuksien nousujohtojen pituudet ovat asiakasmuuntamototeutuksella lyhyemmät. Rakennus on jaettu kahteen alueeseen Varasto A ja Varasto B. Molempia alueita syöttävät omat pääkeskukset. Pääkeskuksista jaetaan neljään eri nousukeskukseen ja nousukeskuksista jakokeskuksiin. Kohteen pääkeskuksia syötettiin 1000 kVA muuntajilla ja niiden nimellisvirta oli 2000 A. Näillä tiedoilla vikasuojauksen todentaminen pystyttiin aloittamaan.

Keskuksille oli alustavassa nousujohtokaaviossa (kuva 8) määritetty nimellisvirta, kaapelin pituus, kaapelityyppi sekä suojalaitteen tyyppi, joita pystyttiin käyttämään piirin simuloinnissa lähtötietoina. Kaikkien jakeluverkon keskuksien kuormitusarvoja ei ollut tiedossa, joten tällöin niiden nimellisvirrat arvioitiin yläkanttiin ja tästä seurasi varma ylimitoitus. Kohteessa oli sitouduttu keskuksissa 30% laajennusvara. Tämän tyyppisissä kohteissa on todennäköistä, että merkittäviä käyttäjälaitteita tulee ilmi rakennusaikana ja tulevaisuudessa. Nimellisvirraltaan ylimitoitetuilla keskuksilla pystyttiin luomaan verkosta muuntojoustava. Tässä suunnitteluvaiheessa kohteen ylimitoittaminen on järkevämpi vaihtoehto kuin alimitoittaminen, koska keskuksien kuormitusarvot täsmentyvät myöhemmin.

Kuva 9. Alustava jakeluverkon suunnitelma.



3.1.2 Kaapelikoot sekä tyypit

Suunnittelija oli määrittänyt kohteen kaapelikoot ja tyypit alustavasti nousujohtokaavioon, mikä helpotti lähtötietojen selvitystyötä (kuva 9). Kuvassa 9 esitetään nousujohtokaavion merkintätapa kaapeleille. Nousujohtokaaviosta pystyttiin löytämään kriittiset keskuskeskukset ja mahdolliset vikapaikat. Kaapelikokoja tarkasteltiin simuloinnin aikana sekä optimoitiin kohteen edetessä.

Kuva 10. Keskuksiin määritetyt kaapelityypit.

KAAPELIMERKINNÄT			
6Cu	= MMJ-HF 5x6S	JK-A2.3 In 125A Ph= kW Ik= 4.09 kA	
10Cu	= MMJ-HF 5x10S		
16Cu	= MMJ-HF 5x16S		
25Cu	= MMJ-HF 5x25S		
35	= AMGNK / AXCHK 4x35/16		
50	= AMGNK / AXCHK 4x50/16		
70	= AMGNK / AXCHK 4x70/21		
95	= AMGNK / AXCHK 4x95/29		
120	= AMGNK / AXCHK 4x120/41		
150	= AMGNK / AXCHK 4x150/41		
185	= AMGNK / AXCHK 4x185/57		
240	= AMGNK / AXCHK 4x240/72		
300	= AMGNK / AXCHK 4x300/88		
F70	= FRHF-EMC 4x70/35		
			<div style="text-align: center;"> <div style="background-color: black; width: 50px; height: 15px; margin: 0 auto;"></div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; margin: 5px auto;"></div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">70</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 60px; height: 60px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">110m</div> </div> </div>

Kohteeseen oli määritelty käytettäväksi pää-, nousu- ja jakokeskusten syöttökaapeleiksi AXCMK-alumiinikaapeli. AXCMK-kaapeli sen vuoksi, että siinä on huomattavasti parempi kuormitettavuus kuin AMCMK-kaapelilla. Esimerkiksi AMCMK 4x120/41 kaapelin kuormitettavuus I_z on 173,90 A ja AXCMK 4x120/41 kaapelin I_z on 211 A. Valintaa tehdessä kaapeleiden välinen hintaero koettiin merkityksettömäksi, joten siksi oli tärkeää huomioida kaapelin kuormitettavuus ja saatavuus optimoinnin kannalta. Kaapelin saatavuus todettiin hyväksi ja arvioitiin, että AXCMK-kaapelilla päästään kustannustehokkaampaan lopputulokseen. Kuormitettavuuden takia oli mahdollista syöttää keskuksia poikkipinta-alaltaan pienemmällä kaapelilla kuin AMCMK-kaapelilla.

Suunnittelija antoi ohjeeksi optimoida kohteen kaapelikokoja, joka tarkoittaa sitä, että kaapelointi pyritään pitämään keskuskokojen välillä samana riippuen kaapelien pituuksista. Esimerkiksi kaikki 125 A keskuksien tullaan toteuttamaan AXCMK 4x70/21 ja 250 A keskuksien AXCMK 4x120/41 kaapelilla. Mikäli 125 A keskuksien kaapelin pituuden takia ei ole mahdollista käyttää yllä mainittua kaapelia, kaapeli nostetaan 4x120/41 kokoiseksi. Tämä tarkoittaa, että keskusta syöttävä nousujohto ylimitoitetaan. Tässä projektissa päädyttiin ratkaisuun, että kustannuksia ajatellen on edullisempaa käyttää isompaa kaapelia, kuin kaapeloida yksi keskus 4x95/21 kaapelilla. Koska kohteessa kaapelia ei käytetä muissa keskuksissa todettiin, että ei sille ole kustannusten takia perusteita hankkia omaa kaapelikelaa.

3.1.3 Suojalaitteet

Suunnittelukohteessa päädyttiin käyttämään pääkytkimien sijasta ilmakatkaisijoita niiden muunneltavuuden vuoksi. Katkaisijoilla mahdollistettiin etäkäyttö, minkä lisäksi katkaisijoiden välisiä toimintoja voitiin yhtenäistää elektroniikan avulla.

