



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# SUOJARELEIDEN UUSINTA- VAIHTOEHTOJEN KARTOITUS

TEKIJÄ/T: Tuomo Karhunen

ESA16SP

|   |                            |
|---|----------------------------|
| Koulutusala<br>Tekniikan ja liikenteen ala  |                            |
| Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma<br>Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma   |                            |
| Työn tekijä(t)<br>Tuomo Karhunen  |                            |
| Työn nimi<br>Suojareiden uusintavaihtoehtojen kartoitus   |                            |
| Päiväys<br>28.05.2020   | Sivumäärä/Liitteet<br>76+4 |
| Ohjaaja(t)<br>Yliopettaja Juhani Rouvali, Lehtori Jari Ijäs   |                            |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)<br>Fortum Power & Heat Oyj, Loviisan voimalaitos  |                            |
| Tiivistelmä<br><p>Tässä opinnäytetyössä on tutkittu 6 kV kytkinlaitoksen suojareiden uusintavaihtoehtoja sekä edellytyksiä jatkaa staattisten suojareiden käyttöä turvallisuusluokitelluissa keskuksissa. Työn tilaajana toimi Fortum Power &amp; Heat Oyj, Loviisan ydinvoimalaitos.</p> <p>Oletetun käyttöluvan jatkamisen myötä Loviisan voimalaitoksella esiintyi tarve kartoittaa kytkinlaitosten keskijännitesuojareiden nykytilanne. Kartoituksen pohjalta syntyi tarve tutkimukselle, josta selviää, mikä on suojareiden osalta kustannustehokasta ja järkevää. Suojareiden vaihtoehtojen tutkiminen tehtiin tarjouspyyntöinä suojarelevalmistajille, joiden vastausten perusteella tehtiin kustannuslaskenta. Lisäksi työssä tutkittiin YVL ohjeen E.7 avulla numeeristen suojareiden kelpoistamista sekä edellytyksiä jatkaa analogisten staattisten suojareiden käyttöä turvallisuusluokitelluissa keskuksissa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena syntyi tutkimusraportti, josta selviää edellytykset jatkaa staattisten suojareiden käyttöä turvallisuusluokitelluissa keskuksissa. Lisäksi tämä raportti tuo tilaajalle esiin valmistajien suojareleasantuntijoiden ehdottaman korvaavat suojareleet ei-ydinturvallisuusluokiteltujen keskuksien vanhojen numeeristen releiden tilalle. Tehdyn teknistaloudellisen kustannuslaskennan myötä tilaaja voi valita heille sopivimman valmistajan suojarelevaihtoehdon tämän opinnäytetyön pohjalta.</p> |                            |
| Avainsanat<br>suojarele, suojareleistys, kelpoistus, kustannuslaskenta  |                            |
|   |                            |

|  |              |                  |      |
|--|--------------|------------------|------|
| Field of Study<br>Technology, Communication and Transport  |              |                  |      |
| Degree Programme<br>Degree Programme in Electrical Engineering   |              |                  |      |
| Author(s)<br>Tuomo Karhunen  |              |                  |      |
| Title of Thesis<br><br>Mapping of Protective Relay Replacement Options   |              |                  |      |
| Date   | May 28, 2020 | Pages/Appendices | 76+4 |
| Supervisor(s)  |              |                  |      |
| Client Organisation /Partners<br>Fortum Power & Heat Plc, Loviisa nuclear powerplant   |              |                  |      |
| <p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of this thesis was to research and map the replacement options for the protective relays of the 6 kV switchyard, as well as the preconditions for continuing the usage of static protective relays in safety classified centers. The thesis was commissioned by Fortum Power &amp; Heat Plc, Loviisa Nuclear Powerplant.</p> <p>With the assumed extension of the operating license, Loviisa Nuclear Powerplant had a need to map the current situation of the medium voltage protective relays of the switchyards. On the basis of this mapping, there occurred a need for a research that shows what is cost-efficient and rational for the replacement of protective relays. The research of protective relay replacement options was carried out as invitations for tenders to protective relay manufacturers. The cost calculations were made based on the answers of manufacturers' tenders. In addition, with the help of YVL Guide E.7, the qualification of numerical protective relays and the conditions for usage of the static relays in safety classified centers were researched.</p> <p>As a result of the thesis, a research report was drawn up. The research report shows the preconditions for continuing the usage of static protective relays in safety classified centers. In addition this report highlights the replacement options for protective relays to the commissioner, based on the manufacturers' protective relay experts proposed products. These products are meant to replace the old numerical relays for non-nuclear safety classified centers. With the techno-economic cost of calculation presented in this thesis, the commissioner can make a decision on which manufacturers' protective relay replacement option is most suitable for them.</p> |              |                  |      |
| <p><b>Keywords</b><br/>Protective relay, relay system, qualification, calculation of costs</p>   |              |                  |      |
|  |              |                  |      |

## ESIPUHE

Tässä opinnäytetyössä on tutkittu keskijännitesuojareiden vaihtoehtoja. Työ on tehty Loviisan ydinvoimalaitokselle, tarkoituksena kartoittaa sopivimmat suojareiden vaihtoehtomallit keskijännite kytkinlaitoksille. Työ toteutettiin Fortum Power & Heat Oyj:n toimesta ja olen uurastanut sen parissa kevään 2020 vaativina aikoina. Toivon, että opinnäytetyöstä on hyötyä Fortumille tulevien suojareiden saneerausten sekä uusintojen yhteydessä.

Haluan kiittää Fortum Power & Heat Oyj:tä sekä Loviisan voimalaitoksen sähkösuunnitteluorganisaation jaospäällikköä Juha Erikssonia mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta, ja kaikesta siitä tuesta, jota olen heiltä opinnäytetyön tekemisen aikana saanut. Opinnäytetyön tekeminen oli suuri ja mielenkiintoinen kokemus, joka kartutti minulle lisää arvokasta tietoa suojareistyksestä sekä Loviisan voimalaitoksesta työympäristönä. Kiitokset kuuluvat myös kaikille niille, jotka ovat vastanneet tarjouspyyntöihin. Erityiskiitokset kuuluvat niin työni ohjaajilleni yliopettaja Juhani Rouvalille ja lehtori Jari Ijäkselle, kuin myös Fortumin valvojalleni vanhemmalle sähkösuunnittelijalle Juha Estolalle. Sain heiltä kaikki tarvitsemani ohjaukset ja opastukset, jotka mahdollistivat sen, että sain opinnäytetyöni valmiiksi.

Kotkassa 28.05.2020

*Tuomo Karhunen*

## SISÄLTÖ

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO .....                                | 7  |
| 1.1   | Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet.....    | 7  |
| 1.2   | Fortum Oyj.....                               | 8  |
| 1.2.1 | Loviisan voimalaitos .....                    | 9  |
| 1.3   | Opinnäytetyön rakenne .....                   | 9  |
| 1.4   | Lyhenteet ja määritelmät.....                 | 11 |
| 1.5   | Tausta-aineistot .....                        | 12 |
| 2     | SUOJARELELAJIT JA TYYPIT.....                 | 13 |
| 2.1   | Tärkeimmät suojarelelait .....                | 13 |
| 2.2   | Sähkömekaaniset releet .....                  | 15 |
| 2.3   | Staattiset releet .....                       | 16 |
| 2.4   | Numeeriset releet .....                       | 17 |
| 3     | SUOJARELE.....                                | 20 |
| 3.1   | Relesuojauksen tavoitteet & periaatteet ..... | 20 |
| 3.2   | Rakenneosat sekä niiden tehtävät.....         | 21 |
| 3.2.1 | Mittamuuntajat .....                          | 21 |
| 3.2.2 | Katkaisija.....                               | 22 |
| 3.2.3 | Apuenergialähde .....                         | 22 |
| 3.2.4 | Hälytys- ja raportointikeskukset .....        | 22 |
| 3.2.5 | Tiedonsiirtoyhteydet.....                     | 23 |
| 4     | NYKYTILANNE.....                              | 24 |
| 4.1   | Turvallisuusluokitellut suojareleet.....      | 25 |
| 4.2   | EYT suojareleet .....                         | 30 |
| 5     | MITTAMUUNTAJAT .....                          | 33 |
| 5.1   | Jännitemuuntaja .....                         | 33 |
| 5.1.1 | Nimelliset arvot.....                         | 33 |
| 5.2   | Virtamuuntajat.....                           | 36 |
| 5.2.1 | Nimelliset arvot.....                         | 37 |
| 6     | SUOJAUKSET .....                              | 40 |
| 6.1   | Oikosulkusuojaus .....                        | 41 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.2   | Maasulkusuojaus.....                                    | 42 |
| 6.3   | Yli- ja alijännitesuojaus.....                          | 44 |
| 6.4   | Moottorisuojaus .....                                   | 45 |
| 6.5   | Valokaarisuojaus.....                                   | 48 |
| 6.6   | Muuntajasuojaus.....                                    | 49 |
| 7     | SUOJARELEVAIHTOEHDOT .....                              | 52 |
| 7.1   | Kriteerit & vaatimukset.....                            | 52 |
| 7.1.1 | Kriteerit & vaatimukset Loviisan voimalaitoksella ..... | 52 |
| 7.1.2 | Suojareleen vaatimukset.....                            | 55 |
| 7.2   | Turvallisuusluokitellut suojarelevaihtoehdot .....      | 55 |
| 7.3   | EYT suojarelevaihtoehdot .....                          | 56 |
| 7.3.1 | ABB.....  | 56 |
| 7.3.2 | Arcteq .....  | 58 |
| 7.3.3 | Schneider Electrics .....                               | 60 |
| 7.3.4 | Siemens .....   | 62 |
| 7.4   | Valokaarisuojauksen vaihtoehdot .....                   | 64 |
| 8     | SUOJARELEIDEN TARKASTELU .....                          | 66 |
| 8.1   | Vikalistaustiedot.....                                  | 66 |
| 8.2   | Edellytykset säilyttää staattiset suojareleet .....     | 66 |
| 8.3   | EYT suojareleiden kustannuslaskenta .....               | 68 |
| 8.4   | Kelpoistus.....   | 69 |
| 9     | POHDINTA.....   | 71 |
| 10    | YHTEENVETO.....   | 72 |
|       | LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....                     | 74 |
|       | LIITE 1: SUOJARELE KAPPALELISTAUS .....                 | 77 |
|       | LIITE 2: VALMISTAJIEN TARJOUKSET .....                  | 78 |
|       | LIITE 3: ARCTEQ TYYPPIMALLISELITYS .....                | 79 |
|       | LIITE 4: HANKINTAKUSTANNUSTAULUKKO .....                | 80 |

