

Joni Vainio

Kiinteistön sähköverkon suojausten tarkastelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

2.9.2018

Tekijä Otsikko	Joni Vainio Kiinteistön sähköverkon suojausten tarkastelu
Sivumäärä Aika	32 sivua 2.9.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	huoltokirja-asiantuntija Kari Manninen lehtori Kai Virta
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli tutkia laboratoriokiinteistön sähköverkon suojausmenetelmiä ja suojausten välistä selektiivisyyttä. Samalla tutustuttiin sähköalan standardeihin ja ohjeistuksiin suojalaitteiden valinnasta ja mitoituksesta. Sähköverkon suojalaitteiden oikean toiminnan toteamiseksi täytyi selvittää myös oikosulkuvirtojen laskemisen perusteet kiinteistön sähköverkossa.</p> <p>Tavoitteena opinnäytetyölle oli saada selvitys kohteena olleen HUSLAB rakennuksen suojalaitteiden selektiivisyyden toteutumisesta ja muodostaa mallipohja selektiivisyystarkasteluille myös muissa Hus-Kiinteistöt Oy:n ylläpitämissä rakennuksissa Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirissä.</p> <p>Menetelminä tässä työssä käytettiin ABB:n DOC 2.0 – sähkösuunnitteluohjelmistoa sekä suunniteltiin oikosulkuvirtojen mittauksia sähköverkon eri pisteissä. Oikosulkuvirtojen laskentamenetelmät täytyi kääntää englanninkielisestä standardista IEC 60909 suomeksi.</p> <p>Tuloksena insinööriyöstä jäi kirjallinen raportti, jossa on selvitetty perusteet suojalaitteiden selektiivisyyden toteamiseksi sekä suojalaitteiden valitsemiseksi nykypäivän kansallisten standardien mukaisesti.</p> <p>Työn johtopäätöksenä ja jatkotoimenpiteenä yritykselle todettiin, että luotettavan selektiivisyystarkastelun toteuttamiseksi tarvitaan koulutusta henkilökunnalle sähkösuunnitteluohjelmiston käyttöön, mikäli yritys aikoo tehdä tulevaisuudessa selektiivisyystarkasteluja.</p>	
Avainsanat	kiinteistö, sähköverkko, suojaus, selektiivisyys, oikosulku, ylivirta, suojalaite

Author Title	Joni Vainio Inspection of an Electrical Grid Shielding in Buildings
Number of Pages Date	32 pages 2 September 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Technology
Instructors	Kari Manninen, Specialist Kai Virta, Senior Lecturer
<p>The purpose of this graduate study was to examine the protection methods of the electrical grid in a laboratory building and the selectivity between protective devices. At the same time, electrical standards and instructions on the selection and dimensioning of protective devices were familiarized with. In order to establish the correct functioning of the electrical grid protection devices, the basics of calculating short-circuit current in the electricity grid of the property had to be determined.</p> <p>The goals of the project were to make a survey of the selectivity of HUSLAB building protection devices and to form a model for selectivity reviews in other buildings maintained by Hus-Kiinteistöt Oy in the Hospital District of Helsinki and Uusimaa.</p> <p>The methods used in the project were the ABB DOC 2.0 electrical design software and the design of short circuit current measurements at different points in the power grid. The calculation methods for short-circuit currents had to be translated from the English standard IEC 60909 into Finnish.</p> <p>The result of the project was the thesis, explaining the basics for determining the selectivity of protection devices and selecting the protective devices in accordance with today's national standards.</p> <p>The conclusion of the work and as a follow-up, the company was found to require training for staff to use the electrical design software to carry out a reliable selection survey, if the company intends to make selective reviews in the future.</p>	
Keywords	building, electrical grid, shielding, selectivity, short circuit, excess current

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritysesittely	2
2.1	HUS-Kiinteistöt Oy	2
2.2	HUSLAB	2
3	Kiinteistön sähköverkko	3
3.1	Sähköliittymä suurissa kiinteistöissä	3
3.2	Normaali sähkönsyöttö ja varavoimajärjestelmät	3
3.2.1	Varavoimageneraattori	3
3.2.2	UPS-järjestelmä	4
4	Sähköverkon suojaukset	5
4.1	Maadoitus ja potentiaalintasaus	5
4.2	Vikasuojaus	6
4.3	Ylivirtasuojaus	7
4.3.1	Ylikuormitussuojan ominaisuudet	8
4.3.2	Oikosulkusuojan ominaisuudet	9
4.4	Lääkintä IT-järjestelmä ja suojaerotus	12
5	Suojalaitteet	13
5.1	Sulake	14
5.2	Sulakkeeton suojaus	15
5.2.1	Johdonsuojakatkaisija	15
5.2.2	Kompakti- ja ilmakatkaisijat	17
5.3	Elektroninen suojarele	18
5.4	Vikavirtasuoja	20
5.5	Valokaarisuoja	21

6	Selektiivisyystarkastelu	23
6.1	Lähtötiedot	23
6.2	Pienin esiintyvä oikosulkuvirta	24
6.3	Suurin esiintyvä oikosulkuvirta	24
6.4	Oikosulkuvirran luonne ja laskentatavat	24
6.4.1	Kolmivaiheisen oikosulkuvirran laskeminen	26
6.4.2	Kaksivaiheisen oikosulkuvirran laskeminen	27
6.4.3	Yksivaiheisen oikosulkuvirran laskeminen	27
6.5	Selektiivisyyden toteutumisen tarkastelu	27
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	31

Lyhenteet

HUS	Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri
HYKS	Helsingin seudun yliopistollinen keskussairaala
I_c	Oikosulkuvirta
I_{cp}	Prospektiivinen oikosulkuvirta
I_{cs}	Käytönaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukyky
I_{cu}	Oikosulun nimellinen mitoituskatkaisukyky
I_{cw}	Katkaisijan lyhytaikainen terminen kestävyys
I_k	Oikosulkuvirran tehollisarvo, jatkuva
I_k''	Alkuoikosulkuvirta, tehollisarvo
I_n	Suojalaitteen nimellisvirta
I_p	Sysäysoikosulkuvirta
I_{pk}	Dynaaminen oikosulkuvirta
UPS	(Uninterruptible Power Supply) Katkeamaton sähkönsyöttö
VV	Varavoima

1 Johdanto

Sähköverkkojen suojalaitteet ovat erittäin tärkeä osa sähköturvallisuutta, suojaen ihmisiä, eläimiä ja omaisuutta tulipaloilta, vaarallisilta kosketusjännitteiltä sekä mahdollisesti esiintyviltä ylivirroilta, ylijännitteiltä ja valokaarilta. Kiinteistön sähköverkon suojausten suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon sähköverkon rakenne, perättäisten suojalaitteiden toimivuus toisiinsa nähden eli niiden selektiivisyys sekä pienimmät ja suurimmat esiintyvät oikosulkuvirrat vikatilanteissa.

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tarkastella HUSLAB-laboratoriokiinteistön sähköverkon suojausmenetelmiä sekä suojalaitteiden välistä selektiivisyyttä aika- ja virta-asetteluineen sekä selvittää, miten kiinteistön sähköverkon suojaukset tulisi toteuttaa. Työmenetelmänä tutustuttiin ajankohtaiseen lainsäädäntöön ja vaatimukseen suojalaitteiden osalta sekä tarkasteltiin sähköpiirustuksia ja mittauspöytäkirjoja. Insinööriyö tehtiin HUS-Kiinteistöt Oy:lle, ja sen tarkoituksena oli luoda selektiivisyystarkastelun malli, jota voitaisiin hyödyntää myös muissa yrityksen ylläpitämissä kiinteistöissä Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirissä.

Kohteena olleen HUSLAB-rakennuksen sähköverkosta, suojalaitteiden asetteluarvoista ja oikosulkuvirroista oli tarkoitus tehdä tilannekartoitus sekä selvitys selektiivisyyden toteutumisesta, joiden avulla voitaisiin tarvittaessa tehdä uudet toiminta-asettelut tai suojalaitteekomponenttien uusimiset sähköverkon turvallisuuden ja toiminnan edistämiseksi.

2 Yritysesittely

2.1 HUS-Kiinteistöt Oy

HUS-Kiinteistöt Oy on Suomen johtava sairaalakiinteistöpalvelujen tuottaja, jonka omistaa HUS-kuntayhtymä. HUS-Kiinteistöt Oy vastaa HUS:n tytäryhtiönä sairaalakiinteistöjen ylläpidosta ja rakennuttamispalveluista sekä turva- ja tilapalveluiden ostamisesta ja tuottamisesta. (1, s. 2.)

Yhtiön kiinteistöpalvelutoimintaa on Länsi-Uudenmaan, Hyvinkään, Lohjan, Porvoon ja HYKS:n sairaanhoitoalueilla, käsittäen yli miljoona bruttoneliometriä hoidettavia tiloja sekä yli 300 työntekijää. Yrityksen päästrategioita ovat sairaalatoiminnan häiriöttömyys, palveluiden kustannustehokkuus, omistaja- ja asiakastyytyväisyys sekä vetovoimaisuus työnantajana. (2; 1, s. 6.)

2.2 HUSLAB

Insinööriyön kohteena ollut HUSLAB-talo sijaitsee Helsingin Meilahdessa ja se valmistui vuonna 2015. Rakennuksessa työskentelee noin 450 henkilöä, ja vuosittain siellä käy yli 1,5 miljoonaa asiakasta. HUS:n omistama liikelaitos HUSLAB on Suomen johtava kliinisten laboratoriopalveluiden tuottaja, jossa tehdään lähes 24,5 miljoonaa laboratoriotutkimusta vuosittain. (3.)

HUSLAB-talo on rakennettu ja suunniteltu ympäristöystävällisesti ja innovatiivisesti yhteistyössä käyttäjien kanssa. Energiatehokkuuteen on panostettu muun muassa käyttämällä kaukolämpöä, kaukokylmää ja digitaalista valaistuksen ohjausjärjestelmää. Taloteknisiä järjestelmiä on rakennuksessa 36 kappaletta.

Rakennuksessa on myös Euroopan suurimpiin kuuluva automaatiolaboratorio sekä sairaalamaailmaan ainutlaatuinen automatisoitu talokuljetin, joka kuljettaa näytteitä talon sisällä eri kerroksiin. (4.)

