



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Saarnikoski

VALOKAARISUOJAUS
KESKIJÄNNITEKOJEISTOSSA
JA
PIENJÄNNITEKESKUKSESSA

Tekniikka
2021

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikka

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Marko Saarnikoski
Opinnäytetyön nimi	Valokaarisuojaus keskijännitekojeistossa ja pienjännitekeskuksessa
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	62 + 2 liitettä
Ohjaaja	Tapani Esala

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä hankintasuunnitelma valokaarisuojauksesta kahteen 6.3 kilovoltin keskijännitekojeistoon sekä kahteen 400 voltin pienjännitekeskukseen Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitokselle. Järjestelmän on tarkoitus suojella henkilökuntaa huolto- ja asennustehtävien aikana, sillä varsinkin vanhoissa pienjännitekeskuksissa on paljon paljaita jännitteellisiä osia ja riski aiheuttaa valokaari inhimillisen erehdyksen takia on suuri.

Työn aluksi perehdyttiin valokaari-ilmiöön, kojeistojen ja keskuksien rakenteisiin, niiden komponentteihin sekä erityisesti virtamuuntajiin. Opinnäytetyön aikana suunniteltiin kolmen eri valokaarisuojajärjestelmätoimittajan kanssa kustannustehokas suojaus laitteiden elinkaarituki ja käytettävyys silmällä pitäen. Ohessa mietittiin myös valokaarisuojajärjestelmän asentamista ja sen vaatimia kytkentöjä.

Tehtävän aikana kävi selväksi, että kojeistoihin ja keskuksiin on syytä asentaa työturvallisuuden vuoksi valokaarisuojaus. Tämän ansiosta vältetään myös kalliilta tuotannon seisahduksilta sekä valokaaren aiheuttamilta tuhoilta kojeistoihin. Valokaarisuojauksella asentajat pystyvät tekemään turvallisemmin töitä, ilman huomattavia esivalmisteluita ja erikoissuojavaatteita. Työn lopuksi pohdittiin keskuksien uusimista ja niiden tuomia hyötyjä verrattiin valokaarisuojajärjestelmän hankintaan.

Avainsanat	valokaari, valokaarisuojaus, keskijännitekojeisto, pienjännitekeskus, työturvallisuus
------------	---

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikka

ABSTRACT

Author	Marko Saarnikoski
Title	Arc protection in medium voltage- and low voltage switch-gear
Year	2021
Language	Finnish
Pages	62 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Tapani Esala

The purpose of this thesis was to make requests for quotation concerning arc fault protection system to old switchgears, plan one suitable for my employer's exact needs and study arc faults. An arc fault is an extremely dangerous phenomenon between live parts or one live part and earth, that can happen due human error, corrosion, moisture, built up dust, faulty installation, or broken insulator.

The Project started by getting acquainted with the old switchgears and modern arc fault protection systems. With the help of equipment manufacturers, it was possible to plan reasonably priced, but yet very effective protection against arc faults with long hardware support.

As a conclusion it is recommended to install new arc fault protection to these old switchgears to prevent production stalls, permanent damage to people near it and other switchgears, because there are more visible and touchable live parts than there is in new switchgears.

Keywords	arc fault, arc protection, medium voltage switchgear, low voltage switchgear, personnel safety
----------	--

ALKUSANAT

Haluan kiittää Vantaan Energia Oy:ta, joka mahdollisti tämän opinnäytetyön, erityisesti työnvalvojaa, esimiestä sekä työnohjaajaa. Kiitokset laitetoimittajille produktiivisista palavereista, vinkeistä sekä neuvoista ja kiitos ABB:n suojausasiantuntijalle liittyen virtamuuntajien taakan tarkasteluun. Kiitän opiskelijakavereitani yhteisistä vuosista ja perhettäni, joka oli tukenani opintojeni loppuun saattamisessa.

Nurmijärvellä 20. huhtikuuta 2021

Marko Saarnikoski

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

LYHENTEET JA TERMIT

ALKUSANAT	4
1 JOHDANTO.....	12
2 VANTAAN ENERGIA	13
2.1 Martinlaakson voimalaitos nykyään	14
3 VALOKAARISUOJAUSTA KOSKEVAT STANDARDIT JA MÄÄRÄYKSET	16
4 VALOKAARI ILMIÖNÄ JA SEN HAITAT	18
4.1 Lämpö ja energia.....	19
4.2 Paine ja ääni	21
5 VALOKAARIVIKA.....	22
5.1 Rinnan tapahtuva valokaarivika.....	22
5.2 Sarjassa tapahtuva valokaarivika	23
6 VALOKAARISUOJAUS	24
6.1 Valokaarirele	26
6.2 Laajennusyksikkö	27
6.3 Pisteanturi	28
6.4 Kuitu	29
6.5 Sammutuslaitteisto	30
6.6 Yhteys laitteiden välillä	31
7 KOJEISTOT JA KESKUKSET	32
7.1 Kojeisto	32
7.1.1 Kennokoteloitu kojeisto (Cubicle).....	33

7.2 Kennokeskus	34
8 KÄYTÖSSÄ OLEVAT KATKAISIJAT	36
8.1 Suurjännitekatkaisijat	36
8.2 Vähäjännitekatkaisija	37
8.2.1 Rakenne.....	38
8.3 Pienjännitekatkaisijat.....	40
8.3.1 Avoimet ilmakatkaisijat.....	41
9 VIRTAMUUNTAJA	42
9.1 Terminen mitoitusvirta	44
9.2 Dynaaminen mitoitusvirta	44
9.3 Mitoitusensiövirta.....	44
9.4 Mitoitustoisiovirta	45
9.5 Mitoitustaakka	45
9.6 Sisätaakka.....	46
9.7 Virtamuuntajan sydämet	46
9.8 Suojaussydämen tarkkuusluokat	49
9.9 Tarkkuusrajakerroin	49
10 VIRTAMUUNTAJAN TAAKANTARKASTELU.....	50
10.1 4-johdinjärjestelmä.....	51
10.2 6-johdinjärjestelmä.....	52
10.3 Taakan tarkastuslaskenta	53
10.4 Todellinen tarkkuusrajakerroin.....	54
11 HANKINTASUUNNITELMA JA LAITETOIMITTAJIEN VERTAILU	57
12 YHTEENVETO JA POHDINTA	59
LÄHTEET	61
LIITTEET	63

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Vantaan Energia Oy:n suunnitelma fossiilittomaan energiantuotantoon.	14
Kuva 2. Valokaaren lämpötila-, aika- ja virtakuvaaja. Valokaari pitää saada sammumaan alle 100 ms, jotta voidaan välttyä materiaalipaloilta. Suomen 50 Hz järjestelmässä tämä tarkoittaa viittä ajanjaksoa.	19
Kuva 3. Syöttävä verkko valokaaren kanssa rinnan kytkettynä resistiiviseen ja induktiiviseen kuormaan.....	23
Kuva 4. Valokaarivika sarjassa kuorman kanssa.....	23
Kuva 5. Tyypillinen valokaarisuojajärjestelmä selektiivisesti toteutettuna.	25
Kuva 6. Valokaarirele.	26
Kuva 7. Laajennusyksikkö.	27
Kuva 8. Pisteanturi.	28
Kuva 9. Kuitusensori.	29
Kuva 10. Sammutuslaitteistolla on mahdollista pienentää valokaaren palamisaika muutamiin millisekunteihin.	31
Kuva 11. 1. Kokoojatila 2. Katkaisijatila 3. Kaapelipäätetila 4. Toisiokojetila.....	34
Kuva 12. Nykyaikainen kennokeskus.	35
Kuva 13. 1. Varaventtiili 2. Paine kupu 3. Yläliitin 4. Kiinteä kosketin 5. Sammutuskammio 6. Kosketinpuikko 7. Alaliitin 8. Rullakosketin 9. Kampikammio.	39
Kuva 14. 1. Katkaisukammio 2. Kiinteä valokaarikosketin 3. Liikkuva valokaarikosketin 4. Kiinteä päävirtakosketin 5. Taipuva lenkki 6. Laukaisuyksikkö. 7. Liikkuva päävirtakosketin 8. Peitelevy 9. Viritysjousi 10. Viritysvipu.....	41
Kuva 15. Mittaussydän ja suojaussydän virtapiirissä.	47
Kuva 16. Kyllästyksen vaikutus toisiovirtaan.	47
Kuva 17. 4-johdinjärjestelmä virtamuuntajille. Suojareleelta tulee kolme johdinta, mutta niillä on yhteinen palaava johdin.	51
Kuva 18. 6-johdinjärjestelmä.	52

Kuva 19. Erään käytössä olevan virtamuuntajan simuloitu saturoituminen. Kuvasta havaitaan, että kyseisen virtamuuntajan kyllästyminen tapahtuu kolmen millisekuntin jälkeen, joten tätä ennen on suojavaiteiden toimittava..... 56

Taulukko 1. Henkilökohtaisen suojavaatetuksen kategoriat. 20

Taulukko 2. Suojaussydämen tarkkuusluokat. 49

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Valokaaren aiheuttamia tuhoja**LIITE 2.** Tarjousvertailu

LYHENTEET JA TERMIT

A	Ampeeri
m	Metri
T	Tesla, magneettivuon tiheyden yksikkö
V	Voltti
p	Kaapelin resistiivisyys
Fs	Tarkkuusrajakerroin tai mittarivarmuuskerroin
kA	Kiloampeeri
KJ	Keskijännite 1–36 kilovolttiin
kV	Kilovoltti
lx	Lux, valaistusvoimakkuutta kuvaava mittayksikkö
mm	Millimetri
PJ	Pienjännite ≤ 1 kilovoltti
Si	Toisiokäämin sisätaakka
Sn	Mitoitustaakka
Ith	Terminen mitoitusvirta
Idyn	Dynaaminen mitoitusvirta
Rct	Virtamuuntajan sisäinen resistanssi
IGBT	Insulated gate bipolar transistor, puolijohde
CBFP	Katkaisijan vikasuoja

UPS	Varmennettu sähkösyöttö akustolta
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
IEEE	Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
NFPA	yhdysvaltalainen paloturvallisuusjärjestö
Cal/cm²	Tapahtumaenergia, kaloria neliösenttimetriä kohden
PPE	Personal Protective Equipment
Saturaatio	Muuntajan sydänmateriaalin kyllästyminen
Remanenssi	Jäännösmagnetismi, ulkoisen magnetoinnin poistuessa

1 JOHDANTO

Aihe valittiin yhdessä työnantajan kanssa, sillä se on ollut pitkän tähtäimen suunnitelmissa, mutta sitä ei olla lähdetty toteuttamaan. Valokaarisuojausta koskevat kojeistot ja keskukset ovat 70-luvulta ja näin ollen niiden rakenteelliset ominaisuudet valokaarisuojauksen kannalta eivät riitä enää nykypäivän standardien ja vaatimusten mittapuulla.

Valokaaren aiheuttamat henkilövahingot, aineelliset tuhot ja sen aiheuttamat kustannukset tuotannollisesta näkökulmasta ovat nykyään paremmin tiedossa, vaikka mahdollisuus valokaaren aiheutumiseen olisikin pieni, on siihen syytä varautua.

Työ aloitettiin käymällä kyseiset KJ-kojeistot 1BAI ja 1BAII sekä PJ-keskukset 1CA ja 1CB läpi voimalaitoksen sähköinsinöörin kanssa, etsittiin näitä koskevat rakennekuvat, komponenttiluettelot ja 1. blokin sähköpääkaavio, joita tarvitaan tarjouskyselyiden tekemiseen laitetoimittajille.

Ohessa suunniteltiin tarvittavia kytkentämuutoksia katkaisijoille, perehdyttiin valokaareen ilmiönä, pohdittiin valokaarisuojajärjestelmän asentamista ja koestamista, automaatioon liittämistä sekä omaa valvomonäkymää valokaarisuojajärjestelmälle. Keskijännitekojeistossa eikä pienjännitekeskuksissa selektiivisyyttä toteuteta, vaan vian sattuessa vikaa syöttävä keskus menee täysin jännitteettömäksi. Tämä johtuen siitä, että keskijännitekojeistossa on syötönvaihto automaattikka haaramuuntajan ja käynnistysmuuntajan välillä sekä kojeistoja pystytään syöttämään 2. blokista. Automaatioon tullaan tulevaisuudessa mahdollisesti tekemään tätä koskeva muutos. 1CA ja 1CB PJ-keskuksissa kaikki lähdöt ovat kahva- tai tulppasulakkeita. Mikäli nämä olisivat kaikki nykyaikaisia katkaisijoita, niin suojaus pystyttäisiin toteuttamaan selektiivisesti. Keskuksien oikosulkuvirrat piti myös selvittää mahdollista valokaarensammutuslaitteistoa varten.