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on kartoittaa ja tutkia Fortum Power & Heat Oy:n Loviisan ydinvoimalaitoksen 6 kV pääjakokeskusten suojareleiden uusintavaihtoehtoja. Opinnäytetyöaihe on saatu Loviisan ydinvoimalaitoksen sähkönsuunnitteluorganisaation jaospäälliköltä Juha Erikssonilta. Heillä on tarve saada tieto siitä, mikä on kustannustehokasta ja järkevää suojareleiden mahdollisessa päivittämisessä tai uusimisessa. 6 kV suojareleiden päivitys tai uusinta tulee ajankohtaiseksi, jos Loviisan voimalaitos saa käyttöluvan jatkoajan Loviisa 1:lle vuoden 2027 ja Loviisa 2:lle vuoden 2030 jälkeen. Tämä tarkoittaa, että suojareleiden uusintavaihtoehtojen tarkastelu on tässä vaiheessa tärkeää ja ajankohtaista, jotta voidaan käyttöajan jatkamisen myötä uusien vanhat suojareleet sekä tehdä releiden valinnat tämän opinnäytetyön vaihtoehtojen pohjalta.

Opinnäytetyön toimeksiantajan ollessa Fortum Power & Heat Oyj, ja salassapitosopimuksen myötä, tässä opinnäytetyössä ei esitetä mitään arkaluontoista materiaalia, mitä tulee Loviisan ydinvoimalaitoksen yksityiskohtaisiin tietoihin tai prosesseihin. Sama koskee myös suojareleasantuntijoiden tekemiä tarjouksia, ja niihin liittyviä materiaaleja. Täten kaikkea tietoa tai liitteitä ei ole nähtävissä tässä opinnäytetyöraportissa.

### 1.1 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja kartoittaa onko tulevaisuudessa edelleen edellytyksiä pysyä 6 kV pääjakokeskusten turvallisuusluokiteltujen suojareleiden osalta vielä analogisissa, staattisissa suojareleissä. Mikäli edellytyksiä ei ole, on tarkoituksena tutkia, voidaanko turvallisuusluokitellut releet uusia ohjelmistopohjaisiksi suojareleiksi ja millaiset ovat niiden edellytykset kelpoistamista varten.

Tarkoituksena on myös tutkia EYT suojareleiden päivittämisen tai uusinnan vaihtoehtojen tarkastelua kokonaiskustannuksien kannalta, arvioiden uusinnan yhteydessä tarvittavat muutostöiden laajuudet. Tavoitteena EYT suojareleiden päivityksessä tai uusinnassa on löytää suotuisin toimintamalli, huomioiden elinkaaren pituus.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada järkevä lopputulos ja selvittää sopivimmat vaihtoehdot uusille suojareleille. Lopputuloksen pohjalta voidaan todeta suojareleiden uusinnan järkevyys tai edellytykset pysyä olemassa olevissa analogisissa suojareleissä. Toisena tavoitteena on luoda johdonmukainen ja perusteleva opinnäytetyö johon opinnäytetyön tilaaja sekä tekijä ovat molemmat tyytyväisiä.

Henkilökohtaisena tavoitteenani on oppia ja kehittää omaa tietotaitoa suojareleisiin ja suurjännitekojeistojen komponentteihin ja suojauksiin liittyen.

## 1.2 Fortum Oyj

Fortum Oyj on johtava energiayhtiö Suomessa, jonka pääliiketoimintana on sähkön, kaukolämmön ja -kylmän tuotanto sekä sähkön myynti. Muuna liiketoimintana on voimalaitosten kunnossapito- ja käyttöpalvelut sekä tulevaisuuden älykkäiden energiaratkaisujen tarjoaminen ja asiantuntijapalveluiden tarjoaminen energiayhtiöille ja energiaintensiiviselle teollisuudelle. Fortum tarjoaa myös asiantuntijapalveluitaan energia-alan yrityksille. Fortumilla on pääliiketoimintaa kymmenessä maassa ja yhteensä lähes 8000 työntekijää ja noin 200 voimalaitosta. (Fortum, 2020c).

Fortumin raportointisegmenttejä on 4, ja ne muodostuvat liiketoiminta-alueittain määritellyistä segmenteistä sekä yhdestä maantieteellisen alueen perusteella määritellystä segmentistä. Raportoitavat segmentit ovat Generation, City Solutions, Consumer Solutions ja Russia. (Fortum, 2020d).

Generation -segmentti on vastuussa Fortumin sähköntuotannosta pohjoismaissa. Tuotantoon kuuluvat ydinvoima- vesivoima- ja lämpövoimatuotanto, sähköntuotannon optimointi ja sähkökauppa, markkina-analyysi sekä ydinvoiman globaalit asiantuntijapalvelut. (Fortum, 2020d).

City Solutions -segmentti kehittää kestävästä kaupunkiratkaisuista kasvavaa liiketoimintaa Fortumille. Segmenttiin kuuluvat biopolttoaineet, jätteen energiahyötykäyttö ja kaukolämpö – ja kylmä, sekä muut kiertotalouden ratkaisut. Liiketoiminta sijoittuu Pohjoismaihin, Baltiaan ja Puolaan. Segmenttiin kuuluu myös Fortumin omistusosuus Ruotsalaisesta Fortum Värmestä, joka on 50 %. (Fortum, 2020d).

Consumer Solutions -segmentti kattaa sähkö- ja kaasutuotteiden vähittäismyynnin Pohjoismaissa ja Puolassa, ja kattaa asiakaspalvelun, laskutuksen sekä perinnän. Pohjoismaiden suurimpana sähkön vähittäismyyjänä Fortum ja Consumer Solution segmentti tarjoaa sähkötuotteita ja niihin liittyviä palveluja sekä uusia digitaalisia kuluttajaratkaisuja. (Fortum, 2020d).

Russia -segmentti muodostuu sähkön ja lämmön tuotannosta sekä myynnistä Venäjällä. Segmentti sisältää Fortumin yli 29 % omistusosuuden pääomaosuusmenetelmällä TGC-1 osakkuusyhtiöstä. (Fortum, 2020d).

### 1.2.1 Loviisan voimalaitos



KUVA 1. Loviisan ydinvoimalaitos Hästholmenin saarella (Fortum, 2020a)

Loviisan ydinvoimalaitos on Suomen ensimmäinen ydinvoimalaitos, jossa on kaksi voimalaitosyksikköä, joista ensimmäinen yksikkö (LO1) otettiin käyttöön vuonna 1977, ja toinen yksikkö (LO2) vuonna 1980. Nykyinen käyttöluva loppuu Loviisa 1 voimalaitosyksiköllä vuonna 2027 ja Loviisa 2 -yksiköllä vuonna 2030. Teoreettisesti käyttöikä on mahdollista jatkaa jopa 10 – 20 vuodella, ja käyttöiän jatkamisesta on käynnissä selvitykset. Voimalaitos sijaitsee Loviisassa Hästholmenin saarella, jossa se on tuottanut sähköä hiilidioksidivapaasti jo 40 vuotta. (Fortum , 2020a).

Loviisan voimalaitoksen reaktorit ovat Neuvostoliittolaisia tyypiltään VVER-440 painevesireaktoreita (PWR), joiden lämpötehot ovat n. 1500 MW ja sähkötehon nettotuotanto on laitosyksikkökohtaisesti 507 MW. Voimalaitoksella on yhteensä 4 turbiinia, joiden tehot ovat 280 MW. (Fortum , 2020a).

Loviisan voimalaitos tuotti noin 8,2 TWh, eli noin 10 % sähköntuotannosta vuonna 2019 ja voimalaitoksen yhdistetty käyttökerroin oli 92,4 %, mikä tarkoitti, että kansainvälisessä mittakaavassa se oli painevesilaitosten parhaita. Loviisan voimalaitos työllistää noin 500 Fortumin työntekijää sekä 100 urakoitsijaa vakituisesti. (Fortum , 2020a) (Fortum, 2020b).