Kaikkia kohteessa käytettäviä suojalaitteita ei ollut aloitettaessa vielä määritelty, mutta suunnitellut katkaisija- ja reletyypit oli määritetty keskuksien alustavissa kaavioissa. Työn edetessä tehdyn simuloinnin pohjalta määritettiin puuttuvat katkaisija- ja reletyypit. Katkaisijoilla määriteltyjä keskuksia olivat pää- ja nousukeskukset sekä trukkilatauskeskukset. Katkaisijoita käytettiin sellaisissa tilanteissa, missä sulakkeiden katkaisukäyrät eivät riittäneet piirin suojauksen tarpeisiin. Katkaisijoiden etuna on se, että toiminta-aikakäyrää on mahdollista muuttaa suojarelettä säätämällä. Suojarelettä säätämällä suojauksen toteuttamiseen saadaan laajempi

skaala. Katkaisijoita käyttämällä mahdollistetaan myös kaapelin optimointi, koska katkaisija on mahdollista asetella kaapelin kuormitettavuuden kanssa yhtenäisiin arvoihin.

Jakokeskuksien dynaaminen oikosulkuvirta lähimmillä keskuksilla oli niin suuri, minkä vuoksi ei voitu käyttää yleisimpiä johdonsuojakatkaisijoita. Kohteessa käytettiin johdonsuojakatkaisijoita ryhmälähtöinä sellaisissa keskuksissa, joiden dynaaminen oikosulkuvirta on alle 15 kA.

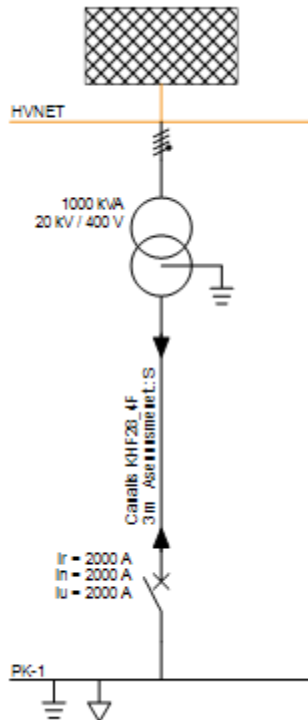
Oikosulkukestoisuudeltaan yli 15 kA keskuksien suojalaitteina käytettiin ryhmälähtöinä sulakesuojausta. Johdonsuojakatkaisijoita on saatavilla myös 25 kA- kestoisuudella, mutta ne ovat huomattavasti kalliimpia verrattuna sulakesuojaustoteutukseen.

3.2 Vikasuojauksen simulointi

Kohteen simulointi aloitettiin syöttämällä verkkoyhtiöltä saadut I_k -arvot sekä valitun muuntajan tiedot. Valitun muuntajan tiedot saatiin kohteen suunnittelijalta. Muuntajan tiedot on tärkeää sijoittaa ohjelmaan, jotta lähtöoikosulkuvirran arvot ovat oikeat. Tarkemmin muuntajasta ei käydä työssä läpi, koska työ tehdään kohteen pienjännitepuolen vikasuojauksen todentamisesta.

Ohjelmaan syötettiin ensimmäisen keskuksen, eli pääkeskuksen PK-1 nousujohtokaaviosta ja keskuskaaviosta saadut tiedot, kuten suojalaitteen koko sekä tyyppi ja keskuksen nimellisvirta. Pääkeskusta syötetään virtakiskolla muuntajasta. Valittua virtakiskoa ei ollut tiedossa, minkä vuoksi ohjelmaan valittiin kuormitettavuuden täyttävä virtakisko. Simuloinnin lähtötilannetta esitetään kuvassa 10. Pääkeskuksen alkuoikosulkuvirraksi saatiin 35,13 kA.

Kuva 11. Simuloinnin lähtötilanne.



Pääkeskuksen jälkeen simuloitiin nousukeskukset NK-1.1 ja NK-1.2 nousujohtokaavioista saaduilla tiedoilla. Suojalaitteet reletyyppeineen haettiin nousukeskuksen keskuskaavioista. Nousukeskusta NK-1.1 syötettiin AXCMK 3x4x240/72 kaapeleilla ja keskuksien välinen etäisyys oli 180 metriä. NK-1.2 keskusta syötettiin NK-1.1 keskukselta kaapeleilla AXCMK 2x4x240/72. Keskuksien välinen etäisyys oli 150 metriä. Suurien kaapelipituuksien ja ison kuorman takia keskuksia syötettiin kolmella ja kahdella kaapelilla rinnan. Oikosulkuvirran arvo $I_{k3\min}$ NK-1.2 keskuksessa 8,5 kA.

Nousujohtokaaviosta otettiin kriittisin piste tarkasteluun pääkeskus PK-1:stä. Kriittisimmällä pisteellä tarkoitetaan pistettä, missä oikosulkuvirran arvo on pienin, eli tässä kohteessa pääkeskuksesta nähden kauimmainen jakokeskus. Kauimmainen jakokeskus sijaitti kohteen piha-alueella ja kaapelin etäisyys nousukeskuksesta oli 170 metriä. Jakokeskuksen ja pääkeskuksen välinen etäisyys oli yhteensä 500 metriä, joten oikosulkuvirran riittävyyttä oli tärkeä ennalta arvioida. KJK-3 jakokeskuksen nimellisvirraksi oli ilmoitettu 125A ja suojalaitteena toimi kahvasulakkeet. Kaapelin valinnan osalta pitkissä kaapelipituuksissa tulee ottaa huomioon vikasuojauksen toimivuuden kannalta oikosulkuvirran sekä maasulkuvirran riittävyys, koska kaapelin impedanssi on yksi rajoittava tekijä oikosulkuvirrassa. Maasulkuvirralla tarkoitetaan vaiheen ja maapotentiaalin välistä oikosulkutilannetta. Alustavassa nousujohtokaaviossa kaikkien

125 A keskuksien syöttökaapeliksi oli määritelty AXCMK 4x70/21. KJK-3 keskusta ei ollut mahdollista syöttää 4x70/21 kaapelilla, koska ohjelman mukaan maksimipituus, jolla maasulun poiskytkennän vaatimus täyttyy, on 92,9 metriä ja kaapelin pituus oli 170 metriä (kuva 11).

Kuva 12. Kohteen kauimmaisen keskuksen oikosulkuvirran arvot.