2 VANTAAN ENERGIA

Vantaan Energian historia yltää aina 1900 - luvun alkuun, jolloin sähköistetty alue oli hyvin pieni ja kulutuksen yhteisteho 52 kilowattia. Sähköistyksen kehittyessä tehontarpeen mukaan vuosikymmenien edetessä yhtiön nimi on muuttunut Malmi Sähkölaitos Oy:sta Helsingin Ympäristön Sähkölaitokseksi ja Vantaan kauppalaan perustamisen jälkeen vuonna 1971 Vantaan Sähkölaitos Oy:ksi.

Kulutuksen kasvaessa ja sähkölämmitysmuodon yleistyessä, Martinlaaksoon rakennettiin voimalaitos, jonka generaattori tahdistettiin sähköverkkoon 1975. Vantaalainen sähköyhtiö tuotti ensimmäistä kertaa 1910 - luvun jälkeen itse sähköä yli 41 000 asiakkaalleen. Vuonna 1980 voimalaitoksessa siirryttiin tuottamaan energiaa polttoöljyn sijaan kivihieillä. 1980 - luvulla laitoksen toinen kattila muutettiin maakaasukäyttöiseksi.

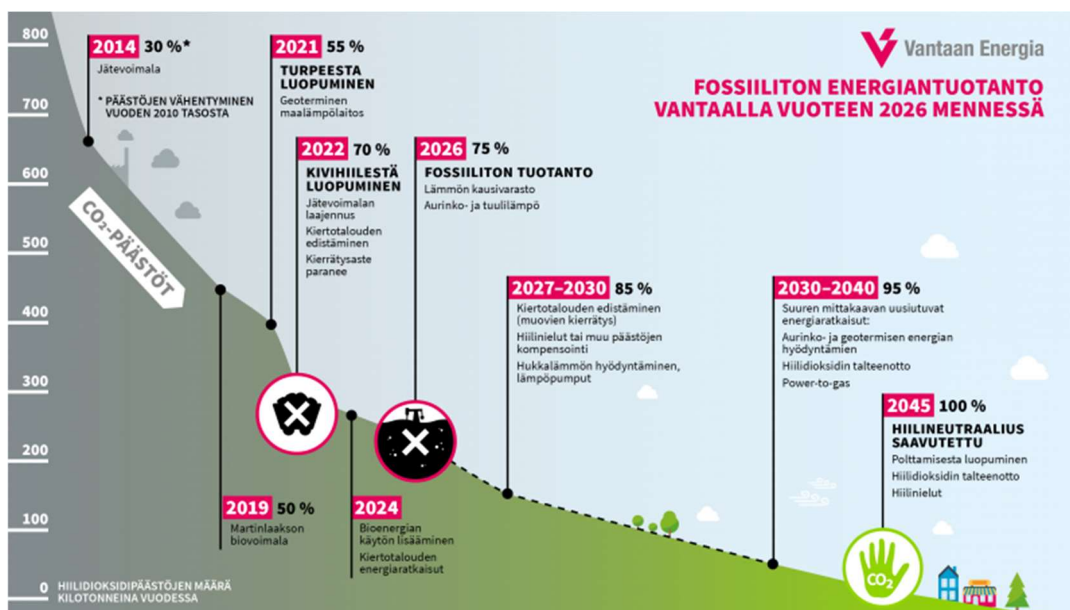
Vuonna 1996 Vantaan Sähkölaitos muutti nimensä nykyiseksi Vantaan Energia Oy:ksi, kun Imatran voima, Pohjolan Voima ja Suomen valtio perustivat nykyään Fingrid nimellä tunnetun kantaverkkoyhtiön. Vuonna 2007 syntyi Vantaan Energia Sähköverkot Oy.¹

¹ Vantaan Energia Oy. Energiavirtaa - lehti 1/2020, Näin Suomi Sähköistettiin.

2.1 Martinlaakson voimalaitos nykyään

Martinlaakson voimalaitoksen kuuluu 1 blokki, 2 blokki ja 4 blokki. Näihin lukeutuu höyrykattila ja turbiinilaitos generaattoreineen sekä kaasuturbiini ja lämmöntalteenottokattila.

Martinlaakso 1:n maakaasu- ja öljykäyttöinen kattila uudistettiin vuonna 2019 leijupetikattilaksi, käyttämään polttoaineenaan biomassaa, joka muodostuu enimmäkseen risuista, harvennushakkeesta, kannoista, kierrätyspuusta sekä pienestä määrästä turvetta parantamaan palamisen tehokkuutta ja nostamaan hyötysuhdetta, se myös ehkäisee kattilaa korroosiolta.² Tämä hanke on osa etenemistä hiilineutraaliuuteen (**Kuva 1.**), jonka Vantaan ja Helsingin kaupunki ovat asettaneet tavoitteeksi.



Kuva 1. Vantaan Energia Oy:n suunnitelma fossiilittomaan energiantuotantoon.

² Vantaan Energia Oy. Nykylämpö, Sanoista Tekoihin - Biovoimaa Martinlaaksoon.

Näiden yksiköiden yhteenlaskettu sähköteho on 188 MW ja yhteistuotannon lämpöteho on 330MW. Kivihiilen sähköteho on 75MW ja kaukolämpöteho 145 MW, maakaasun sähköteho on 88 MW ja kaukolämpöteho 90 MW. Biopolttoaineiden sähköteho on 25 MW ja kaukolämpöteho 95MW.³

³ Vantaan Energia Oy, Etusivu, Tehokas Yhteistuotanto.

3 VALOKAARISUOJAUSTA KOSKEVAT STANDARDIT JA MÄÄRÄYKSET

Valokaarivikaa on tutkittu viimeisenä vuosikymmenenä laajalti ja standardit kuten IEEE 1584 ja NFPA 70 ovat määritelleet valokaaren olevan suoraan verrannollinen jännitteeseen, vikavirran suuruuteen ja ajanhetkeen.⁴

IEC 62271-200 on kansainvälinen standardi ja se koskee keskijännitekojeistoja 1 kV – 52 kV. Standardi spesifioi kojeiston valokaarikestoisuuden. Standardissa on myös lueteltu yleisiä valokaaren aiheuttavia vikapaikkoja, selitykset vian tapahtumalle sekä mahdolliset toimenpiteet valokaaren todennäköisen syttymisen estämiseksi. Tästä standardista löytyy myös täydentäviä toimenpiteitä, käytännön esimerkkejä valokaarisuojateknologiasta ihmisen suojelemiseksi.

IEEE 1584-2019 opas sisältää maailmanlaajuisesti käytettyjä laskutapoja valokaarienergian laskemiseksi. Opas sisältää empiirisesti johdetun mallin metallikotelolla suojatulle kojeistolle ja avolinjoille 208 voltista 15 kilovolttiin ja teoreettisesti johdetun mallin kaikille jännitteille. Se sisältää myös paljon termejä liittyen valokaari-tapaturmiin.

NFPA 70E on standardi mihin sisältyy enemmän työturvallisuuden liittyviä asioita, mutta se sisältää yleisiä valokaarivikaan liittyvien termien määritelmiä. Standardi sisältää myös kattavan käsikirjan valokaarta suojaavista työvaatteista ja muista henkilökohtaisista suojarusteista.⁵

⁴ Arcteq Relays Oy. AQ 100 Series, Arc Flash Protection.

⁵ Schneider Electric. Helping Protect People and Systems from Arc Flash in Medium Voltage Equipment.

SFS-EN 62606 käsittelee yleisiä vaatimuksia valokaarivikaa havaitseville laitteille. Se koskee valokaarivikasuoja (engl. AFDD) talosähkö- ja vastaaviin käyttöihin vaihtovirtapiireissä. Valokaarivikasuoja on suunniteltu valmistajan toimesta joko yksittäisenä laitteena toimivaksi valokaarivikasuoja, jolla on kyky avata suojattava piiri määritellyissä olosuhteissa tai yksittäiseksi laitteeksi, joka sisältää integroidun valokaarivian ilmaisuyksikön tai paikan päällä asennettavaksi erilliseksi yksiköksi toisen määritellyn suojalaitteen kanssa.⁶

⁶ SFS-EN 62606:en. General Requirements for Arc Fault Detection Devices. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 2016. 175 s.

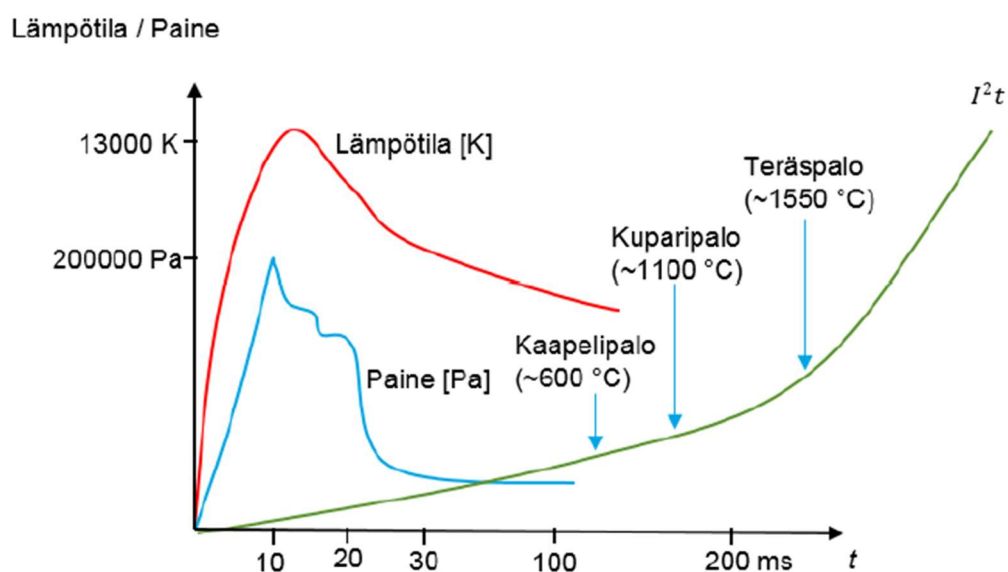
4 VALOKAARI ILMIÖNÄ JA SEN HAITAT

Ilman eristävyys on tavallisissa olosuhteissa luokkaa 3×10^6 V/m (3 kV/mm). Ilmaa käytetään tästä syystä maailmanlaajuisestikin eristeaineena esimerkiksi katkaisijoissa. Kuitenkin ilman lämmitessä poikkeavasti yli 1700 °C ilmasta tulee johtava, sillä osa atomeista menettää elektronin eli ionisoituu. Noin 5700 °C asteessa ilma muuttuu johtavaksi ionisoituneeksi plasmaksi, koostuen typpi- ja happimolekyyleistä, kuin myös muista ionisoituneista atomeista sekä elektroneista. Ionisoitunut ilma ja johtimista ionisoitunut materiaali yhdessä muodostavat johtavan plasma-kanavan kahden johtimen välille muodostaen valokaaren.⁷ Toisin sanoen sähköinen eristys ei kestä kahden eri pisteen välistä potentiaaliero ja tämän seurauksena se tasaantuu ionisoituneen ilman ja muun eristeen läpi. Valokaari eroaa siinä oikosulusta, että oikosulkuvirta on se maksimi virtamäärä mitä verkkovian takana pystyy syöttämään, kun taas valokaari on resistiivinen vika kahden johtimen välillä.

⁷ Hussain, G. 2015. Methods for Arc-Flash Prediction in Medium Voltage and Low Voltage Switchgear.

4.1 Lämpö ja energia

Valokaaren tiedetään aiheuttavan yhden suurimmista lämpötiloista maapallolla, yli 19 000 °C, joka on kolme kertaa suurempi kuin auringon pintalämpötila. Tämä riittää höyrystämään kaikki tunnetut materiaalit, joista muodostuu hengenvaarallisia kaasuja ihmiselle.



Kuva 2. Valokaaren lämpötila-, aika- ja virtakuvaaja. Valokaari pitää saada sammumaan alle 100 ms, jotta voidaan välttyä materiaalipaloilta. Suomen 50 Hz järjestelmässä tämä tarkoittaa viittä ajanjaksoa.⁸

⁸ Bilund, J. 2017. Keskijänniteverkkoon Kytkeytyn Invertterin Valokaarisuojaus.

Verrataksemme valokaaren tapahtumaenergiaa, joka aiheuttaa palovamman, tarkastellaan asiaa ensin käytännön näkökulmasta. Mikäli ihminen pitää kättä sekunnin sytyttimen päällä, se riittää aiheuttamaan toisen asteen palovamman ja tämän on mitattu tuottavan noin 1 cal/cm². NFPA 70E on kategorisoinut henkilökohtaisen suojavaatetuksen, sen perusteella kuinka hyvin materiaali suojaa valokaaren tapahtumaenergialta (**Taulukko 1**). Valokaariluokituksen suojavaatetukselle NFPA 70E määrittelee olevan materiaalin enimmäiskestävyys tapahtumaenergiaa vastaan⁹.