### 1.3 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyön rakenne koostuu johdannosta, reletyyppien esittelystä, suojareleiden teoriaosuudesta, nykytilanteen kartoittamisesta, suojareleiden suojauksien osuudesta, uusien suojareleiden vaatimuksista ja vaihtoehdoista, suojareleiden ja valokaarisuojauksen tarkastelusta, kustannuslaskennasta, pohdinnan osuudesta sekä yhteenvedosta.

Johdannon osuudessa kerrotaan yleisesti missä, mistä ja miten opinnäytetyön aihe on saatu. Johdannon osuudessa kerrotaan myös opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet sekä tarvittavat lähtötiedot opinnäytetyön lukemista varten.

Opinnäytetyön aiheeseen tutustuminen ja tutkiminen alkavat käytössä olevien reletyyppien ja nykytilanteen selvittämisellä sekä niiden kartoittamisella. Käytössä olevien reletyyppien esittely, listaus ja nykytilanteen selvitys toimii siis lähtökohtana tämän työn tutkimisen ja kehittämisen kannalta.

Suojareiden teoriaosuus kertoo tarvittavan teorian ja pohjan sille, että ymmärretään, mikä suoja-rele on sekä mitkä ovat relesuojauksen tarkoitukset ja tavoitteet sähkönjakelujärjestelmissä. Teoriaosuus on otettu opinnäytetyöhön myös henkilökohtaisten tavoitteiden saavuttamiseksi sekä rakenteen selkeyden vuoksi.

Suojareiden suojauksien osuudessa käsitellään käytössä olevat suojaukset. Ne toimivat myös suojausvaatimuksina uusille suoja-releille. Tämä tarkoittaa sitä, että uusissa suoja-reiden vaihtoehdoissa tulee huomioida, että niistä löytyisivät vähintään samat suojausfunktiot, kuin olemassa olevissakin releissä, sillä suojauksia ei muuteta.

Uusintavaihtoehdoissa aloitetaan kertomalla suoja-relevaihtoehdoilta halutut kriteerit ja vaatimukset sekä listataan mahdolliset soveltuvat uudet releet. Suoja-reiden tarkastelun osiossa tarkastellaan erikseen turvallisuusluokiteltuja ja EYT suoja-releitä. Tämä helpottaa saatujen tuloksien tulkitsemista.

Opinnäytetyön viimeisenä osiona on pohdinta ja yhteenveto, joissa esitellään opinnäytetyön tekemisen ohella karttuneet ajatukset ja mahdolliset jatkoaihe ideat, joita voisi tutkia lisää, sekä saadut johtopäätökset ja lopputulokset.

## 1.4 Lyhenteet ja määritelmät

kV = Kilovoltti

kA = Kiloampeeri

$I_n$  = Nimellisvirta

I> = Ensimmäisen portaan virta-asettelu, Hidastuksellinen virtalaukaisu

I>> = Releen pika- eli momenttilaukaisun virta-asettelu

EYT = Ei ydinturvallinen, Ei ydinteknisiä vaatimuksia

Oy = Osakeyhtiö

Oyj = Julkinen osakeyhtiö

VVER = Vodo-Vodyanoi Energetichesky (painevesi-reaktorityyppi)

PWR = Pressurized Water Reactor, painevesireaktori

MW = MegaWatti

TWh = TeraWattitunti

MVA = Megavoltiampeeri (näennäisteho)

ABB = Asea Brown Boveri

BBC = Brown Boveri

YVL = Ydinvoimalaki

STUK = Säteilyturvakeskus

IED = Intelligent Electronic Device (älykäs elektroninen laite)

REF = Restricted Earth Fault (rajoitettu maasulkuvika)

TL = Turvallisuusluokka

CPU = Central Processing Unit (keskusyksikkö/prosessori)

## 1.5 Tausta-aineistot

Tausta-aineistoiksi sain Loviisan voimalaitoksen varaosainsinööriltä käytössä olevista 6 kV suojareleista Excel-listan, josta nähdään suojareleiden tyypit, kappalemäärät, tunnuksset, kennot, sarjasekä laitenumerot, jotka sisältyvät tähän opinnäytetyöhön. Excel-lista nykyisistä suojareleistä on nähtävissä liitteessä 1.

Lisäksi taustamateriaaliksi soveltuu Sähköisestä arkistosta löydetyt J-sarjan suojareleiden uusintojen asennussuunnitelmat vuosilta 2015 - 2017 molemmille laitosesyksiköille.

Käytössä olevista suojareleistä löytyy myös runsaasti sähköisessä muodossa olevia teknisiä dokumentteja ja manuaaleja Loviisasta.

Paperisessa muodossa sain myös molempien laitosesyksiköiden releiden suojauskaaviot sekä kytkinlaitoksen keskuksien pääkaaviot tausta- ja tukiaineistoksi. Lisäksi sähköisestä arkistosta on löytynyt muita dokumentteja, joita on käytetty tausta-aineistona.

## 2 SUOJARELELAJIT JA TYYPIT

Suojareleiden valinnassa tarpeellisia asioita ovat:

- Sopivat nimellisarvot mittamuuntajien ja muiden toisilaitteiden kanssa
- asettelualueet
- releen toimintatarkkuus ja virhe
- releen tehonkulutus, joka vaikuttaa mittamuuntajan taakkaan
- koskettimien toimintatapa, lukumäärä ja niiden kuormitettavuus
- dynaaminen sekä terminen kestoisuus
- toiminta-arvo (releen mitattu aika, jolla se siirtyy lepotilasta toimintatilaan)
- palautumisarvo (releen mitattu aika, jolla se siirtyy toimintatilasta lepotilaan)
- palautumissuhde (releen kyky palautua vian poistuessa ennen kytkemistä)
- toimintakarakteristika
- toiminta-aika
- toimintamerkit, eli ilmoitukset
- aikahidastus
- apusähkön laatu ja tarve
- ympäristön olosuhteet
- häiriönsietokyky ja jännitekestoisuus
- koestettavuus
- huolto
- hinta (Mörsky, 1993).

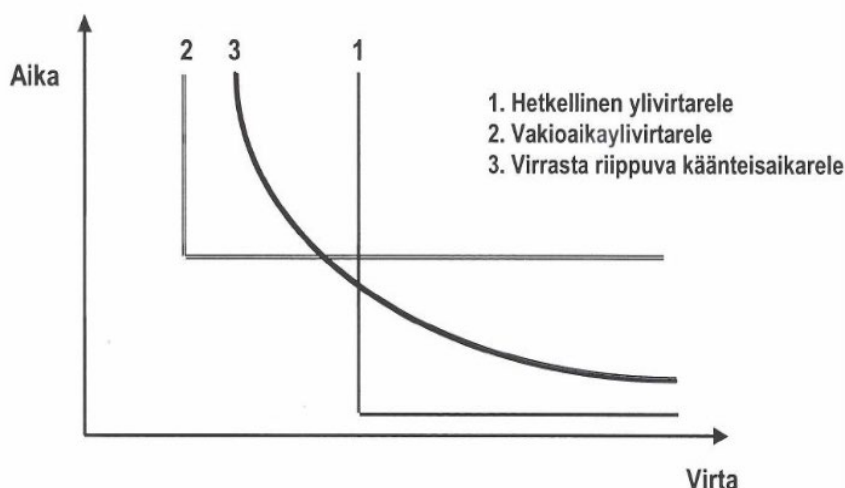
Loviisan voimalaitoksella on tällä hetkellä käytössä 6 kV pääjakokeskuksilla kolmenlaisia suojarelelajeja. Käytössä on niin vanhoja sähkömekaanisia BBC:n suojareleitä, kuin myös staattisia Strömbergin (ABB:n) suojareleitä. Lisäksi EYT järjestelmissä ohjelmistopohjaisia numeerisia suojareleitä, jotka olivat alun perin Alstomin/Arevan valmistamia, mutta ovat nykyään Schneider Electricsin tuotteita.

### 2.1 Tärkeimmät suojarelelajit

Relesuojauksessa käytettävät tarpeellisimmat lajit voidaan jakaa mitattavien suureiden mukaan:

- Ylivirtareleet
- ali- ja ylijännitereleet
- taajuusreleet
- tehoreleet
- epäsymmetriareleet
- vertoreleet
- ali-impedanssireleet. (Laiho, 2007) (Mörsky, 1993).

Ylivirtareleet ovat yksisuurereleitä, jotka mittaavat virtaa ja ne toimivat suojattavassa kohteessa oikosulkusuojina tai ylikuormitussuojina (lämpöreleinä). Oikosulkusuojina käytettäviä ylivirtareleitä voidaan toiminnallisuuden kannalta jakaa hetkellisiksi ylivirtareleiksi, vakioaikaylivirtareleiksi sekä käänteisaikaylivirtareleiksi. Hetkellinen ylivirtarele toimii viiveettä heti, kun virta-asettelu ylitetään. Vakioaikaylivirtareleillä toiminta perustuu virran virta-asettelun ylitykseen sekä aika-asettelun ylitykseen, joiden molempien toteutuessa rele toimii. Ko. releessä voidaan siis asettaa releen havahtumisesta laukaisuun kuluva aika. Käänteisaikaylivirtarele toimii sitä nopeammin, mitä suurempi ylivirta on kyseessä. Releitä on monia erityyppisiä toimintahitauten virtariippuvuuden voimakkuuden suhteen. (Laiho, 2007) (Mörsky, 1993).