3 Kiinteistön sähköverkko

3.1 Sähköliittymä suurissa kiinteistöissä

Sähkoyhtiö toimittaa sähköä valtakunnanverkosta keskijänniteliittymän, esimerkiksi 10 kV, kautta kiinteistön muuntajalle, jossa sähkö muutetaan 400 V:n pienjännitetasoon syöttämään kiinteistön sähköverkkoa. Jakeluverkon haltija vastaa sähköverkon toiminnasta ja komponenteista liittymispisteelle asti, ja siitä eteenpäin kiinteistön sisäverkosta, sen osista ja verkon toiminnasta vastaa kiinteistön omistaja.

3.2 Normaali sähkönsyöttö ja varavoimajärjestelmät

Normaalitilanteessa kiinteistön sähkönsyöttö saadaan yleisestä jakeluverkosta, mutta sairaaloissa ja vastaavissa kriittisissä kohteissa tarvitaan lisäksi myös varavoimajärjestelmiä turvaamaan kiinteistön sähkön saanti yleisessä jakeluverkossa tapahtuvan sähkökatkon aikana (5, s. 17).

3.2.1 Varavoimageneraattori

Varavoimageneraattoreilla varustetuissa kiinteistöissä valvotaan rakennukseen tulevan pääsyötön jännitetasoa pääkeskuksessa ja mikäli jännite yhdessä taikka kaikissa kolmessa vaiheessa putoaa alle 90 %:iin normaalista jännitetasosta yli 3 sekunnin ajaksi, käynnistyy varavoimageneraattori automaattisesti ja alkaa syöttämään sähköä ennalta määritellyille ryhmille. Standardin 6000-7-710 mukaisesti sairaalakiinteistöissä ja rakennuksissa, joissa on lääkintätiloja kuten HUSLAB-talossa, tulee varavoiman alkaa syöttämään korkeintaan 15 sekunnin kuluessa normaali sähkönsyötön katkettua ja jännitetason pudottua oletetusta sekä kyettävä syöttämään sähköä vähintään 24 tunnin ajan. (5, s. 17.)

Sähkönjakelun vikatilanteessa varavoimakäytöllä turvataan sellaisten tärkeiden laitteistojen ja järjestelmien toiminta, kuten esimerkiksi hissit, osa valaistuksesta ja ilmanvaihtokoneet. Varavoimaan liitetyt laitteet on määritelty ennalta rakennusvaiheessa tai muutostöiden jälkeen.

Varavoimakäytön aikana sähköverkon oikosulkuvirrat ovat usein paljon pienempiä kuin normaalikäytössä, ja siksi suojalaitteiden toiminta ja selektiivisyyden toteutuminen tulee tarkastaa ja laskea myös varavoiman osalta. Varavoimageneraattorin suojalaitteena toimii yleensä ylivirtasuoja, mutta generaattorin syöttämästä oikosulkuvirrasta riippuen nopean poiskytkennän ehdot eivät aina täyty ja silloin täytyy lisätä suojaukseen myös joko vikavirtasuoja, alijännitelaukaisu tai esimerkiksi maasulun valvonta- ja laukaisulaitteisto. (6, s. 314.)

3.2.2 UPS-järjestelmä

Akusta tai akustoista muodostuva UPS-järjestelmä kytkeytyy päälle sähköverkossa tapahtuvan vian tai muun katkoksen tapahtuessa samoin kuin varavoimageneraattori. UPS-varavoimaa tarvitaan pääasiassa kriittisten kohteiden sähkönsyötön turvaamiseksi sillä välin kun varavoimageneraattori on käynnistynyt ja tahdistettu syöttämään sähköä kiinteistön verkkoon.

UPS (uninterruptible power system) tarkoittaa keskeytymätöntä sähkönsyöttöä ja vaatimus sille on käynnistyminen 0,5 sekunnin aikana vian tapahduttua. Todellisuudessa syötön kääntyminen UPS-akustoille on lähes viiveetöntä, vain muutaman millisekunnin luokkaa.

UPS-varavoimateholähteen on kyettävä syöttämään vähintään 3 tuntia siihen liitettyjä, ennalta määriteltyjä sähkölaitteita. UPS varmennettuun verkkoon liitetään sellaiset laitteet, joiden sähkönsaanti ei saa keskeytyä hetkeksikään, kuten esimerkiksi leikkaussalien kriittiset hoitolaitteet ja leikkausvalaisimet. (5, s. 18.)

Suojalaitteiden selektiivisyystarkastelussa tulee huomioida sähkönjakelu UPS-käytöllä ja selvittää UPS-järjestelmän toimiessa esiintyvät oikosulkuvirrat, jotka yleensä jäävät huomattavasti pienemmiksi kuin normaalin sähkönsyötön aikana.

4 Sähköverkon suojaukset

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 edellyttää, että sähkölaitteet ja sähkölaitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa (7, 6. §).

Sähkölaitteistojen suojausmenetelminä voidaan käyttää jännitteisten osien kosketussuojauksia koteloimalla tai eristämällä, rajoittamalla virtaa vaarattoman pieneksi tai katkaisemalla virtapiiri vian sattuessa (8, 12. §).

Sähköasennusten suojausten perusvaatimuksena on vikasuojauksen ja ylivirtasuojauksen toteutumisen varmistaminen laskelmien avulla tai muulla tavoin. Taloudellisesti edullisinta on varmistaa suojausten toiminta jo suunnitteluvaiheessa. (9, s.1.)

4.1 Maadoitus ja potentiaalintasaus

Maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmien rakenne ja toimivuus ovat olennaisena osana kiinteistöjen sähköturvallisuutta ja sähköasennuksia. Maadoitukset rajoittavat esiintyviä kosketus- ja askeljäännitteitä vikatilanteessa, ja maadoituksilla estetään vaarallisten vuotovirtojen, kipinöiden ja valokaarien syntyminen sekä jännitteiden siirtyminen järjestelmästä toiseen. Myös maasulku- ja vikasuojauksen toteutuminen edellyttää oikein suunniteltua maadoitustapaa. (6, s. 275.)

Kiinteistöissä käytettyjä sähköjärjestelmiä on olemassa kolmea eri tyyppiä: TN-, TT- ja IT-järjestelmä. Niiden ominaisuudet määräytyvät rakennuksen sähköasennuksissa käytetystä maadoitustavasta. Sähköisten järjestelmien maadoitustavat voidaan erotella kolmeen eri luokkaan: IT-, TT- ja TN-järjestelmään.

Ensimmäinen kirjain merkitsee sähköjärjestelmän virtapiirin maadoitustavan, jossa I tarkoittaa, että kaikki jännitteiset osat on eristetty maasta tai vaihtoehtoisesti yksi piste on kytketty maahan impedanssin kautta. Ensimmäisen kirjaimen ollessa T merkitsee se, että virtapiiriin yksi piste on suoraan maadoitettu. (6, s. 62.)

Toinen kirjain T tai N määrittelee sähkölaitteistojen tai -laitteiden maadoitustavan, joista T-kirjain tarkoittaa, että jännitteelle alttiiden osien maadoitus kytketään maadoituselektrodiin suojajohtimella kun taas N-kirjain tarkoittaa, että suojalaitteiden ja -laitteistojen maadoitus voidaan kytkeä suojajohtimella samaan maadoituspisteeseen virtapiirin kanssa.

Suomessa rakennusten sähköverkoissa käytetään yleisesti TN-S-järjestelmää, jossa on erillinen suojamaadoitusjohdin ja pienjännitteen sähkönjakeluverkossa TN-C-järjestelmää, jossa nolla- ja suojajohdin on yhteinen. TT-järjestelmää ei käytetä Suomessa lähes ollenkaan ja IT-järjestelmää käytetään esimerkiksi sairaalan lääkintätiloissa kuten leikkauksaleissa. (6, s. 62–66.)

4.2 Vikasuojaus

Sähköasennuksissa yleisimmin käytetty vikasuojausmenetelmä on automaattisesti toimiva syötön nopea poiskytkentä, joka toteutetaan joko ylivirtasuojalla tai vikavirtasuojalla riippuen vikatilanteesta esiintyvistä oikosulkuvirroista. Vikasuojauksessa on huomiotava aina myös vikavirtapiirin suojajohtimien mitoitus ja kestävyys oikosulkuvirroilla. (10, s. 93, 95.)

SFS 6000 -standardi vuodelta 2017 määrittää vikasuojauksen pisimmät sallitut poiskytkentäajat vian ilmetessä. TN-järjestelmässä 230 voltin vaihtosähköllä enintään 63 A:n ryhmäjohtoille suurin sallittu poiskytkentäaika on 0,4 s ja vastaavasti yli 63 A:n ryhmäjohtoille sekä kaikille pääjohtoille sallitaan enintään 5 s:n poiskytkentäaika vikaantumista. Kiinteästi asennettujen sähkölaitteiden osalta suojalaitteiden mitoitusvirta on enintään 32 A. 400 voltin jännitetasossa poiskytkentäaika saa olla enintään 0,2 s. (11, s. 75.)

Vikasuojauksen toimintaa voidaan tarkastella mittaamalla pienimmät esiintyvät oikosulkuvirrat ryhmäjohtojen päässä tai selvittämällä ryhmäkeskusten pienimmät ja suurimmat oikosulkuvirrat sekä tutkimalla suurimmat sallitut ryhmäjohtojen pituudet. Vaihe- ja suojajohtimen välillä on vikatilanteessa oltava riittävä oikosulkuvirta nopean poiskytkennän toteutumiseksi.

Vikavirtasuojan laukaisuajan ja laukaisuvirran testaukset voidaan suorittaa asennustesterin avulla asennuksen muiden tarvittavien mittausten yhteydessä.

Kuvassa 1. on esimerkki Fluken 1664 FC -asennustesteristä, jolla voidaan mitata myös silmukkaimpedanssi jossain halutussa pisteessä sähköpiirissä, ja laite laskee siinä samassa pisteessä esiintyvän oikosulkuvirran Ohmin lain mukaisesti.



Kuva 1. Asennustesteri Fluke 1664 FC.

Standardin SFS 6000-4-41 mukaisesti vikavirtasuojauksen toiminta on varmistettu kun laukaisu tapahtuu sinimuotoisella vikavirralla, joka on pienempi tai yhtä suuri kuin suojan mitoitusvirta $I_{\Delta n}$ (12, s. 128).

4.3 Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojaus tarkoittaa kahta eri asiaa, ylikuormitus- ja oikosulkusuojausta. Ylikuormitussuojalla suojataan laitteita kun virran suuruus ylittää mitoitusvirran, sekä johtoja lämpenemiseltä ja tulipaloilta ylikuormitustilanteessa eli virran ylittäessä johdon suurimman sallitun kuormitettavuuden. Sulakkeet ja katkaisijat toimivat yleensä ylivirtasuojina. (10, s. 29.)