Jakokeskus: NK-1.2 Piiri: Jakokeskus Piirin nro: 1 Vaadittu maasulun poiskytkentäaika 5 s

125 A / gG AXCMK 4x70/21 AI
170 m Asenusmenet.: D1

Suunnitelte & suojaus
Selektiivisyys
Ok Peruuta

Määrittä	Poista	Tiedot	Oikosulkuvirrat	Asettelu																										
SL tieto Tunniste: <input type="text"/> Suojan tyyppi: Sulakkeet Valmistaja: IEC Katkaisusyksikkö: IEC_gG Nimellisvirta: 125 A Laukaisajaluokka: NH-sulake Laukaisusyksikkö: 125A Katkaisukyky: 120 kA Ic Maks. pituus, jolla maasulun poiskytkennän vaatimus täyttyy: 92,9 m Suojalaitte In, lämpötila korjattu: 125 A Johtimen kuormitettavuus suojalaitteen jännitetasolla: 134,56 A																														
Suojalaitteen näkemät virrat [kA] <table border="1"> <tr><td>Ik3v max</td><td>9,744</td></tr> <tr><td>Ik3v max loppu</td><td>2,533</td></tr> <tr><td>Ik3v min</td><td>1,4</td></tr> <tr><td>Ik2v max</td><td>8,438</td></tr> <tr><td>Ik2v max loppu</td><td>2,194</td></tr> <tr><td>Ik2v min</td><td>1,212</td></tr> <tr><td>Ik1v max</td><td>5,627</td></tr> <tr><td>Ik1v max loppu</td><td>1,303</td></tr> <tr><td>Ik1v min</td><td>0,71</td></tr> <tr><td>Ief max</td><td>4,053</td></tr> <tr><td>Ief max loppu</td><td>0,868</td></tr> <tr><td>Ief min</td><td>0,471</td></tr> </table>					Ik3v max	9,744	Ik3v max loppu	2,533	Ik3v min	1,4	Ik2v max	8,438	Ik2v max loppu	2,194	Ik2v min	1,212	Ik1v max	5,627	Ik1v max loppu	1,303	Ik1v min	0,71	Ief max	4,053	Ief max loppu	0,868	Ief min	0,471		
Ik3v max	9,744																													
Ik3v max loppu	2,533																													
Ik3v min	1,4																													
Ik2v max	8,438																													
Ik2v max loppu	2,194																													
Ik2v min	1,212																													
Ik1v max	5,627																													
Ik1v max loppu	1,303																													
Ik1v min	0,71																													
Ief max	4,053																													
Ief max loppu	0,868																													
Ief min	0,471																													
Poiskytkentäajat [s] <table border="1"> <thead> <tr> <th>SL</th> <th>k²S²/I²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,01</td><td>0,456</td></tr> <tr><td>0,043</td><td>6,748</td></tr> <tr><td>0,475</td><td>22,09</td></tr> <tr><td>0,01</td><td>0,608</td></tr> <tr><td>0,072</td><td>8,995</td></tr> <tr><td>0,89</td><td>29,475</td></tr> <tr><td>0,01</td><td>1,367</td></tr> <tr><td>0,649</td><td>25,501</td></tr> <tr><td>6,289</td><td>85,889</td></tr> <tr><td>0,01</td><td>0,549</td></tr> <tr><td>3,042</td><td>11,969</td></tr> <tr><td>37,207</td><td>40,651</td></tr> </tbody> </table>					SL	k ² S ² /I ²	0,01	0,456	0,043	6,748	0,475	22,09	0,01	0,608	0,072	8,995	0,89	29,475	0,01	1,367	0,649	25,501	6,289	85,889	0,01	0,549	3,042	11,969	37,207	40,651
SL	k ² S ² /I ²																													
0,01	0,456																													
0,043	6,748																													
0,475	22,09																													
0,01	0,608																													
0,072	8,995																													
0,89	29,475																													
0,01	1,367																													
0,649	25,501																													
6,289	85,889																													
0,01	0,549																													
3,042	11,969																													
37,207	40,651																													
Paina ylläolevia kenttiä vian paikallistamiseksi																														
<div style="background-color: red; color: white; padding: 5px;"> Suojan ylempi toimintavirta I2 on liian suuri kaapelin kuormitettavuuteen verrattuna (yli 1,45 I2) Suojalaitte kytkee maasulkuvirran pois liian myöhään suhteessa vikatilanteen sytön automaattisen poiskytkennän vaatimuksiin. </div> <div style="background-color: blue; color: white; padding: 5px; margin-top: 5px;"> Suojalaitteen oikosulkuvirran poiskytkentäaika on pidempi kuin 5s. Yli 5s poiskytkentäajat lisäävät palotiskiä vikakohdassa, eikä niitä suostella. </div>																														

Seuraavaksi selvitettiin, onko keskuksen nimellisvirtaa mahdollista pienentää, vai nostetaanko kaapelin poikkipinta-alaa. Keskuksista ei ollut vielä keskuskaavioita, joten kuormitusarvoa kysyttiin kohteen suunnittelijalta. Suunnittelijan päätöksen mukaan keskuksen nimellisvirtaa ei voitu pienentää, joten syöttävä kaapeli muutettiin AXCMK 4x120/41 kaapeliksi. Maksimipituus, jolla maasulun poiskytkennän vaatimus täyttyy, nousi 171,9 metriin, jolloin kaapeli on keskukseseen oikea. Keskuksen oikosulkuvirraksi ohjelma ilmoittaa 3,5 kA.


Kun vikasuojaus saatiin todennettua keskustasolle, tarkasteltiin keskuksen kauimmaista sähköpisteistä. Sähköpisteistä ei ollut suunnitelmia vielä tässä vaiheessa, minkä vuoksi pisteeseen määritettiin vikasuojauksen toimivuuden perusteeksi ryhmän maksimipituus. Suojalaitteen toimintaa varmistaessa voidaan käyttää taulukkoa 2. Ohjelma ilmoitti omien kertoimien mukaan ryhmän maksimipituudeksi 64,3 metriä, jolla oikosulkuvirta on vielä riittävä, eli syötön

automaattinen poiskytkentä toimii. Taulukosta 2 voidaan nähdä, että C-käyrän johdonsuojakatkaisijalla pienin toimintavirta on 160 A ja sen suuruinen oikosulkuvirran arvo saadaan kaapelin pituuden ollessa 64,3 metriä (kuva 13). B-käyrän johdonsuojakatkaisijoita käytettiin sellaisissa ryhmissä, missä ei pystytty toteuttamaan kauimmaisen pisteen määrittystä, kuten valaisinryhmissä.