Taulukko 1. Henkilökohtaisen suojavaatetuksen kategoriat.

Vaatetuskategori	Vaatteiden kuvaus	Kerroksien määrä	Minimi valokaariluokitus suojavaatetukselle (cal/cm ²)
0	Käsittelemätön luonnonkuitu	1	0
1	Paloa vastustava paita ja housut	1	4
2	Puuvilla aluskerasto ja kategoria 1	2	8
3	Paloa vastustava haalari kategorian 2 päälle	3	25
4	Monikerroksinen valokaaripuku kategorian 2 päälle	4	40

⁹ Schneider Electric. 2012. Arc-Flash Calculations for Circuit Breakers and Fuses Application Guide.

4.2 Paine ja ääni

Valokaaren korkea lämpötila aiheuttaa äkillisen ilman laajenemisen. Paineen muodostuminen voidaan jakaa neljään vaiheeseen.

1. Kompressiovaihe. Ilma, jossa valokaari kehittyy, ylikuumenee energian purkauksen seurauksena. Jäljelle jäävän ilman määrä kojeiston sisällä kuumenee säteilyn sekä konvektion takia. Konvektio aiheutuu lämpötilaerosta ja tämä aiheuttaa tiheyseroja. Tämä johtaa siihen, että kojeiston sisällä vallitsee erilaisia lämpö- ja paine-eroja.
2. Laajentumisvaihe. Suurentunut paine etsii itselleen helpoimman mahdollisen reitin purkautua ja tätä varten uusissa kojeistoissa on purkausluukut. Purkausluukut ovat tarkoituksella rakenteellisesti heikennettyjä, kuin muut kojeiston rakenteet, jotta paineen purkautumissuunta olisi hallittumpi.
3. Päästövaihe. Valokaaren ylläpitämän jatkuvan energian syötön takia lähes kaikki ylikuumentunut ilma pakotetaan ulos kojeistosta jatkuvalla ylipaineella.
4. Lämpövaihe. Paineen päästessä ulos kojeistosta, kojeiston sisällä vallitseva lämpötila alkaa lähentyä valokaaren lämpötilaa höyrystäen kaiken materiaalin.¹⁰

Valokaaren aiheuttaman paineaallon äänenvoimakkuus voi ylittää jopa 140 dB rajan aiheuttaen hyvin suurella todennäköisyydellä kuuroutumisen. Paineaallon voimakkuus riittää heittämään ihmisen metrien päähän aiheuttaen kehon sisäisiä ja ulkoisia vammoja. Kojestossa sulanutta materiaalia lentää paineen vaikutuksesta niin suurilla nopeuksilla, että ne lävistävät tavallisen suojavaatetuksen.

¹⁰ ABB Oy. 2009. Low Voltage Circuit Breakers. Arc Flash Hazards.

5 VALOKAARIVIKA

Valokaarivika voidaan jakaa rinnan tapahtuvaan valokaareen ja sarjassa tapahtuvaan valokaareen. Suurimpana erona näillä kahdella on, että rinnan tapahtuvan valokaarivian virta ei ole kuorman impedanssin tai suuremman valokaarivälin rajoittama. Tämän takia usein rinnan tapahtuvan valokaaren virta on suurempi.

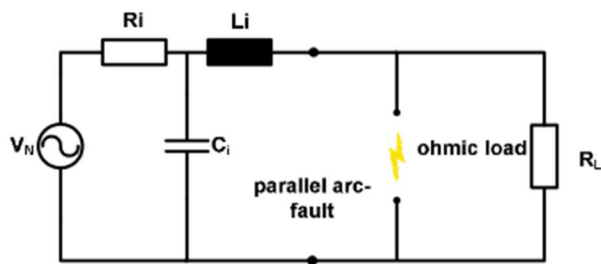
Syyt valokaaren syttymiseen on muun muassa inhimillinen erehdys, korroosio, kosteus, kerääntynyt pöly, jyräjät tai rikkinäinen eristys.

5.1 Rinnan tapahtuva valokaarivika

Ilmavälin ollessa normaali vaiheiden välillä, se riittää estämään valokaaren syttymisen ilman halki, joten valokaaren syttymiseksi tarvitaan ulkoinen tekijä yhdistämään vaiheet ja yleensä se on huoltoa tai kytkentää suorittava asentaja. Usein rinnan aiheutuvan valokaaren (**Kuva 3.**) vikavirta on yhtä suuri kuin oikosulkuvirta. On kuitenkin olemassa mahdollisuus, että valokaari palaa katkaisijan nimellisvirralla.

Valokaaren jännite voi olla jopa 400 V kahden vaiheen välillä. Valokaarivirta on paljon suurempi, vaikka suurentuneella jännitteellä ei ole mainittavaa vaikutusta itse valokaaren syttymiseen. Suuremman ilmavälin takia verrattuna sarjassa tapahtuvaan valokaarivikaan, valokaari palaa muuttumattomana ja sillä on mahdollisuus siirtyä kiskojen välillä. On mahdollista, että rinnan tapahtuva valokaarivika saadaan oikosulkuun, mikäli jäljelle jäänyt eristys heikentyy korkean lämpötilan seurauksena ja muodostuu yhteys valokaaren välityksellä. Valokaaren resistiivisyys itsessään alenee korkean lämpötilan takia.¹¹

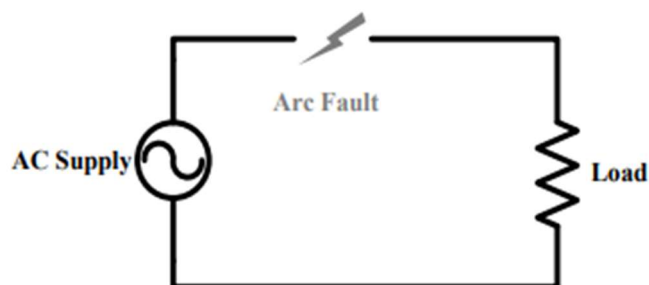
¹¹ Müller P, Tenbohlen S, Maier R & Anheuser M. 2010. Characteristics of Series and Parallel Low Current Arc Faults in the Time and Frequency Domain.



Kuva 3. Syöttävä verkko valokaaren kanssa rinnan kytkettynä resistiiviseen ja induktiiviseen kuormaan.

5.2 Sarjassa tapahtuva valokaarivika

Sarjassa (**Kuva 4.**) tapahtuvan valokaarivian vikavirta on kuorman rajoittama ja täten alle syöttävän katkaisijan virta-asettelun. Tämän takia valokaarivika jatkaa palamista ja kehittyy kunnes se pahimmassa tapauksessa aiheuttaa räjähdyksen kojeistossa, koska tavallinen ylivirtasuoja ei sitä välttämättä huomaa. Sarjassa tapahtuvan valokaarivian suurimpia aiheuttajia on esimerkiksi huonot liitokset ja huonot päätteet.¹²



Kuva 4. Valokaarivika sarjassa kuorman kanssa.

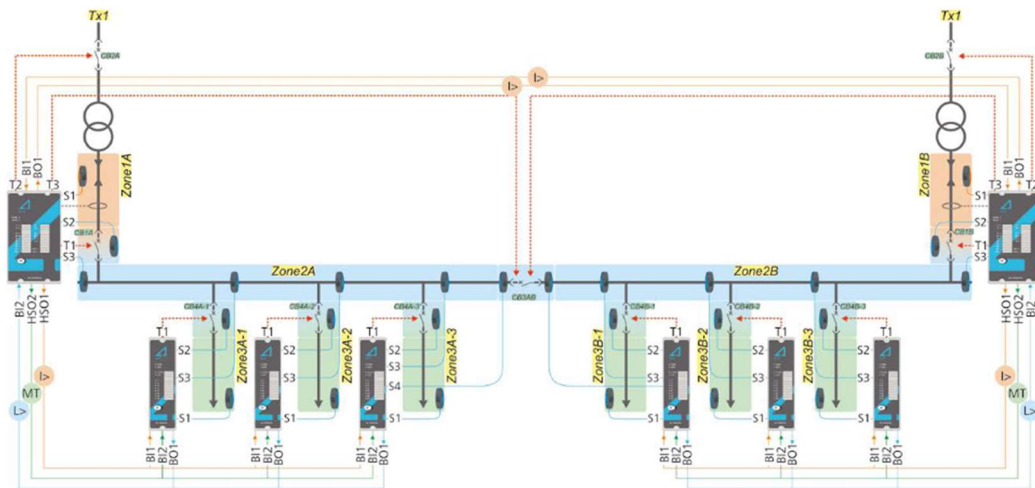
¹² Hussain, G. 2015, 5–6. Methods for Arc-Flash Prediction in Medium Voltage and Low Voltage Switchgear.

6 VALOKAARISUOJAUS

Valokaarisuojaus perustuu mitattuun ylivirtatietoon ja valon havainnointiin. Mitattu ylivirtatieto tuodaan virtamuuntajalta valokaarireleelle ja valoa havainnoivat anturit on kytketty suoraan valokaarireleeseen tai laajennusyksikköön. Ylivirtatiedon tai valotiedon käyttö yksittäin valokaarisuojauksessa ei ole järkevä vaihtoehto. Asentaja voi vahingossa keskusta salamakuvatessaan aiheuttaa valokaarian-turin havahtumisen, jolloin järjestelmä toimii turhaan, mikä aiheuttaa kustannuksia tuotannon seisahduksesta. Ylivirtatiedon käyttö yksinään ei ole tae valokaarista.

Valokaarireleitä ja laajennusyksiköitä voi olla monia ja tällä tavoin pystytään valokaarisuojaus toteuttamaan selektiivisemmin. Määriä kasvatetaan laitevalmistaja-kohtaisesti, sen mukaan kuinka suuri valvottava alue on, kuinka moneen osa-alueeseen se jaetaan selektiivisyyden nimissä, havainnoidaanko valoa pisteantureilla vai kuiduilla ja kuinka monta katkaisijaa täytyy pystyä avaamaan.

Valokaarisuojajärjestelmän koestus toteutetaan syöttämällä järjestelmään ylivirtaa ja tarpeeksi tehokkaalla, välähtävällä valaisimella. Iso osa valoa havainnoivista antureista toimivat 8000 lx:sta ylöspäin.



Kuva 5. Tyypillinen valokaarisuojajärjestelmä selektiivisesti toteutettuna.

6.1 Valokaarirele

Valokaarireleeseen (**Kuva 6.**) kytketään kaikki valokaarianturit, joko laajennusyksiköiden kautta tai suoraan. Valokaarireleitä voi olla monia järjestelmän laajuuden mukaan ja tähän vaikuttaa virtamittattavien syöttöjen sekä aukiohjattavien katkaisijoiden määrä. Releeseen tuodaan virtamuuntajalta mittaustieto. Virtamuuntajan toisiopiirin nimellisvirta pitää olla tiedossa, sillä se täytyy asetella valokaarireleeseen. Valokaarianturin havahtuessa tieto kulkee valokaarireleelle ja samaan aikaan valokaarirele mittaa virtamuuntajalta tulevaa virtatietoa. Mikäli tämä ylittää asetellun virtarajan, valokaarirele suorittaa syöttävän katkaisijan laukaisun ja lähettää vikatiedon automaatioon.

Valokaarireleessä on lähes poikkeuksetta CBFP toiminto. Sille määritellään yleensä 100 - 150ms aikaviive. Tämä antaa mahdollisuuden ensisijaiselle katkaisijalle toimia, vaikka sen mekaniikka olisi päässyt hidastumaan. Mikäli rele saa aikaviiveen jälkeen tiedon siitä, että ensisijainen katkaisija, usein muuntajan alajännitepuolella ensimmäisenä oleva, ei ole auennut, lähettää valokaarirele laukaisukäskyn muuntajakatkaisijalle, jotta viallisen keskuksen syöttäminen saadaan loppumaan.



Kuva 6. Valokaarirele.

6.2 Laajennusyksikkö

Laajennusyksikkö (**Kuva 7.**) toisin sanoen I/O yksikkö on tarkoitettu valokaarisuojajärjestelmän laajentamiseen ja selektiivisesti tämän toteuttamiseen. Laajennusyksiköitä pystytään ketjuttamaan valmistajan laitteiden määritysten mukaan yksiköstä toiseen. Eräs valmistaja sanoo manuaalissaan, että sen valokaarireleeseen pystyy kytkemään viisi kappaletta laajennusyksiköitä ilman, että moduulikaapelin välityksellä kulkeva käyttöjännite romahtaa. Laajennusyksiköihin pystytään tilauskoodin mukaan kytkemään pisteantureita tai kuituja tai molempia.



Kuva 7. Laajennusyksikkö.