Ylikuormitussuojan valintaan vaikuttavat odotettavissa olevat kuormitusvirrat keskustasolla sekä myös ryhmäjohtotasolla, jos kyseessä on esim. moottorilähtöjä. Kuormitusvirran mukaan valitaan johdon poikkipinta-ala (6, s. 34).

Oikosulkusuojauksella tarkoitetaan suojausta oikosululta maan ja vaiheen tai nollan ja vaiheen välillä, jolloin kyseessä on 1-vaiheinen oikosulku tai vaihtoehtoisesti kahden vaiheen välillä tapahtuvaa oikosulkua tai kolmivaiheoikosulkua, jossa kaikki vaiheet ja mahdollisesti myös nolla sekä maa ovat yhdistyneet samaan pisteeseen. Oikosulkutilanteessa esiintyvä oikosulkuvirta voi kasvaa huomattavasti ylikuormitusvirtaa suuremmaksi ja aiheuttaa näin tulipalon, valokaaren, räjähdysten tai muun vakavan vaaran.

Oikosulkusuojauksen tulee toteutua suojattavan johdon koko matkalla eli alkupäästä loppupäähän. Oikosulkusuojauksen toimivuus tulee varmistaa ja sen toteutukseksi selvittää kiinteistön sähköjakeluverkon liittymiskohdan suurin oikosulkuvirta, suurimmat ja pienimmät esiintyvät oikosulkuvirrat keskuksissa ja tarvittaessa myös ryhmäjohton päässä (6, s. 35).

Mikäli käytetään yhteistä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa, niin tulee varmistua, että ylikuormitussuojaus toteutuu ja suojalaitteen katkaisukyky on riittävä (6, s. 131).

4.3.1 Ylikuormitussuojan ominaisuudet

Standardissa SFS 6000-4-43 on määritelty kaksi kaavaa ja ehtoa kaapelien ylikuormitussuojaukselle. Ensimmäinen niistä koskee suojalaitteen mitoitusvirran suuruutta suhteessa johtimen kuormitettavuuteen ja toinen suojalaitteelle määrättyä toiminta-aikaa suhteessa johtimen kuormitettavuuteen. (13, s.116.)

Alla olevassa kaavassa 1 on esitettyä ensimmäinen ehto:

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

jossa, I_B on virtapiirin mitoitusvirta

I_n on suojalaitteen nimellisvirta

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

Suojattaessa johdinta ylikuormittumiselta on suojalaite valittava niin, että johtimen jatkuva kuormitettavuus on suurempi tai yhtä suuri kuin suojalaitteen mitoitusvirta. Suojalaitteen mitoitusvirran tulee myös olla vähintään yhtä suuri kuin suojattavan virtapiirin virta-arvo. Käytännössä suojalaite mitoitetaan ylikuormituksen varalta nimellisvirraltaan seuraavaan suurempaan standardiarvoon kuin mitoitusvirta. (10, s. 29,30.)

Kaavassa 2, ehto 2, suojalaitteen toiminta-aikaan vaikuttaa virran I_2 -arvo, joka saadaan laitevalmistajalta. Virran I_2 -arvon tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin johtimen kuormitettavuus I_z kerrottuna 1,45:llä.

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

jossa, I_2 on virran arvo, jolla suojalaite toimii tehokkaasti

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

Suojalaitevalmistaja on määritellyt suojalaitteen toimimaan standardien mukaisesti viimeistään 1 tunnin kuluessa, jos johdinta ylikuormitetaan 1,45-kertaisesti sen kuormitettavuuteen nähden. (14, s. 29–30).

4.3.2 Oikosulkusuojan ominaisuudet

Oikosulkusuojalla suojataan johtoa sekä liitoksia lämpenemiseltä eli termiseltä rasisukselta ja suojalaite, kuten johdonsuojakatkaisija tai sulake, rajoittaa oikosulkuvirran kulkua suojalaitteen läpi kunnes katkaisee virtapiirin vaaditussa ajassa (10, s. 75).

Jos oikosulkusuojaa käytetään erillään ylikuormitussuojasta ja oikosulun kesto aika vika tilanteessa on enintään 5 s, niin voidaan suojalaitteen mitoitus tehdä käyttämällä seuraavaa kaavaa 3:

$$t = (k \times A / I)^2 \quad (3)$$

jossa, t on oikosulun sallittu kesto aika

k on johdinvakio, taulukko 1

A on johtimen poikkipinta

I on oikosulkuvirran suuruus

Johtimen k -arvo eli johdinvakio saadaan taulukosta 1, joka löytyy SFS 6000 -standardista.

Taulukko 1. Johdinvakiot eli kertoimen k arvot.

Taulukko 43.1 Kertoimen k arvot äärijohtimille

Ominaisuus/ olosuhde	Johtimen eristys							
	PVC		PVC 90 °C		EPR PEX	Kumi 60 °C	Mineraali	
	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300			PVC Päällystetty	Paljas Päällystämätön
Johtimen poikki-pinta-ala mm ²	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300				
Alkulämpötila °C	70		90		90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali:								
Kupari	115	103	100	86	143	141	115	135 -115 ^a
Alumiini	76	68	66	57	94	93	-	-
Kuparijohtimien tina- juotetut liitokset	115	-	-	-	-	-	-	-

^a Tätä arvoa pitää käyttää kosketeltavissa oleville paljaille johtimille.

HUOM. 1 Muut kertoimen k arvot ovat harkittavana:
 - pienille johtimille (erityisesti alle 10 mm² poikkipinnoille)
 - muun tyyppisille johtimien liitoksille
 - paljaille johtimille.

HUOM. 2 Oikosulkusuojan mitoitusvirta voi olla suurempi kuin kaapelin kuormitettavuus.

HUOM. 3 Yllä olevat arvot perustuvat julkaisuun IEC 60724.

HUOM. 4 Kertoimen k laskemiseksi katso SFS 6000-5-54 liite 54A:

Kaavasta 4 saadaan laskettua johtimen suurin sallittu I^2t -arvo, jonka mukaan valitaan oikeanlainen suojalaite sen läpi menevän energian perusteella. Suojalaitteen suurin sallittu I^2t -arvo saadaan laitevalmistajalta (10, s. 75).

$$I^2t = k^2 A^2 \quad (4)$$

jossa, I on todellinen oikosulkuvirta

t on kesto aika

k on johdinvakio, taulukko 1

A on johtimen poikkipinta-ala

Kaavasta 4 saadaan myös laskettua johdon terminen oikosulkukestoisuus eli suurin sallittu oikosulkuvirta 1 sekunnin aikana. Alla muunnoskaava 5.

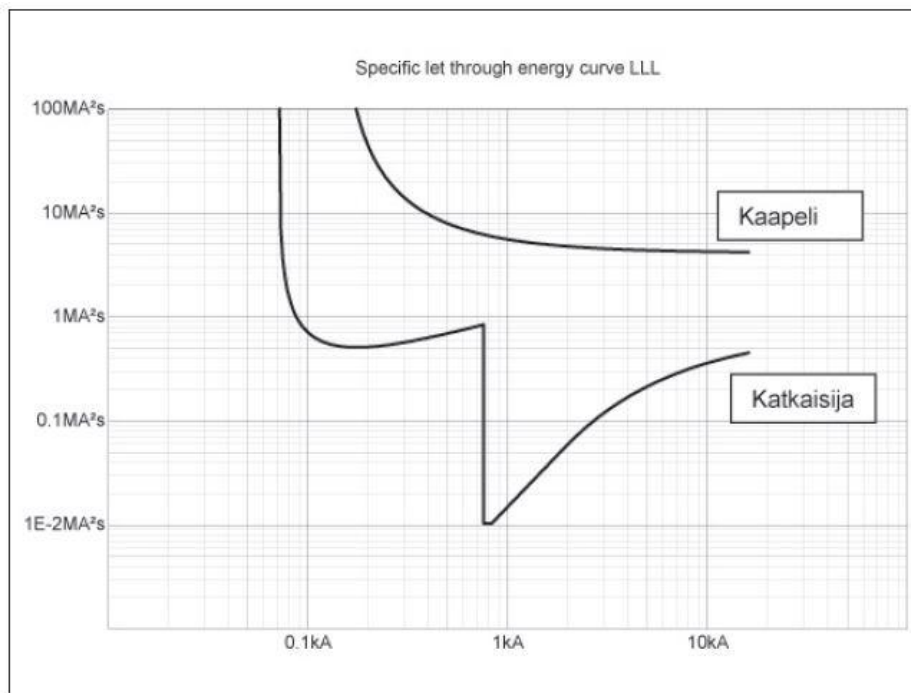
$$I = \sqrt{(k^2 A^2)} \quad (5)$$

Samoin voidaan laskea kaavalla 6 johtimen suurin sallittu oikosulkuvirta-arvo 5 sekunnin aikana:

$$I = \sqrt{\left(\frac{k^2 A^2}{5}\right)} \quad (6)$$

Jos oikosulku kestää yli 5 s, niin oikosulkusuojauksen varmistamiseksi tulee vertailla johtimen lämpenemiskäyrää ja valmistajan ilmoittamaa suojalaitteen toimintakäyrää toisiinsa nähden (6, s. 138).

Kuvassa 2 on esimerkki suojalaitteen ja kaapelin I^2t -käyrien vertailusta.



Kuva 2. Katkaisijan ja kaapelin I^2t -käyrät (16, s. 9).

Kuvasta 2 ilmenee katkaisijan energiaa rajoittava toiminta ylikuormitustilanteessa kun virta kasvaa yli 700 A:n arvoon.

4.4 Lääkintä IT-järjestelmä ja suojaerotus

Sairaaloiden lääkintätiloissa käytetään lääkintä IT-järjestelmää sähköturvallisuuden parantamiseksi sekä henkilökunnan ja potilaiden suojaamiseksi sähköiskuilta ja kosketusjännitteiltä. Lääkintätilaluokituksia on olemassa kolme: G0-, G1- ja G2-tason lääkintätilat, jotka on määritelty sen mukaisesti minkälaisia hoitotoimenpiteitä niissä suoritetaan ja myös minkälaisia sähköisiä lääkintälaitteita potilaan lähellä käytetään. (6, s. 374.)

G2-tason lääkintätila on määritelty siten, että sähkökäyttöisiä tutkimuslaitteen liityntäosia käytetään sydämenläheisiin toimintoihin ja sähkönsyötön keskeytys voi aiheuttaa välitöntä vaaraa potilaalle. G1-tason lääkintätilassa sähkönsyötön keskeytyminen ei aiheuta välitöntä uhkaa ja lääkintälaitteen liityntäosia käytetään ulko- tai sisäpuolisesti. G0-tason tilassa ei käytetä sähkökäyttöisiä lääkintälaitteen lisäosia eikä syötön keskeytys aiheuta hengenvaaraa. (5, s. 7.)