KUVA 2. Ylivirtareleiden toimintakarakteristikoita (Särkkä Marko, 2007. Kuva alun perin J. Mörsky, 1993)

Jännitereleet toimivat jännitteen ylittäessä tai alittaessa asetellun arvon. Alijännitereleitä voidaan tarvittaessa aikahidastaa, ja niitä käytetään yleisesti moottorisuojauksessa alijännitteitä vastaan ja tasasähkökeskusten jännitteen valvontaan. Ylijännitereleitä käytetään yleisesti moottorien ja tahtigeneraattorien ylijännitesuojauksessa vaarallisia ylijännitteitä vastaan, ja tahtigeneraattorin tapauksessa ylijännitereleitä käytetään myös ryntäämissuojana. Lisäksi ylijännitereleitä voidaan käyttää maasulussa esiintyvän nollijännitteen mittauksessa. (Laiho, 2007) (Mörsky, 1993).

Taajuusreleet toimivat verkon taajuuden laskiessa tai noustessa yli asetellun arvon. Taajuusreleiden sovellutuksia ovat tahtigeneraattoreiden suojaus (nopeudensäätäjän vioittuminen taajuuden liiallisen nousun takia), kuormien irtikytkeminen sekä takaisinkytkeminen sekä valtakunnallinen tehonvajaussuojaus kantaverkossa. (Laiho, 2007) (Mörsky, 1993).

Tehoreleet mittaavat suojattavan kohteen jännitteen ja virran hetkellisarvoja sekä myös näistä johdettuja pätö-, lois- tai näennäistehoja. Rele toimii, kun asetellut arvot ylitetään tai alitetaan. Tehoreleiden sovellutuksia ovat suunnatussa maasulkusuojauksessa vian paikannus sekä tahtigeneraattorisuojauksessa takatehosuojauksena toimiminen. Takatehosuojauksista käytetään estämään generaattorin toimimista moottorina. (Laiho, 2007) (Mörsky, 1993).

Kolmivaihejärjestelmän kuormitus tulee epäsymmetriseksi eli vinoksi, kun sen virtaan muodostuu myötäkomponentin lisäksi vastakomponentti, joka aiheuttaa mm. pyörivissä koneissa lisähäviöitä ja lämpenemistä. Epäsymmetriareiden (vinokuormitusreiden) toiminta perustuu erikoiskytkentöihin, joilla kolmivaihejärjestelmän jännitteistä ja virroista pelkistetään vastakomponentti. Näitä releitä käytetään tärkeiden koneiden suojauksessa roottorille vaarallisia jännite- ja virtaepäsymmetrioita vastaan. (Mörsky, 1993) (Laiho, 2007).

Vertoreleiden toimintaperiaatteena on verkon eri kohdissa kulkevien tehojen tai virtojen vertailu. Vertailun kohteena voivat olla mm. itseisarvot, vaihekulmat tai summavirrat. Vertoreleet muodostavat absoluuttisesti selektiivisen suojauksen mutta ne tarvitsevat muita releitä varasuojaukseen. Mittauspisteiden perusteella vertoreleet voidaan jakaa pitkittäis- ja poikittaisvertosuojiin. Vertoreleet sopivat muuntajien, johtojen, kiskojen ja generaattorien suojaukseen. Differentialirele on yksi esimerkki vertoreleestä. (Laiho, 2007) (Mörsky, 1993).

Ali-impedanssirele toimii mitattavan impedanssiaan alittaessa asetteluarvon. Ali-impedanssireleen toiminta perustuu releen ja vikapaikan väliseen impedanssin mittaukseen sekä vikapaikalla esiintyvien virtojen ja jännitteiden mittaukseen. Tärkein ali-impedanssirele on yleisesti johtosuojauksessa käytettävä distanssirele, joka kykenee paikantamaan etäisyyden vikapaikkaan. (Laiho, 2007).

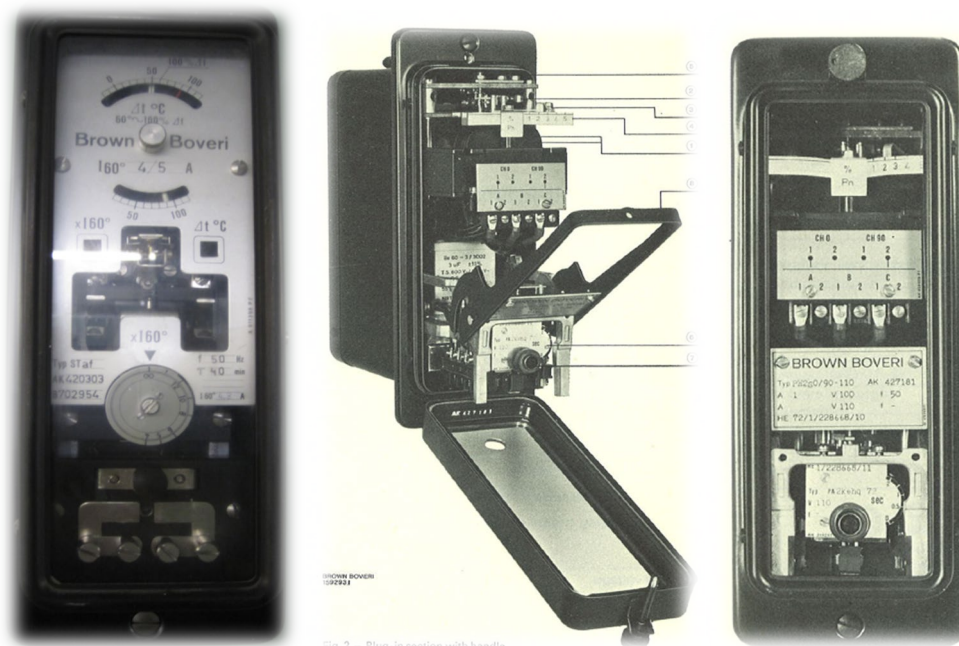
## 2.2 Sähkömekaaniset releet

Sähkömekaaniset suojareleet olivat markkinoilla ensimmäisiä suojareleitä ja ne olivat suoraan suojattavan kohteen päävirtapiiriin kytkettäviä ensiö- eli primäärireleitä. Ne vapauttivat virran asetteluarvon ylittyessä välitangon avulla katkaisijan laukaisujousen. Parempaan teknistaloudelliseen tulokseen päästään kuitenkin mittamuuntajien avulla toisioon liitettävillä sekundääri- eli toisiosuojareleillä. toisin kuin ensioreleitä, toisireleitä voidaan koestaa käytön aikana. Sähkömekaaniset releet ottavat kaiken toimintaansa tarvittavan energian mittamuuntajista, joten ne eivät tarvitse erillisiä apuenergiälähteitä. Tästä syystä mittamuuntajille aiheutuva taakka saattaa kasvaa useisiin kymmeneen voltiampeereihin. Eniten tästä on haittaa virtamuuntajien toistokyvyille, kun suojattavan kohteen vikavirrassa esiintyy tasakomponenttia. Toisaalta sähkömekaaniset releet eivät ole herkkiä ulkoisille häiriöille suuren taakkansa vuoksi. (Mörsky, 1993).

Mekaaniset releet ovat yksivaiheisia, mittaustyyppiltään tehollisarvoa mittaavia koneistoja, jotka toimivat hitaasti, liikkuvien mekaanisten osien takia. Mekaanisilla releillä ei ole mahdollista mitata hetkellisiä arvoja ja tasakomponentti voi aiheuttaa releen toiminnan asetteluja pienemmilläkin arvoilla. Yksisuurereleiksi mekaaniset releet ovat helppoja asetella ja tarpeeksi tarkkoja, mutta tarkempi, vinokuormitus- ja ylikuormitussuojauksien toteuttaminen näillä releillä on vaikeaa. (Mörsky, 1993)

Muutamiin sovellutuksiin mekaanisten releiden asettelutarkkuus on riittämätön ja niitä on vaikea saada riittävän herkiksi. Maasulkusuojausta varten on rakennettu erikoisherkkiä releitä, mistä aiheutuu niiden huono terminen kestoisuus ja se, että ne eivät saa täten olla jatkuvasti toimineena. (Mörsky, 1993).

Mekaanisissa releissä on monta liikkuvaa osaa, jotka vaativat runsaasti huoltoa, mutta säännöllisesti huollettuna ne toimivat suhteellisen luotettavasti ja niiden elinkaari on pitkä, jopa vuosikymmeniä. (Mörsky, 1993).



KUVA 3. Sähkömekaaninen BBC suojarah. (BBC suojarah-esite, 1977)

### 2.3 Staattiset releet

Staattiset releet ottavat tyypillisesti apuenergiansa erillisestä apusähkölähtöstä, joten mittauspiirin kuormitus jää hyvin vähäiseksi, tyypillisesti 0,5 VA, 5 A nimellisvirralla. Apusähköön kulutus staattisilla releillä on luokkaa 3 W lepotilassa ja 8 W toimineena. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Staattisessa releessä voidaan lähtöreleenä käyttää apurelettä, jossa on riittävästi koskettimia laukaisua ja hälytystä varten, koska rele ottaa apuenergiansa erillisestä apuenergiälähteestä. Erillisiä välireleitä ei tarvita, joten lähtökoskettimilla voidaan suoraan ohjata katkaisijaa. Varsinkin nopeissa releissä tämä on tärkeää, koska välireleet saattaisivat hidastaa suojausta jopa 20 - 40 ms. Differentiaalireleen tai ylivirtareleen pika- eli momenttilaukaisun yhteydessä tämä merkitsi releiden toimintajan kaksinkertaistumista, mitä ei välttämättä voida sallia. (Mörsky, 1993).