6.3 Pisteanturi

Pisteanturi (**Kuva 8.**) on yksittäinen osa valokaarisuojauksen valvontaa. Se havaitsee valoa 8000 luxista eteenpäin. Valokaaren tapahtuessa jossain keskuksen osassa, pisteanturi havaitsee aiheutuneen kirkkaan valon ja lähettää tiedon eteenpäin valokaarireleelle.

Pisteantureita käytetään silloin, kun halutaan tietää tarkka sijainti tapahtuneesta valokaaresta, sillä muuten vikakohdan paikantaminen voi olla hyvin hankalaa ja tämä korostuu mitä isompi keskus on. Mikäli käytössä on edistynyt valokaarisuojaus, ei vian sattuessa ehdi tapahtua silminnähtävää vahinkoa. Tämä on huomioitava, kun valitsee pisteanturin ja kuidun välillä.

Pisteanturin sijoituksessa kennoon tai kojeistoon on paljon mahdollisuuksia sen suuren 180 asteen havainnointikulman takia. Kaapelikenttiin näitä ei ole suositeltavaa asentaa, sillä siellä ne menevät helposti rikki uusia kaapeleita vedettäessä.



Kuva 8. Pisteanturi.

6.4 Kuitu

Yhtenäistä kuitua (**Kuva 9.**) käytetään silloin, kun vian paikantaminen ei ole niin tärkeässä osassa tai valvottava alue on suuri ja halutaan säästää kustannuksissa. Kuitu on yhtenäinen silmukka, joka kytketään valokaarireleeseen ja pisteanturin tapaan, kuitu havaitsee valon. Tämän jälkeen valokaarirele suorittaa syöttävän katkaisijan laukaisun.

Etuna pisteanturiin on se, että kuitu pystyy 360 asteen valon havainnointiin. Kuituja on erilaisia eri valmistajilla, kuten yksisäikeistä ja monisäikeistä. Erona näillä on se, että monisäikeinen kestää paremmin mekaanista rasitusta, kuin taas yksisäikeinen on herkkä menemään rikki. Siksi näitä ei yleensä asenneta keskusten kaapelitiloihin, sillä keskuksissa kaapelivetojen aikana on hyvin suuri riski rikkoa kuitu. Rikkoontumisen jälkeen kuitu yleensä tulee vaihtaa, mutta on myös versioita, jotka pystytään korjaamaan rikkoutuneesta kohdasta.



Kuva 9. Kuitusensori.

6.5 Sammutuslaitteisto

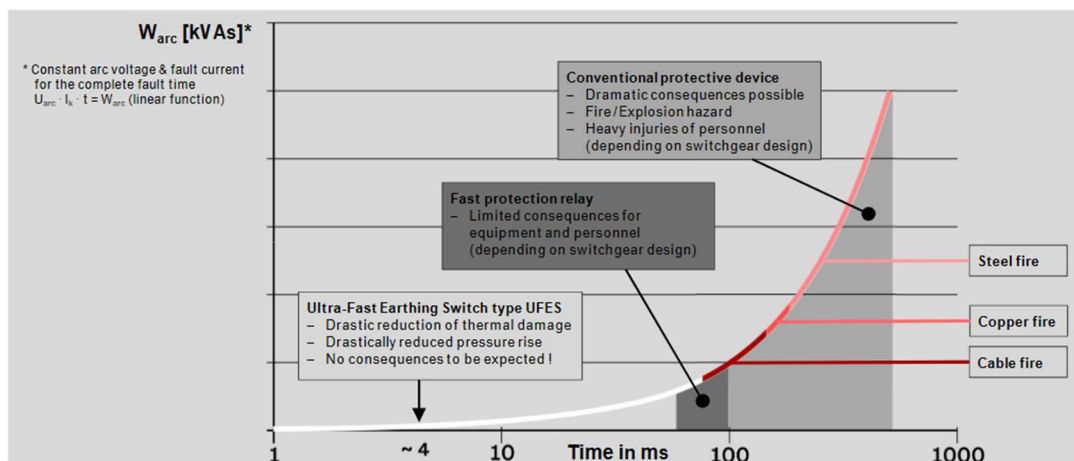
Nykyään laitevalmistajat ovat myös tuoneet markkinoille valokaaren sammutuslaitteistoja. Valmistajasta riippuen, se voi olla joko uudelleen käytettävä tai panosmallinen, jolloin panokset täytyy vaihtaa, mikäli laite on lauennut. Myös koestuksen ja kustannusten näkökulmasta on hyvä arvioida uudelleen viritettävän ja panosmallisen välillä.

Valokaaren sammutuslaitteistolle PJ-järjestelmiin on olemassa nykyään oma standardinsa IEC 60947-9-1:2019. Laitevalmistajien mukaan myös KJ-puolen sammutuslaitteistolle on tulossa standardipäivitys. Tunnettu, suurin itsenäinen voittoa tavoittelematon laboratorio Underwriter laboratory on tuonut oman standardinsa UL 2748 "Standard for Arcing Fault Quenching Equipment" sammutuslaitteistoja koskien¹³.

Sammutuslaitteiston päätarkoitus on vähentää valokaaren palamisaikaa alle 10 millisekuntiin luomalla valokaaritapahtuma kontrolloiduksi 3-vaiheiseksi oikosuluksi. Kun valokaari syttyy ja se havaitaan mitatusta virtatiedosta ja valokaarian- turilta, valokaarirele suorittaa syöttävän katkaisijan aukaisun ja samalla antaa tiedon sammutuslaitteistolle luoda vikavirralle vähäimpedanssisen reitin maihin. Tässä tilanteessa kojeisto sisältöineen sekä muut kojeistot ympärillä ja ihmiset vi- kakohdan läheisyydessä säilyvät vahingoittumattomana. Ilman valokaarensam- mutuslaitteistoa valokaari saadaan sammumaan 50–100 ms sisällä. Tähän vaikut- taa laukaisulähdön tyyppi valokaarireleeltä katkaisijalle. Se voi olla mekaanisella releellä tai puolijohteella toteutettu ja näiden ero on noin 5 ms luokkaa. Katkaisi- jan aukiohjaus on merkittävästi suurin tekijä. ABB OSAN 12 B 1 katkaisijat aukeavat manuaalin mukaan 45 ± 5 ms.

¹³ Arcteq Relays Oy. AQ 100 Series, Arc Flash Protection.

Valokaaren sammutuslaitteisto asennetaan mahdollisimman lähelle keskusta syöttäviä kiskoja. PJ-sammutuslaitteistolle oikosulkuvirrankestoisuus on luokkaa 100kA ja KJ-sammutuslaitteistolle 50kA.



Kuva 10. Sammutuslaitteistolla on mahdollista pienentää valokaaren palamisaika muutamiin millisekunteihin.

6.6 Yhteys laitteiden välillä

Valokaarireleet ja laajennusyksiköiden välinen tiedonsiirtoyhteys toisiinsa toteutetaan suojatulla RJ-45 kaapelilla, valokuidulla tai suojatulla instrumentointikaapelilla. Kuitua käytettäessä releiden väliseen tiedonsiirtoon, täytyy lasikuidun noudata kansainvälistä ISO/IEC 11801 - standardia ja kuidun pitää olla tyypiltään monimuotoinen asteittaiskuitu. Monimuotoisuus tarkoittaa, että valonsäteet voivat kulkea useita polkuja. Asteittaiskuitu tarkoittaa, että taitekerroin vaihtelee sen mukaan, miten kaukana kuituakselista ollaan. Tämä tarkoittaa, että valonsäde taittuu pienin askelin siten, että pulssi säilyttää sen muodon paremmin kuin käytettäessä esimerkiksi askelkuituja¹⁴.

¹⁴ ABB Oy, 2005. Arc Protection Relay REA 101, Operator's Manual.

7 KOJEISTOT JA KESKUKSET

Teollisuuskäyttöön tarkoitettuja keskuksia on rakenteeltaan erilaisia ja tämä riippuu keskuksen nimellisvirran suuruudesta sekä siitä, että pitääkö siellä olla maadoituskytkin. Seuraavaksi käsitellään enemmän keskijännitekojeistoa ja kennokeskusta, koska valokaarisuojauksen hankintasuunnitelma tullaan tekemään tämän tyyppisiin laitteisiin.

7.1 Kojeisto

Kojeisto on rakennekokonaisuus, jossa on sähkön tuottamisessa, siirrossa, muuntamisessa tai muuttamisessa tarvittavia kytkin-, suoja-, ohjaus- tai valvontalaitteita. Keskijännitteiset sähköjakelukojeistot ovat yleensä vaihtojännitekojeistoja, joiden nimellinen jännite on 1-52kV ja taajuus maksimissaan 60 Hz.

Sähköjakelukojeistot on suunniteltu käytettäväksi ns. normaaleissa sisäasennusolosuhteissa. Kojeistolle määritellään muun muassa seuraavat nimellisarvot:

- nimellisjännite U_r
- nimelliseristystaso
- nimellisvirta I_r
- terminen oikosulkukestoisuus I_k
- dynaaminen oikosulkukestoisuus I_p
- oikosulun kesto aika t_k
- kojeiden nimellisarvot.

Kojeistot määritellään materiaalin perusteella metallikuorisiin ja eristeaine-kuorellisiin kojeistoihin. Valtaosa on metallikuorisista kojeistoista. Metallikuoriset kojeistot jaetaan kolmeen eri tyyppiin kojeistojen sisäisen osastoinnin ja osastoinnissa käytetyn materiaalin perusteella.¹⁵ Näistä kolmesta esitellään työtä koskeva malli.

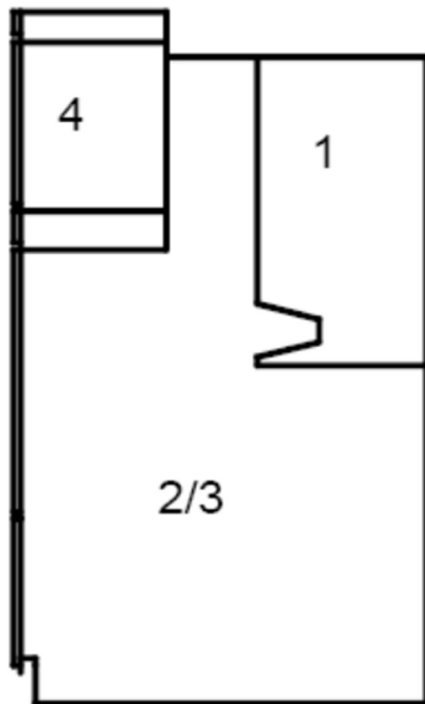
Metallikuorinen kojeisto ”Metal-enclosed switchgear and controlgear” on yhteinen nimike kaikille metallikotelolla suojatuille kojeistoille, keskuksille ja ohjauskaapeille. Suomenkieliset termit ovat epävirallisia.¹⁶

7.1.1 Kennokoteloitu kojeisto (Cubicle)

- Kokoojakiskotila voi olla koteloimaton tai koteloitu. Opinnäytetyön tapauksessa koteloitu.
- Kenttien välillä on joko metalliväliseinä tai se on avoin. Opinnäytetyön tapauksessa metalliväliseinä.
- Kokoojakiskosto voi olla rakennettu tukieristimille tai kenttien välillä voi olla läpiviennit.

¹⁵ Koski, J. 2018. Sähkölaitokset, Kojeistot.

¹⁶ Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 12–2.



Kuva 11. 1. Kokoojatila 2. Katkaisijatila 3. Kaapelipäätetila 4. Toisiokojetila

7.2 Kennokeskus

Teollisuudessa käytetään 400 V ja 690 V pää-, nousu- ja alakeskuksia, jotka mitoitetaan jopa useiden tuhansien ampeerien nimellisvirroille. Kennokeskukset ovat tyypillisesti metallirakenteisia, jotka varustetaan ja testataan keskusvalmistajan toimesta ennen asentamista kohteeseen. Mikäli Keskuksessa on kenttäväylärakenteita, voidaan niiden toiminta tapauskohtaisesti testata jo valmistusvaiheessa.

Kehikkokeskus on nimitys, jota on aikaisemmin käytetty tässä yhteydessä. Nimitys on jäämässä pois käytöstä, koska sitä ei esiinny EN-standardeissa.

Kennokeskuksessa on sisäinen alumiinisilta tai kuparisilla kiskoilla toteutettu jakelu, joka jaetaan pää- ja haarakiskoisiin. Syöttö keskukseseen tuodaan kaapelilla tai

kiskosillalla. Tässä tapauksessa keskijännitekojeistoista 1BAI ja 1BAII lähtee kaapelit kahdelle omakäyttömuuntajalle ja muuntajilta tulee alumiiniset kiskosillat kahteen kennokeskukseen 1CA ja 1CB.