Lääkintä IT-järjestelmässä sairaalan normaali sähkönsyöttö tuodaan TN-S-järjestelmästä suojaerotusmuuntajalle, jonka kautta sähköä syötetään sähköisesti erotettuun IT-piiriin. IT-piiri on maasta erotettu eli toisinsanoin kelluva järjestelmä, jota ei ole kytketty maahan. Lääkintä IT-järjestelmään liitetyt jännitteelle alttiit osat kytketään toisiinsa potentiaalintausjohtimilla.

Suojaerotuksen avulla ehkäistään ja erotetaan normaaliverkon vian aikaiset kosketusjännitteet IT-järjestelmästä. IT-järjestelmässä tapahtuvan vian havaitsemiseen käytetään usein eristystilan valvontalaitteita, jotka ilmoittavat eristystilan laskusta henkilökunnalle äänimerkillä ja kiinteistöhuollolle yleensä kiinteistöautomaation kautta hälytyksenä. Ensimmäinen vika aiheuttaa siis merkkiäänän ja vikatiedon sekä vaatii vian syyn selvittämistä, mutta ei keskeytä hoitotoimenpidettä. Toinen vika IT-verkossa laukaisee suojan ja kytkee syötön pois päältä. (15, s. 79.)

Lääkintätilastandardissa SFS 6000-7-710 on tiukat vaatimukset lääkintätiloille, niiden sähköasennuksille ja sähkötarkastuksille. Lääkintätilojen käyttöönottotarkastuksen lisäksi tulee tehdä eristystilan valvontalaitteiden ja ylikuormitusvalvontalaitteiden toimintakokeet sekä tarkastaa sähkönsyötön suojalaitteiden selektiivisyyden toteutuminen normaaliverkon ja turvajärjestelmien, kuten myös varavoimajärjestelmien osalta. (6, s. 375.)

5 Suojalaitteet

Sähköverkossa on mahdollisuus käyttää useita erilaisia suojalaitteita katkaisemaan tai rajoittamaan virrankulkua tilanteen niin vaatiessa. Suojalaitteiden valintaan vaikuttavat tarkasteltavan piirin jännitetaso, nimellisvirta sekä vikatilanteessa mahdollisesti esiintyvät pienimmät ja suurimmat oikosulkuvirrat sekä suojalaitteen lämpötila- ja virtakestoisuus.

Suojalaitteiden on toimittava sellaisilla virroilla, jännitteillä ja sellaisessa ajassa, jotka takaavat riittävän turvallisuuden (8, 12. §). Käytännössä tämä toteutetaan sulakkeilla tai katkaisijoiden avulla sekä ylivirtasuojien aika- ja virta-asetteluilla huomioiden samalla myös perättäin olevien suojien selektiivisyys eli toiminta-alue toisiinsa nähden.

Vikatilanteessa syötön automaattinen poiskytkentä ryhmäjohtoilla tulee tapahtua 230 V:n pienjännitetasossa vaihtovirralla 0,4 sekunnin aikana SFS 6000-4-41 standardissa esitetyn taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Suurimmat sallitut poiskytkentäajat vikatilanteessa. (11, s. 75)

Taulukko 41.1 Suurimmat sallitut poiskytkentäajat

Järjestelmä	50 V < $U_0 \leq 120$ V s		120 V < $U_0 \leq 230$ V s		230 V < $U_0 \leq 400$ V s		$U_0 > 400$ V 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
Jos TT-järjestelmässä poiskytkentä saadaan aikaan ylivirtasuojilla ja suojaava potentiaalintasaus on kytketty kaikkiin asennuksen muihin johtaviin osiin, voidaan käyttää TN-järjestelmän poiskytkentäaikoja. U_0 on nimellinen tasa- ja vaihtojännite äärijohtimesta maahan.								
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.								
^a Poiskytkentää voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.								

Taulukkoa 2 sovelletaan ryhmäjohtojen suojalaitteille enintään 63 A:n mitoitusvirralla kun syötetään pistorasioita sekä suojalaitteille enintään 32 A:n mitoitusvirralla syötettäessä kiinteästi asennettuja sähkölaitteita. Pääjohtoille sekä edellä mainittua suuremmille virroille sallitaan TN-järjestelmässä enintään 5 sekunnin poiskytkentäaika. (11, s. 75.)

5.1 Sulake

Sulakkeella rajoitetaan virtaa ylikuormitustilanteessa tai katkaistaan virtapiiri oikosulkuvirran kasvaessa liian suureksi. Tulppasulakkeita on standardien mukaisesti 20 kA:n katkaisukykyyn asti ja niitä voidaan käyttää oikosulku- ja ylikuormitussuojana. Kahvasulakkeilla katkaisukyky on vähintään 50 kA, ja niitä käytetään vain oikosulkusuojaukseen. (10, s. 78.)

Sulake on aiemmin ollut yleisimmin käytetty suojalaite kiinteistöjen sähköasennuksissa sen hyvien katkaisuminaisuuksiensa ansiosta, mutta nykyisin suositaan enemmän johdonsuojakatkaisijoita niiden pienen koon ja lämmönsietokyvyn ansiosta.

Sulakkeille on määritelty standardeissa ylempi ja alempi toimintarajavirta, joilla sen tulee toimia sille määritellyssä ajassa. Ylempi toimintarajavirta on sulakkeen sulamisrajavirta ja sitä tarvitaan määritettäessä johtimien ylikuormitussuojausta. (10, s. 34, 35.)

Mikäli sulaketta käytetään johtimen ylikuormitussuojana, täytyy mitoitus käyttää alla olevaa kaavaa 7.

$$k \times I_n \leq 1,45 \times I_Z \quad (7)$$

jossa, I_n on suojalaitteen nimellisvirta

I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

k on sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde

Toimintarajavirrat ja I_Z -arvot Gg -tyypin sulakkeille on alla olevassa taulukossa 3.

Taulukko 3. Gg-tyypin sulakkeiden ylempät ja alemmat toimintarajavirrat.

Nimellisvirta	Alempi toimintarajavirta	Ylempi toimintarajavirta (I_2)	Aika
$I_n \leq 4 \text{ A}$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1 h
$4 \text{ A} < I_n < 16 \text{ A}$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1 h
$16 \text{ A} \leq I_n \leq 63 \text{ A}$	$1,25 I_n$	$1,9 I_n$	1 h
$63 \text{ A} < I_n \leq 160 \text{ A}$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$160 \text{ A} < I_n \leq 400 \text{ A}$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3 h

Tulppasulakkeiden välillä päästään helposti selektiivisyyteen kun valitaan saman valmistajan sulakkeita yhden portaan erolla. Perättäisten sulakkeiden nimellisvirtojen suhteen tulee olla vähintään 1,6:1.

5.2 Sulakkeeton suojaus

5.2.1 Johdonsuojakatkaisija

Johdonsuojakatkaisijoita käytetään kojeiden, johtojen ja laitteiden suojaukseen ja näiden katkaisijoiden nimellisvirta-alue on 0,2–125 A sekä katkaisukykyluokkia 3–50 kA:iin asti. Johdonsuojakatkaisijoissa on toiminnot sekä ylikuormitus-, että oikosulkusuojaukseen. Johdonsuojia on toimintaominaisuuksiltaan useita erilaisia kuten esimerkiksi A-, B-, C-, D-, K- ja Z-tyyppiä, riippuen niiden toiminta-aikakäyrästä, jotka on määritelty standardeissa SFS-EN 60898 ja SFS EN 60947-2. (14 s. 31.)

Johdonsuojan ominaisuudet valitaan kuorman tyyppin mukaisesti. A- ja Z- laukaisukäyrät soveltuvat diodeille, tyrstoreille, mittamuuntajille ja virtapiireille, joissa on pienet oikosulkuvirrat. B-tyypin sulaketta käytetään resistiivisille kuormille, kuten valaistus ja lämmitys. C-tyypin sulaketta käytetään samoin kuin B-tyyppiä, mutta kuorman luonne voi olla myös lievästi induktiivista tai kapasitiivista. D- ja K-tyypin sulakkeet soveltuvat voimakkaasti induktiivisille tai kapasitiivisille kuormille. K-laukaisukäyrä sopii myös moottoreille, muuntajille ja instrumentointiin. (9, s. 5.)

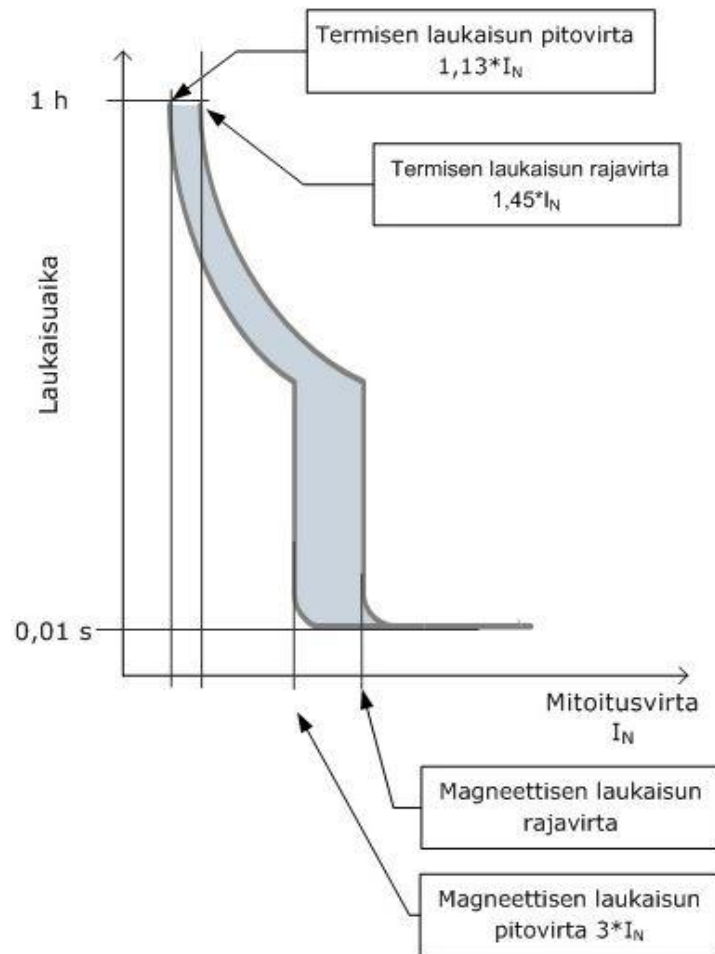
Johdonsuojakatkaisijan pitoraja- ja laukaisuvirrat ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksessa on havainnollistettu taulukossa 4.