Staattisista releistä voidaan tehdä huomattavasti tarkempia ja nopeampia kuin mekaanisista releistä. Staattisten releiden asettelualueet ovat lisäksi laajemmat. Suurimman asetteluarvon suhde pienimpään asetteluarvoon, toisin sanoen releen dynamiikka, voi tarkkuuden heikentymättä olla kymmenen. (Mörsky, 1993).

Staattiset releet tulivat markkinoille jo 1960-luvulla ja ne voidaan toteuttaa joko analogia- tai digitaalitekniikkaa hyödyntäen. Digitaalitekniikan käyttäminen ei kuitenkaan merkitse mikroprosessoriin perustuvaa relettä, jolloin puhutaan numeerisesta releestä. (Mörsky, 1993). Ydinvoima-alalla numeerisesta releestä käytetään myös termiä ohjelmistopohjainen rele.

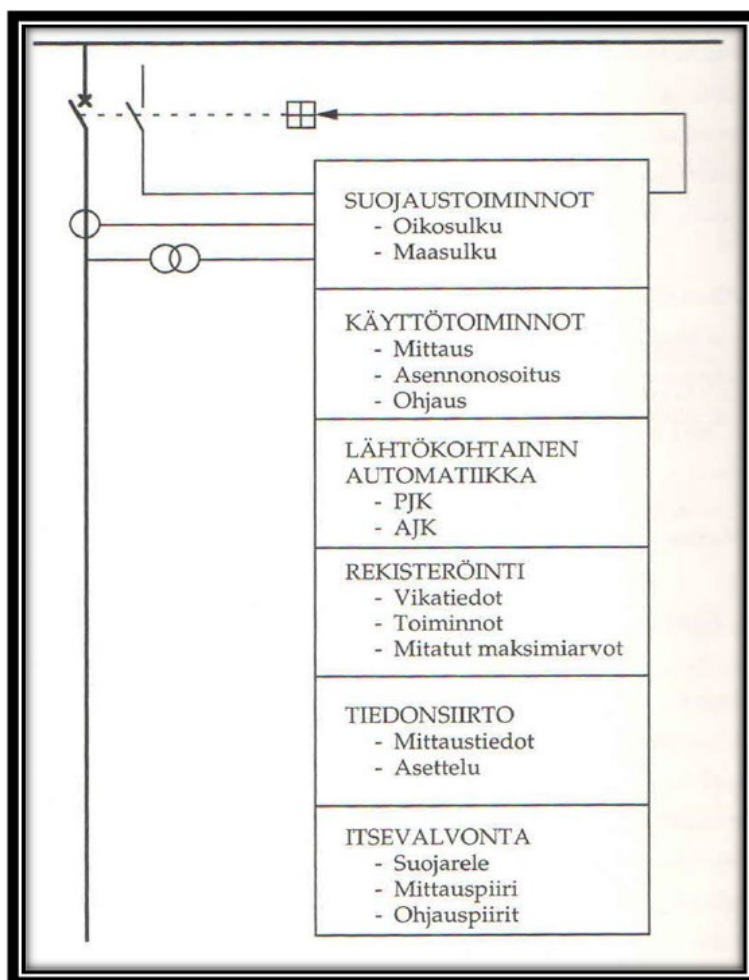


KUVA 4. Staattisia Strömbergin suojarleitä Loviisan kytkinlaitoksella

## 2.4 Numeeriset releet

Numeerisissa releissä (ohjelmistopohjaisissa releissä) tietoa käsitellään numeerisessa eli digitaalisessa muodossa. Analoginen mittaustieto muutetaan A/D muuntimella digitaaliseen muotoon. Varsinainen mittaus- ja suojaustoimintojen toteutus on tehty mikroprosessorin avulla. Numeeristen releiden toimintatarkkuus ja pitkän ajan stabiilisuus ovat hyvät. Asettelumahdollisuudet ovat hyvin monipuoliset ja ne ovat digitaalisesti luettavissa ja usein digitaalisesti myös aseteltavissa. Numeeristen releiden monipuolisuutta lisäävät releiden sisältämät loogiset toiminnot, joiden avulla releet voidaan integroida moniin erilaisiin käyttösovelluksiin. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Mikroprosessorien myötä digitaalinen signaalinkäsittely on syrjäyttänyt aiemmat staattisten suojarleiden toteutustekniikan. Ensimmäisen sukupolven prosessorireleille tai numeerisille releille oli ominaista suojauskohteen eri suojaustoimintojen integroiminen samaan suojarleeseen. Tällöin esimerkiksi johtosuojasta on integroitu oikosulkusuoja, maasulkusuoja ja jälleenkytkentärele. Releestä ulos lähtevät tiedot olivat pelkkiä kosketintoimintoja. (Mörsky, 1993).



KUVA 5. Kennoterminaalikuviot johtosuojauksessa. (Keskisarja Janne, 2016. Kuva alun perin J. Mörsky, 1993)

Numeeristen releiden tunnusomaisin piirre on itsetestaus. Sen tehtävä on kaksitasoinen. Sen avulla valvotaan releen olevan toimintakuntoinen ja, että epäkuntoinen rele ei aiheuta virhetoimintaa. Erillinen valvontapiiri (watch dog) tarkkailee prosessorin toimintaa jatkuvasti. Mikäli prosessori ei lähteä säännöllisiin väliajoin pulssia valvontapiirille, antaa valvontapiiri välittömästi eston releen ulostulolle ja yrittää elvyttää prosessoria uudelleen käynnistämisen avulla. Tämän toiminnon ansiosta suojattavassa kohteessa ei voi olla käyttäjän tietämättä pysyvästi vikaantunutta suojarelettä, joten itsetestauksella voidaan sanoa olevan merkittävä vaikutus käytettävyyteen ja suojaukseen. (Mörsky, 1993). Toisen sukupolven numeerisille suojareleille on ominaista myös muun tiedon välittäminen kosketintietojen välityksen ohella. Tällöin tiedonkulusta tulee kaksisuuntaista: rele vastaanottaa asettelu- ja ohjaustietoja sekä niiltä voidaan lukea haluttuja tietoja, kuten tila-, asettelu- ja mittaustietoja. tällöin suojarele toimii tiedonkeruuyksikkönä muille järjestelmille sen suojaustoimintojen rinnalla. Tämän kaksisuuntaisen tiedonkulun takia puhutaankin yleensä suojareleen sijaan kennoterminaalista. (Keskisarja, 2016), (Mörsky, 1993).

Mikroprosessorien ansiosta suojareleet pystytään tehdä toiminta-ajoiltaan erittäin tarkkoiksi ja nopeiksi kideohjatun kellon avulla, sekä ne voidaan rakentaa ominaisuuksiltaan monipuolisiksi. Tällöin

yksi numeerinen rele voi soveltua moneen eri suojauskohteeseen tinkimättä suojauksen tasosta. Esimerkkinä ylikuormitussuoja, johon voidaan liittää samaan lämpöreleeseen useita eri lämpenemiskäyrätyyppejä antaen ylikuormitussuojaukselle optimaalisen soveltuvuuden eri käyttökohteille. Sama rele voi vastaavanlaisesti toimia oikosulkuvirta- epäsymmetria- tai maasulkureleenä. (Mörsky, 1993).

Nykyään releen tai kennotermiinin asettelut voidaan tehdä myös tietokoneen avulla, mikä nopeuttaa asetteluiden tekemistä sekä vähentää virheiden mahdollisuuksia. Releessä olevan näytön avulla nähdään releen mittaamat arvot absoluuttisina arvoina normaalissa käyttötilanteessa sekä käytössä olevat asetteluarvot. Usein aikaisemmin erilliset mittarit ja suureiden indikaattorit voidaan nyt korvata releen näytöllä. Näytön avulla voidaan myös osoittaa suojattavan kohteen katkaisijat, erottimet sekä niiden kytkeytymiset ja reaaliaikaiset kytkentätilat. (Mörsky, 1993).



KUVA 6. Numeerinen suojarele, Siemens Siprotec 7SJ8021 & Micom P126 maasulkurele (Schneider Electrics, 2011)

### 3 SUOJARELE

Mittalaitteet ja sen kaltaiset laitteet, jotka tarkkailevat sähköverkon suureita, ja jotka voivat havaita verkon epätavallisia tiloja kuten eristysvauriot tai ylikuormittumisen, kutsutaan suojarieleiksi.

Kun suojarieleen tarkkailema suure poikkeaa asetteluista, tulkitsee rele tapahtuman epätavalliseksi, jonka seurauksena yleensä katkaisija irrottaa viallisen verkon osan terveestä sähköverkosta suojarieleen antaman kosketintietojen ohjauskäskyn avulla. Releen tehtävänä on muutoksen aikaansaaminen eli kytkentävirikkeenä toimiva ohjauksen tai merkinannon antaminen toiselle laitteelle samassa tai toisessa sähkövirtapiirissä. (Mörsky, 1993).

