

Lassi Saarinen

PIENJÄNNITEKESKUKSEN VALOKAARISUOJAUS

PIENJÄNNITEKESKUKSEN VALOKAARISUOJAUS

Lassi Saarinen
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Sähkö- ja automaatiotekniikan
tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, sähkötekniikan suuntautumis-
vaihtoehto

Tekijä: Lassi Saarinen
Opinnäytetyön nimi: Pienjännitekeskuksen valokaarisuojaus
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Arc Protection of Low Voltage Switchgear
Työn ohjaajat: Ensio Sieppi ja Mikko Vesterinen
Kevätlukukausi 2020
Sivumäärä: 38 + 3

Hyvällä valokaarisuojauksella voidaan parantaa oleellisesti henkilöturvallisuutta sähköalan töissä. Valokaarisuojaus on yksi tärkeimmistä keskuksen kokonaisturvallisuutta parantavista keinoista.

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oulun Energian omistamalla Toppilan voimalaitoksella Oulussa, työn tilaajana on Oulun Energia Oy. Työnvalvojana toimi Mikko Vesterinen Oulun Energialta ja työnohjaajana toimi Ensio Sieppi Oulun ammattikorkeakoululta.

Työn tavoitteena oli kartoittaa henkilöturvallisuuden parantamista valokaarisuojauksen avulla pienjännitekeskuksilla Toppila 2 voimalaitoksella.

Opinnäytetyön alussa käsitellään valokaarisuojausta yleisellä tasolla, tutustutaan valokaarisuojauksen oleellisimpiin komponentteihin ja standardeihin. Sitten kartoitetaan valokaarisuojauksen toteutuksen eri vaihtoehdot. Työssä tutustutaan esimerkin kautta tapaukseen, jossa valokaarisuojaus on ollut käytettävissä ja tapaukseen, jossa valokaarisuojaus ei ole ollut käytettävissä. Kuvista käy hyvin ilmi, miten valokaarisuojaus vaikuttaa tuhojen laajuuteen.

Työn lopputuloksena saadaan kattava näkemys valokaarisuojauksen nykytilasta ja toteutussuunnitelma valokaarisuojauksen parantamiseen. Työn taustalla on kysytty tarjouksia valokaarisuojalaitteiden uusinnasta alan toimijoilta. Tarjouksia ei avata tässä opinnäytetyössä.

Asiasanat: Valokaarisuojaus, valokaari, pienjännitekeskus, katkaisija, keskus, sähkötapaturma

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Electrical Engineering

Author: Lassi Saarinen
Title of thesis: Arc Protection of Low Voltage Switchgear
Supervisors: Ensio Sieppi and Mikko Vesterinen
Spring semester 2020
Number of pages: 38+3

Good arc protection can significantly improve personal safety in electrical applications. Arc protection is one of the most important means of improving the overall safety of the center.

This thesis was done at the Toppila power plant owned by Oulun Energia Oy. The thesis was commissioned by Oulun Energia Oy. The supervisor was Mikko Vesterinen from Oulu Energia and the supervisor was Ensio Sieppi from Oulu University of Applied Sciences.

The aim of the work was to improve the personal safety by arc protection at low voltage switchgear at the Toppila 2 power plant.

The thesis begins with an overview of arc protection in general and introduces the most important components and standards of arc protection. Various options for implementing arc protection are explored. There is an example introduced in this thesis, where arc protection was available and a case where arc protection was not available. The pictures clearly show how the arc protection affects the extent of the damage.

The result of this work is a comprehensive view of the current state of arc protection and an implementation plan for improving arc protection. On the background of the work, offers have been asked from the industry for the replacement of arc protection devices. Offers will not be opened in this thesis.

Keywords: Arc Protection, Arc, Low Voltage Switch, Circuit Breaker, Center, Electrical Accident

ALKUSANAT

Kiitokset työvalvoneelle Mikko Vesteriselle ja Oulun Energialle, jotka mahdollistivat minulle tämän opinnäytetyön tekemisen. Kiitoksia työtä ohjanneelle opettajalle Ensio Siepille, hänen kautta, olen saanut hyviä ideoita työhöni ja kannustusta. Kiitoksia kotiväki ja luokkakaveri Kimmo Määttä, jotka ovat jaksaneet kannustaa minua koulun käynnissä ja tämän opinnäytetyön loppuun saattamisessa.

2.2.2020 Lassi Saarinen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	TERMINOLOGIA	9
3	OULUN ENERGIA OY	11
4	VALOKAARISUOJAUS	13
4.1	Valokaarisuojarele.....	13
4.2	Valokaarisuojan keskusyksikkö	13
4.3	Valoanturi	14
4.4	Kuituanturi	14
4.5	Valokaaren aiheuttama vaara	15
4.6	Valokaarisuojaan liittyvät standardit ja määräykset	16
4.7	Valokaarisuojauksen hyödyt.....	17
4.8	Suomen sähkötapaturmatilasto	20
5	LÄHTÖTILANNE	21
5.1	Työhön kuuluvat keskuksset	21
5.2	Virtamuuntaja	23
5.3	Keskijännitekatkaisija	24
5.4	Muuntaja	25
5.5	Valokaarisuojauksen nykytila	27
6	TARJOUSKYSELY	30
6.1	Tarjouskyselyaineisto	30
6.1	Tarjoukset ja niiden vertailuperusteet.....	32
7	TOTEUTUSSUUNNITELMA.....	33
7.1	Aikataulu	33
7.2	Toteutettava ratkaisu.....	33
7.3	Vaaratekijät laitteita asennettaessa.....	35
8	POHDINTA	37
	LÄHDELUETTELO	38
	LIITTEET	
	LIITE 1 PÄÄKAAVIO (vain toimeksiantajan käyttöön)	

LIITE 2 ESIMERKKI TODELLISESTA TAPAHTUMASTA (vain toimeksiantajan käyttöön)

LIITE 3 VALOKAARISUOJAN KYTKENTÄ (vain toimeksiantajan käyttöön)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda suunnitelma, miten parannetaan henkilö- ja laiteturvallisuutta Oulun Energian Toppilan voimalaitoksen uudemman voimalaitoksen pienjännitekeskuksilla. Erinäisten tapahtumien seurauksena on herännyt suuri huoli sähköalan ammattilaisten henkilöturvallisuudesta pienjännitekeskuksilla. Tällaisessa toimintaympäristössä on erittäin suuret oikosulkuvirrat, vahingon sattuessa käy yleensä todella huonosti. Kaiken suunnittelun lähtökohdaksi ja painopisteenä on henkilöturvallisuuden parantaminen. Opinnäytetyön alussa laadittiin budjettiesitys Oulun Energian johtoryhmälle investointia varten.

Tässä työssä kartoitetaan valokaarisuojauksen nykytila ja siihen kuuluvat oleelliset komponentit sekä niiden mahdollinen hyödyntäminen suojausta uusittaessa. Työssä tarkastellaan keskijännitekatkaisijat, muuntajat, keskuksat sekä keskuksien rakenteet. Tämä opinnäytetyö tulee olemaan tukena valokaarisuojalaitteiden hankinnassa.

Työn alussa käydään läpi valokaarisuojauksen peruskäsitteitä yleisellä tasolla. Tutustutaan Tukesin ylläpitämään VARO-rekisteriin ja sitä kautta sähkötapaturmatilastoihin 2010-luvulla. Työn edetessä käännetään katseet enemmän itse kohteeseen, johon tämä työ on tehty ja käsitellään kohteen erityispiirteitä.

Käsitellään tarjouskyselyaineistoa ja sen sisältöä. Ohjeistetaan mitä tarjousten vertailussa kannattaa ottaa huomioon ja mihin asioihin kannatta kiinnittää huomiota. Kartoituksen perusteella luotiin tarjouskyselyaineisto ja aikataulu valokaarisuojauksen modernisoinnista vastaamaan nykypäivän sähköturvallisuusmääräyksiä ja -periaatteita. Työssä tarkastellaan myös asennuksen aikaisia vaaroja, jotta pystyttäisiin mahdollisimman hyvin tiedostamaan työssä esiintyvät vaaranpaikat asennuksen aikana.

2 TERMINOLOGIA

Tässä luvussa on koottu sähköalan terminologiaa. Selitetään mitä tarkoitetaan eri jännitetasoilla, valokaarella, kuivamuuntajalla ja UPS-laitteella.