Taulukko 4. Johdonsuojakatkaisijan toimintavirrat (16, s. 4).

	Ylikuormitussuojaus		Oikosulkusuojaus	
	> 1 h $\times I_n$	< 1 h $\times I_n$	> 100 ms $\times I_n$	< 100 ms $\times I_n$
	Pito	Laukaisu	Pito	Laukaisu
B	1,13	1,45	3	5
C	1,13	1,45	5	10
D	1,13	1,45	10	20
K	1,05	1,2	8	12
Z	1,05	1,2	2	3
A	1,13	1,45	2	3

Pitorajavirta on virran arvo, jolla johdonsuojakatkaisija kykenee ylläpitämään virtaa vähintään ilmoitetun ajan eli ylikuormitustilanteessa vähintään tunnin ja oikosulkutilanteessa vähintään 0,1 sekuntia. Laukaisurajavirta tulee katkaista taulukossa ilmoitetussa enimmäisajassa. (16, s. 4.)

Kuvassa 3 esiintyvä laukaisukäyrä B-tyyppin johdonsuojakatkaisijalle havainnollistaa ylikuormitussuojan termisen laukaisun standardin mukaan vaaditussa enintään 1 tunnin ajassa kun toimintarajavirta on 1,45-kertainen nimellisvirtaan nähden. Samoin kuvasta voidaan nähdä oikosulkusuojauksen eli magneettisen laukaisun raja-arvot, joilla johdonsuojakatkaisijan tulee toimia 0,01 sekunnin aikana.



Kuva 3. B-tyyppin johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä.

Kun johdonsuojakatkaisijaa käytetään oikosulkusuojana, niin se tulee valita katkaisukyvyltään suuremmaksi kuin virtapiirissä esiintyvä 3-vaiheinen oikosulkuvirran tehollisarvo I_k . Johdonsuojakatkaisijan oikosulun nimelliskatkaisukyky I_{cn} on merkitty kojeeseen.

5.2.2 Kompakti- ja ilmakatkaisijat

Kompaktikatkaisijoita käytetään kiinteistöjen pienempien keskusten pääkatkaisijana sekä kaapelien ja kiskojen suojana yleensä korkeintaan 630 ampeerin virtapiirissä. Ilmakatkaisijat ovat mekaanisesti kestävämpiä ja ne omaavat paremman katkaisukyvyn. Isompien kiinteistöjen pääkatkaisijana suositellaan käytettäväksi ilmakatkaisijaa, koska

se kestää paremmin useita laukaisukertoja, mutta samalla ilmakatkaisija on myös kompaktikatkaisijaa kalliimpi hankinta.

Nykyaikaiset katkaisijat sisältävät elektronisen suojarahon, jonka avulla saadaan helposti aseteltua laukaisuvirrat ylikuormitus- ja oikosulkusuojasta varten sekä tarvittaessa voidaan myös ajastaa viivettä hidastettua oikosulkulaukaisua varten selektiivisyyden saavuttamiseksi.

5.3 Elektroninen suojarahon

Katkaisijoiden elektronisissa suojarahonissa on yleensä mahdollista asettaa kolme eri toimintaa. L-toiminta on ylikuormitussuojasta varten, S-toiminta hidastettavaa oikosulkusuojasta varten sekä I-toiminta oikosulun hidastamatonta pikalaukaisua varten. Jokaiselle toiminnolle voidaan yleensä tehdä omat toimintavirta-asettelut ja lisäksi L- ja S-toimintoihin voidaan asettaa myös toiminta-ajat, jotta vika- ja oikosulkutilanteissa katkaisija toimii standardien mukaisesti ennen kuin laitteistot tai johdot vaurioituvat.

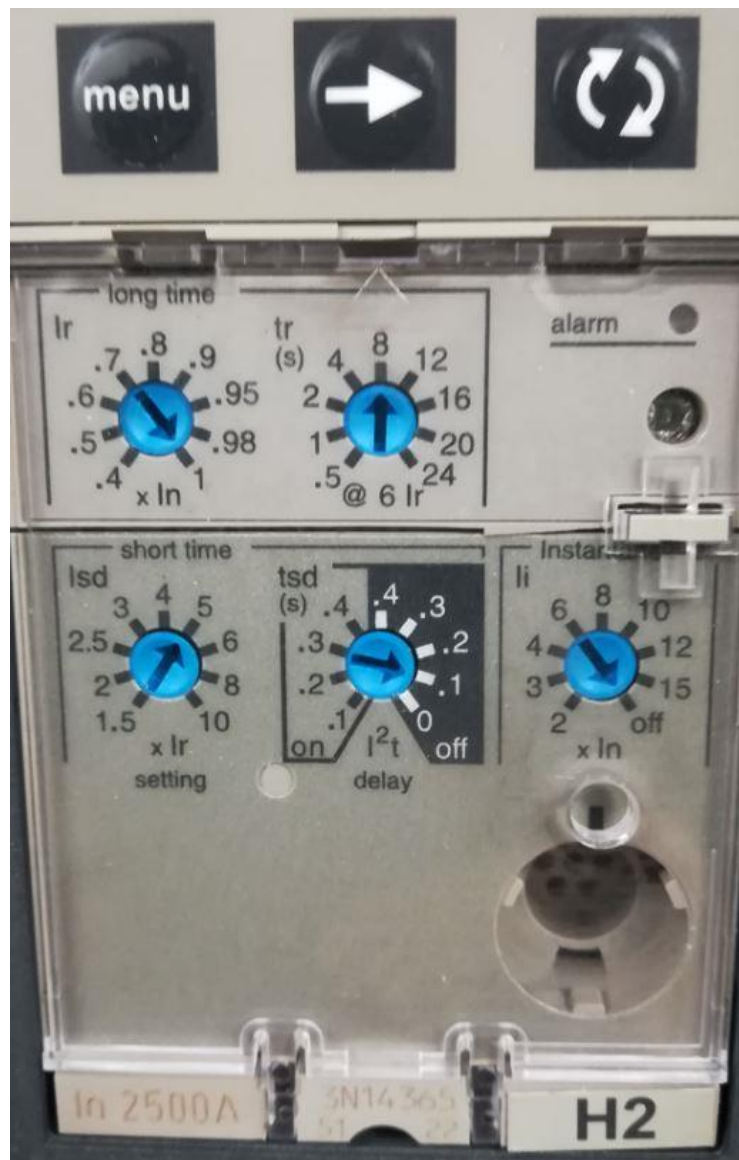
Oikosulkusuojauksen selektiivisyyden kannalta S-suojaus on tärkeä, koska hidastetun laukaisun avulla saadaan porrastettua eri suojalaitteiden toiminta-aikoja samassa aikaikkunassa. Releen S-toiminta voi olla joko vakioaikaista tai käänteisaikaista. Vakioaikainen ylivirtarele toimii aina samassa ajassa vikavirran ylittäessä asetteluarvon. Käänteisaikaisen ylivirtarele toiminta-aikaan vaikuttaa virran suuruus eli mitä suuremmaksi vika-virta kasvaa niin sitä nopeammin rele toimii. (17, s. 21.)

Käänteisaikatoimintakäyrät on määritelty standardeissa IEC 60255-3, IEC 60255-4 ja BS 142. Laittevalmistajien tulee valmistaa suojalaitteet vastaamaan näitä toimintakäyriä. Standardien mukaisia käänteisaikatoimintakäyriä on neljä erilaista:

- Normal inverse
- Long time inverse
- Very inverse
- Extremely inverse.

Long time inverse -toimintakäyrällä suojausten havahtumisen tulee tapahtua viimeistään virran ylitettyä 1,1-kertaisesti virta-asettelun. Muiden kolmen toimintakäyrän kohdalla havahtumisen tulee tapahtua virran ylitettyä asetteluarvon 1,3-kertaisesti.

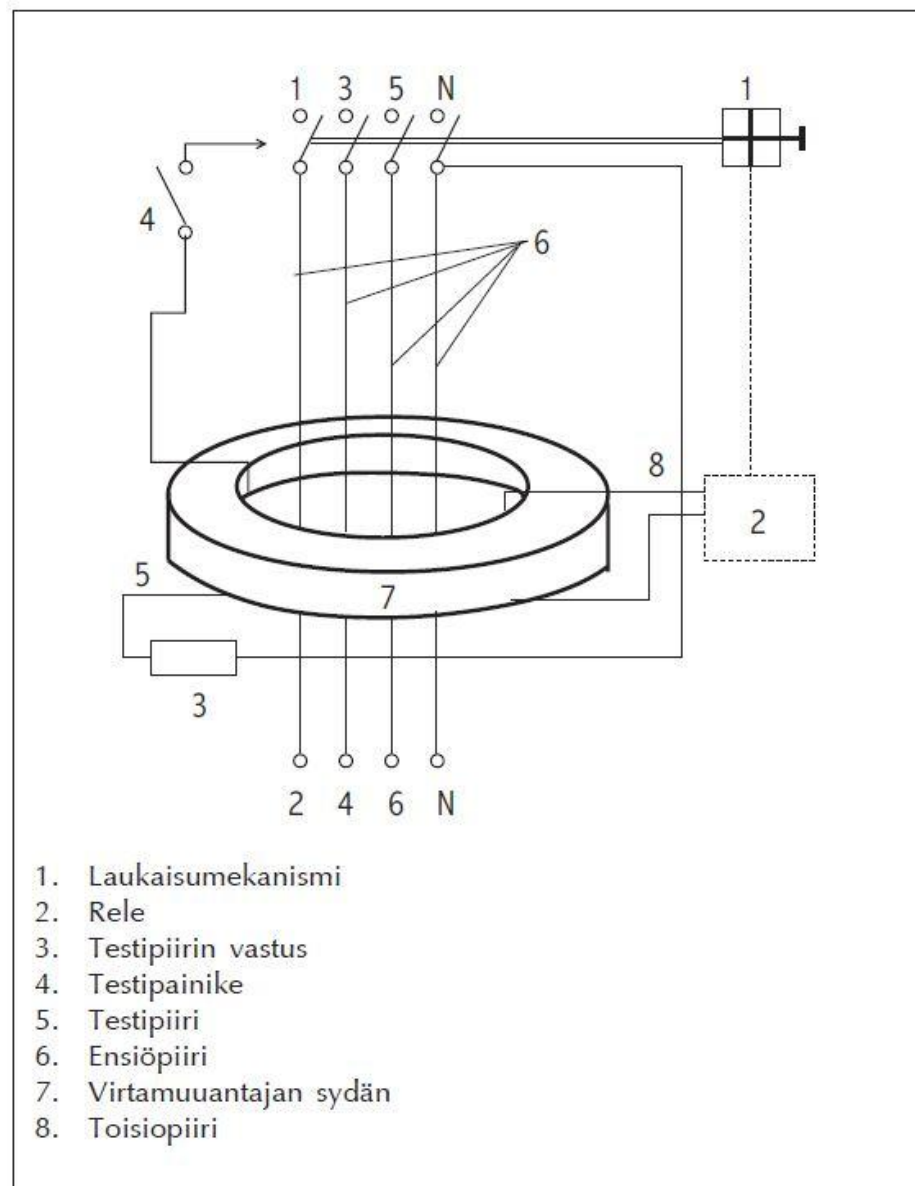
Kuvassa 4 on kuvattu HUSLAB:n pääkeskuksen pääkatkaisijan ohjausyksikkö eli rele-moduuli Micrologic 5.0 E, jonka alaosassa näkyvät katkaisijan suojarahasettelut.