Tavallisesti suojariele rakentuu kolmesta elimestä, jotka ovat havahtumis-, mitta- ja aikaelin. Suojarieleen asettelun poiketessa suojariele havahtuu, jolloin aikaelimen ajan ja toiminta-ajan jälkeen katkaisija saa ohjauskäskyn, jota voidaan myös tarvittaessa hidastaa, ja katkaisija erottaa sen perässä olevan verkon osan irti sähköverkosta. (Laiho, 2007).

Suojarieleiden varsinainen tehtävä ei ole vikojen tai häiriöiden torjuminen, vaan niiden avulla koetetaan tunnistamaan viat ja häiriöt mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Poikkeuksena mainittakoon sähköverkon stabiilisuuden ylläpito, jolloin laajan sähköverkon häiriön ennaltaehkäisy pyritään toteuttamaan nimenomaan luotettavalla relesuojauksella. (Mörsky, 1993).

#### 3.1 Relesuojauksen tavoitteet & periaatteet

Sähköverkossa esiintyviä vikatilanteita, kuten esimerkiksi maasulkuja, oikosulkuja, ylikuormituksia yli- ja alijännitteitä sekä johdinkatkoksia varten tärkeät rakennukset, kuten voimalaitokset, kytkinlaitokset ja sähköasemat varustetaan suojalaitteilla, joista osan muodostavat suojarieleet. Suojarieleet valvovat sähköverkon tilaa ja suorittavat luotettavasti ja nopeasti automaattisia kytkentöjä poikkeuksellisen ilmiön poistamiseksi ja laitteiden vikaantumisen estämiseksi. (Mörsky, 1993).

Relesuojauksella on yleiset täytettävät vaatimukset, ja ne ovat:

- Toiminnan selektiivisyys siten, että vain mahdollisimman pieni osa verkosta erotetaan
- tarpeeksi nopeasti ja herkästi toimivuus häiriöiden aiheuttamien vahinkojen minimoimiseksi
- suojattavan järjestelmän kokonaisuuden kattava suojaus
- mahdollisimman yksinkertainen käyttövarma ja käytettävyydeltään hyvä
- suojauksen koestus on voitava tehdä myös käyttöpaikalla
- hankintakustannusten suojauksen osalta on oltava kohtuullinen (Mörsky, 1993) (Laiho, 2007).

Katkaisijat, ja niitä ohjaavat suojarahleet muodostavat suoja-alueita. Johdot, muuntajat, moottorit ja generaattorit voivat esimerkiksi olla sellaisia suoja-alueita. Jos rele toimii ainoastaan omalla suoja-alueen sisällä tapahtuvissa vioissa, sanotaan suojausta absoluuttisen selektiiviseksi. Lisäksi, jos suoja-alueet kattavat osittain toistensa alueita, kutsutaan suojausta aukottomaksi. Tämä lisää suojausten luotettavuutta sekä käyttövarmuutta, sillä aukottoman suojausten tapauksessa toinen rele toimii varasuojauksena toiselle releelle, jos toinen rele vikaantuu tai ei kykene poistamaan vikaa. (Mörsky, 1993).

Ominaisuutta havaita vika suoja-alueen ulkopuolella toimimatta, sanotaan suojarahleen selektiivisyydeksi. Selektiivisyyttä on kahdenlaista, aika- sekä virtaselektiivisyyttä. aikaselektiivisyys tarkoittaa, että eri suojarahleet toimivat saman vian aikana eriaikaisesti aika-asettelujen mukaan. Virtaselektiivisyys taas tarkoittaa, että rele havahtuu vasta asetellun virran ylittyessä, joten jos esimerkiksi kahdessa suojarahleessa on eri virta-asettelut, voidaan niitä sanoa virtaselektiivisiksi, koska havahtuminen tapahtuu eri virran arvoilla. (Mörsky, 1993).

Vikojen huomaaminen sekä vika-alueen rajaaminen mahdollisimman pieneksi on suojarahleen päätehtävä. Joidenkin suojarahleiden tehtävänä on myös mahdollisten vikojen ja häiriöiden ennalta ehkäisy ja ennakoiminen. Tällaisia releitä ovat mm. epäsymmetria-, ylikuormitus- ja muuntajan kaasureleet. (Mörsky, 1993).

## 3.2 Rakennneosat sekä niiden tehtävät

Suojarahleet tarvitsevat toimiakseen avuksi muita komponentteja, jotta ne kykenevät suoriutumaan tarkoituksenmukaisista suojaustehtävistään. Tällaisia suojarahleiden tarvitsevia komponentteja ovat mittamuuntajat, katkaisijat, apuenergialähteet, hälytys- ja raportointikeskukset sekä mittaus-, laukaisu- ja tiedonsiirtoyhteydet. (Mörsky, 1993).

### 3.2.1 Mittamuuntajat

Laitteet, jotka muuntavat sähköverkon primäärisuureet, kuten jännitteet ja virrat suojarahleille sopiviksi, sanotaan mittamuuntajiksi. Mittamuuntajia ovat virta- ja jännitemuuntajat. Suojarahleet ovat työvälleinä kuin mittareita, jotka ovat standardoitu tietyille jännitteille ja virroille. Osittain standardoinnin takia, selviydytään harvoilla ja pienikokoisilla releillä hyvinkin suurista ja erilaisista sähköverkkojen suojauksista mittamuuntajien ansiosta. (Mörsky, 1993).

### 3.2.2 Katkaisija

Katkaisija on suurjännitteellä käytettävä sähköverkon primääripiirin osa, joka hoitaa sähköverkon osan kytkemisen ja erottamisen sulku- ja avauskoskettimiensa välityksellä. Suojareleet ohjaavat katkaisijoiden toimintaa, kosketintietojensa avulla ohjauskäskyn muodoissa. Katkaisija kykenee suorittamaan kaikki tarpeelliset kytkentätoimenpiteet kyseisessä kohdassa sähköverkkoa virrallisena. Katkaisijan tehtävänä on katkaista tai kytkeä sähköverkon osalle sähköt, oikea-aikaisesti. Tämä tapahtuu suojareleen apuenergiälähteestä saatavan apujännitteen avulla, jonka suojarele antaa katkaisijan auki- tai kiinnityskelalle. (Mörsky, 1993).

### 3.2.3 Apuenergiälähde

Suojareleiden ohjauskäskyjännitteen antoon katkaisijalle auki- tai kiinnitoiminnon tekemisen varmistamiselle vikatilanteidenkin aikana tarvitaan apuenergiälähteitä. yleensä apuenergiälähteenä toimii tasasuuntaajalla syötetty akusto, joka varmistaa apujännitteen olemassaolon myös sähkökatkojen aikana. Apuenergiälähde on merkittävä osa apusähköjärjestelmää, jonka tärkeimpänä tehtävänä on relesuojauksen kokonaisuuden täydentämisen muodostaminen sähkötarpeen osuudelta. (Mörsky, 1993).

### 3.2.4 Hälytys- ja raportointikeskukset

Jotta vika- ja häiriötilanteista saataisiin mahdollisimman luotettavasti ja nopeasti oikeanlainen kuva, tarvitaan relesuojauksessa hälytys- ja raportointikeskuksia. Toimintatietojen kerääminen on erittäin tarpeellista varsinkin jos, releitä on useita sekä valtavia määriä eripuolille sijoiteltuna tarkasteltavassa kohteessa. Tällöin on tarpeellista ja hyödyllistä, että tapahtumien analyysi ja raportointi voidaan hoitaa reaaliaikaisesti. Tähän tilanteeseen päästään lisäämällä hälytys- ja raportointikeskukset relesuojauksen piiriin. (Mörsky, 1993).

Perinteinen hälytyskeskus on varusteltu valo- ja äänimerkkien avulla. Ääni antaa yleishälytyksen ja valo indikoi, mistä hälytyksestä on kysymys. Nykyaikainen hälytyskeskus sisältää lisäksi raportointi- ja tiedotusyksiköt, joilta saadaan tapahtumat järjestyksessä aikaleimalla varustettuna näyttöpäätteelle tai kirjoittimelle. Lisäksi nykyaikaisen hälytyskeskuksen voidaan sanoa integroineen aikaisemmin erillä olleet mittaus-, suojaus-, valvonta- ja tietoliikennetoiminnot. Hälytyskeskus tulee liittää kaukokäyttö- ja automaatiojärjestelmään, jolloin kaukana olevaa kohdetta voidaan valvoa ja ohjata. (Mörsky, 1993).

### 3.2.5 Tiedonsiirtoyhteydet

Komponenttien välisiä johdotuksia tarvitaan luonnollisesti relesuojauksen muodostamassa kokonaisuudessa, (Mörsky, 1993). Näitä johdotuksia voivat olla releiden ja mittamuuntajien sekä releiden ja katkaisijoiden väliset johdotukset. Näiden lisäksi tärkeä johdotus on väyläkaapelointi suojareleiltä valvomoon. Tämä mahdollistaa suojareleiden tila- ja tapahtumatietojen etäluennan reaaliaikaisesti sekä myös releiden asettelun kaukokäyttöisesti tietokoneilla.

Johdotukset eivät enää nykyään rajoitu relesuojauksessa paikallisiksi, vaan ne käsittävät koko relesuojausta kattavat alueet ja niiden tiedonsiirtoyhteydet sekä alueen ulkopuoliset mittaus- ja kytkentätietoja siirtävät tietoliikennyhteydet. Tiedonsiirtoyhteyksien ja tietokoneiden avulla relesujaustekniikasta on tullut integroitunutta tekniikkaa jopa kansainvälisesti. (Mörsky, 1993).