Jännitetasot

Sähkönjakelualalla ja standardeissa käytetään seuraavaa luokittelua sähköverkkojen jännitetasoista (nimellinen tehollinen jännite):

suurjännite >36 kV

keskijännite $1 - 36$ kV

pienjännite ≤ 1 KV (1).

Valokaari

Valokaari on fysikaalinen ilmiö, joka syntyy kahden elektrodin välisen jännitteen noustessa niin suureksi, että sähkövirta purkautuu sähköä johtamattoman materiaalin kuten ilman läpi. Valokaaren ytimessä lämpötila voi nousta jopa 20 000 asteeseen. Se on yli kuusi kertaa enemmän kuin auringon pinnalla. Kaaren kantapisteiden lämpötila on matalampi mutta riittää usein sulattamaan elektrodien metallin. Lämpösäteily ja sulan metallin roiskuminen aiheuttaa helposti suojamattomalle iholle kolmannen asteen palovammoja. (2.)

Kuivamuuntaja (muuntaja)

Kuivamuuntaja on muuntaja, jossa jännite muunnetaan muuntajan avulla toisesta jännitteestä toiseen. Kuivamuuntaja on nimensä mukaan kuiva, eli siinä ei ole sisällä öljyä, niin kuin monessa muuntajassa on, muuntajan jäähdytys perustuu ilmanvirtaukseen. Tässä työssä kuivamuuntajalla muunnetaan 6,3 kV 400 V:ksi tai 690 V:ksi. Kuivamuuntaja on yleensä valuhartsitäytteinen, eli käämit on valettu valuhartsiin.

UPS

UPS-laitteita käytetään silloin kun halutaan saada aikaan keskeytymätön virran syöttö jollekin laitteelle. Sähkövirran jännitekatkotilanteessa tuottaa yleensä

akusto. Akuston koko riippuu siitä, miten pitkän aikaa UPS-laitteen tulee pystyä syöttämään virtaa laitteelle jännitekatkotilanteessa.

3 OULUN ENERGIA OY

Oulun Energia on Oulun kaupungin omistama osakeyhtiö. Pohjois-Suomen suurimman energiakonsernin toiminta kattaa polttoaineiden tuotannon, sähkön ja kaukolämmön tuotannon, myynnin ja jakelun sekä erilaiset palvelut, kuten älykkäät energiapalvelut, sähköverkkopalvelut, urakoinnin ja ylläpidon. (3.)

Oulun Energian toiminta alkoi kaupungin sähkölaitoksena vuonna 1889, kun Kiihelin saareen rakennettiin 35 hevosvoiman höyryvoimalaitos, joka syötti sähköä katuvaloille. Oulu sai sähköllä toimivat katulamput toisena Suomen kaupungeista. Tampereella sähkövalot olivat käytössä vuotta aiemmin. (3.)

Ensimmäinen vesivoimalaitos rakennettiin Myllytulliin Oulujoen Lasareinväylään vuonna 1903. Arkkitehti Viktor J. Sucksdorffin suunnittelema Myllytullin voimalaitos paloi kesällä 2006. Merikosken voimalaitosta alettiin suunnitella jo 1930-luvun lopulla, mutta sotien vuoksi rakentaminen viivästyi ja voimala päästiin kytkemään sähköverkkoon vasta vuonna 1948. (3.)

Kaukolämpötoiminta aloitettiin Myllytullin voimalaitoksella, jonne rakennettiin lämpökeskus 1969. Kaukolämmön käyttö laajeni nopeasti ja jo vuonna 1972 Oulun kaupunginvaltuusto päätti Toppilan voimalaitoksen rakentamisesta. Toppilan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos otettiin käyttöön 1977. Oulun kaupungin sähkölaitoksen nimi muutettiin seuraavan vuonna Oulun kaupungin energialaitokseksi. Imatran Voiman ja Oulun kaupungin energialaitoksen yhteistyönä Toppilaan rakennettiin 1990-luvun alkupuoliskolla toinen voimalaitosyksikkö, joka otettiin käyttöön 1995. (3.)

Laanilan ekovoimalaitos otettiin käyttöön 2012. Se käyttää polttoaineenaan noin 150 000 tonnia syntypaikkalajiteltua yhdyskunta- ja teollisuusjätettä vuodessa. Puolet tästä jätemäärästä tulee Kiertokaari Oy:n alueelta ja puolet muualta Pohjois-Suomesta. (3.)

Vuonna 2020 valmistuu Laanilaan uusi Oulun Energian 215 megawatin biovoimalaitos, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Se korvaa tuotannosta poistuvan Toppila 1 voimalaitosyksikön. (3.)

Nykyisen nimensä Oulun Energia sai 1. tammikuuta 1996. Tuulivoiman tuotantoon yhtiö osallistuu EPV Energia Oy:n osakkaana. Lisäksi yhtiöllä on osuuksia myös muista voimayhtiöistä. (3.)

Oulun Energia -liikelaitos yhtiöityi Oulun Energia Oy:ksi vuoden 2014 lopussa. Oulun Energia Oy:n tytäryhtiöitä ovat sähkönmyyntiliiketoiminnasta ja asiakaspalvelusta vastaava Oulun Sähkönmyynti Oy, sähköverkkopalveluista vastaava Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy, alan erilaisista palveluista, kuten verkonhallinnasta, urakoinnista ja ylläpidosta vastaava Oulun Energia Urakointi Oy sekä polttoainehankinnasta vastaava Turveruukki Oy. (3.)

4 VALOKAARISUOJAUS

Seuraavissa luvuissa käsitellään valokaarisuojauksen tärkeimpiä komponentteja, kuten valokaarisuojakeskusyksikkö, valoanturi ja kuituanturi. Tässä luvussa esitellään valokaarisuojaukseen liittyvät standardit ja määräykset sekä käsitellään esimerkkien kautta valokaarisuojauksen hyötyjä.

4.1 Valokaarisuojarele

Valokaarisuojarele on suojalaite, jonka avulla voidaan minimoida henkilö- ja laitevaurioita sähköverkon vikatilanteissa. Nopea valokaarisuojaus parantaa sähköverkonlaitteiden käyttöturvallisuutta. Tiivistetysti voidaan sanoa, että mitä nopeampi suojausjärjestelmän toiminta-aika on, sitä vähemmän valokaarivika aiheuttaa henkilö- ja aineellisia vaurioita. (4.)

4.2 Valokaarisuojan keskusyksikkö

Valokaarisuojan keskusyksikkö on laite, josta hallinnoidaan valokaarisuojan toimintaa sekä määritellään sen toimintoja. Keskusyksikkö sijoitetaan yleensä keskuksen kanteen, noin silmien korkeudelle. Jos kyseessä on iso keskus, tulee keskukseseen laittaa laajennusyksiköitä, jotta kaikki silmukat ja anturit saadaan kytkettyä.

Keskusyksikön jännitteen syöttö on oltava jotenkin varmennettua. Keskusyksikön on pystyttävä toimimaan myös sähkökatkotilanteessa. Keskusyksiköltä tulee pystyä katsomaan tietoja, vaikka keskus olisi muuten jännitteetön. Valokaarisuojalle voi olla joko erillinen UPS- laitteisto tai se voi olla osa jotain suurempaa varmennetun sähkön jakelua.

4.3 Valoanturi

Valoanturia (pisteanturi) käytetään paikoissa, joissa ei voida käyttää kuitua, esimerkiksi keskuksen umpinaisuuden takia (kuva 1). Pisteanturia käytetään myös silloin, kun halutaan saada nopeasti selville, missä valokaari on ollut keskuksessa. Pisteanturilla tiedetään tarkka valokaaren sijainti anturin perusteella. Valokaarisuojan keskusyksikkö ilmoittaa, mikä anturi on havahtunut ja vikapaikka saadaan nopeasti selville. Keskusyksiköllä voidaan säätää pisteanturin havahtumistasoa kohteen mukaan.



KUVA 1. Valoanturi

4.4 Kuituanturi

Valokuidulla toteutettu valokaarisuoja on nopeampi toteuttaa kuin pisteanturisuojaus. Valokuitu on myös halvempi kuin pisteanturisuojaus. Valokuidulla toteutettu suojaus perustuu valon voimakkuuteen, niin kuin valoanturissakin. Yleensä valokuidusta tehdään keskukseseen silmukoita, eli kuidun molemmat päät viedään keskusyksikölle. Valokuituanturin (kuva 2) huonoja puolia on se, että ei osata tarkasti sanoa, missä kohtaa valokaari on tapahtunut. Valokaarisuojan keskusyksikkö ilmoittaa valokuitulenkin tarkkuudella valokaaren sijainnin, mutta lenkit voivat olla aika pitkiä. Valokuitu on myös aika herkkä menemään rikki, esimerkiksi siinä ti-

lanteessa, kun keskukseen lisätään kaapelointia. Valokaarisuojan toiminnan kannalta ei ole väliä kumpaa suojausmenetelmää käytetään, vain käytettävyydessä on eroja.