Vaakasuuntaisista jakelukiskoista lähtee määrävälein kenttäkohtaisia, pystysuuntaisia haarakiskoja, joilla syötetään lähtökennoja. Lähtökennot sisältävät kunkin lähtevän syötön etukojeet. Ovesa on tarvittavat tunnuskilvet sekä käyttökytkin.

Teollisuuskäytössä suurivirtaisissa keskuksissa käytetään osastointiseiniä, joiden on kestettävä myös valokaarioikosulun painevaikutukset. Toimenpiteellä rajoitetaan tällaisen vian vauriot mahdollisimman pienelle alueelle.¹⁷



Kuva 12. Nykyaikainen kennokeskus.

¹⁷ Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden Sähkökäytöt, 198–202.

8 KÄYTÖSSÄ OLEVAT KATKAISIJAT

Ohjattavat keskijännitekatkaisijat ovat ABB:n OSAN 12 B 1 ulosvedettäviä vähäöljyeristeisiä vaunukatkaisijoita. Pienjännitekeskuksen katkaisijat ovat ilmaeristeisiä vaunukatkaisijoita, joissa itsessään on sisäänrakennettu virtamuuntaja vaunukatkaisijan omia suojausfunktioita varten, tässä tapauksessa ylikuormitus- ja oikosulkusuoja. Näihin katkaisijatyyppeihin perehdytään tarkemmin, kuin muihin katkaisijatyyppeihin.

Kaikkia KJ-kojeiston moottorilähtöjä ei liitetä valokaarisuojajärjestelmään, sillä osan aukiohjaus vikatilanteessa on toteutettu alijännitereleellä.

8.1 Suurjännitekatkaisijat

Suurjännitekatkaisijat voidaan jakaa katkaisukammiossa käytettävän väliaineen mukaan seuraaviin ryhmiin:

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF₆ kaasueristeiset katkaisijat
- tyhjiökatkaisijat.

8.2 Vähäöljykatkaisija

Vähäöljykatkaisija on kehitetty öljykatkaisijasta, jossa myös käytettiin hyväksi mineraaliöljyn sammutus- ja eristysominaisuuksia. Kahdesta perustyyppistä poikittaispuhallustyyppi on pitkittäispuhallustyyppiä yleisempi paremman katkaisukykynsä ansiosta. Vähäöljykatkaisija hallitsee kaikki verkossa esiintyvät katkaisutilanteet. Katkaisija sopii erilaisiin käyttöympäristöihin muun muassa alhaisiin lämpötiloihin aina -50°C asteeseen saakka. Euroopassa on käytetty vähäöljykatkaisijoita yli 40 vuotta.

Vähäöljykatkaisija on sekä sähköisesti että mekaanisesti luotettava yksinkertaisen rakenteen ja pienen ohjausenergian tarpeen ansiosta. Vähäöljykatkaisijan sähköinen kestävyys on vaatimaton. Huolto on kuitenkin suoritettavissa asennuspaikalla ilman kalliita erikoistyökaluja. Käytännössä 5–10 vuoden huoltoväli on osoittautunut riittäväksi jakelu- ja teollisuusverkossa, vaikka toiset valmistajat suosittelevat kahden vuoden huoltoväliä.

Vähäöljykatkaisijoita on saatavilla lähes kaikille käyttöjännitteille ja katkaisuvirroille. Katkaisukyky on 40kA 12kV:n jännitteellä. Yleinen käyttöjännitealue on 7,2kV – 123kV. Pikajälleenkytkentä on näillä suoritusarvoilla myös mahdollinen.¹⁸

¹⁸ Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 9–1.

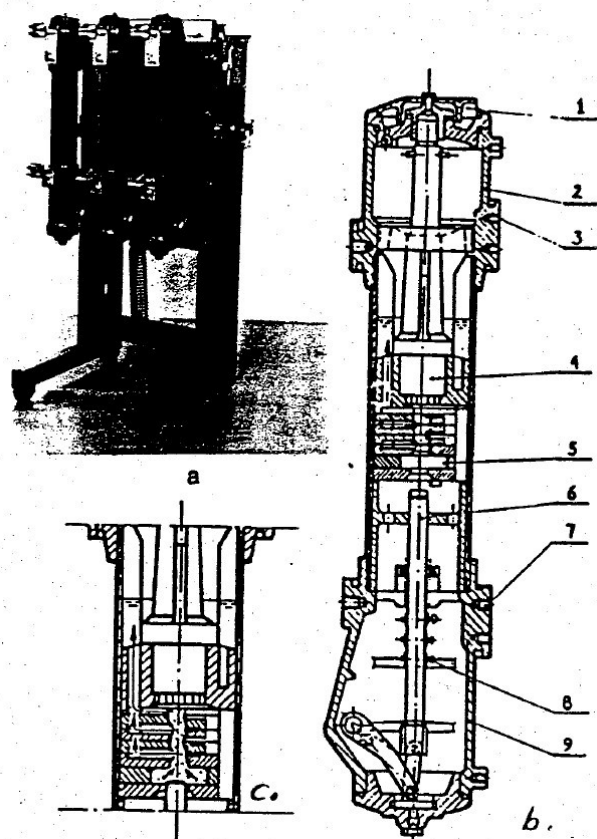
8.2.1 Rakenne

Vähäöljykatkaisijan pääosat ovat katkaisupilarit, ohjain ja runko. Puhutaan pilari ja tukieristinmallista sen mukaan, miten pilarit on erotettu maasta. Keskijännitteellä on käytössä molemmat mallit. 110kV:n jännitteestä ylöspäin on käytössä vain pilarityyppi. Keskijännitteelle tarkoitettun vaunumallisen sisälle asennettavan vähäöljykatkaisijan periaatteellinen rakenne on esitetty **(Kuva 13.)**, jossa B. poikki-leikkauskuva katkaisupilarista ja C. katkaisijan sammutuskammio.

Katkaisijavaunu toimii erottimena, kun sitä liikutetaan katkaisijakennossa. Kampikammio on yleensä paineenkestävää kevytmetallivalua. Tukieristinmallissa kampikammiota käytetään alaliittimenä, kun taas pilarimallissa koko pilari kiinnitetään runkoon kampikammion avulla. Liikkuvan koskettimen ja liittimen välinen virtatie voi olla rullakosketin, laahauskosketin tai muu pienikitkainen kosketintyyppi. Yleensä ei ole erillistä valokaari- ja pääkosketinta, vaan pääkosketin vahvistetaan valokaarenkestävällä volframikuparipalalla.

Sammutuskammio valmistetaan valumuovista. Poikittaispuhalluskammio koostuu päällekkäin ladottavista kiekkoista. Kiinteä kosketin on sormikosketintyyppinen. Lasikuituputki muodostaa sisäasennuskatkaisijassa eristävän ja paineiskun kestävän ulkokuoren. Ulosasenettavassa katkaisijassa käytetään posliinieristettä.

Huoltoa varten yläkupu on avattavissa ja siihen on tehty hengitysventtiilit. Öljypinnan tarkastusta varten on öljynkorkeudenosoitin tai lasikuituputki on läpinäkyvä. Öljymäärä pilaria kohti on keskijännitteellä 1–4 kg ja 110kV:n jännitteellä noin 20 kg. Katkaisijan ohjain toimii jousilla. Kiinni-ohjausjouset viritetään moottorilla automaattisesti ja auki-ohjausjouset on kytketty suoraan pilariin tai ohjaimen pääakseliin siten, että ne virittyvät heti, kun katkaisija ohjataan kiinni. Täten varmistuu aina tärkeä auki-ohjaustoiminta. Pikajälleenkytkentä voidaan myös suorittaa, koska aukiohjaus on mahdollinen heti kiinniohjauksen jälkeen.¹⁹



Kuva 13. 1. Varaventtiili 2. Paine kupu 3. Yläliitin 4. Kiinteä kosketin 5. Sammutuskammio 6. Kosketinpuikko 7. Alaliitin 8. Rullakosketin 9. Kampikammio.

¹⁹ Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 9–1.

8.3 Pienjännitekatkaisijat

Pienjännitekatkaisijan tavanomainen käyttöjännitealue ulottuu vaihtojännitteellä 693 V ja tasajännitteellä 250 V jännitetasolle. Katkaisijoiden tärkeimmät käyttökohteet ovat pienjänniteverkon pääkatkaisija, alakeskuslähdön katkaisija ja moottoripiirin katkaisija.

Katkaisija toimii verkon osansa ylikuormitus- ja oikosulkusuoja ja tarvittaessa voidaan varustaa maasulku- ja alijännitesuojauksella. Sulakesuojaukseen verrattuna katkaisijan käytöllä saavutetaan pienjänniteverkossa seuraavia etuja:

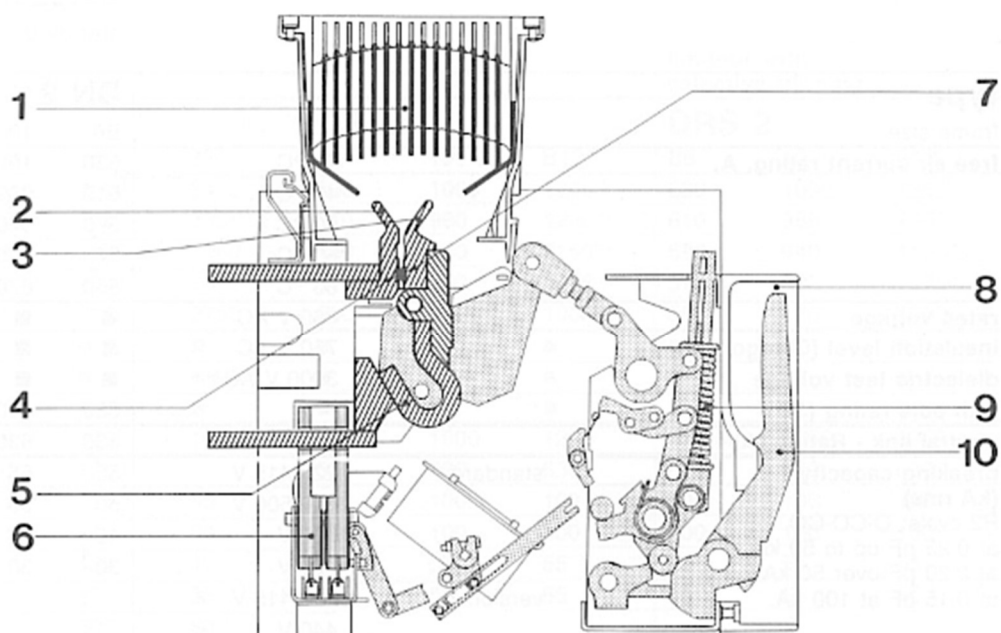
- Kolmivaiheinen, kaikkinaipainen katkaisu kaikissa vikatyypeissä.
- Valmius kiinniohjaukseen heti vikatilanteen jälkeen.
- Sulakevarasto jää pois.
- Sulakkeenvaihdon vaaratilanteet jäävät pois.
- Katkaisijan kanssa ei synny vaaratilanteita kiinniohjauksissa ja aukiohjauksissa myöskään epätavallisissa kuormitustilanteissa.
- Sulake on puutteellinen ylikuormitussuoja.
- Katkaisijan laukaisukäyrä mitattavissa huollon yhteydessä.
- Katkaisijan tilatiedon saaminen apukoskettimien välityksellä.
- Moottoriohjaimella varustettuna katkaisija kauko-ohjattavissa.
- Sulakkeilla suuremmat tehohäviöt kuin katkaisjoilla.
- Katkaisijan ohjaaminen ei vaadi ammattihenkilökunnan käyttöä.

Sulakesuojauksen etuja ovat suojauksen pienempi hankintahinta sekä helpommin toteutettavissa oleva suojauksen selektiivisyys.²⁰

²⁰ Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 9–1.

8.3.1 Avoimet ilmakatkaisijat

Avoimet ilmakatkaisijat on tarkoitettu pienjänniteverkon pääkatkaisijaksi. Niiden nimellisvirta-alue on luokkaa 400A – 6300A. Katkaisukyky on suurimmillaan luokkaa 100 kA / 660 V. Pienjännitekatkaisijoita koskeva standardi on IEC 947- 2. Oleellisin ilmakatkaisijoiden ominaisuus on mahdollisuus pitää koskettimia oikosulussa. Tämä mahdollistaa aikaselektiivisen suojausjärjestelmän vaatiman aikahidastuksen käyttömahdollisuuden ilmakatkaisijoissa.²¹



Kuva 14. 1. Katkaisukammio 2. Kiinteä valokaarikosketin 3. Liikkuva valokaarikosketin 4. Kiinteä päävirtakosketin 5. Taipuva lenkki 6. Laukaisuyksikkö. 7. Liikkuva päävirtakosketin 8. Peitelevy 9. Viritysjousi 10. Viritysvipu.

²¹ Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 9–1.