Jännitteenalenema kauimmaisella pisteellä oli yli suositusarvojen. Ohjelma ilmoittaa jännitteenaleneman siinä tapauksessa, kun kaikissa keskuksissa olisi täysi kuormitettavuus yhtäaikaaisesti. Tämän kaltainen tilanne todellisuudessa on erittäin epätodennäköistä, varsinkin kovin pitkäaikaisesti. Jännitteenalenemaa on mahdollista pienentää kaapelin poikkipinta-alan avulla, eli mitä suurempi kaapeli, sen pienempi jännitehäviö. Jännitteenaleneman minimointi johtaisi niin keskus- kuin kaapelitasolla suureen ylimitoitukseen ja olisi kustannuksiltaan hyvin kallista. Voitiin todeta, että kohteessa suositusarvot erittäin todennäköisesti täyttyvät normaalissa käyttötilanteessa.

Kuva 13. Kauimmainen piste jakokeskuksesta KJK-3.

Jakokeskus: KJK-3 Piiri: Vaihteleva kuorma Piirin nro: 1 Vaadittu maasulun poiskytkentäaika 0,4 s



Suunnittele & suojaus
Selektiivisyys
Ok Peruuta

Määrittä Poista Tiedot **Oikosulkuvirrat** Asettelu

SL tieto

Tunniste

Suojan tyyppi Johdonsuojakatk

Valmistaja SCHNEIDER

Katkaisusyksikkö C60H-JFA C

Nimellisvirta 16 A

Laukaisijaluokka Johdonsuojakatk/vvsk

Laukaisusyksikkö JFA C KURVE

VVSK laukaisuvirta 30 mA

Katkaisukyky 7,5 kA lcs

Maks. pituus suhteessa sähkömagn. poiskytkentään 64,3 m

Suojalate In, lämpötila korjattu 16 A

Johtimen kuormitettavuus suojalaitteen jännitetasolla 27 A

Suojalaitteen näkemät virrat [kA]

Ik1v max	1,892
Ik1v max loppu	0,236
Ik1v min	0,16
Ief max	1,346
Ief max loppu	0,224
Ief min	0,152

Poiskytkentäajat [s]

SL	k'S/I'
0,013	< 0,1
0,018	1,484
0,03	3,229
0,013	
0,019	
3,357	

Paina ylläolevia kenttiä vian paikallistamiseksi

Seuraavaksi tarkasteluun otettiin arvioiden suurimman oikosulkuvirran omaava keskus, jonka nimellisvirta on saman suuruinen kuin kauimmaisen jakokeskuksen. Lähimmäisissä keskuksissa oikosulkuvirrat ovat suuria, jonka takia suojalaitteiden oikosulkukestoisuudet tulee ottaa huomioon. Johdonsuojakatkaisijan tyyppillinen oikosulkukestoisuus on 6-10 kA, joten lähimmissä keskuksissa tarkasteltiin, onko johdonsuojakatkaisijoita mahdollista käyttää. Pääkeskuksesta lähimmäiseen keskukseen oli matkaa yli 50 metriä, joten keskuksessa kaapeli rajoittaa oikosulkuvirran tehollisarvoa. Tarkasteltavaksi keskukseksi valittiin jakokeskus JK-A2.1, jota syötetään nousukeskuksesta NK-1.1. Kaapelin pituus oli 20 metriä, joten pystyttiin toteamaan, että kaapeli ei rajoita tuolla matkalla tehollisarvoa paljoa. Jakokeskusta simuloitiin alustavan nousujohtokaavion mukaisesti, keskuksen nimellisvirta oli 125 A, kuten kriittisimmässäkin pisteessä. Kaapelityypiksi oli määritetty AXCMK 4x70/21. Jakokeskuksen ilmoittavat virrat esitetään kuvassa 14.

Kuva 14. Jakokeskuksen JK-A2.1 oikosulkuvirrat.

Oikosulkuvirrat [kA]		Cos ϕ
Ik3v max	9,951	0,704
Ik3v min	7,144	0,778
Ik2v max	8,618	0,704
Ik2v min	6,187	0,778
Ik1v max	6,077	0,821
Ik1v min	4,178	0,876
Ief max	4,364	0,893
Ief min	2,926	0,929
Ipk max	15,058	

Kuten arvioitiin, keskuksen oikosulkuvirran tehollisarvo nousi lähes 10 kA suuruiseksi. Kohteen vastaavalle suunnittelijalle ilmoitettiin asiasta ja keskus päätettiin toteuttaa johdonsuojakatkaisijalla, joiden oikosulkukestoisuus on 15 kA. Johdonsuojakatkaisijoiden eduksi nousee uudelleenkäytettävyys sekä niiden tilankäyttö, sillä keskuksessa on useita ryhmälähtöjä.

Seuraavaksi tarkasteltiin jakokeskuksen kauimmaista pistettä. Kuten kriittisimmässäkin pisteessä, tarkasteltiin ryhmän maksimipituutta, koska sähköpisteistä ei ollut suunnitelmia vielä tässä vaiheessa. Kuvassa 14 esitetään ohjelman antamia tuloksia, joista voidaan todeta ryhmän maksimipituudeksi 70,7 metriä. Vikasuojauksen toteutumisen kannalta määritettiin ehto ryhmän pituudesta suunnittelijalle.

Kuva 15. Kauimmaisen pisteen tarkastelu.

Jakokeskus: JK-A2.1 Piiri: Väihtelevä kuorma Piirin nro: 1 Vaadittu maasulun poiskytkentäaika 0,4 s

16 A / C
30 mA
MMJ 3G2,5 Cu
70 m Asennusmenet.: E

Suunnittele & suojaus
Selektiivisyys
Ok Peruuta

Määritä Poista Tiedot **Oikosulkuvirrat** Asettelu

SL tieto

Tunniste

Suojan tyyppi Johdonsuojakatk

Valmistaja SIEMENS

Katkaisuyksikkö SSU1_C_10KA

Nimellisvirta 16 A

Laukaisuluokka Johdonsuojakatk/vvsk

Laukaisuyksikkö SSU_FA_C

VVSK laukaisuvirta 30 mA

Katkaisukyky 10 kA Ics

Maks. pituus suhteessa sähkömagn. poiskytkentään 70,7 m

Suojalaite ln, lämpötila korjattu 16 A

Johtimen kuormitettavuus suojalaitteen jännitetasolla 27 A

Suojalaitteen näkemät virrat [kA]

Ik 1v max	6,466
Ik 1v max loppu	0,237
Ik 1v min	0,162
Ief max	4,515
Ief max loppu	0,233
Ief min	0,159