KUVA 2. Kuituanturi (5)

4.5 Valokaaren aiheuttama vaara

Valokaaren aiheuttamat palovammat aiheuttaa valokaaren huomattavan suuri lämpötila, roiskuva sula metalli sekä säteily. Esteetön säteily suoraan valokaaresta saattaa lähietäisyydellä ylittää ihmiselle vaarallisen arvon 25 W/cm^2 yhden sekunnin aikana (aurion säteily $0,1 \text{ W/cm}^2$). Polttovaikutuksen lisäksi säteilyyn liittyvä kirkas valo aiheuttaa häikäisyä, joka tavallisesti on kuitenkin ohimenevää. Alumiinielektrodeilla säteily on noin kolme kertaa voimakkaampaa kuin kuparielektrodeilla. Valokaaret voivat lisäksi aiheuttaa välillisesti suuren paineen vaikutuksesta murtumia ja kalloammoja sekä mahdollisesti kohteesta purkautuvien kuumien kaasujen ja myrkkyjen vaikutuksesta hengityselinvaurioita. (6, s. 505.)

Valokaaren aiheuttamien vaurioiden minimoimiseksi olisi parempi, mikäli pystyttäisiin katkaisemaan keskusta syöttävän muuntajan jännite. Useimmiten pienjännitepuolella on erillinen pienjännitekatkaisija, jota valokaarisuoja ohjaa. Tämä ei kuitenkaan ole suojauksen kannalta paras vaihtoehto. Paras vaihtoehto olisi au-kaista keskijännitepuolen katkaisija, joka syöttää muuntajaa. Oikosulkutilanteessa muuntaja kykenee ottamaan vastaan osan oikosulussa aiheutuneesta energiasta ja näin vähentää vaurioiden syntyä.

4.6 Valokaarisuojaan liittyvät standardit ja määräykset

Tässä luvussa käsitellään standardeja, jotka koskevat valokaarisuojausta. Käydään läpi standardi kerrallaan, mitä standardissa määritellään.

Valokaarisuojausta koskevat standardit:

- SFS EN 62606
- SFS 6002
- IEEE1584
- NFPA 70E.

Standardissa SFS EN 62606 käsitellään vikasuojausta vaihtosähköpiireissä: Vaihtosähköpiireissä standardin SFS EN 62606 mukaisen valokaarivikasuojan (arc fault detection device AFDD) käyttö voi edelleen auttaa vähentämään sähkölaitteista ja -asennuksista aiheutuvista laajoista tulipaloista johtuvaa ihmisiin, kotieläimiin tai omaisuuteen kohdistuvaa riskiä. (7, s. 5.)

Standardissa SFS EN 62606 on määritelty seuraavat kolme laitetta:

- Yksittäisenä laitteena toimiva valokaarivikasuoja (AFDD), joka sisältää valokaarivian ilmaisulaitteen ja avauslaitteen. Tämä laite on tarkoitettu asennettavaksi sarjaan oikosulkusuojan kanssa, joka täyttää jonkun seuraavista standardeista: SFS-EN 60898-1, SFS-EN 61009-1 tai SFS-EN 60269-sarja. (8, s.109.)
- Yksittäisenä laitteena toimiva valokaarivikasuojalaite (AFDD), joka sisältää valokaarivian ilmaisuyksikön sisäänrakennettuna suojalaitteena, joka täyttää yhden tai useamman seuraavista standardeissa SFS-EN 60898-1, SFS-EN 610008-1, SFS-EN 61009-1 tai SFS-EN 62423. (8, s.109.)
- Paikan päällä asennettavaksi tarkoitettu valokaarivikasuoja (AFDD), joka koostuu valokaarivian ilmaisuyksiköstä ja määritellystä suojalaitteesta (8, s. 109).

Standardissa SFS 6002 käsitellään vaatimuksia sähkölaitteistojen käyttöön sekä työskentelyyn niiden lähellä:

Standardi SFS 6002 perustuu CENELECin EN 50110 -sarjan standardeihin. Standardi SFS 6002 antaa vaatimuksia sähkölaitteistojen käyttöön sekä työskentelyyn sähkölaitteistossa ja niiden lähellä. Tätä standardia sovelletaan kaikilla jännitealueilla niin uusiin kuin olemassa oleviin laitteistoihin. Tämän standardin perusteella ei voi esittää vaatimuksia sähkölaitteiston rakenteille, vaan sähkölaitteiston käyttö ja laitteistossa tai sen lähellä tapahtuvan työskentelyn menettelyt vaaditaan siten, että standardissa esitetyt turvallisuusvaatimukset täyttyvät. (7, s. 5.)

Standardissa NFPA 70E on määritelty kansainvälisiä vaatimuksia:

Standardi NFPA 70E on kansainvälinen sähkötyöturvallisuusstandardi. USA:ssa on julkaisun NFPA 70E kohdan 210.12 mukaan käytetty AFDD:tä vastaavaa AFCI (arc fault circuit interrupter) laitetta suojaamaan ryhmäjohtojen valokaarivi-kojen vaikutuksia vastaan. (8, s.109.)

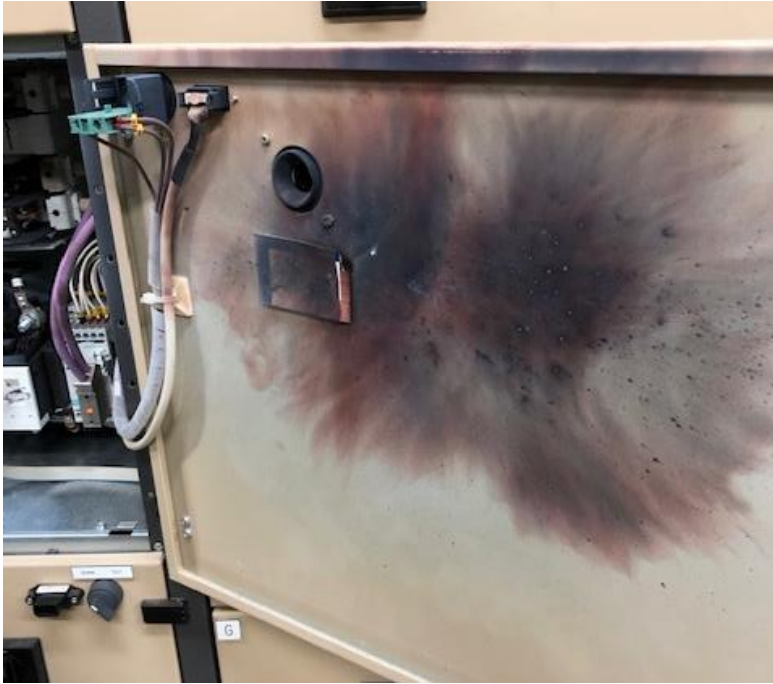
Standardissa IEEE1584 on määritelty salaman vaaran laskeminen:

Sähkö- ja elektroniikkatekniikan laitos (IEEE) julkaisi IEEE 1584 ”Ohje kaaren salaman vaaran laskemista varten”. Se sisältää yksityiskohtaisia menetelmiä ja tietoja, joita voidaan käyttää laskemaan kaaren salaman vaarat yksinkertaisimmista kaikkein monimutkaisimpiin järjestelmiin. (9.)

4.7 Valokaarisuojauksen hyödyt

Valokaarisuojaus vähentää valokaaresta aiheutuvia aineellisia tuhoja ja parantaa oleellisesti henkilöturvallisuutta. Liitteessä 2 näkyy esimerkki keskuksessa, jossa valokaarisuojalaite ei ole ollut oikosulun sattuessa toiminnassa.

Alla on kuvia (kuva 3 ja kuva 4) tilanteesta, jossa 100 A:n kahvasulake rikkoutui ja aiheutti keskuksessa valokaaren. Vauriot jäivät aika pieneksi, koska kyseinen keskus oli varustettu valokaarisuojalaitteella. Kun keskuksessa tapahtui valokaari, valokaarisuojalaite toimi ja ohjasi pienjännitekatkaisijan 0-asentoon.