9 VIRTAMUUNTAJA

Virtamuuntajia käytetään muuntamaan ensiöpuolella esimerkiksi kaapelissa tai kiskossa kulkeva virta toisiopuolen mitta- ja suojalaitteille sekä erottamaan ensiöpiiri ja toisiopiiri galvaanisesti toisistaan. Virtamuuntajat voidaan siis jaotella virtamitta- tai suojamittamuuntajiksi. Virta muunnetaan yleisesti ottaen yhdeksi tai viideksi ampeeriksi. Ensiöpuolella käytetään nimitystä P1 ja P2. Toisiopuolella nimitykset ovat S1 ja S2. Nämä nimitykset ovat myös standardoitu²².

Virtamuuntajassa voi olla myös monta toisiosydäntä, mutta tällöin niillä on yhteinen ensiökäämi (**Kuva 15.**). Ensimmäistä sanotaan mittaussydämeksi ja sitä käytetään nimensä mukaisesti virran mittaukseen, eli piirissä on joko analoginen mittari tai digitaalinen mittari osoittamaan ensiöpuolen virran määrää. Digitaalisissa voidaan valita, onko virtamuuntajan toision nimellinen virta 1 vai 5 ampeeria ja tämän jälkeen mittari osaa itse skaalata mitatun arvon. Analogisessa mittarissa tämä hoidetaan rakenteellisilla muutoksilla.

Ensimmäistä sydäntä seuraavia kutsutaan suojaussydämiksi (**kuva 15.**). Suojaussydänten tarkoitus on viedä virtatieto muuntajaa tai keskusta suojaavalle releelle, joka tarvittaessa laukaisee syöttävän katkasijan huomattessaan, että siinä kulkee asettelun alueen maksimin ylittävä määrä virtaa, kuten oikosulkuutilanteessa.

²² Verkkonen, V. 2005. Sähkökoneet, Muuntajat.

Virtamuuntajan tyyppikilvessä mainitaan:

- valmistaja
- malli
- ensiö- ja toisionimellisvirta
- oikosulkuvirran kestoisuus
- taajuus
- jännitetaso
- sydänten määrä
- sydänten nimellistaakka
- tarkkuusluokka
- tarkkuusrajakerroin.

Virtamuuntajan toisiopiiriä ei saa jättää avoimeksi, kun virtamuuntaja on jännitteellinen. Näin tehtäessä, muuttuu koko ensiövirta magnetoimisvirraksi ja vuontiheys kasvaa kyllästysarvoon. Tällöin rautahäviöt kasvavat niin suuriksi, että muuntaja yllilämpenee ja tuhoutuu. Lisäksi vuontiheyden muutokset kasvavat hyvin suuriksi, minkä takia varsinkin toisiokäämiin indusoituu jännitteitä, jotka voivat olla hengenvaarallisia ja aiheuttaa läpilyönnin käämityksen eristyksessä tai ylilyönnin ulkoisissa osissa. Mikäli virtamuuntajan toisiopiiristä poistetaan mittari, toisiopiiri täytyy oikosulkea.²³

²³ Verkkonen, V. 2005. Sähkökoneet, Muuntajat.

9.1 Terminen mitoitusvirta

Terminen mitoitusvirta I_{th} on suurin ensiövirta, minkä virtamuuntaja kestää yhden sekunnin ajan termisesti vahingoittumattomana, kun toisiokäämit ovat oikosuljettuina.²⁴

9.2 Dynaaminen mitoitusvirta

Dynaaminen mitoitusvirta I_{Dyn} ilmoittaa, kuinka suuren virran dynaamisen huipun muuntajan ensiö kestää vahingoittumattomana toision ollessa oikosuljettuna.²⁵

9.3 Mitoitusensiövirta

Virtamuuntajien mitoitusensiövirrat on standardeissa määritelty seuraavasti ja näitä yleensä noudatetaan.

10–12,5–15–20–25–30–40–50–60–75 A sekä näiden kymmenkerrannaiset. Virtamuuntaja voi olla myös rakenteeltaan sellainen, että se pystytään vaihtokytkeeseen toiselle virta-asteelle esimerkiksi 300–600 A.

²⁴ ABB Oy. 2000–07. TTT-käsikirja. Luku 10: Mittaus-, Ohjaus ja Suojauslaitteistot.

²⁵ Verkkonen, V. 2005. Sähkökoneet, Muuntajat.

9.4 Mitoitustoisiovirta

Mitoitustoisiovirrat ovat myös standardeissa yhtä lailla määritelty seuraavanlaisesti.

1–2–5 A. Kahden ampeerin mitoitustoisiovirtaa näkee harvoin käytettävän ja nykyään yksi ampeeri on yleistynyt elektronisten suojalaitteiden yleistymisen myötä, sillä yhden ampeerin toisiovirta tarjoaa paljon tarkemman mittauksen. Mitoitustoisiovirta vaikuttaa suoraan todelliseen tarkkuusrajakertoimeen F_a . Vaihdettaessa toisiovirta yhteen ampeeriin viiden ampeerin sijaista, taakka voltiampeerina putoaa 1/25 tasolle siitä mitä se oli²⁶.

9.5 Mitoitustaakka

Mitoitustaakka on suurin kuormitusimpedanssi, jolla virtamuuntajaa voidaan kuormittaa kyseessä olevassa tarkkuusluokassa. Tavallisesti taakka ilmaistaan näennäistehona (**Yhtälö 1.**). Nimellistaakallaan kuormitettu virtamuuntaja pysyy vielä tarkkuusluokassaan. Nimellistaakan standardiarvot ovat 2,5–10–15–30–45–60 VA²⁷.

$$S_N = Z_N \times (I_N^2), \text{ jossa}$$

$$S_n = \text{Nimellistaakka} \quad (1)$$

$$Z_n = \text{Toisiopiirin impedanssi}$$

$$I_n = \text{Toisiopiirin nimellisvirta}$$

²⁶ ABB Oy. 2004. Calculation of the Current Transformer Accuracy Limit Factor.

²⁷ Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 10.

9.6 Sisätaakka

Toisiokäämin hajaimpedanssi on resistanssin ja hajareaktanssin geometrinen summa. Tavallisesti sisätaakka ilmoitetaan näennäistehona VA^{28} .

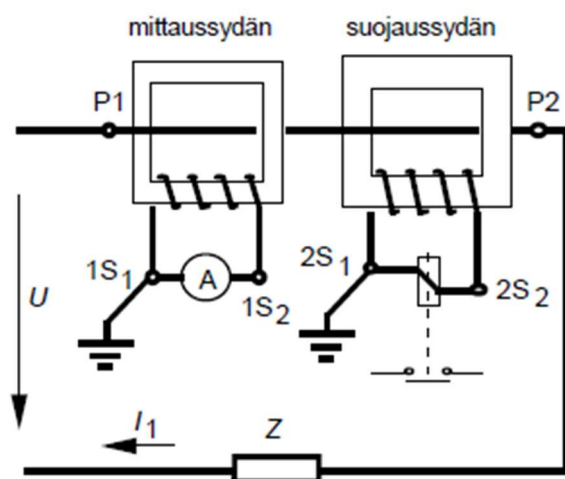
9.7 Virtamuuntajan sydämet

Aiemmin mainitun mukaan muuntajalla voi olla monta toisiosydäntä. Mittaussydämen tehtävä on suojata mittareita suurilta ylivirroilta, joka rikkoisi muussa tapauksessa mittarin. Tästä syystä, mittaussydän tehdään suhteellisen pieneksi, jotta jo kohtuullisen suuri virta ensiössä kyllästää rautasydämen. Näin ollen toisiosydämen virta ei seuraa enää ensiövirran kasvua.

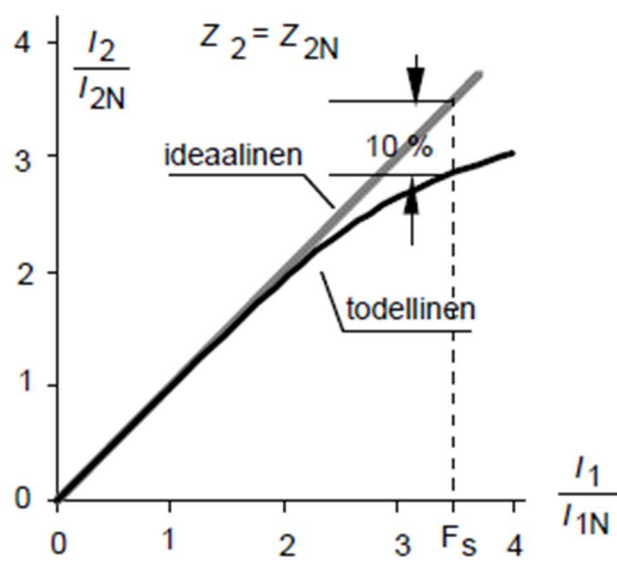
Mittarivarmuusvirta I_{1v} on se ensiövirran arvo, jolla virtavirhe saa arvon 10 %, kun toisiosydämen kuormana on nimellistaakka. Suojaussydän vastaisuudessaan ei saa kyllästyä suurillakaan ylivirroilla.²⁹

²⁸ ABB Oy. 2000–07. TTT-käsikirja. Luku 10: Mittaus-, Ohjaus ja Suojauslaitteistot.

²⁹ Verkkonen, V. 2005. Sähkökoneet, Muuntajat.



Kuva 15. Mittaussydan ja suojaussydan virtapiirissä.



Kuva 16. Kyllästyksen vaikutus toisiovirtaan.

Mittauksissa käytettävä mittarivarmuuskerroin F_s on mittarivarmuusvirran ja nimellisvirran suhde:

$$F_s = \frac{I_{1V}}{I_{1N}}, \text{ jossa} \quad F_s = \text{mittarivarmuusvirta} \quad (2)$$

I_{1V} = Mittarivarmuusvirta

I_{1N} = Nimellisvirta

Virtamuuntaja suojaa siihen kytkettyjä kojeita sitä paremmin, mitä pienempi on mittarivarmuuskerroin. Tavallisia arvoja ovat $F_s < 5$ ja $F_s < 10$. Virtamuuntajan huippuarvo on luokkaa 0,2–0,35 T ja virran on noustava reippaasti, jotta virtamuuntaja kyllästyisi. Mitä pienempi on vuon arvo nimellisvirralla, sitä suuremmaksi mittarivarmuuskerroin tulee. Mittaussydämen toisiokäämiin $1S_1$ ja $1S_2$ kytketään sarjaan kaikkien sellaisten mittareiden ja releiden virtakelat, joiden on toimitettava oikein vain virroilla $I_1 \leq 1,2 I_{1N}$.³⁰

³⁰ Verkkonen, V. 2005. Sähkökoneet, Muuntajat.

9.8 Suojaussydämen tarkkuusluokat

Suojaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot ilmenevät (**Taulukko 2.**), jossa kirjain P on suojaussydämen tunnus.³¹

Taulukko 2. Suojaussydämen tarkkuusluokat.

Luokka	Mitoitusensiövirtaa ja mitoitustaakkaa vastaava	
	Virtavirhe	Kulmavirhe
5P	± 1 %	± 60 min
10P	± 3 %	Ei määritelty *) *) Linearisoidulla virtamuuntajalla 150 min.

9.9 Tarkkuusrajakerroin

Nimellisellä tarkkuusrajakertoimella F_N tarkoitetaan tarkkuusrajavirran ja mitoitusensiövirran suhdetta suojausvirtamuuntajilla. Tarkkuusrajavirta on se ensiövirran tehollisarvo, jolla yhdistetty virhe luokassa 5P on enintään 5 % ja luokassa 10P enintään 10 %. Tarkkuusrajakertoimen standardoidut arvot ovat 5–10–15–20–30. Tarkkuusrajakerroin ilmoitetaan luokkamerkinnän yhteydessä esimerkiksi lk 10P15, tällöin 10 tarkoittaa tarkkuusluokkaa ja 15 tarkkuusrajakerrointa.³²

³¹ ABB Oy. 2000–07. TTT-käsikirja. Luku 10: Mittaus-, Ohjaus ja Suojauslaitteistot.

³² Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 10.

10 VIRTAMUUNTAJAN TAAKANTARKASTELU

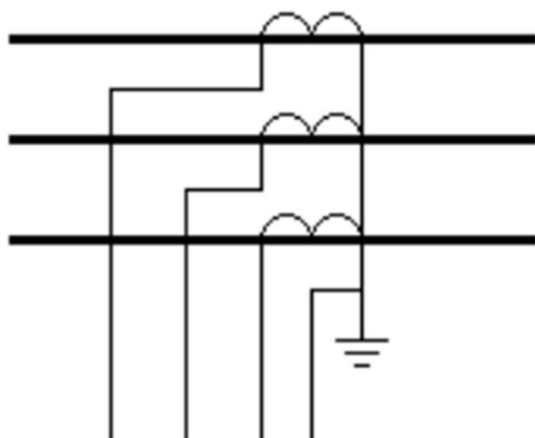
Virtamuuntajien taakkalaskenta suoritetaan aina uusia järjestelmiä suunnitellessa sekä vanhoihin järjestelmiin lisättäessä kaapelointia ja suojuareleita. Taakanlaskennan tarkoituksena on todeta, että virtamuuntajan toision mitoitustaakka ei ylity ja että virtamuuntaja ei saturoidu, ennen kuin suojuarele ehtii toimia.