Poiskytkentäajat [s]

SL	k:S/I ²
0,01	< 0,1
0,01	1,472
0,019	3,15
0,01	
0,01	
2,424	

Paina ylläolevia kenttiä vian paikallistamiseksi

Kohteesta oli nyt simuloitu aluksi kaksi nimellisvirraltaan samanlaista jakokeskusta ja niiden kauimmaiset pisteet. Kohteesta simuloitiin kauimmainen ja lähimmäinen keskus siksi, että nähdään keskuksien pienimmät ja suurimmat oikosulkuvirran tehollisarvot. Nyt kohteesta voidaan

todeta, että nimellisvirraltaan 125 A olevien keskuksien vikasuojaus toimii. Nimellisvirraltaan 125A keskuksissa tulee kuitenkin huomioida, että yli 100 metriä pitkissä kaapeleissa maasulun poiskytkennän vaatimus täyttyy. Mikäli vaatimus ei täyttynyt, tarkasteltiin keskuksen nimellisvirtaa sekä kaapelikokoa.

Mikäli keskuksen kuorma ei mahdollistanut nimellisvirran pienentämistä, kaapelikokoa nostettiin kuten kriittisimmässä pisteessä. Muista nimellisvirraltaan 125 A keskuksista ei tarkasteltu kauimmaista sähköpistettä, koska tarkastelu oli tehty jo kriittisimmästä ja vahvimmasta pisteestä. Täten oli saatu selvä kuvaus pisteiden määrittämiseen ja huomioita pystyttiin käyttämään suunnittelun edetessä.

Seuraavaksi kohteesta simuloitiin keskuksia ja niissä tarkasteltiin kaapelikokoja optimoinnin osalta. Nimellisvirraltaan 63 A keskuksia syötettiin 4x50/16 kaapelilla ja niistä ei tullut huomioita. Alustavissa suunnitelmissa esitetyissä 63 A keskuksissa pisin kaapelipituus oli 180 metriä, siksi siihen oltiin valittu 4x50 kaapelikoko ja se täyttää vikasuojauksen osalta kriteerit. Kohteen 63 A keskuksia päädyttiin toteuttamaan pisimmän kaapelipituuden mukaisesti, jotta kaikissa keskuksissa oli yhtenäinen kaapeli.

Nimellisvirraltaan 125 A keskuksien määrittäminen aloitettiin jo aikaisemmin, kun kriittisintä ja vahvinta keskusta simuloitiin. Näistä saatiin huomioita, joita hyödynnettiin muissa 125 A keskuksissa, kuten nousujohdon koon määrittäminen riippuen kaapelipituudesta. Jätehuoneiden keskuksista tehtiin suunnittelijan kanssa huomio, että niiden kuormitettavuus ei olisi edes 30% laajennusvarauksella niin suuri, kuin nimellisvirraksi oli alustavissa suunnitelmissa määritetty. Jätehuoneiden kaapelipituudet olivat 130 metriä ja 150 metriä, joten keskuksien nimellisvirta laskettiin 100 A suuruiseksi. Nimellisvirran laskemisen myötä pystyttiin käyttämään 4x70 kaapelikokoa. Muissa nimellisvirraltaan 125 A keskuksissa noudatettiin yllä mainittua periaatetta kaapeleiden koosta.

Trukkilatauskeskuksissa joiden nimellisvirta oli 400 A, oli alustavassa nousujohtokaaviossa esitetty nousukaapeliksi AXCMK 2x4x150/41. Näissä trukkilatauskeskuksissa toteutettiin lähtötiedoissa käsitelty huomio kaapeleiden optimoinnista. AMCMK-kaapelia käytettäessä olisi kuulunut käyttää AMCMK 4x150 kaapelia, mutta AXCMK-kaapelia käytettäessä pystyttiin käyttämään yhtä kokoa pienempää kaapelia, koska sen kuormitettavuus on parempi. Kaikki 400 A nimellisvirralla olevat trukkilatauskeskukset voitiin kaapeloida AXCMK 2x4x120/41 kaapelilla ja vikasuojaus toimi sen

vaatimalla tasolla. Tästä seurasi se, että AXMK 4x150 kaapelikoko jätettiin pois kohteesta ja kaapelihankintojen kokonaistaloudellisuutta pystyttiin pienentämään.

Kohteessa oli kolme trukkilatauskeskusta, joiden nimellisvirta oli 200 A. Trukkilatauskeskusten suojalaitteena toimi kompaktikatkaisija, koska sillä mahdollistettiin etäkäyttö trukkilatauksille sekä piiri saatiin selektiiviseksi. Suunnittelijan kanssa käytyjen keskusteluiden pohjalta päätettiin käyttää 250 A kompaktikatkaisijoita, ja niiden suojarele aseteltiin 200 A:n. Keskuksiin oli alustavissa suunnitelmissa määritetty 4x150 kaapeli, joten kaapelia tarkasteltiin optimoinnin kannalta. Kuormitettavuuden perusteella pystyttiin toteamaan, että kaapelikoko voitiin laskea 4x120 kaapeliksi.

Kohteessa oli yksi keskus rakennuksen piha-alueella, jonka nimellisvirraksi oli määritelty 400 A. Keskus syötti pysäköintialuetta, joka sisälsi muun muassa sähköauton latauspisteet sekä autolämmityspisteet. Keskuksen suojalaitteeksi oli määritelty gG-kahvasulakkeet. Kahvasulakkeita käytettäessä keskuksen nousujohtojen maasulun poiskytkennän vaatimus ei täyttynyt, mikä olisi tarkoittanut sitä, että kaapelikokoa olisi tullut nostaa. Suunnittelija oli määrittänyt kohteeseen suurimmaksi käytettäväksi kaapelikooksi 4x240 kaapelin. Keskusta syötettiin jo nyt 2x4x240 kaapelilla, joten rinnalle olisi jouduttu tuomaan kolmas kaapeli. Suunnittelijan kanssa päätettiin, että keskuksen suojalaitteeksi muutetaan 400 A katkaisija. Tällöin kaapelikokoon ei tarvitse tehdä muutoksia, koska kompaktikatkaisija voidaan asettaa kaapelin kuormitettavuuden mukaisesti.