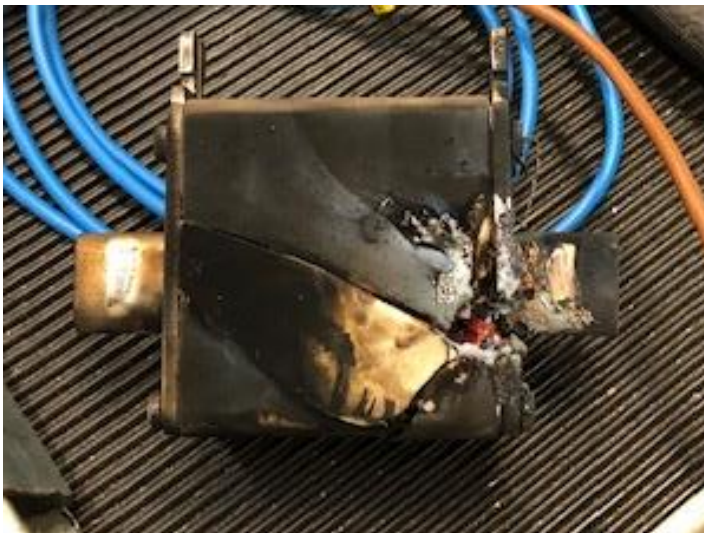


KUVA 3. 690 V keskuksen vaurioitunut kenno

Kuvassa 5 näkyy hyvin, miten vaurioitunut sulake on tuhonnut pääkytkimen L2-vaiheen kohdalta. Kakkosvaiheen kohdalta on mennyt niin suuri virta, että osa sulakkeenpitimestäkin on sulanut. Onneksi tässä tapauksessa oli sulakkeiden välissä suojalevyt, ilman levyjä oli voinut tulla vaiheiden välinen oikosulku.



KUVA 4. Vaurioitunut pääkytkin 690 V keskuksella

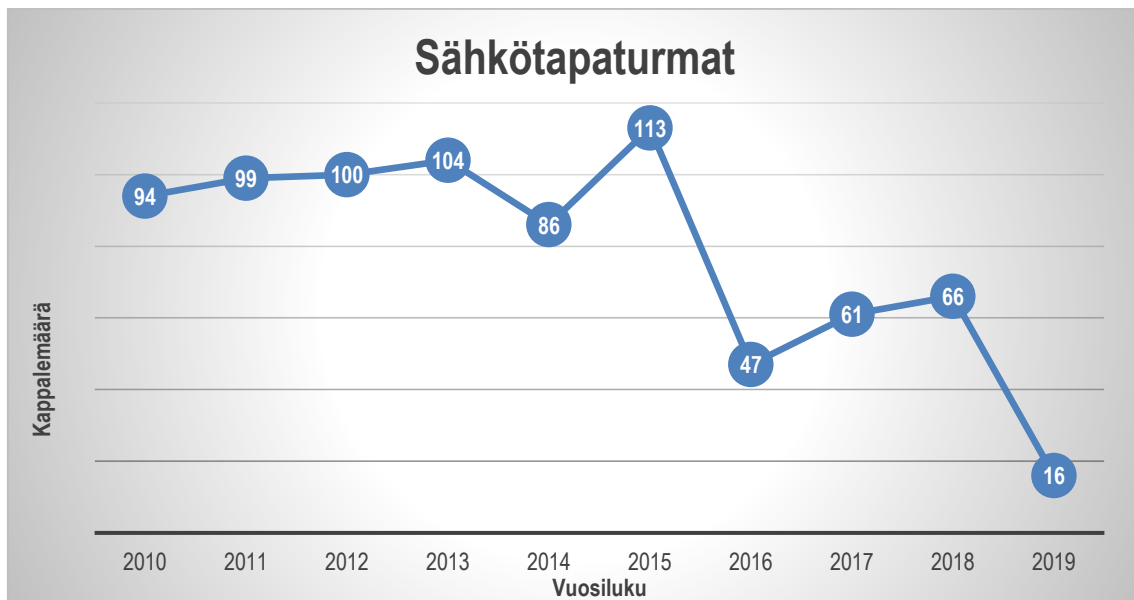


KUVA 5. Vaurioitunut sulake

Koko tapahtumaketjun sai aikaan tämä viallinen sulake (kuva 5). Tästä viallisesta sulakkeesta lähetettiin valmistajalle kysely, johon ei ole vielä saatu vastausta. Sulake ei saisi koskaan toimiessaan näyttää tällaiselta.

4.8 Suomen sähkötapaturmatilasto

Tukes ylläpitää VARO-rekisteriä. VARO-rekisterissä on sekä ammattilaisten että ei-ammattilaisten sähkötapaturmat. VARO-rekisteriin kerätään kaikki laitevauriot ja onnettomuudet sähköalalta.



KUVA 6. Sähkötapaturmatilastoa vuosilta 2010-2019

Kuvassa 6 on kuvattu sähkötapaturmien tilastoa 2010-luvulla. Tilastotietoa on kerätty Tukesin ylläpitämästä VARO-rekisteristä, hakuehtoihin on laitettu: sähkölaitteet ja sähkölaitteistot. Hakusanoihin on pyritty valitsemaan sellaiset, jotka kuvaivat mahdollisimman hyvin tätä opinnäytetyön aihealuetta. Vuoden 2019 lukemassa on jo tilastollisestikin merkittävä ero muihin vuosiin. On mahdollista, että kaikki vuoden 2019 sähkötapaturmat eivät ole vielä ehtineet tähän tilastoon. Tietojenhakupäivämäärä on 11.1.2020. Kuvan perusteella sähkötapaturmia sattuu vielä aika paljon. Kaaviossa on sekä ammattilaisten että ei-ammattilaisille tapahtuneet sähkötapaturmat. Huomioitavaa on, että tässä on kaikki, mitä on rekisteriin ilmoitettu (10).

5 LÄHTÖTILANNE

Tässä luvussa käsitellään Toppilan voimalaitoksen pienjännitekeskusten valokaarisuojauksen lähtötilannetta, käydään läpi keskuksen kuuluvat keskuksat, virtamuuntajat, keskijännitekatkaisija, muuntajat ja niiden rakenne. Tämän luvun lopussa syvennyttään käyttössä olevaan valokaarisuojaukseen ja sen tuomiin haasteisiin.

5.1 Työhön kuuluvat keskuksat

Kaikki neljä keskusta, jotka kuuluvat tähän opinnäytetyöhön, ovat ABB Strömbergin valmistamia. Liitteessä 1 on esitetty keskusten pääkaavio. Keskuksat ovat suljettuja kennokeskuksia. Keskuksat on otettu käyttöön 1994-1995. Jokaisen kennon välissä on levy, joka tuo haasteita valokaarisuojalaitteen asentamiseen. Keskuksen paineenpurkausluukut ovat keskuksen päällä ja jokaisesta kaapelitunnelista on paineenpurkauskanavat keskuksen yläosassa oleville paineenpurkausluukuille.

Kuvassa 7 on 2CA- keskuksa. Kaikki 4 opinnäytetyöhön kuuluvaa keskusta on tämän kuvan mukaisia. Keskusten koko vaihtelee, mutta keskusten rakenne ja valmistaja on kaikissa sama.



KUVA 7. 2CA-keskus

Tähän työhön kuuluu neljä pienjännitekeskusta (2CA, 2CB, 2CH ja 2CJ). Voimalaitoksella on kaksi eri keskusten eri jännitetasoa: 400 V ja 690 V. Keskukset liittyvät olennaisesti voimalaitoksen prosessiin. Voimalaitosalueella on vielä näiden keskusten lisäksi sellaisia keskuksia, johon tulisi lisätä valokaarisuojalaitteisto. Työn kokonaislaajuutta oli rajattava, ettei työ olisi liian laaja. Tämä opinnäytetyö antaa hyvät valmiudet lisätä myös näihin keskuksiin vastaavat laitteet.

Pienjännitekeskukset ovat ABB Strömbergin valmistamia, keskukset on valmistettu ja suunniteltu Vaasassa. Valmistusvuosi on 1994.