Järjestelmässä aiotaan käyttää budjettisyyistä vanhoja, jo olemassa olevia virtamuuntajia. Tässä tapauksessa, kun virtamuuntajien suojuassydänten takana on jo suojuareleita, täytyy jokaiselle virtamuuntajan suojuassydämelle, jota aiotaan hyödyntää valokaarireleille, suorittaa taakan tarkastuslaskenta.

Tarkastuslaskennassa täytyy olla tiedossa uuden valokaarireleen tarkka sijainti, tosin usein nämä sijoitetaan jo olemassa olevaan toisiokojetilaan, eli mahdollisimman lähelle virtamuuntajaa, jolta mittaus otetaan. Tiedettäessä sijainti, voidaan laskea kaapelointiin kuluva matka ja tiedettäessä käytettävä kaapelimateriaali sekä paksuus pystytään näillä tiedoilla laskemaan kaapeloinnin aiheuttama resistanssi piiriin. Seuraavaksi täytyy selvittää uuden valokaarireleen tuloimpedanssi, joka riippuu valmistajasta. Tarkka tieto löytyy tuotteen datalehdessä. Kolmantena vaikuttavana tekijänä pitää tietää onko kaapelointi virtamuuntajan ja olemassa olevan suojuareleen välillä tehty 4- vai 6-johdinjärjestelmänä. Täten pystytään laskemaan lisättävien johtimien ja releen aiheuttaman taakka, eli laskettu tulos lisätään nykyisen piirin lasketun taakan arvoon.

10.14-johdinjärjestelmä

4-johdinjärjestelmässä (**Kuva 17.**) suojarieleltä lähtee riviliittimien kautta kolme johdinta virtamuuntajille, eli jokaisen vaiheen oman virtamuuntajan suojaussydämelle yksi johdin. Vaiheiden virtamuuntajilta palaa myös kolme johdinta toisille riviliittimille, mutta nämä riviliittimet ovat ketjutettu ja tähän on ketjutettu myös neljäs riviliitin lisäksi, josta palaa yksi johdin suojarielelle. Tällä tavoin pystytään vähentämään johtimista aiheutuvaa resistanssia mittauspiiriin ja laskettua virtamuuntajan toisiosydämelle aiheutuvaa taakkaa. 4-johdinjärjestelmää käytettäessä kertoimena toimii tyypillisesti 1,2. Tämä kerroin perustuu siihen, että johtimista sekä liitännöistä maksimissaan 20 % on 6-johdinjärjestelmänä toteutettu ja 80 % 4-johdinjärjestelmänä³³.

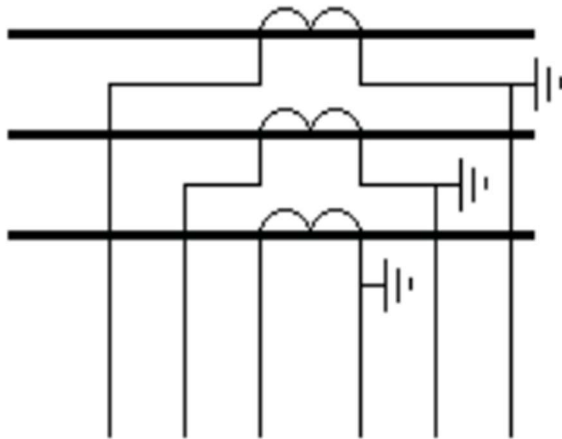


Kuva 17. 4-johdinjärjestelmä virtamuuntajille. Suojarieleltä tulee kolme johdinta, mutta niillä on yhteinen palaava johdin.

³³ ABB Oy, 2004. Calculation of the Current Transformer Accuracy Limit Factor.

10.26-johdinjärjestelmä

6-johdinjärjestelmässä (**Kuva 18.**) suojaareleelta lähtee riviliittimien kautta kolme johdinta virtamuuntajien toisiosydämiin, eli jokaisen vaiheen oman virtamuuntajan suojaussydämelle yksi johdin. Vaiheiden virtamuuntajilta palaa myös kolme johdinta toisille riviliittimille, jotka jatkuvat suoraan suojaareleelle. Tästä aiheutuu huomattavasti enemmän kuormitusta virtamuuntajan toisiosydämelle, koska piirissä on enemmän kaapeloinnin aiheuttamaa resistanssia.



Kuva 18. 6-johdinjärjestelmä.

10.3 Taakan tarkastuslaskenta

Tiedettäessä johtimen materiaali, sen poikkipinta-ala, johtimen pituus ja releen mittauspiirin tuloimpedanssi, voidaan laskea mittauspiirin aiheuttama kuorma virtamuuntajan toisosydämelle laskemalla ensiksi johtimen resistanssi **(Kaava 3.)**. Johtimen pituuteen lisätään johdinjärjestelmän mukaan kerroin 1,2 tai 2.

$$R = p \times l \div A, \text{ jossa} \quad R = \text{johtimen resistanssi} \quad (3)$$

l = johtimen pituus

p = materiaalin resistiivisyys (tyypillisesti +20°C)

A = johtimen poikkipinta-ala

Mikäli resistiivisyys on annettu mikro-ohmeina, pituus metreinä ja poikkipinta-ala neliöinä, saadaan vastaus suoraan ohmeina.

Johtavan materiaalin resistanssi ollessa laskettu, voidaan siihen lisätä releen tuloimpedanssi, joka on 5A toisiovirralla n. 0,020 ohmia tai vastaavasti n. 0,5 VA³⁴. Tästä voidaan laskea mittauspiirin aiheuttama taakka virtamuuntajan toisosydämelle **(Kaava 4.)**.

$$S_a = (I_{N\text{toisio}}^2) \times R, \text{ jossa} \quad S_a = \text{Toisionpiirin todellinen taakka} \quad (4)$$

$I_{N\text{toisio}}$ = Toisiopiirin nimellisvirta

R = Toisiopiirin kokonaisresistanssi

³⁴ ABB Oy, 2004. Calculation of the Current Transformer Accuracy Limit Factor.

Tähän mennessä on laskettu olemassa oleva kuormitus. Seuraavaksi pitää tietää uuden valokaarireleen sijoituspaikka, eli millainen kuormitus sen kaapeloinnista ja releen mittauspiirin tuloimpedanssista aiheutuu ja lisätä se edellä laskettuun olemassa olevaan taakkaan. Todettaessa, että yhteenlaskettu toteutunut taakka jää alle virtamuuntajan toisiosydämen nimellistaakasta, voidaan uusi kaapelointi ja valokaarirele kytkeä tähän sarjaan.

Mietittäessä mitä virtamuuntajan sydäntä käytetään valokaarireleelle, on ensiarvoisen tärkeää selvittää, että toisiosydämen takana oleva rele ei ole kytketty voimallituksen pääsuojiin, jolla saadaan koko laitos alas vian sattuessa.

Mikäli taakanlaskennassa huomattaisiin, että uutta valokaarirelettä ei voida kytkeä sarjaan jo olemassa olevaan piiriin sen takia, että aiheutuva todellinen taakka on yli virtamuuntajan toisiosydämen nimellistaakan, voidaan koko kaapelointi uusia isomman poikkipinta-alan omaavilla johtimilla. Poikkipinta-ala vaikuttaa olennaisesti resistanssiin. Mikäli mahdollista voidaan kaapelointi toteuttaa 4-johdinjärjestelmänä.

10.4 Todellinen tarkkuusrajakerroin

Virtamuuntajan tarkkuusrajakerroin poikkeaa nimellisarvostaan, kun virtamuuntajan toisioon liitetty taakka poikkeaa nimellisarvostaan. Taakkaa laskettaessa on huomioitava edellisten laskujen lisäksi virtamuuntajan sisätaakka, joka löytyy tuotteen datalehdessä tai se on ilmoitettu sisäisenä resistanssina, jolloin sisäinen taakka voidaan laskea **(Kaava 5.)**.

$$S_i = (I_{Ntoisio}^2) \times R_{CT}, \text{ jossa } S_i = \text{Toisiosydämen sisäinen taakka} \quad (5)$$

$I_{Ntoisio}$ = Toisiopiirin nimellisvirta

R_{CT} = Toisiosydämen sisäinen resistanssi

Saatu arvo lisätään **(Kaava 4.)** tulokseen.

Seuraavaksi lasketaan todellinen tarkkuusrajakerroin (**Kaava 5.**), mikä pitäisi olla enemmän kuin 20 huipusta huippuun mittaavalla suojarielellä.

$$F_a \approx F_N \times \frac{(S_{in} + S_n)}{(S_{in} + S_a)}, \text{ jossa} \quad F_a = \text{Todellinen tarkkuusrajakerroin} \quad (5)$$

F_n = Nimellinen tarkkuusrajakerroin

S_{in} = Toisosydämen sisäinen taakka

S_n = Toision nimellistaakka

S_a = Todellinen toision taakka

Todellisen tarkkuusrajakertoimen jälkeen täytyy laskea tarkkuusrajakertoimen vaatimus, johon edeltävää tulosta verrataan. Pahin mahdollinen oikosulkuvirran maksimi on katsottu voimalaitoksen suojaustarkastelusta. Kerroin K_{td} vastaa kolmen millisekuntin aikaa, jolloin virtamuuntaja toimii kyllästymättä³⁵.

$$(K_{td} \times I_{Kmax}) \div I_{Nensiö}, \text{ jossa} \quad K_{td} = \text{transienttimitoituskertoimen} \quad (6)$$

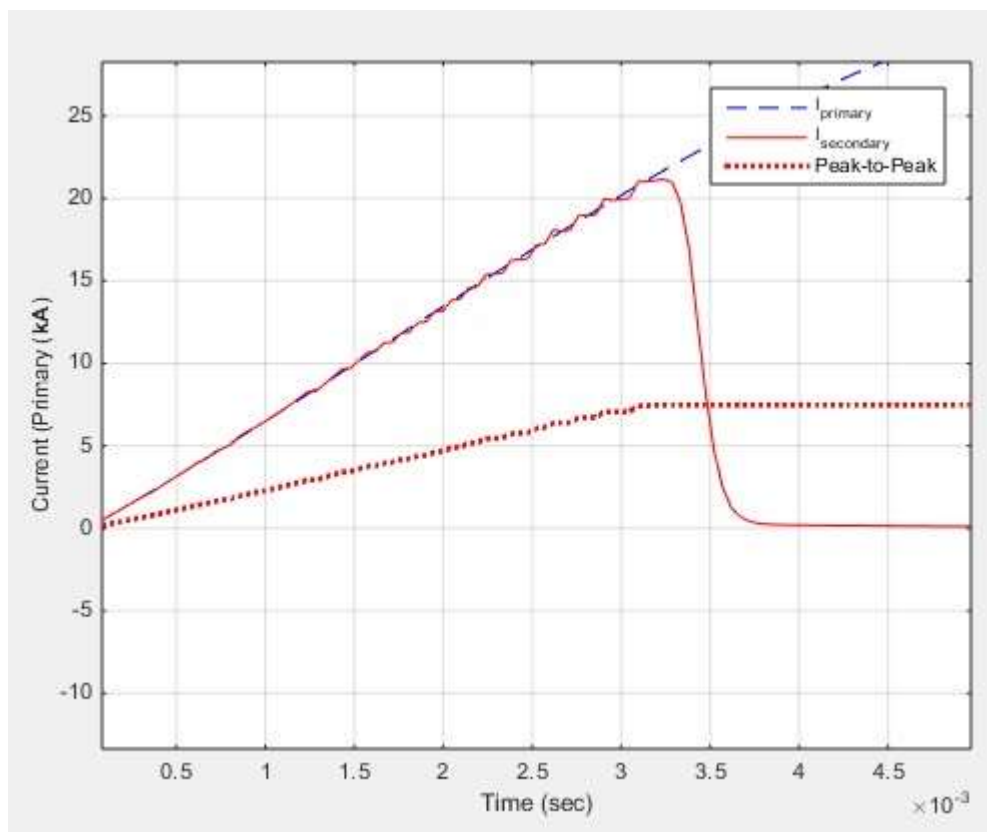
I_{Kmax} = suurin oikosulkuvirta

$I_{Nensiö}$ = Virtamuuntajan ensiön nimellisvirta

Saatu tarkkuusrajakertoimen vaatimusta verrataan todelliseen tarkkuusrajakerroimeen. Todellisen tarkkuusrajakertoimen ylittäessä laskettu vaatimus, voidaan todeta, että olemassa oleva ylivirtasuojarele, sekä valokaarisuojarele toimivat ennen virtamuuntajan saturoitumista. Lisättävän valokaarireleen puolijohdelähdön toiminta-aika katsottiin datalehden mukaan olevan alle kolme millisekuntia. Mikäli käytettäisiin valokaarireleen mekaanisia releitä, joiden ilmoitettu toiminta-aika on noin seitsemän millisekuntia, ehtisi virtamuuntaja saturoitumaan, Rele ei ehtisi täten tehdä syöttävän katkaisijan laukaisua. Tilanne simuloitiin karkeasti virtamuuntajan kyllästymisohjelmalla (**Kuva 19.**).