3.3 Vikasuojausraportti ja sen hyödyntäminen

Vikasuojauksen todentumisesta saatiin laadittua Febdok- ohjelmalla raportti. Raportti liitetään kohteen sähkösuunnitelmadokumenttaatioon. Raportti on sivumäärältään hyvin pitkä, mutta täyttää standardin vaatimukset.

Työtä varten tehtiin asiantuntijahaastattelu Sähköinfo Oy:n tekniselle asiantuntijalle Matti Orrbergille. Haastattelussa keskusteltiin siitä, kuinka oikeanlaisen keskuksen mitoituksen avulla pystytään välttämään ylimitoitusta. Tällöin välttyttäisiin myös ylimääräisiltä taloudellisilta kustannuksilta. Kustannuksia on mahdollista pienentää ottamalla huomioon suojalaitteiden rajoittavat ominaisuudet. Haastattelussa ohjeistettiin se, kuinka Febdok-ohjelmasta saadaan rajoitetut arvot, koska ohjelma ilmoittaa käyttäjälle vain rajoittamattomat arvot.

Vahanan talotekniikan käytössä olevissa keskuskaaviopohjissa ilmoitetaan keskuksen dynaaminen ja terminen kestoisuus I_{dyn} ja I_{1s} . Työssä pyydettiin tutkimaan, millä tavalla edellä mainitut tiedot saataisiin vikasuojausraportista suunnittelijoiden käyttöön. Kuvassa 16 esitetään oikosulkuvirran arvoja, joita Febdok ilmoittaa keskuskohtaisesti.

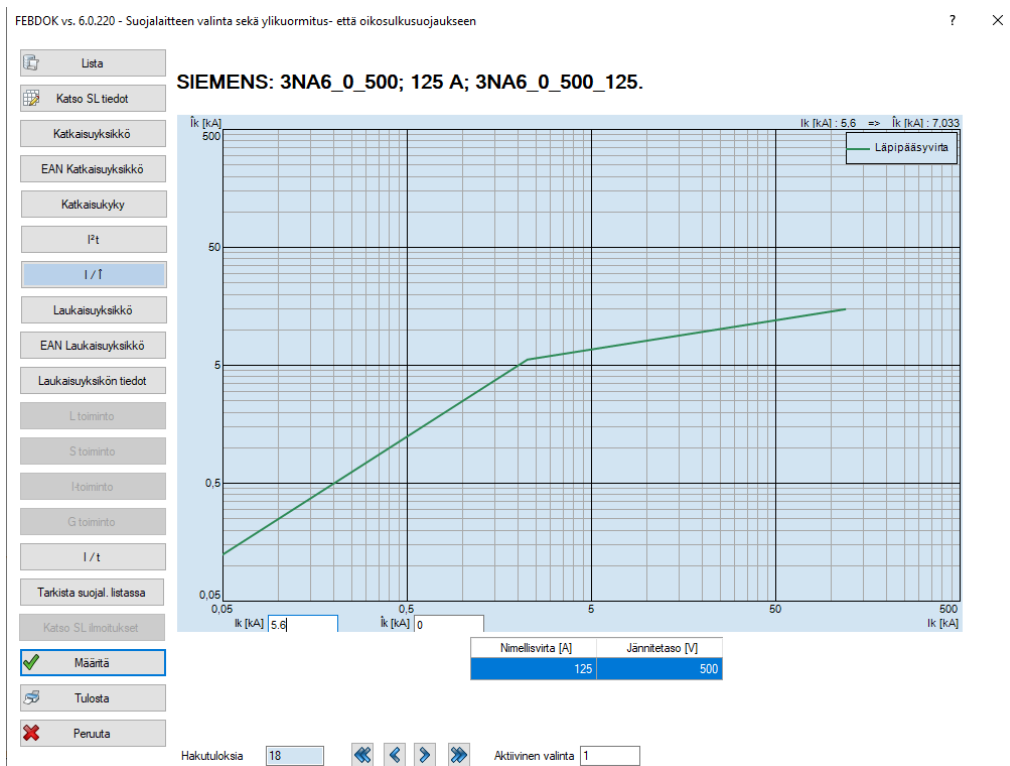
Kuvassa 16 esitetään ohjelman ilmoittamia rajoittamattomia oikosulkuvirran arvoja, tällöin ei oteta huomioon suojalaitteen rajoittamia arvoja. Kuvassa I_{pkmax} tarkoittaa rajoittamatonta oikosulkuvirran huippuarvoa eli dynaamista arvoa. $I_{k3v max}$ tarkoittaa rajoittamatonta tehollisarvoa eli termistä arvoa. Yrityksessä käytössä olevat dynaaminen ja terminen kestoisuus saadaan yllämainituista arvoista. Sen vuoksi, että arvoissa ei ole otettu huomioon suojalaitteen rajoittavia ominaisuuksia, voi keskus olla ylimitoitettu esimerkiksi suojalaitteiden katkaisukyvyyn osalta.

Kuva 16. Keskuksen oikosulkuvirtojen tehollisarvot Febdok-ohjelmasta.

Oikosulkuvirrat [kA]		Cos φ
$I_{k3v max}$	5,614	0,8
$I_{k3v min}$	3,885	0,86
$I_{k2v max}$	4,862	0,8
$I_{k2v min}$	3,365	0,86
$I_{k1v max}$	3,123	0,87
$I_{k1v min}$	2,102	0,914
$I_{ef max}$	2,167	0,923
$I_{ef min}$	1,433	0,95
$I_{pk max}$	8,24	