2CA on pääkeskus 1 ja 2CB on rakennussähkökeskus, molempien nimellisjännite on 400 V. Rakennussähkökeskuksesta syötetään esimerkiksi valaistusta, ilmanvaihtolaitteita ja pistorasiakeskuksia. Muuntaja 2CT01 syöttää keskusta 2CA ja muuntaja 2CT02 syöttää keskusta 2CB. Molemmat muuntajat ovat 1,25 MVA

muuntajia. Muuntajaa 2CT01 syötetään keskijännitekojeiston kennosta 2BA15 ja muuntajaa 2CT02 syötetään keskijännitekojeiston kennosta 2BA16.

Keskukset 2CH ja 2CJ ovat prosessisähkön pääkeskuksia, joiden käyttöjännite on 690 V. Nämä keskukset ovat hyvin olennaisia prossin toimivuuden kannalta. Muuntaja 2CT03 syöttää keskusta 2CH ja muuntaja 2CT04 syöttää keskusta 2CJ. Molemmat muuntajat ovat 2 MVA muuntajia. Muuntajaa 2CT03 syötetään keskijännitekojeiston kennosta 2BA03 ja muuntajaa 2CT04 syötetään keskijännitekojeiston kennosta 2BA04.

Keskukset ovat kaikki eri tiloissa ja etäällä toisistaan. Keskuksia syöttävä keskijännitekojeisto on kaikille keskuksille sama. Samasta suurjännitekeskuksesta syötetään suurjännitemoottoreita sekä muita suurjännitekojeistoja. Keskukset ja niiden käyttötarkoitus on kuvattu taulukossa 1. Taulukosta käy myös ilmi keskuksen koko ja kennojen lukumäärä.

TAULUKKO 1. Keskuserittely

Tunnus	Nimellisjännite	käyttötarkoitus	Kennojen lukumäärä	Etukoje
2CA	400 V	Pääkeskus 1	94 kpl	6 kV katkaisija
2CB	400 V	Rakennussähkökeskus	44 kpl	6 kV katkaisija
2CJ	690 V	Prosessisähkö pääkeskus 2	50 kpl	6 kV katkaisija
2CH	690 V	Prosessisähkö pääkeskus 1	50 kpl	6 kV katkaisija

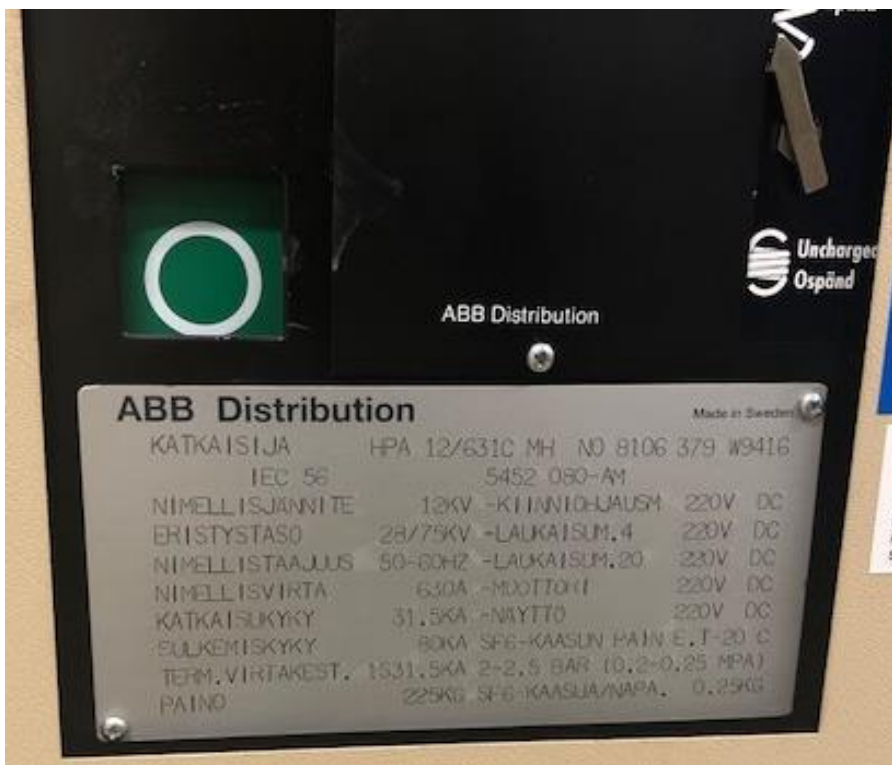
5.2 Virtamuuntaja

Työhön kuuluvissa keskuksissa on virtamuuntajat, joita käytetään vain keskuksen kannessa olevaan paikalliseen virtamittaukseen. Mittarit näyttävät keskuksen hetkellisen virran kulutuksen. Virtamuuntajat ovat Celsan valmistamia, malliltaan ICM 2000 A / 5 A. Virtamuuntajat on sijoitettu keskuksen ensimmäiseen kenttään. Jokaiselle vaiheelle on oma virran hetkellisarvon mittaus.

Virtamuuntajia voidaan hyödyntää uusien valokaarisuojalaitteiden virtaehdon toteuttamiseen. Esimerkiksi Vamp V 321 -valokaarisuojalaitteessa voi valita virtamuuntajalta tulevaksi virraksi 5 A tai 1 A, nykyiset virtamuuntajat ovat siis yhteensopivia.

5.3 Keskijännitekatkaisija

Keskijännitekatkaisijat sijaitsevat voimalaitoksen ensimmäisessä kerroksessa. Katkaisijat ovat ABB:n SF6 -kaasukatkaisijoita. Katkaisijan malli on HPA 12/631C MH (kuva 8). Nämä keskijännitekatkaisijat on otettu käyttöön vuosina 1994 ja 1995. Kojeistolla, missä keskijännitekatkaisijat sijaitsevat, on 6,3 kV jännite. Katkaisijoilla syötetään muuntajia, jotka syöttävät suoraan pienjännitekeskuksia. Keskuksissa ei ole erikseen pienjännitekatkaisijoita.



KUVA 8. ABB HPA keskijännitekatkaisija

5.4 Muuntaja

Jokaiselle keskukselle on oma jakelumuuntaja (kuva 9). Muuntajat ovat valuhartsikuivamuuntajia, muuntajissa ei ole öljyä. Tällaiset kuivamuuntajat ovat huoltovapaita. Ne eivät vaadi muuta kunnossapitoa kuin silmämääräistä tarkkailua ja puhtaanapitoa. Muuntajan käynninaikeista lämpötilaa tulee valvoa, jotta muuntaja ei pääse ylikuumentamaan.

Muuntajat 2CT03 ja muuntaja 2CT04 ovat kooltaan 2 MVA. Molemmat muuntajat ovat kytkennältään samanlaisia, Dyn11-kytkennällä olevia.

Muuntajat 2CT01 ja 2CT02 ovat kooltaan 1,25 MVA. Molemmat ovat kytkennältään samanlaisia, Dyn11-kytkennällä olevia.

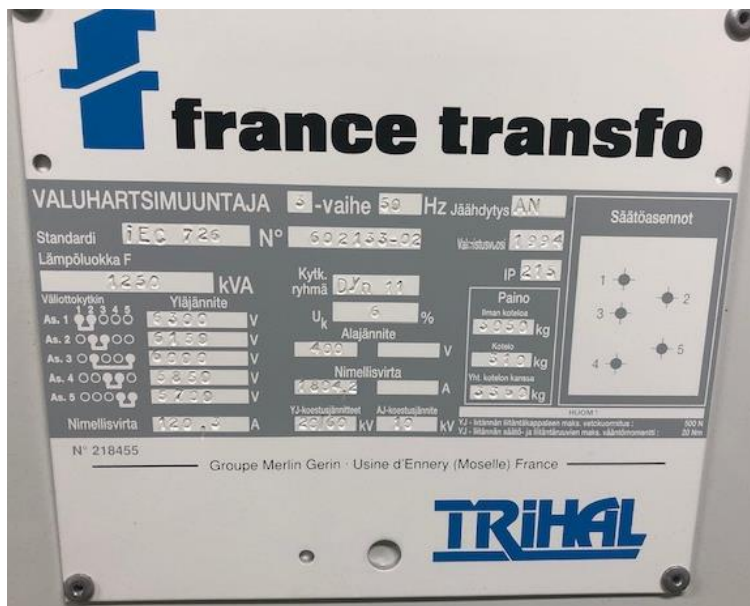
Muuntajan kytkentä Dyn11 tarkoittaa, että ensiöpuoli muuntajasta on kytketty kolmioon ja toisiopuoli kytketty tähteen.