³⁵ ABB Oy, Distribution Solution, 2009. General CT Dimensioning Guide for MV-Applications.

Simuloinnissa remanenssi on oletettu nolaksi ja DC-komponentti 50 %. DC-komponentti määräytyy sen mukaan, missä kohdassa siniaalto vika tapahtuu.



Kuva 19. Erään käytössä olevan virtamuuntajan simuloitu saturoituminen. Kuvasta havaitaan, että kyseisen virtamuuntajan kyllästymisen tapahtuu kolmen millisekuntin jälkeen, joten tätä ennen on suojaruleiden toimittava.

Tehtyjen tarkastuslaskentojen tuloksena todettiin, että olemassa olevien ylivirtasuojareiden lisäksi voidaan sarjaan kytkeä valokaarireleet.

11 HANKINTASUUNNITELMA JA LAITETOIMITTAJIEN VERTAILU

Laitetoimittajien kanssa päädyimme ratkaisuun, jossa 1BAI ja 1BAII 6.3 kV KJ-kojeistot toteutetaan pelkästään pisteantureilla. Pisteanturit sijoitetaan siten, että ne valvovat kojeistojen kokoojakiskoja tasaisin välimatkoin ja loput pisteanturit on sijoitettu kaapelipäätetilaan. Kaapelipäätetila on yksi yleisimmistä valokaaren vi-
kapaikoista³⁶. Pisteantureiden määrää pystyttiin huomattavasti vähentämään kojeiston rakenteen takia, sillä katkaisija- ja kaapelipäätetila on yhdistetty.

Pisteantureita varten on hankittava tietty määrä valokaarireleitä ja näille laajennusyksiköt laitetoimittajien laitteiden mahdollisuuksien mukaan. Pisteanturit kytketään laajennusyksiköihin ja laajennusyksiköt sekä valokaarireleet ovat toisiinsa yhteydessä kaapelin välityksellä. Tieto havahtuneesta valokaarianturista ja mitatusta ylivirrasta kulkee kaikille laitteille järjestelmässä, jotta pystytään avaamaan suuri määrä katkaisijoita.

Pienjännitekeskukset 1CA ja 1CB toteutetaan osittain pisteantureilla ja osittain kuiduilla. Molempien keskuksien kenttien 1–11 valon valvonta hoidetaan pisteantureilla. Vaakakiskotilat valvotaan erikseen omilla kuiduilla. Molemmilla keskuksilla on omat yhdistävät kiskosillat keskuksien lisäosiin. Näiden lisäosien kentät 12–17 sekä yhdistävän kiskosillan valvonta toteutetaan myös kuidulla. Kenttien 12–17 takana olevat lähdöt eivät ole niin tärkeitä, että niihin laitettaisiin pisteanturit. Tällä tavoin pystytään laskemaan komponentti- ja asennuskustannuksia huomattavasti.

³⁶ ABB Oy. 2007. Electric Arc, The Unpredictable Phenomenon.

Releet ja laajennusyksiköt tullaan asentamaan KJ-kojeiston puolella toisiokoje-kaappien oviin ja PJ-keskusten puolella kennojen oviin. Näin toimittaessa, päivystävä henkilökunta, joka kiertää myös sähkökeskustilat näkevät vaivatta, mikäli valokaarisuojajärjestelmässä on vika.

Tarjouskyselyt tehtiin kolmelle tunnetulle alan toimijalle, joilla on takana vuosien kokemus ja kehitystyö valokaarisuojaus alalla. Tarjouskyselyissä painotettiin järjestelmän budjettiratkaisuja sekä toiminnallisuutta, elinkaarituki silmällä pitäen. Tarjouskyselyn materiaaliin kuuluu rakennekuvat PJ- ja KJ-keskuksista, leikkauskuvat, täydentäviä valokuvia esimerkiksi kennojen välisistä eristelevyistä, jotka haittaavat pistesensorin valon havainnointia kennosta toiseen ja sähköpääkaavio mistä ilmenee ohjattavat katkaisijoiden määrät sekä syötöt, joista pitää ottaa virtamittaus.

Tarjouksien vertailussa täytyy kiinnittää huomiota valokaarisuojajärjestelmän helppokäyttöisyyteen ja sen elinkaaritukeen. Otettaessa huomioon mukaan valokaarensammutuslaitteisto, tämän uudelleenkäytettävyys ja koestus sekä yleisesti varaosien saanti.

12 YHTEENVETO JA POHDINTA

Valokaarijärjestelmä asennettaisiin kesällä vuosihuollon aikaan, jolloin keskuksat voidaan laittaa yksitellen jännitteettömäksi. Asennukset tekee voimalaitoksen sähkö- ja automaatio-osasto, riippuen sen hetkisestä työmäärästä. Työ voidaan myös ostaa laitetoimittajilta kokonaisuutena sisältäen suunnittelun, työn, käyttöönoton ja dokumentoinnin. Valokaarisuojausjärjestelmä on suunniteltu liitettävän voimalaitoksen pääautomaatioon yksinkertaisella tavalla. Valokaarireleitä tuodaan karkitieto digital input kortteihin ja näitä varten tehdään erikseen oma päivitys pääautomaation ohjelmaan. Valvomonäkymään tehdään erikseen oma graafinen välilehti visualisoimaan valokaarisuojauksen hälytys- ja vikatietoja sekä ne tuotaisiin blokkikohtaiseen hälytyslistaan. Valokaarisuojajärjestelmä on kytkettävä UPS:in taakse, jotta vian sattuessa valokaarireleet pysyvät päällä ja niistä pystytään tarkistamaan vian sijainti.

400 V PJ-keskusten uusimisesta tehtiin myös alustava tarjouskysely. Tarkoituksena olisi siis purkaa vanhat keskuksat pois ja asentaa kokonaan uudet tilalle. Tarjouskyselyä varten täytyi aiheesta keskustella opinnäytetyövalvojani sekä sähkö- ja automaatiomestarin kanssa, jotta tietäisiin tarkemmin tulevaisuuden tarpeet keskuksilta ja mitä olisi samalla hyvä uusia.

Tarjouskyselyyn kuului pohtia jääkö kaikki olemassa olevat kenttäkaapeloinnit käyttöön vai poistuuko osa ja käytetäänkö olemassa olevia kiskosiltoja omakäyttömuuntajilta keskuksille. Uusittaessa täytyy selvittää kiskosiltojen uusittavan osuuden pituus, omakäyttömuuntajien tekniset tiedot, lähtöjen tehotiedot, piirustukset, joista käy ilmi kojeistojen syötöt ja yhdistykset, sekä jakelujärjestelmän tyyppi ja soveltuuko jakelujärjestelmä.

Keskuksien uusiminen tulisi maksamaan alustavien tarjouskyselyiden perusteella noin neljä kertaa enemmän kuin valokaarisuojajärjestelmä. Uusimisen tuomia

hyötyjä on esimerkiksi uudet komponentit ja katkaisijat tulppasulake- ja kontaktorilähtöjen tilalle, jolloin pystytään valokaarisuojaus toteuttamaan selektiivisemmin ja kestävämpi rakenne, jossa on otettu esimerkiksi huomioon valokaaren paineenpurkaus.

Pelkästään valokaarisuojajärjestelmän hankinta on perusteltua, sillä järjestelmä maksaa itsensä takaisin ensimmäisellä kerralla valokaaren sattuessa, koska tämä aiheuttaa monien päivien tuotannon seisahtumisen ja sen tiedetään maksavan moninkertaisesti enemmän kuin valokaarisuojausjärjestelmä. Päälle lasketaan vielä tilan siivoaminen, uusi kojeisto tai keskus, uudet komponentit, asennuskustannukset, muiden vahingoittuneiden laitteiden korjaukset ja ennen kaikkea mahdolliset ihmisvahingot.

LÄHTEET

ABB Oy. 2000–07. TTT-käsikirja. Luku 10: Mittaus-, Ohjaus ja Suojalaitteistot. Viitattu 25.2.2021. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/10_1_Mittaus-%20ohjaus-%20ja%20suojalaitteet.pdf

ABB Oy. 2004. Calculation of the Current Transformer Accuracy Limit Factor. Viitattu 1.3.2021. https://library.e.abb.com/public/194811e319ce2bb7c2256f9e00324a2f/applicationCT_accuracylimitfactorENa.pdf

ABB Oy, 2005. Arc Protection Relay REA 101, Operator's Manual. Viitattu 15.2.2021. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS751003-MUM&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB Oy. 2007. Electric Arc, The Unpredictable Phenomenon. Viitattu 15.3.2021. <https://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/02%20DT%20Electric%2001.pdf>

ABB Oy, Distribution Solution, 2009. General CT Dimensioning Guide for MV-Applications. Viitattu 10.3.2021 http://abbtm.fi.abb.com/fi//attachments/TechnicalNotes/tech_GeneralCTdimensioningGuide_756966_ENc.pdf

ABB Oy. 2009. Low Voltage Circuit Breakers. Arc Flash Hazards. Viitattu 17.2.2021. <https://electrical-engineering-portal.com/res/LV-Arc-Flash-Paper.pdf>

Arcteq Relays Oy. Products, AQ-110P arc point sensor unit with overcurrent, Catalogue. Viitattu 27.1.2021. https://www.arcteq.fi/wp-content/uploads/2020/02/AQ-100-series-IEC-product-catalogue-1.1EN_web.pdf

Bilund, J. 2017. Keskijänniteverkkoon Kytketyn Invertterin Valokaarisuojaus. Viitattu 15.2.2021. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2017111050591>

Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden Sähkökäytöt. 1. Painos. Tampere. Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Hussain, G. 2015. Methods for Arc-Flash Prediction in Medium Voltage and Low Voltage Switchgear. Viitattu 14.2.2021. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/19354>

Koski, J. 2018. Sähkölaitokset, Kojeistot. Vaasan ammattikorkeakoulu

Müller P, Tenbohlen S, Maier R & Anheuser M. 2010. Characteristics of Series and Parallel Low Current Arc Faults in the Time and Frequency Domain. Viitattu 18.2.2021. https://www.researchgate.net/publication/224188786_Characteristics_of_Series_and_Parallel_Low_Current_Arc_Faults_in_the_Time_and_Frequency_Domain

Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 9–1. Vaasan ammattikorkeakoulu.

Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 10. Vaasan ammattikorkeakoulu.

Mäkinen, O. Sähkölaitokset, Luku 12–2. Vaasan ammattikorkeakoulu.

Schneider Electric. 2012. Arc-Flash Energy Calculations for Circuit Breakers and Fuses Application Guide. Viitattu 16.2.2021. <https://www.se.com/us/en/download/document/O100DB0402/>

Schneider Electric. Helping protect people and systems from arc flash in medium voltage equipment. Viitattu 28.1.2021. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=998-20753510_ArcFlash_GMA_eGui

SFS-EN 62606:en. General Requirements for Arc Fault Detection Devices. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2016. 175 s.

Vantaan Energia Oy, Energiavirtaa - lehti 1/2020, Näin Suomi sähköistettiin. Viitattu 18.1.2021. <https://www.vantaanenergia.fi/magazine/energiavirtaa-lehti-1-2020/nain-suomi-sahkoistettiin/>

Vantaan Energia Oy, Etusivu, Tehokas yhteistuotanto. Viitattu 19.1.2021. <https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2019/tehokas-yhteistuotanto/>

Vantaan Energia Oy, Nykylämpö, Sanoista tekoihin - biovoimaa Martinlaaksoon. Viitattu 19.1.2021. <https://www.vantaanenergia.fi/lampo/nykylampo/sanoista-tekoihin-biovoimaa-martinlaaksoon/>

Verkkonen, V. 2005. Sähkökoneet, Muuntajat. Vaasan ammattikorkeakoulu.

LIITTEET

LIITE 1

Valokaaren aiheuttama vahinko katkaisijaan ja kojeistoihin.







LIITE 2

Liite poistettu Vantaan Energia Oy:n pyynnöstä.