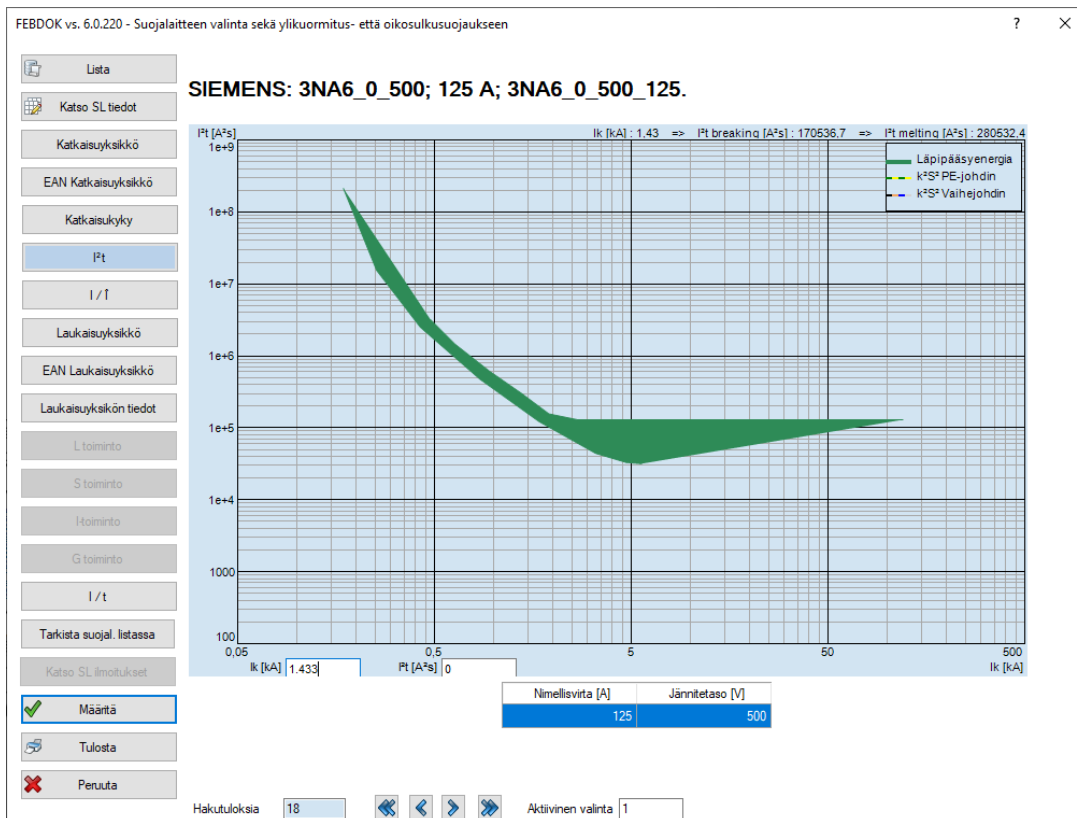
Rajoitettua huippuvirran arvoa tarkastellaan valmistajan I/\hat{I} -käyrän avulla. Tarkasteluun käytettiin Siemensin kahvasulakkeita, joiden käyrät oli valmiiksi ilmoitettu Febdok-ohjelmassa. Rajoitettu arvo saadaan $I_{k3v max}$ arvon avulla. Kuvassa 17 nähdään Siemensin sulakkeen virranrajoituskäyrästä. Alaosassa olevaan I_k (kA) kenttään ilmoitetaan keskuksen $I_{k3v max}$ arvo ja kuvan 17 oikeasta yläkulmasta voidaan nähdä rajoitettu huippuvirran arvo. Esimerkissä rajoittamaton huippuvirta I_{pk} on 8.24 ja suojalaitteen rajoittama huippuvirta olisi 7.033 kA.

Kuva 17. Suojalaitteen rajoittama oikosulkuvirran huippuarvo.



Rajoitettu tehollisarvo I_{cw1s} saadaan tarkastelemalla suojalaitteen I^2t käyrästä, josta voidaan tarkastella suojalaitteen sulamisraja-arvoa. Kuvassa 18 esitetään Siemensin kahvasulakkeeseen valmistajan ilmoittama I^2t -käyrä. Käytettäessä kahvasulaketta tulee käyttää pienintä oikosulkuvirran arvoa, koska pienimmillä oikosulkuvirran arvoilla sulake päästää enemmän virtaa lävitseen. Arvo saadaan kuvasta 16 I_{ef} min. Oikosulkuvirran arvo sijoitetaan alaosassa olevaan kenttään I_k (kA) ja yläkulmasta nähdään I^2t melting (A^2s) arvo. Rajoitettu tehollisarvo saadaan käyttämällä arvoon kuvassa 6 esitettyä yhtälöä läpikäistöenergiasta ja tässä tapauksessa se on 0,55 kA. Suojalaitteen rajoittama tehollisarvo I_{cw1s} on täten 0,55 kA. Kompaktikatkaisijalla rajoitettu tehollisarvo saadaan muuten samalla tavalla, mutta käytetään I_{k3vmax} arvoa I_{ef} min sijaan.

Kuva 18. Suojalaitteen rajoittama tehollisarvo.



3.4 Keskusvalmistajille ilmoitettavat oikosulkuvirran lähtöarvot

Työssä pyydettiin selvittämään, mitä arvoja keskusvalmistajille ilmoitetaan ennen keskuksen valmistamista. Yksi keskusvalmistajista piti tärkeänä, että ilmoitettaisiin rajoittamattomat sekä rajoitetut arvot. Toinen keskusvalmistaja kertoi, että heille ilmoitetaan yleisimmin rajoittamattomat arvot ja suojalaite, joista he itse tekevät ehdollisen oikosulkuvirran eli rajoittamattoman tehollisarvon kautta tarkastelua. Kolmas keskusvalmistaja valmistaa nimellisvirraltaan pienempiä keskuksia (max 50 A), joten heille ei ollut tärkeää, ilmoitetaanko rajoittamaton vai rajoitettu arvo.

Vahanan Talotekniikka Oy:lle esitetään, että kohteissa, joissa on asiakasmuuntamo, tulisi käytössä olevaan keskuskaaviopohjaan päivitys ja siinä esitettäisiin seuraavat arvot:

- Rajoittamaton tehollisarvo I_{kmax}
- Rajoittamaton huippuarvo I_{pk}
- Rajoittava suojalaite

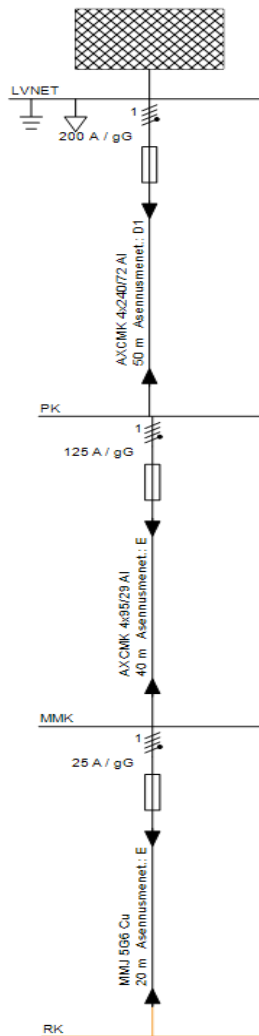
- Rajoitettu tehollisarvo I_{cw1s}
- Rajoitettu huippuarvo \hat{I}

3.5 Laskelmien vertailu

Nykyisin oikosulkuvirtalaskelmiinkin on monenlaisia ohjelmia käytössä, joten suunnittelijoilla käsinlaskenta jää vähälle. Oikosulkuvirta-arvojen käsinlaskenta on yksinkertaisissa piireissä täysin toimiva menetelmä ja tällöin pystytään vertaamaan ohjelmasta saatuja tuloksia keskenään. Työssä haluttiin nähdä, kuinka paljon ohjelman ja käsinlaskettujen tulokset eroavat.