”Kytkenästä aiheutuvaa vaihesiirtoa kuvaamaan käytetään tunnuslukuina kellotaulun tuntilukemia. Tunnusluku on se kellolukema, jolle alajännitteiden (kuvitellut) vaihejännitevektorit asettuvat, kun samannimisen yläjännitevaiheen (kuviteltu) vaihejännitevektori asetetaan näyttämään 12 ”kellotaululla”. Tunnusluku 11 esim. tarkoittaa, että alajännite on 30 astetta edellä yläjännitteestä. Jos jännitevektorit ovat samansuuntaiset, on tunnusluku 0. Tunnusluku kirjoitetaan ko. alajännitekäämityksen kirjainsymbolin jälkeen. Pariton tunnusluku syntyy, jos toisen käämityksen kytkentä on tähti ja toisen joko kolmio tai hakatähti, muut yhdistelmät antavat parillisia tunnuslukuja”. (11.)



KUVA 9. Valuhartsimuuntaja

Tyypikilvestä kuvassa 10 näkee kaikki tiedot muuntajasta, muun muassa valmistajan, valmistusvuoden, muuntajan tehon sekä muuntajan kytkennän.



KUVA 10. Valuhartsimuuntajan tyypikilpi

5.5 Valokaarisuojauksen nykytila

Toppilan voimalaitoksen uudemman kiinteän polttoaineen kattilan pienjännitekeskukset on rakennettu vuonna 1994. Keskukset ovat suljettuja kennokeskuksia, joissa valokaarisuojaus on toteutettu siirrettävällä valokaarisuojalaitteella. Valokaarisuojalaitteen toiminta aiheuttaa 6,3 kV katkaisijan aukeamisen, koska kyseisissä keskuksissa ei ole lainkaan pienjännitekatkaisijaa. Muuntaja syöttää suoraan keskuksia.

Siirrettävä valokaarisuoja liitetään aina siihen keskukseen, missä valokaarisuojausta halutaan käyttää. Edellä mainittuja suojalaitteita ei ole kuin yksi kappale, eli suojauksen saa vain yhteen keskukseen kerrallaan. Kyseisen suojalaitteen valmistus ja tuotetuki on lopetettu jo vuosia sitten, laitteen toiminnasta ei myöskään ole täyttä varmuutta. Valokaarisuojalaitteella ei ole myöskään minkäänlaista testausohjelmaa, jolla varmistettaisiin laitteen varma toiminta. Kuvasta 11 näkee, miten siirrettävä valokaarisuojalaite kytkeytyy sähkökeskukseen.

Valokaarisuojalaite asennetaan pistokeliittimellä keskuksen mittauskennon kaanteen. Laitteen valokaaren havainnointilaitteisto viedään mahdollisimman lähelle työkohdetta. Kyseisessä laitteessa ei huomioida keskuksen virtaa mitenkään, katkaisijan laukaisuun riittää pelkästään valokaariehto. Tällainen suojaustapa, jossa ei huomioida virtaehtoa, aiheuttaa helpommin turhia laukaisuja.

Jokainen työhön kuuluva keskus on varustettu virtamuuntajilla T01-T03 (Liite 3), joita käytetään ilmaisemaan keskuksen läpi kulkeva virta keskuksen kannessa olevilla ampeerimittareilla P01-P03 (Liite 3). Virtamuuntajien muuntosuhde on 2000 A / 5 A, näitä virtamuuntajia hyödynnetään uuden valokaarisuojalaitteistojen virtaehdon toteuttamiseen. Tällä pienennetään kustannuksia ja nopeutetaan asennustyötä.

Tällaisessa suojauksessa on myös riski inhimilliseen erehdykseen: joku voi unohtaa laittaa valokaarisuojalaitteen toimintaan ennen töiden aloittamista. Laite jää myös helposti pienimuotoisissa töissä asentamatta paikoilleen, jolloin sähkötyöturvallisuus huonontuu huomattavasti.

Käytännön haasteita aiheuttaa se, että keskuskeskukset, joissa on mahdollisuus käyttää valokaarisuojalaitteita, ovat eri tiloissa ja eri rakennuksissa. Voimalaitoksen sähkötiloissa työskentelee pääsääntöisesti vain voimalaitoksen omia sähköalan ammattilaisia, mutta satunnaisesti voimalaitoksella työskentelevät tulisi myös perehdyttää laitteiston käyttöön ja kertoa laitteiston sijainti ennen töiden aloittamista.



KUVA 11. Käytössä oleva valokaarisuojalaite

Keskukset ja keskuksien komponentit ovat kohta 25 vuotta vanhoja. Olisi erittäin tärkeää, että tällaisissa keskuksissa olisi toimiva valokaarisuojaus. Nykytilanteessa keskuksissa ei ole normaalissa käyttötilanteessa ollenkaan valokaarisuojaa, eli laite- ja henkilövaurioita ei yritetä minimoida mitenkään. Laitevian sattuessa ei ole muuta suojaa kuin ylivirtasuoja. Liitteessä 3 on keskuksen piirikaavio, josta näkee valokaarisuojan kytkennän ja keskuksen kannessa olevan liitäntäpistokkeen.

6 TARJOUSKYSELY

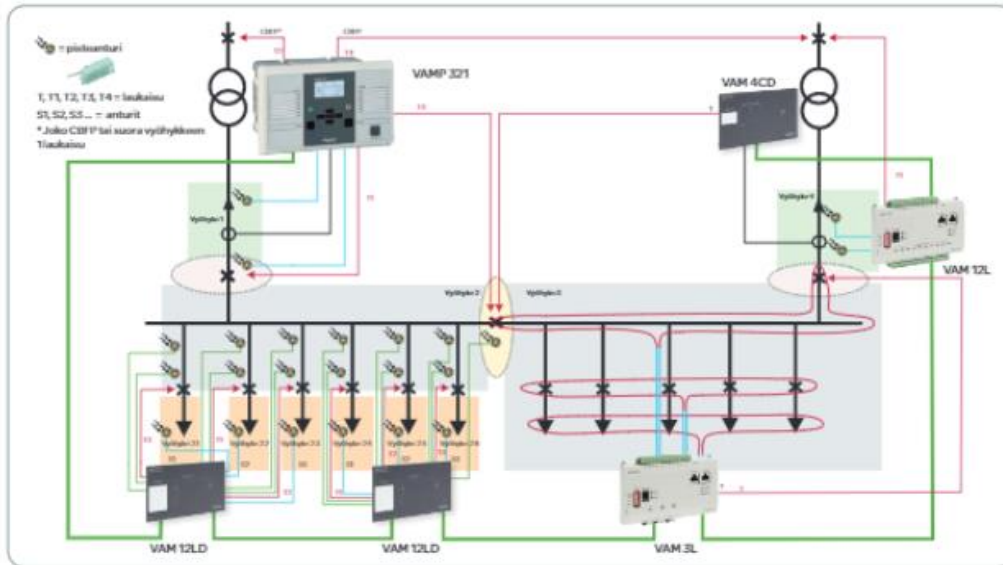
Tässä luvussa käydään läpi tarjouskyselyaineisto ja sen sisältö. Siinä on myös esimerkkikuvien avulla havainnollistettu toteutettavaa suojausta ja annetaan ohjeita tarjousten vertailuun.

6.1 Tarjouskyselyaineisto

Työn tarkoituksen mukaisesti lähdettiin hankkimaan valokaarisuojauslaitteistoa. Tarjouskyselyaineistoon kuuluu jokaisesta keskuksista rakennekuvat, kokoonpanopiirustus sekä komponenttiluettelo, joiden perusteella uusi valokaarisuojaus suunnitellaan. Rakennekuvista ei näy ihan kaikki tarpeellinen, joten tarjouskyselyn tueksi tarvitaan sanallista selvitystä keskuksista. Muun muassa keskusten kennojen väliset suojalevyt eivät käy ilmi rakennekuvista. Tarjouskyselyn liitteenä on myös 6,3 kV katkaisijan kuva, jossa näkyy, miten keskijännitekatkaisijan auki-ohjaus on toteutettu. Tarjouskyselyaineistoa ei salassapitovelvollisuuden vuoksi julkaista tässä opinnäytetyössä.