Strömbergin staattisilla releillä voidaan toteuttaa elektroniikkajännitteen (apujännitteen) jatkuva-aikainen valvonta SPA-ZH1 valvojalla. Se antaa hälytyksen sulkeutuvana kosketintietona, mikäli apujännite poikkeaa sallituista rajoista tai jos se puuttuu kokonaan. Apujännitteentalvoja valvoo myös laukaisuapujännitteen olemassaoloa, mikäli laukaisuun käytetään yhteistä apujännitettä releen kanssa. Valvojat ovat relekohtaisia ja yhdellä valvojalla voidaan valvoa yhden releen apujännitettä. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

## 4 NYKYTILANNE

Loviisan voimalaitoksen keskijännite kytkinlaitoksen pääjakokeskusten suurjännitekojeistot ovat rakenteeltaan kennopohjaisia purkauspelleillä varustettuja vaunukatkaisijalla ja toisiorelesuojauksella toteutettuja keskijännitekeskuksia. Kytkeinlaitoksen kennojen lähtöjen kuormina on pääasiallisesti muuntajia ja keskijännitemoottoreita. Vaunukatkaisijat ovat tyypeiltään tyhjökatkaisijoita. Katkaisijat on uusittu kytkinlaitoksille arviolta 2010 vuosikymmenen alussa, jolloin toimittaja suunnitteli tyhjökatkaisijat siten, että ne sopivat suoraan vanhoihin käytössä olevien kojeistojen katkaisijakennoon ilman keskus- tai kennomuutoksia. (Fortum Oyj konserniviestintä, 2013).



KUVA 7. ABB VD 4 tyhjökatkaisija (ABB Oy, 2020)

Nykytilanteen kartoittamista varten tulee tehdä selvitys 6 kV pääjakokeskuksissa käytössä olevista suojarleistä sekä käytössä olevista suojuuksista. Tausta-aineistossa aiemmin mainitun suojarle Excel-listan, sekä suojauskaavioiden avulla saadaan tietoon nykyiset suojarlelytyypit, niiden kappalemäärät, varaosat sekä käytössä olevat suojuukset.

Excel-listan mukaan, käytössä olevat reletyypit ovat ylivirta-, ylijännite-, taajuus-, maasulku- ja moottorisuojarleitä. Moottorisuojarleissa on lisäsuojana vinokuormitussuojaus. Kytkeinlaitoksen keskuksissa on myös suojarleiden lisäksi erillinen valokaarisuojaus valokaarioikosulun vaikutusten minimoimiseksi.

Excel-listasta huomataan käytössä olevien releiden olevan sähkömekaanisia, staattisia sekä numeerisia ohjelmistopohjaisia suojarleitä. Suojarlelistaus on nähtävissä liitteessä 1. Sähkömekaaniset

sekä staattiset releet kuuluvat turvallisuusluokkaan 2, ja numeeriset releet luokkaan EYT. Turvallisuusluokka 2 tarkoittaa, että kyseisten kennojen suojuhareilla on ydinturvallisuuden kannalta ennalta vaadittuja toimintoja, jotka laitteen tulee tehdä jopa vikatapauksissa sekä laite täyttää turvallisuusluokan 2 sähkö- ja automaatiolaitteen kriteerit ja vaatimukset.

Vikalistaustiedoista tarkastetaan vikatapahtumien sekä rikkimenneiden suojuhareiden määrä, jotta voidaan tehdä myöhemmin johtopäätöksiä mahdollisten uusintojen tai päivittämisen tarpeellisuu-  
desta.

Nykyisissä käytössä olevissa suojuhareissa ei ole jälleenkytkentöjä käytössä, sillä releiden suojuattavat kohteet ovat moottoreita sekä muuntajia, joten pitkiä johtoja ja johtosuojujauksia ei ole. Jälleenkytkentöjä ei ole ollut tarpeellista käyttää, jotta suojujaukset olisivat yksinkertaisia ja, jotta ehkäistäisiin virhelaukaisujen mahdollisuus.

Kuten aikaisemmin todettu, kytkinlaitoksilla on kiskosuojujauksessa käytössä olevana lisäsuojujauksena myös valokaarisuojujaus, joka laukaisee kiskoston jännitteettömäksi valokaarioikosulun tapahtuessa. Valokaarisuojujaus on toteutettu erillisillä analogisilla UTU:n valokaarisuojuhareilla, valokaariylyvirtareleillä sekä ohjelmistopohjaisia valokaarisuojujauksen keskusyksiköillä huoneistokohtaisesti. TL valokaarisuojujaus on toteutettu analogisina ja EYT valokaarisuojujaus uudempana ohjelmistopohjaisina releinä.

#### 4.1 Turvallisuusluokitellut suojuhareet

Loviisan ydinvoimalaitoksen kytkinlaitoksilla on 6 kV kennojen suojuhareita, jotka on luokiteltu turvallisuusluokkaan. Tässä opinnäytetyössä turvallisuusluokitelluilla suojuhareilla tarkoitetaan luokkaan 2 kuuluvia suojuhareita. Turvallisuusluokitus tarkoittaa, että kyseisellä laitteella, laitteistolla tai järjestelmällä on ydinturvallisuuden kannalta jokin kriittinen toiminto tai vaatimus. Tästä syystä nykyiset turvallisuusluokitellut suojuhareet ovat joko alkuperäisiä 70-luvulla asennettuja sähkömekaanisia tai staattisia 70-luvulla kehitettyjä suojuhareita BBC:ltä ja Strömbergiltä. Turvallisuusluokitelluista suojuhareista staattiset releet on kertaalleen uusittu muutama vuosi takaperin, jälkituotantona tehtäviin alkuperäisiä vastaaviin J-sarjan releisiin. Jälkituotantona tilatut staattiset releet tulivat ABB:ltä ja ne ovat teknisiltä ja fyysisiltä arvoiltaan sopivia sekä niiden valmistus on tehty alkuperäisillä menetelmillä ja ohjeilla.

##### **BBC suojuhareet**

Loviisan voimalaitoksella kytkinlaitoksen 6 kV kojeistoissa on yhtä BBC:n sähkömekaanista reletyyppiä ja se on **STaf AK**, toisiolämpörele. Tämä BBC:n rele toimii termisenä suojujana, ja on lajia ST. Kyseiset releet suojuavat koneita, kaapeleita ja muuntajia ylikuormitukselta ja niistä johtuvalta ylläampemisiltä. Rele on yksinapainen, ja toisiovirta on 5 ampeeria. ST-releitä on ympäristön lämpötila kompensoituja sekä kompensoimattomia yksiköitä. (Oy Strömberg Ab, 1958).

ST-rele seuraa suojattavan kohteen käämityksen lämpenemistä, jota indikoidaan osoittimella. Releessä on myös toinen osoitin, joka näyttää suurimman lämpötilan, jonka suojattava kohde on saavuttanut. Haluttu laukaisulämpötila asetellaan erillisen osoittimen avulla. Rele ei ole tarkoitettu oikosulkusuojaksi, ellei siihen ole integroitu magneettista rajavirta-momenttilaukaisua. (Oy Strömberg Ab, 1958). Loviisassa käytössä olevissa BBC STaf releissä on integroituna oikosulkusuojaus, mutta se ei ole käytössä.

Muita käytössä olevia BBC:n sähkömekaanisia suojareileitä, jotka eivät ole jännitetasoltaan keskijännitesuojareileitä, mutta vaikuttavat 6 kV syötönvaihtoautomaatiikkaan sekä pääkiertovesipumppujen suojauksiin ovat BBC PM ja BBC PUM releet.

**BBC PM** on sähkömekaaninen suunnattu tehorele, eli ns. takatehorele, jotka ovat tarkoitettu johtojen suunnattuun maasulkusuojaukseen sekä generaattorien ja moottoreiden takatehosuojareileiksi. PM rele mittaa kohteen tehon amplitudia sekä suuntaa. Rele mittaa epäsymmetrisessä tilanteessa syntyvän virran vastakomponentin suuruutta kerrottuna jännitteen vastakomponentin suuruudella sekä vaihekulmalla muodostaen ns. takatehon. Virtojen ja jännitteiden nollakomponentit saadaan suodatinpiirin läpi suodatettua mittauksesta pois. (BBC, Brown Boveri, 1977).

**BBC PUM** on sähkömekaaninen alijännite ja vaihejärjestyksen valvojarle, joka voi valvoa joko kohteen vaihejärjestystä tai yhdistetysti alijännitettä sekä vaihejärjestystä. Alijännitemittauksessa rele on jatkuvasti toimintatilassa nimellisjännitteellä, jolloin koskettimien tilat ovat tietyt. Kosketintilat vaihtuvat ja rele menee lepotilaan, kun jännite on laskenut asetteluarvon alle. Asettelut tehdään viivun avulla. Vaihejärjestyksen ollessa oikea, vaiheiden tuottamat momentit pitävät koskettimien tilat oikeanlaisina. Vaihejärjestyksen vaihtuessa vääräksi, momentti muuttuu ja koskettimien tilat vaihtuvat samalla tavalla, kuin alijännitemittauksen kohdalla. (BBC, Brown Boveri, 1977).