Kuva 4. Pääkatkaisijan suojarahasetteluarvot.

5.4 Vikavirtasuoja

Vikavirtasuojien toiminta perustuu johdon meno- ja paluuvirran mittausten poikkeamaan eli summavirran muutokseen. Vikatilanteessa mitattu paluuvirta on pienempi kuin normaalitilanteessa, koska se kulkee ihmisen tai suojajohtimen kautta maahan ja aiheuttaa näin vikavirtasuojan toiminnan. Kuvassa 5 on havainnollistettu vikavirtasuojan rakennetta.



Kuva 5. Vikavirtasuojan rakenne (19, s. 2).

Pelkästään vikavirtasuojaukseen perustuvaa suojalaitetta kutsutaan vikavirtasuojakytkimeksi, kun taas vika- ja ylivirtasuojaustoiminnoilla varustettu suojalaite on nimeltään vikavirtajohdonsuojakatkaisija. Myös kompakti- tai ilmakatkaisijassa voi olla vikavirtasuojaustoiminto. (18, s. 303.)

Vikavirtasuojakytkimen tyyppejä on viisi erilaista ja niiden valinta riippuu sähkömuodosta eli vaihto- tai tasavirrasta, näiden yhdistelmistä sekä taajuudesta. S-tyypin vikavirtakytkin on hidastettua laukaisua varten. Nimelliset laukaisurajavirrat ovat 10 mA:sta 500 mA:iin asti, mutta Suomessa käytetään yleisesti 30 mA:n, 300 mA:n ja 500 mA:n vikavirtasuojia.

30 mA:n vikavirtasuojat katkaisee virtapiirin 30 millisekunnissa, mikä on todettu ihmiselle lähes vaarattomaksi ajaksi ja virraksi koskettaessa vikaantunutta sähkölaitetta tai muuta vastaavaa. 30 mA:n vikavirtasuojien käyttökohteina ovat rakennusten sisätiloissa enintään 32 A:n pistorasiat, ulkona olevat enintään 32 A:n pistorasiat sekä asuntojen ja pihalueiden valaisinryhmät. Yli 32 A:n pistorasiasyötöt tulee varustaa enintään 100 mA:n vikavirtasuojilla. Enintään 300 mA:n vikavirtasuojia taas käytetään muilla ryhmäjohtoilla ja palosuojauksessa. (19, s.1, 6.)

Mikäli vikavirtasuojaa käytetään vikasuojaukseen TN-järjestelmässä, tulee piiri suojata lisäksi myös ylivirtasuojalla. 30 mA:n vikavirtasuojia käytetään yleisesti myös lisäsuojana sähköasennuksissa, joissa on kosketusjännitteen mahdollisuus vikatilanteessa.

Vikavirtasuojien välinen selektiivisyys saavutetaan asentamalla syötön puolelle tyyppin S vikavirtasuojat tai hidastettu tyyppi aika-asetteluineen sekä valitsemalla kuormituksen puoleinen vikavirtasuojat siten, että niiden nimellisvirtojen suhde on vähintään 3:1 (12, s. 29).

5.5 Valokaarisuoja

Valokaarivikasuojat pystyvät havaitsemaan vikatilanteet, jotka johtuvat jatkuvasta valokaaresta eristysvikaisten johtimien välillä tai löysissä liitoksissa. Rinnakkaisvalokaareksi kutsutaan tilannetta, jossa valokaaren virtaa voi rajoittaa syöttävän verkon virta ja sarjavalokaareksi kutsutaan tilannetta, jossa valokaarta voi rajoittaa suojattavan piirin kuormitus. (12, s. 69.)

Valokaaren oma impedanssi voi pienentää tai rajoittaa oikosulkupiirin kuormitusvirtaa siten, ettei ylivirtasuoja, sulake tai katkaisija voi toimia omalla toimintavirrallaan. Sarja-valokaarella ei taas esiinny vuotovirtaa maahan nähden, joten vikavirtasuoja ei havaitse tällaista valokaarivikaa. (12, s. 69.)

Valokaarisuojauksessa asennetaan optisia antureita esimerkiksi keskuksen kennoihin ja kiskoihin sekä mitataan keskuksen vikavirtoja. Kun valokaarivahti havaitsee poikkeavaa valonmäärän kasvua ja kun samalla virtavahti huomaa poikkeaman virta-arvoissa, katkaisee järjestelmä virran kulun valokaareen. Valokaarisuojauksen etuna on sen nopea alle 100 ms:n kokonaiskatkaisuaika, mikä vähentää huomattavasti vahinkojen laajuutta ja parantaa turvallisuutta kojeistojen läheisyydessä työskennellessä. (20.)

6 Selektiivisyystarkastelu

Kiinteistön sähköverkon suojalaitteiden välinen selektiivisyys tarkoittaa sitä, että sähkölaitteessa, keskuksessa tai johtimessa tapahtuva oikosulku tai muu vikaantumisen katkaistaan sillä suojalaitteella, joka on lähimpänä vikapaikkaa ja aiheuttaa vain kyseisen oikosulkuvirtapiirin katkaisun. Selektiivisyyttä saadaan perättäisten suojalaitteiden välille porrastamalla niiden laukaisuvirtoja, hidastamalla laukaisuja, valitsemalla eri koon sulakkeita tai käyttäen käänteisaikalaukaisua.

Selektiivisyydellä pyritään rajaamaan sähköverkon vikatilanteesta aiheutuvat häiriöt mahdollisimman pienelle alueelle. Peräkkäiset katkaisijat ovat täysin selektiivisiä, jos vikatilanteessa ainoastaan vikakohtaa lähinnä oleva verkon puoleinen katkaisija toimii. Haluttaessa parantaa selektiivisyyttä verkon puoleisen katkaisijan runkokokoa voidaan suurentaa tai sen laukaisuaikaa hidastaa. (9, s.7.)

Sähköverkon suojalaitteiden välinen selektiivisyys tulee tarkastaa uudisrakentamisen tai sähköverkon muutostyön ohella mikäli siitä on erikseen sovittu, mutta sitä ei kuitenkaan veloiteta standardeissa muuten kuin lääkintätilojen osalta.

6.1 Lähtötiedot

Suojalaitteiden selektiivisyyden tarkastelua varten tulee aluksi selvittää sähköyhtiöltä liittymäpisteen jakelujännite, liittymän suurin 3-vaiheinen oikosulkuvirta, maasulkuvirta sekä johtolähtökatkaisijan ylivirtareleen asetteluarvot. Sähköverkkoyhtiön johtolähtökatkaisijan toimintaraja-arvot täytyy huomioida suunniteltaessa kiinteistön ylivirtasuojauksia, jotta kiinteistön verkossa tapahtuvat viat katkaistaan kiinteistössä viimeistään esimerkiksi pääkeskuksessa eikä sähköyhtiön jakeluverkon suojalaitteilla, joka vaikuttaisi sähkönjakelun keskeytymiseen myös muille asiakkaille.

Seuraavaksi tarvitaan kuvaus sähköverkon rakenteesta, siihen liittyvät jakelukaaviot sekä keskusten ja kojeistojen tiedot, kaapeliluettelot ja mahdolliset oikosulkuvirta laskennan tulokset. Uudiskohteessa verkon mallintamiseen ja laskentaan käytetään lähes poikkeuksetta sähköverkon laskentaohjelmistoja. (14, s. 6-7.)

6.2 Pienin esiintyvä oikosulkuvirta

Ylikuormitus- ja vikasuojia valittaessa ja tarkasteltaessa on selvitettävä rakennuksen sähköverkon pienimmät esiintyvät oikosulkuvirrat, jotka yleensä ovat kaukana muuntajasta, ryhmäkeskukselta kaukaisimpaan pisteeseen lähtevän johdon loppupäässä. Pienimmän oikosulkuvirran voi mitata sähköasennustesterin avulla tai vaihtoehtoisesti laskemalla.

Pienimmän oikosulkuvirran tulee olla riittävän suuri, jotta suojalaite havahtuu sille vaaditussa ajassa. Näitä oikosulkuvirta-arvoja tarvitaan automaattisen poiskytkennän ja vikasuojauksen tarkastukseen sekä johtojen lämpenemisen arviointiin.