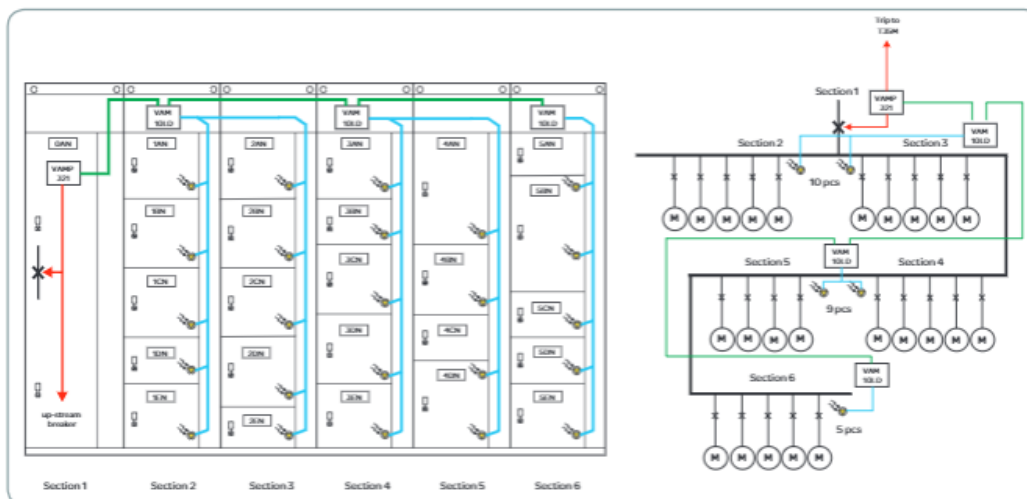
Tarjouspyynnöt lähetettiin sellaisille toimijoille, jotka katsotaan luotettaviksi ja varmoiksi toimijoiksi alalla. Varaosien saatavuus ja tuotetuki tulee huomioida jo tarjouksia pyydetessä. On erityisen tärkeää, millaista laitteiden kanssa toimiminen tulevaisuudessa on kunnossapidon näkökulmasta.

Kuvassa 12 on esimerkkikuva tyypillisestä valokaarisuojauksen toteutuksesta. Kuvassa näkyy valokaarisuojan keskusyksikkö, virranmittausyksikkö, laajennusyksiköjä sekä kahdenlaisia antureita. Kuvassa vasemmalla on kohdeantureita (valoantureita) ja kuvassa oikealla on kuituantureilla toteutettu suojaus.



KUVA 12. Valokaarisuojareleen kytkentäesimerkki (12, s. 4)

Kuvassa 13 esimerkki moottorilähtökeskuksen valokaarisuojauksesta. Tässä esimerkissä valokaarisuojaus on toteutettu kennokohtaisesti valoantureilla, eli jokaisessa kennossa on oma valoanturi.



KUVA 13. Valokaarisuojan kytkentäesimerkki 2 (13, s. 3)

6.1 Tarjoukset ja niiden vertailuperusteet

Tarjouspyynnöt lähetettiin alan johtaville toimijoille, joilla on kyky vastata tarpeeseen nopeasti ja vankka kokemus valokaarisuojuksesta. Tuotteen tulee olla selkainen, jota valmistetaan vielä vuosia asennuksen jälkeenkin ja varaosien saataavuus taataan vielä vuosiksi varsinaisen sarjatuotannon lopettamisesta. Mielestäni alalla on kolme johtavaa toimijaa, jotka täyttävät edellä mainitut kriteerit.

Tarjouksia vertaillessa on otettava huomioon monta erilaista näkökulmaa, yksi tärkein niistä on kunnossapitonäkökulma. Myös laitteen käytettävyys on tärkeä seikka laitteistoa valittaessa. Valitun laitteiston tulee olla elinkaarensa alkuvaiheessa, sekä laitteistolla tulee olla vielä aktiivien tuotekehitys.

Tarjouksia vertaillessa tulee ottaa huomioon kokonaisuus, ei pelkkä laitteiden hankintahinta. Aina halvin tarjous ei ole se paras vaihtoehto, vaan kokonaisuus ratkaisee.

7 TOTEUTUSSUUNNITELMA

Tässä luvussa käsitellään toteutettavaa ratkaisua, aikataulua ja asennuksen aikaisia vaaratekijöitä. Käsitellään aikatauluun vaikuttavia tekijöitä ja pohditaan, miten vaaratekijöitä voitaisiin minimoida.

7.1 Aikataulu

Tämän työn pohjalta valokaarisuojalaitteet päivitetään vastaamaan nykypäivän vaatimuksia laaditun aikataulun pohjalta. Aikataulu on viitteellinen. Muita aikatauluun vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa kesärevision tarkka ajankohta, joka ei ole vielä tässä vaiheessa tiedossa, sekä muut tuotannolliset syyt. Laitteiden saatavuus ja laitteiden toimitusaika myös voi vaikuttaa toteutusaikatauluun. Muita vaikuttavia tekijöitä on laitoksen omien asentajien työtilanne: milloin ehditään asentamaan kyseiset laitteet.

Valokaarisuojaus uusitaan häiriöiden minimoimiseksi yksi keskus kerrallaan. Valokaarisuojauksen modernisointi toteutetaan jännitteettömään keskukseen, mikäli se on mahdollista.

Projektin toteutusaikataulu on seuraava:

- investointi ehdotuksen hyväksyntä joulukuu 2019
- helmikuussa 2020 laitteiden hankinta
- laitteiden toimitus kohteeseen keväällä 2020
- laitteiden asennus kesä-elokuu 2020
- testaus heti asennuksen jälkeen eli kesä-elokuu 2020
- loppudokumentation laadinta elo-lokakuu 2020.

7.2 Toteutettava ratkaisu

Kaikki keskukset ovat rakenteeltaan samanlaisia ja saman valmistajan toteuttamia. Tässä kuvaillaan yleisesti toteutettava ratkaisu. Tarkemmat keskuskohtaiset

työohjeet ovat asennuskuvien mukana. Kolmessa keskuksessa on vain yksi virransyöttösuunta ja yhdessä keskuksessa on kaksi virransyöttösuuntaa. Keskuksessa, jossa on kaksi virransyöttösuuntaa, tulee virranmittaus yksiköitä olla kaksi kappaletta.

Valokaarisuojaus toteutetaan ottaen huomioon kolmivaiheinen virtaeho ja valovoimakkuusehto. Valokaarisuojauksen toimimiseen vaaditaan kohonnut kolmivaiheinen virta ja voimakas valonvoimakkuuden kasvu. Valon voimakkuus kasvaa noin kuusi kertaa voimakkaammaksi kuin auringon valon voimakkuus valokaaritulanteessa. Kaksiosaisella suojauksella varmistetaan se, että valokaarisuojaus ei aiheuta turhia laukaisuja. Valokaarisuojauksessa on sisäänrakennettu omavalvonta, joka ilmoittaa, onko laitteisto kunnossa vai ei. Sisäisestä valvonnasta saadaan ulos kärkitieto, joka viedään pääautomaatiojärjestelmään. Lisäksi valokaarisuojauksen toimimisesta saadaan kärkitieto, joka viedään pääautomaatiojärjestelmään. Pääautomaatiojärjestelmään tehdään valokaarisuojausta varten erillinen valvontasivu, jossa näkyvät kaikki kesukset, joissa on valokaarisuojaus. Valvontasivun kautta käyttäjä voi valvoa, että kaikki valokaarisuojat pysyvät toimintakuntoisena vuorokauden ympäri suojaten kojeistoja ja henkilöstöä.

Valokaarisuojan keskusyksikkö asennetaan leveään kaapelikuiluun c-kiskolla. Leveä kaapelikuilu sijaitsee kakkos- ja kolmoskennojen välissä. Valokaarisuojan keskusyksikölle sähkönsyöttö tuodaan voimalaitoksen varmennetun sähkön jakelukeskukselta. Varmennettu sähkö tuotetaan UPS-laitteiden avulla.

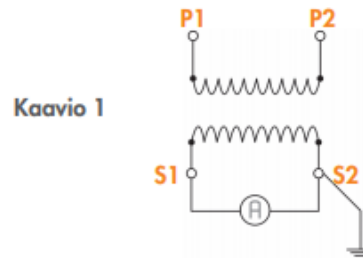
Laajennusyksikkö sijoitetaan keskuksen puoliväliin kaapelikuiluun, jolloin saadaan mahdollisimman lyhyet anturikaapelit.