Oikosulkuvirtalaskelmien todenmukaisuutta tarkasteltiin vertailemalla kolmea erilaista laskentatapaa. Febdok-laskentatyökaluun luotiin yksinkertainen piiri kuvitteellisilla arvoilla (kuva 17), lisäksi sama piiri laskettiin käsin ja sen tiedot syötettiin myös Excel-työkaluun.

Kuva 19. Vertailtava piiri.



Tuloksia vertaillessa (taulukko 8) huomattiin, että käsinlaskettujen ja Excel-työkalun arvot ovat lähellä toisiaan, mutta Febdok-ohjelman tulokset eroavat. Ohjelma käyttää laskemiseen laskentastandardin IEC-60909 mukaisia laskentatapoja. Standardiin ei ollut pääsyä, jotta eroavaisuuksia laskentamenetelmään olisi voitu tarkastella. Ohjelman tukihenkilöä kontaktoitiin ja todettiin eron tulevan standardista, koska käsinlaskennassa ei huomoida korjauskertoimia.

Taulukko 8. Eri menetelmillä lasketut oikosulkuvirrat.

Oikosulkuvirta-arvojen tulokset eri laskentatavoilla			
Keskus	Käsin lasketut	Excel-työkalu	Febdok-laskentatyökalu
	Ik3min (A)		
PK	2222	2196	1586
MMK	1076	1070	1390
RK	1006	1000	920
RYHMÄ	331	330	387

4 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli varmistaa varastorakennuksen alustavan jakeluverkon vikasuojauksen toiminta standardien mukaisesti. Vikasuojauksen todentaminen tehtiin käyttäen Febdok-ohjelmaa. Febdok on turvallinen ohjelma kokemuksen perusteella mitoitukseen liittyen, koska ohjelmassa on omia korjauskertoimia sekä mahdollista luoda käyttäjän korjauskertoimia piirin toiminnan varmistamiseksi. Ohjelman alkuperäiset käyttäjän korjauskertoimet olivat niin turvallisia, että niitä käyttämällä kohde olisi huomattavasti ylimitoitettu.

Työssä tarkasteltiin jakeluverkosta muun muassa oikosulkuvirran tehollisarvoja, kaapelikokoja sekä niiden mitoittamista. Työssä tehtiin keskuksien nousujohtojen optimointia. Kohteessa oli keskuksia, joita olisi ollut mahdollista toteuttaa pienemmällä kaapelilla. Tämän vuoksi päädyttiin yhdenmukaistamaan ja minimoimaan kaapelikoot sekä tyyppit.

Työn tuloksena saatiin laadittua standardien mukaisesti vikasuojausraportti kohteen jakeluverkosta. Vikasuojausraportin tulokset rajattiin työn ulkopuolelle sen suuren koon vuoksi. Jakeluverkon suunnitelmasta tehtiin vikasuojaukseen liittyen huomioita ja ratkaisut ehdotettiin kohteen suunnittelijalle. Ohjelmiston tarkastelun tuloksena saatiin selville mitä ja miten ohjelman antamia arvoja hyödynnetään keskuksen mitoituksessa.

Toimenpide-ehdotuksena yritykselle toin, miten keskuskaaviossa ilmoitetut oikosulkuvirrat voisi päivittää, kohteissa joissa on asiakasmuuntamot tai muuten korkeat oikosulkuvirran arvot ja mitä siitä hyödyttäisiin. Koen, että suurilla oikosulkuvirran arvoilla keskuskaaviopohja olisi toimiva. Toimenpide-ehdotuksen käytäntöön ottoa jatketaan työn valmistuttua.

Työn oli tarkoitus myös luoda teoreettinen pohja, jota suunnittelijat voivat hyödyntää työssään. Mielestäni tässä onnistuttiin. Työhön liittyvä teoria on hyvin laaja kokonaisuus, minkä vuoksi aiheen ja teoriapohjan rajaaminen työtä koskettaviin aihealueisiin oli tärkeää. Tämän vuoksi työhön perehtyminen vaati paljon aikaa, koska työn aiheesta minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta. Uskon perehtymisen olleen hyödyllistä, koska oppimaani tietoa pystyn hyödyntämään tulevaisuuden työurallani varmasti.

Lähteet

ABB Oy. (2000). ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. 7. Oikosulkusuojaus:

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf

ABB Oy. (2000). ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. 7.5 Relesuojauksen toteuttamisperiaatteet:

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_5_Oikosulkusuojaus-releill%84.pdf

ABB Oy. (2000). ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. 19. Sähköjohtojen mitoittaminen:

https://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/19_1_S%84hk%94johtojen%20mitoittaminen.pdf

Orrberg, M. (2018). Oikosulkuvirtojen määrittäminen. *Sähköala-lehti*, ss. 32-33

SFS-EN 61439-1. (2013). *Pienjänniteasennukset. Osa 1: Yleiset vaatimukset*. SFS Online

STEK ry. (2018-2022-a). Vikavirtasuojauksen periaatteet. Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus.

<https://stek.fi/sahkoasennuksen-suojausperiaatteet/vikavirtasuojauksen-periaatteet/>

STEK ry. (2018-2022-b). Sähkölaitteiden suojausluokat. Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus.

<https://stek.fi/sahkoasennuksen-suojausperiaatteet/sahkolaitteiden-suojausluokat/>

STEK ry. (2018-2022-c). IP-luokitus. Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus.

<https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STYL ry. (2017). *D1 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista*.

Sähköinfo Oy.

VAHANEN. (2022). Talotekniikka. <https://vahanen.com/fi/palvelut/suunnittelu-ja-arkkitehtuuri/talotekniikka/>