6.3 Suurin esiintyvä oikosulkuvirta

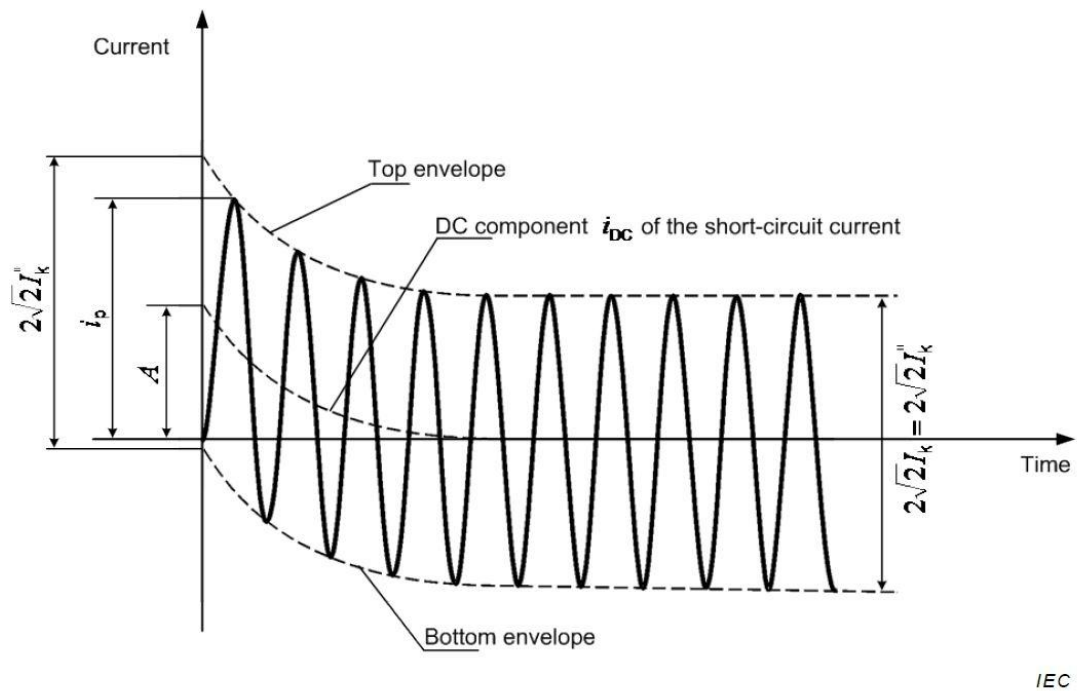
Kiinteistön sähköverkossa esiintyvä suurin oikosulkuvirta on joko muuntajan lähtöpuolen katkaisijan tai muun suojalaitteen liittimissä tai pääkeskuksen lähtökatkaisijan liittimissä tapahtuvassa oikosulussa. Yleensä suurin oikosulkuvirta syntyy kolmivaiheisessa oikosulussa, mutta kuormasta ja impedanssista riippuen voi suurin oikosulkuvirta olla myös kahden vaiheen ja maan välillä oikosulkutilanteessa.

6.4 Oikosulkuvirran luonne ja laskentatavat

Oikosulkuvirtojen laskentaa käsitellään kansainvälisessä standardissa IEC 60909, johon myös laskentaohjelmistojen oikosulkuvirtalaskelmat pohjautuvat. IEC 60909 oikosulkuvirtojen laskenta perustuu Thevenin menetelmään, jossa piirin oikosulkupiste korvataan ekvivalenttisella jännitelähteellä ja lasketaan oikosulkuvirta piirissä esiintyvien impedanssien avulla (21, s. 20).

Oikosulkuvirtojen selvittäminen sähköverkon suojalaitteiden selektiivisyyden toteamiseksi tulee laskea ja tarkastella kaikissa mahdollisissa tilanteissa käsittäen 1-vaiheisen, 2-vaiheisen ja 3-vaiheisen oikosulun, mukaan lukien maakosketuksella ja ilman maakosketusta eli vaiheiden välisenä oikosulkuna. Laskenta suoritetaan myös varavoima- ja UPS-käyttöillä, jolloin oikosulkuvirrat voivat jäädä huomattavan pieniksi suojien oikeanlaisen toiminnan kannalta.

Alla kuvassa 6 kuvattuna oikosulkuvirran luonne kun oikosulku tapahtuu kaukana generaattorista.



IEC

Kuva 6. Oikosulkuvirran luonne kaukana generaattorista tapahtuvassa oikosulussa (21, s. 17).

I_k'' on alkuoikosulkuvirran tehollisarvo eli toisin sanoen sysäysoikosulkuvirran tehollisarvo oikosulun syntyhetkellä

i_p on oikosulkuvirran huippuarvo

i_{DC} on tasavirtakomponentti

A on tasavirtakomponentin tehollisarvo

I_k on pysyvän oikosulkuvirran tehollisarvo

Kuvan 6 oikosulkuvirran kuvaajasta nähdään alkuhetken epäsymmetrinen oikosulkuvirta i_p , joka syntymishetkellä voi olla kaksin- tai kolminkertainen verrattuna pysyvään symmetriseen oikosulkuvirtaan I_k . Alkuhetken epäsymmetriseen oikosulkuvirtaan vaikuttaa tasavirtakomponentti i_{DC} , joka vaimenee nopeasti oikosulkutilanteen jatkuessa.

6.4.1 Kolmivaiheisen oikosulkuvirran laskeminen

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan myötaverkon impedanssien avulla yhtälöstä 8:

$$I''_{k3} = \frac{c \times U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_1} \quad (8)$$

I''_{k3} on alkuoikosulkuvirta

c on jännitekerroin, joka saadaan standardin IEC 60909 taulukosta. Taulukko 5 alla.

U_n on syöttävän verkon jännite

Z_1 on myötäkomponenttiverkon impedanssi, joka koostuu syöttävän verkon komponenttien resistansseista ja reaktansseista kaavan 9 mukaisesti:

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (9)$$

Taulukko 5. Jännitekerroimet oikosulkuvirtojen laskemiseen (21, s. 22).

Table 1 – Voltage factor c

Nominal system voltage U_n	Voltage factor c for the calculation of	
	maximum short-circuit currents c_{\max}^a	minimum short-circuit currents c_{\min}
Low voltage 100 V to 1 000 V (IEC 60038:2009, Table 1)	1,05 ^c 1,10 ^d	0,95 ^c 0,90 ^d
High voltage ^b >1 kV to 230 kV (IEC 60038:2009, Tables 3, 4)	1,10	1,00
High voltage ^{b, e} > 230 kV (IEC 60038:2009, Table 5)	1,10	1,00

^a $c_{\max} U_n$ should not exceed the highest voltage U_m for equipment of power systems.
^b If no nominal system voltage is defined $c_{\max} U_n = U_m$ or $c_{\min} U_n = 0,90 \cdot U_m$ should be applied.
^c For low-voltage systems with a tolerance of $\pm 6\%$, for example systems renamed from 380 V to 400 V.
^d For low-voltage systems with a tolerance of $\pm 10\%$.
^e For nominal system voltages related to $U_m > 420$ kV, the voltage factors c are not defined in this standard.

6.4.2 Kaksivaiheisen oikosulkuvirran laskeminen

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta vaiheiden välillä lasketaan kaavalla 10:

$$I''_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I''_{k3} \quad (10)$$

Myötä- ja vastakomponenttien impedanssit on oletettu tässä tapauksessa yhtä suuriksi.

6.4.3 Yksivaiheisen oikosulkuvirran laskeminen

Maan ja vaiheen välillä tapahtuvan oikosulun yksivaiheisen oikosulkuvirran laskemisessa tulee huomioida myötäverkon impedanssien lisäksi vastakomponenttien ja nollakomponenttien impedanssit. Impedanssit lasketaan aritmeettisesti yhteen kuten kaavassa 11.

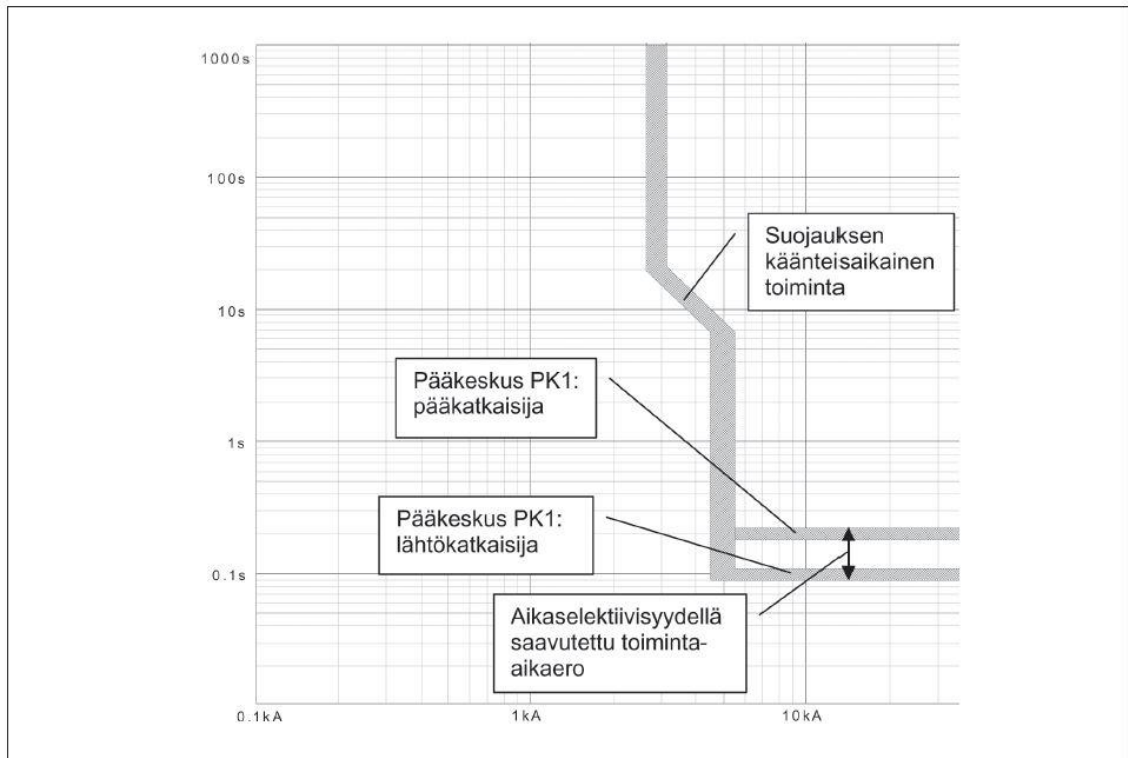
$$I''_{k1} = \frac{3}{|Z_1 + Z_2 + Z_3|} \times \frac{c U_n}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

6.5 Selektiivisyyden toteutumisen tarkastelu

Käytännössä selektiivisyys tarkastelua varten käytetään valmiita ohjelmistoja kuten ABB DOC2.0 tai FebDok, joilla saadaan mallinnettua suuremmatkin sähköverkot sekä suojalaitteet. Ohjelmat analysoivat verkon oikosulkuvirtoja ja komponentteja sekä ilmoittavat sellaiset sähköverkon kohdat, joissa suojaukset eivät toteudu. Laskentaohjelmit piirtävät myös valmiit kuvaajat ja toimintakäyrät perättäisistä suojalaitteista tarkasteltavassa sähköverkossa ja selektiivisyyden kannalta oleellisinta on, etteivät perättäisten suojalaitteiden toimintakäyrät ole päällekkäin eli toimi yhtä aikaa samalla oikosulkuvirran arvolla.

Selektiivisyyden toteutumista voidaan arvioida myös piirtämällä suojalaitteiden toimintakäyrät I, t -koordinaatistoon suojalaitteen valmistajan antamien tietojen tai suojalaitteen toimintaa kuvaavan kaavan mukaisesti. Suojalaitteiden selektiivinen valinta perustuu suojiin virta- ja aika-asetteluihin.