Virranmittausyksikkö sijoitetaan keskuksen mittauskenttään 02B. Nykyiset virtamuuntajien ensiöpuolen kytkennät on toteutettu tässä kennossa, joten paras mahdollinen virranmittausyksikön sijoituspaikka on samassa kennossa kuin nykyisetkin kytkennät, tällöin päästään mahdollisimman pienillä kytkentämuutoksilla. Kuten kuvassa 14, tulee virtamuuntajan ensiöpuoli maadoittaa, kun toisio liittimet kytketään mittaus- ja suojalaitteeseen.

Kytkentäkaaviot

Virtamuuntajan turvalliset käyttöolosuhteet

- Kun toisioliittimet kytketään mittaus- tai suojalaitteisiin, yksi liittimistä täytyy turvallisuussyistä maadoittaa kaavion 1 mukaisesti.



KUVA 14. Virtamuuntajan toisiopuolen kytkentä (14)

Valoanturit sijoitetaan siten, että keskuksen kaikissa mahdollisissa valokaarivika-tilanteissa valokaarisuoja toimii oikealla tavalla. Keskuksen kiskostoon sijoitetaan kolmen metrin välein valoanturi. Keskuksen kokoojakiskostoon asennetaan myös kolmen metrin välein valoanturi. Kokoojakiskoston anturit näkevät myös kennon puolella pääkytkimen syöttöpuolella syntyvän valokaaren. Jokaiseen kaapelikuiluun asennetaan anturi valvomaan kaapelipäätteiden kuntoa. Kaapelikuilun anturilla on myös toinen tehtävä: mikäli valokaari syntyy esim. moottorikennossa, kaapelikuilun puoleinen anturi näkee valon kaapelien läpivientien kautta. Jokaiseen keskuksen syöttökenttään tulee sijoittaa valoa tunnistava anturi.

7.3 Vaaratekijät laitteita asennettaessa

Vaaratekijöiden minimoimiseksi ensisijainen vaihtoehto olisi, että koko keskus laitettaisiin jännitteettömäksi työn ajaksi. Mikäli koko keskuksen jännitteettömäksi laittaminen ei ole mahdollista, asennuksen voi suorittaa osittain, vaikka keskuksessa olisikin jännite. Tällä saadaan minimoitua katkosaika ja haitta muille tehtaalla työskenteleville. Jännite tulee kuitenkin katkaista viimeistään siinä vaiheessa, kun virtamuuntajat liitetään valokaarisuojaukseen ja keskuksen kiskojen puolelle lisätään valonvoimakkuutta tarkkailevat valoanturit.

Valoantureita asennettaessa tulee keskukseseen porata pieniä reikiä. Poratessa tulee ottaa huomioon, että porauslastut eivät aiheuta vaaraa. Valokaarisuojan keskusyksikkö asennetaan leveään kaapelikuiluun c-kiskolla, tämän työvaiheen voi myös tehdä, vaikka keskus olisikin jännitteinen.

Valoantureiden kaapelit joutuvat pujottelemaan koko keskuksen läpi. Tässä työvaiheessa tulee olla erityisen varovainen, jotta kaapelin pää ei pääse menemään johonkin keskuksen jännitteeseen osaan.

Virtamuuntajien ensiöpuolen virtapiiri täytyy avata ja lisätä tähän virtapiiriin valokaarisuojan keskusyksikköön. Virtamuuntajien ensiöpuolta ei saa avata, mikäli keskus on jännitteinen, muuten virtamuuntaja voi tuhoutua. Tämä toimenpide tulee suorittaa jännitteettömään keskukseen.

8 POHDINTA

Työn tärkein tavoite oli henkilöturvallisuuden parantaminen, tavoitteeseen päästään, mikäli tässä opinnäytetyössä mainitut laitteet hankitaan ja asennetaan suunnitelman mukaisesti. Lisäksi työni on saanut aikaan aiheesta keskustelua ja laitteen hankintaan on jo varattu investointirahaa. Koen että tämän aiheen esille nostaminen jo itsessään laittaa ihmisiä ajattelemaan oman ja muiden turvallisuutta.

Työn aihevalinta osoittautui varsin haasteelliseksi, koska kirjallista aineistoa on varsin vähän saatavilla. Uskon että tuotesalaisuuksien takia kirjallisuutta ei juurikaan ole julkaistu. Toinen haaste oli laitetoimittajien asiantuntijoiden saavutettavuus, tähän aihealueeseen tutustuneita ihmisiä on aika vähän. Koska asiantuntijoita oli vaikea saada kiinni, työn eteneminen hidastui. Keskuksen tutkiminen oli myös vaikeaa, kun keskuksen kaikkia kennoja ei voi aukaista, kun keskuksessa on jännite.

Valokaarisuojan lisääminen jo olemassa olevaan keskukseen on aika haasteellista, jos keskus syöttää jotain prosessia, jota ei voi keskeyttää. Siksi olisikin oleellisen tärkeää ottaa henkilösuojaus huomioon jo keskusta suunnitellessa.

Tällainen kartoitus olisi hyvä tehdä aina aika ajoin jollekin pienelle prosessin osalle. Kartoituksen aikana tuli esille monta asiaa, jotka nostattivat keskustelua ja saivat muutkin miettimään asioita eri näkökulmasta. Löytyi myös toimenpiteitä vaativia kohtia ja komponentteja työn ulkopuolelta. Samalla, kun tutkin tätä valokaarisuojauksen uusintaa, katselin paljon laajemminkin kojeistojen ja laitteiden kuntoa. Tämä työ antaa hyvät valmiudet lisätä valokaarisuojalaitteita muihinkin Toppilan voimalaitoksen pienjännitekeskuksiin.

LÄHDELUETTELO

1. Sähkötekniikan peruskäsitteet. Osa 1 Jännite. Sesko. Saatavissa:https://www.sesko.fi/files/79/Peruskasitteet_osa1_jannitteet_2020.pdf. Hakupäivä 18.1.2020.
2. Sähköala. Sertifioitu vaate suojaa valokaarelta. Saatavilla: http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkoturvallisuus/fi_FI/Sertifioitu_vaate_suojaa_valokaarelta/. Hakupäivä 25.1.2020.
3. Oulun Energia. Saatavilla:<https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia-konserni/konsernin-esittely/historia>. Hakupäivä 18.1.2020.
4. Modulaariset ratkaisut valokaarisuojaukseen. Saatavilla: [https://docplayer.fi/23223746-Vamp-321-modulaariset-ratkaisut-valokaarisuojaukseen-paaominaisuudet.html s.1](https://docplayer.fi/23223746-Vamp-321-modulaariset-ratkaisut-valokaarisuojaukseen-paaominaisuudet.html_s.1). Hakupäivä 25.11.2019.
5. Schneider Electric Oy. Saatavilla:https://new.abb.com/docs/librariespro-vider113/fi_buildingspace_webinars/valokaarisuojaus-ja-relesuojaus.pdf?sfvrsn=2b074d14_2. Hakupäivä 25.1.2020.
6. Elovaara, Jarmo – Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot II. Otatieto Oy.
7. SFS 6002:2015 + A1:2018. Sähkötyöturvallisuus. Suomen Standardisointiliitto SFS ry.
8. SFS-käsikirja 600-1-1. 2017. Yleisvaatimukset. Suomen Standardisointiliitto SFS ry.
9. Kaaren salaman vaaran laskeminen 9 vaiheessa IEEE 1584: n avulla. Saatavilla: <https://crushtymks.com/fi/energy-and-power/482-arc-flash-hazard-calculation-in-9-steps-using-ieee-1584.html>. Hakupäivä: 25.1.2020.
10. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Tukes. Saatavilla: <http://www.varo.tukes.fi/>. Hakupäivä 11.1.2020.
11. Kurki, Heikki. Tehomuuntajat. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavilla:http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/11_Tehomuuntajat.pdf Hakupäivä 19.2020.
12. Schneider Electric Oy. Saatavilla: <https://docplayer.fi/23223746-Vamp-321-modulaariset-ratkaisut-valokaarisuojaukseen-paaominaisuudet.html>. Hakupäivä 12.1.2020.

13. Schneider Electric Oy. Saatavilla: <https://docplayer.fi/23223746-Vamp-321-modulaariset-ratkaisut-valokaarisuojaukseen-paaominaisuudet.html>.
Hakupäivä 12.1.2020.
14. Eurolaite Oy. Saatavilla: https://www.eurolaite.fi/fileadmin/user_upload/eurolaite/pdfs/Esitas/Mittamuuntajien_yleiset_ominaisuudet.pdf. Hakupäivä
6.12.2019
15. IVO international OY. JKI 14.9.1995.