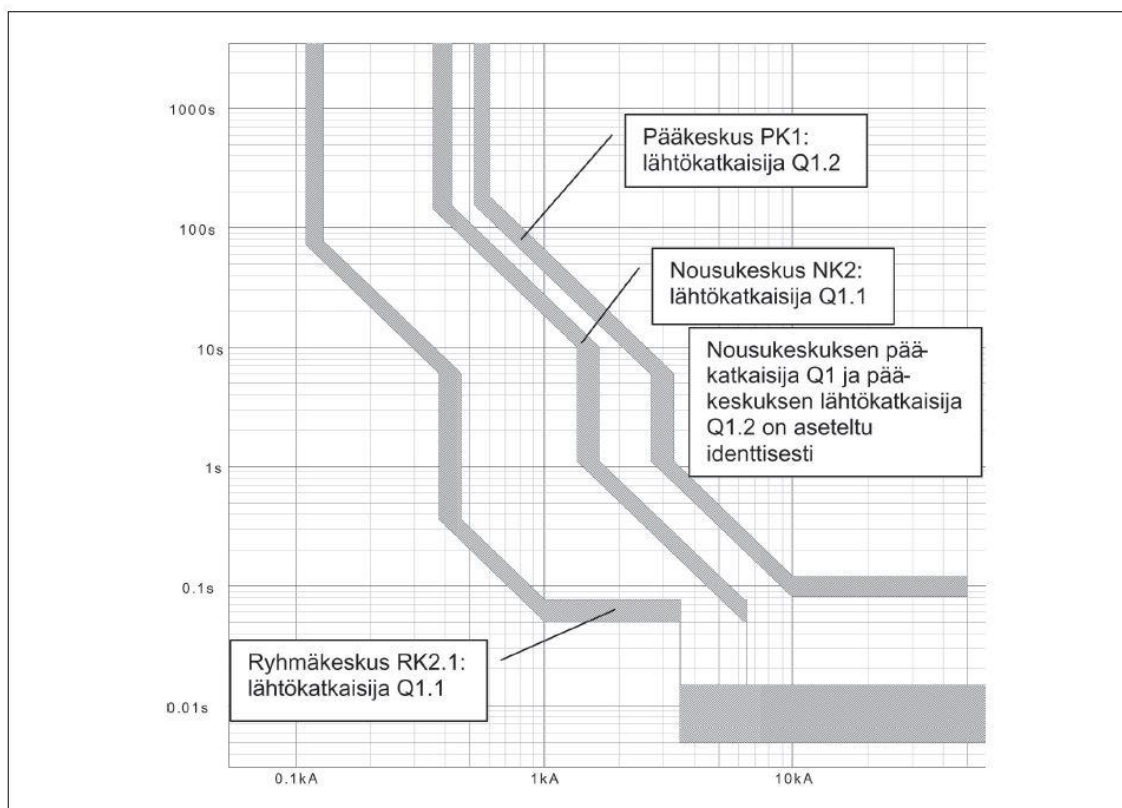
Alla olevassa kuvassa 7 on esimerkki virta–aika -koordinaatistosta, jossa on pääkeskuksen PK1 pääkatkaisijan ja lähtökatkaisijan toimintakäyrät kuvattuna.



Kuva 7. Katkaisijoiden aikaselektiivisyys I, t -koordinaatistossa (14, s. 3).

Kuvassa 7. on pääkatkaisijan ja lähtökatkaisijan toiminnan välille aseteltu aikaeroa, jotta lähtökatkaisijan takana sattuvassa oikosulkutapauksessa lähtökatkaisija toimisi ensin eikä pääkatkaisija toiminta katkaisisi virtaa koko pääkeskuksesta. Käyrältä nähdään myös suojien käänteisaikainen toiminta, jolloin oikosulkuvirran noustessa 3 kA:sta 5 kA:iin laukaisuaika lyhenee samalla 20 sekunnista noin 7 sekuntiin.

Aikaselektiivisyydellä on helpointa toteuttaa selektiivisyyden toteutumista nimellisvirraltaan lähellä olevien suojalaitteiden välillä, mutta rajoittavana tekijänä tulee vastaan useiden perättäisten suojien sijoittaminen niin, että poiskytkentäehdot (0,4 s ja 5 s) toteutuvat kaikilla suojalaitteilla.



Kuva 8. Virtaselektiivisyys I, t -koordinaatistossa (14, s. 4).

Kuvassa 8 ryhmä-, nousu- ja pääkeskuksen katkaisijat on aseteltu selektiiviseksi toimintavirran mukaisesti. Ryhmäkeskus RK2.1:n lähtökatkaisija Q1.1 toimii ylikuormitustilanteessa vakioaikaisena (L-toiminta) hieman yli 0,1 kA:n oikosulkuvirralla noin 70 sekunnin kuluessa ja oikosulkuvirran noustessa korkeammaksi ylikuormitussuoja toimii nopeammin käänteisaika-asettelun avulla.

Saman katkaisijan toimintäyrällä 0,4 kA:n kohdalla on käytössä hidastettu oikosulkusuojaus (S-toiminta), joka toimii alle 0,4 sekunnin aikana oikosulkutilanteessa. Myös hidastetussa oikosulkusuojuuksessa on käytetty sekä vakioaikaista, että käänteisaikaista toimintaa. Oikosulun hidastamaton pikalaukaisu (I-toiminto) toimii samalla katkaisijalla vähintään 1 kA:n virta-arvolla alle 0,1 sekunnissa.

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin kiinteistön sähköverkon erilaisia suojausmenetelmiä sekä selektiivisyyden toteutumista eri suojalaitteiden välillä. Insinööriyössä selvitettiin myös oikosulkulaskennan perusteet suojalaitteiden valinnassa sekä tarkasteltiin standardeissa annettuja velvoitteita ja ohjeistuksia suojausten oikeanlaisen toiminnan toteuttamiseksi.

Työn tavoitteena oli tehdä mallipohja suojalaitteiden valinnasta ja selektiivisyyden toteutumisen tarkastamisesta Hus-Kiinteistöt Oy:lle, joka kuitenkin oikein tehtynä vaatisi sähkösuunnitteluohjelmistoa, kuten ABB DOC2.0 ja vähintään muutaman päivän koulutusta ohjelmiston käyttöön. Insinööriyön vaikeudeksi osoittautuikin edellä mainitun ohjelmiston käyttö sekä HUSLAB-rakennuksen sähköverkon laajuus ja monimutkaisuus, mukaan lukien varavoimageneraattorin sekä UPS-verkkojen toiminta.

Vikavirtasuojien toiminta tarkastettiin johtojen enimmäispituuksien sekä pienimpien oikosulkuvirtojen osalta käyttäen apuna tarkastuspöytäkirjoja sekä sähköpiirustuksia.

Insinööriyötä voidaan hyödyntää ajantasaisena teoriapohjana selektiivisyydestarkasteluille Hus-Kiinteistöt Oy:ssä. Jatkotoimenpiteenä voitaisiin yhteistyössä sähkösuunnittelutoimiston kanssa kouluttaa henkilökuntaa laskemaan ja laatimaan kiinteistöjen selektiivisyydestarkasteluita kokonaisuudessaan sekä kouluttautua sähköverkon laskentaohjelmiston käyttöön yrityksessä.

Insinööriyön tekemisen aikana tuli opittua paljon sähköverkon suojalaitteista ja standardeista, että minkälaisia asioita suojauksessa tulee huomioida ja mitä velvoitetaan suojalaitteiden valinnassa ja asennuksissa.

Lähteet

1. Vuosikertomus. 2016. Yrityksen verkkosivut. Hus-Kiinteistöt Oy. <<http://hus-kiinteistot.fi/vuosikertomus2016/index.html#1>> Luettu 17.4.2018.
2. Hus-Kiinteistöt Oy. 2018. Yrityksen verkkosivut. <http://hus-kiinteistot.fi/hus-kiinteistot_oy> Luettu 18.4.2018.
3. Ekholm Virpi. 2016. Verkkoaineisto. MYLAB. <<https://www.mylab.fi/huslab-sai-uuden-upean-kodin/>> 6.6.2016. Luettu 18.4.2018.
4. HUSLAB-talo: sähköinen esite. 2016. Verkkojulkaisu. <<http://www.iesite.fi/huslab/>>. Luettu 3.6.2018.
5. Standardi SFS 6000-7-710: Pienjännitesähköasennukset. 2017. Lääkintätilat, varavoima. Sesko ry.
6. D1 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2012. Espoo: Sähköinfo Oy.
7. Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. 16.12.2016.
8. Sähkölaitteistojen olennaiset turvallisuusvaatimukset. Voimaantulo 1.1.2017. Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016. Edilex.
9. Orrberg Matti. 2017. ST-kortisto 53.24. Ohjeita kiinteistöjen enintään 1000 V johtojen mitoituksesta ja suojauksesta. Espoo: Sähköinfo Oy.
10. Tiainen Esa. 2015. Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus. Espoo: Sähköinfo Oy.
11. Standardi SFS 6000-4-41: Pienjännitesähköasennukset. 2017. Suojausmenetelmät. Sesko ry.
12. SFS 6000 uudistukset. 2017. Koulutusmateriaali 14.2.2017. Kiwa Inspecta.
13. Standardi SFS 6000-4-43: Pienjännitesähköasennukset. 2017. Ylivirtasuojaus. Sesko ry.
14. Orrberg Matti. 2017. ST-kortisto 53.13. Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys. Espoo: Sähköinfo Oy.
15. Standardi SFS 6000-4-41: Pienjännitesähköasennukset. 2017. Suojausmenetelmät. Sesko ry.

16. Orrberg Matti. 2015. ST-kortisto 53.45. Sulakkeeton suojaus. Espoo: Sähköinfo Oy.
17. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. 2000. ABB Strömberg.
18. Standardi 6000-5-53: Pienjännitesähköasennukset. 2017. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Sesko ry.
19. Orrberg Matti. 2017. ST-kortisto 53.12. Vikavirtasuojat. Espoo: Sähköinfo Oy.
20. Schneider Electric Oy. 2018. Yrityksen verkkosivut, valokaarisuojaus. <<https://www.schneider-electric.fi/fi/product-subcategory/4605-valokaarisuojaus/?filter=business-6-medium-voltage-distribution-and-grid-automation&parent-category-id=4600>>. Luettu 3.5.2018.
21. Standardi SFS-EN 60909-0. 2016. Oikosulkuvirtojen laskenta. Sesko ry.