### **SPAJ ylivirtasuojareleet**

Turvallisuusluokitelluissa 6 kV kytkinlaitoksella on kahta erilaista SPAJ ylivirtarelettä käytössä. SPAJ 3C5 J3-AA, kolmivaiheinen ylivirtarele, jossa kaksi asetteluporrasta sekä SPAJ 3R5J6, kolmivaiheinen ylivirta- ja lämpörele. SPAJ 3R5J6 relettä käytetään moottorisuojauksessa. Reletyypin jälkeinen AA tarkoittaa erillisen apuenergiälähteen tarvetta suojareleelle.

**SPAJ 3C5 J3** ylivirtarele on staattinen vakioaikaylivirtarele, joka on tarkoitettu käytettäväksi sähkölaitosten ja teollisuuden jakeluverkon aikaselektiivisyyteen perustuvassa oikosulkusuojauksessa. Suojareleessä on kaksi toimintorelettä (porrasta), jotka voidaan ohjelmoida eritasoiisiin laukaisuihin, jälleenkytkentöjen käynnistykseen jne. Molemmilla toimintaportilla on omat havahtumis- ja laukaisu-toimintamerkit. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

Suojarelettä käytetään pienten tehomuuntajien ja generaattorien oikosulkusuojana, synkroni- ja asynkronimoottoreiden oikosulkusuojana sekä isotehoisten muuntajien ja generaattoreiden varaoikosulkusuojana. Relettä voidaan käyttää myös kondensaattoriparistojen oikosulkusuojaukseen. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

Mitatun virran ylittäessä asetteluarvon, suojarele havahtuu ja käynnistää aikapiirin. Asetellun toimintahidastuksen jälkeen apurele toimii. Virran alittaessa jokaisessa vaiheessa vähintään 4 % alle asetteluarvon, suojarele palautuu. Palautumisaika on < 60 ms. Apureleen A kautta tapahtuu ensimmäisen portaan I> havahtuminen sekä laukaisu. Toisen apureleen B kautta voidaan saada havahtumissignaali myös A apureleelle joko hidastettuna 100 ms tai hidastamattomana. B apurele hoitaa oikosulkusuojauksen pika- eli momenttilaukaisun I>> ja samat toiminnot, kuin apureleelle A voidaan ohjelmoida myös apureleelle B. Koska suojareleeseen sovitustuuntajat ovat linearisoituja, ei tasakomponentin aiheuttamasta virran mittausrvirheestä ole ongelmaa pikalaukaisussa. Täysin kehittyneen tasakomponentin vaikutus pikalaukaisun toimintaan on alle 5 % asetteluarvosta. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

SPAJ 3C5J3 ohjelmointi eli asettelu tapahtuu releen aika-asettelun potentiometrillä ja hidastuksen alueenvalintapistukan avulla, ohjelmointiryhmien S1 ja S2 pistukoiden avulla ja eri toimintaportaiden virta-asettelujen potentiometreillä. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

**SPAJ 3R5 J6** on staattinen moottorinsuojarele, joka soveltuu moottorien, generaattorien, muuntajien ja kaapelilinjojen suojaukseen. Releellä voidaan toteuttaa, ja se on tarkoitettu, moottorin oikosulku-, ylikuormitus-, vinokuormitus-, ja jumisuojaukseen sekä käynnistyksen valvontaan. Rele soveltuu myös generaattorien oikosulku- ja ylikuormitussuojaksi sekä vakioaikaylivirran ja lämpöreleen sovelluksiin. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

SPAJ 3R5 J6 sisältää kolme erillistä elintä: 3-vaiheisen lämpöelimen, 3-vaiheisen ylivirtaelimen ja vinokuormituselimen. Lämpöelin integroi releen mittaamaa virtaa muodostaen suojattavan kohteen lämpenemään verrannollisen jännitteen. Releeltä voidaan saada hälytys ennen laukaisua. Releessä on kaksi aseteltavaa aikavakiota, joiden avulla voidaan asettelu tehdä mahdollisimman samanlaiseksi suojattavan kohteen lämpenemiskäyrän kanssa. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

Ylikuormituselimen avulla voidaan järjestää ylikuormitussuojaus jokaiselle laitteelle, jonka lämpenemiskäyrä voidaan kuvata riittävällä tarkkuudella yhden tai kahden aikavakion käyrällä. Lämpöelimestä on aseteltava laukaisulämpenemä, joka ilmoitetaan nimellisvirran ja siitä aiheutuvan jatkuvuustilan nimellislämpenemän suhteena. Ylivirtaelin on portaattomasti aseteltavissa havahtumisvirran ja pikalaukaisuvirran potentiometriä avulla. Laukaisut saadaan haluttaessa hidastetuiksi. Releeseen ohjelmointi eli asettelu tapahtuu potentiometriä sekä mittauspistukoiden avulla. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

Vinokuormituselin mittaa virran vastakomponenttia ja sen toiminta-arvo on kiinteä 15 % nimellisestä asetellusta virrasta ja toimintaviive 5 s. Ohjelmointipistukan siirtämisellä S1 pistukasta S2 pistukkaan, vinokuormituselin voidaan kytkeä pois käytöstä. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

### **SPAU ylijännitereleet**

Käytössä olevat turvaluokitellut staattiset Strömbergin jännitereleet ovat tyypiltään SPAU 3F100J3 kolmivaiheinen alijänniterele, SPAU 1G100J3 jännitteennousurele, SPAU 1K100J3 ylijänniterele ja SPAU 220 J1 tasasähköverkon valvojarele.

**SPAU 3F100J3** on 3-vaiheinen vakioaika-alijänniterele, joka on tarkoitettu kolmivaihejännitteen valvontaan ilmaisemaan symmetrisiä ja epäsymmetrisiä alijännitteitä. Kun suojarleen valvomassa verkossa yksi tai useampi pääjännite yhden jakson aikana alittaa asettelu, havahtuu rele ja aikapiirit käynnistyvät. Alijännitteen kestäessä yli neljän tai viiden jakson, havahtumisreleenä toimiva apurele vetää kiinteän 100 ms. toimintahidastuksen kuluttua havahtumisesta. Alijännitereleitä käytetään mm. generaattorien ja jännitemuuntajien yhteydessä. Releen ohjelmoiminen tapahtuu potentiometrien sekä valintapistukan avulla. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

**SPAU1G100J3** on vakioaikainen jännitteennousurele, joka on tarkoitettu pääasiallisesti käytettäväksi generaattorien jännitteennousureleinä. Suojarleen tulojännitteen ylittäessä jänniteasetteluarvon, havahtuu rele ja aikapiiri käynnistyy. Asetellun toimintahidastuksen kuluttua suojarle toimii, apurele vetää ja toimintamerkki syttyy. Rele palautuu jännitteen laskiessa 4 % havahtumisarvon alapuolelle ja palautumisaika on 60 ms. Releessä on kaksi asetteluporrasta, joista hetkellislaukaisu toimii 40 - 50 ms. Releen asettelut tehdään potentiometrien sekä valintapistukan avulla. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

**SPAU 1K100J3** on vakioaikaylijänniterele, joka voidaan kytkeä joko jännitteelle 100 V (pääjännite) tai jännitteelle  $100/\sqrt{3}$  V (vaihejännite). Rele tarvitsee toimiakseen jatkuvan apujännitteen. Tulojännitteen ylittäessä asetteluarvon rele havahtuu ja aikapiirit käynnistyvät. Kiinteän viiveajan, joka on 250 ms. kuluttua ensimmäinen aikaportaan apurele vetää. Aseteltavan viiveajan kuluttua toinen aikaportaan apurele vetää ja rele toimii. Rele palautuu tulojännitteen laskiessa 4 % havahtumisarvon alapuolelle. Asettelut tehdään potentiometrien sekä valintapistukan avulla. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

**SPAU 220 J1** on tasasähköverkon valvojarele, joka suojaa tasasähköverkkoa alijännitteiltä ja maasuluilta. Tulojännitteen alittaessa asetteluarvon aikaelin käynnistyy ja alijännitepuolen apurele päästää kiinteän 2 s hidastuksen kuluttua. Tasajännitteen noustessa n. 2,5 % havahtumisrajan yläpuolelle apurele vetää, ja aikaelin palautuu (normaalitilanne). Maasulussa rele havahtuu ja apurele ve-

tää kiinteään hidastuksen 2 s kuluttua. Maasulun ilmaisin syttyy ja osoittaa maasulkupaikan polariteetin verkon keskipisteeseen nähden. Asettelut releelle tehdään potentiometrien sekä valintapistukan avulla. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

Edellä mainitut SPAU 220J1 tasasähköverkon valvojarleet tullaan tulevaisuudessa vaihtamaan toisenlaisiin staattisiin releisiin, **SPAU 1B220 J3** tasasähköverkon valvojarleisiin. Syyt tähän ovat, että SPAU 220J1 mallia ei voida enää tilata edes jälkituotantona eikä niihin saada täten edes varaosia. SPAU 1B220 J3 malli on samantyyppinen valvojarle, jota saadaan ABB:ltä jälkituotantona. Uuden valvojarleeseen vaihto on helppoa, koska ne ovat samankokoisia, joten tarvittavan työn laajuus jää vanhan releen pois ottamiseen kehikosta, uuden releen kiinnittämiseen kennon kehikkoon sekä uuden releen ohjelmoimiseen.

### **SPAF taajuusrele**

Kytkinlaitoksella turvallisuusluokitelluissa releissä on käytössä olevia Strömbergin taajuusreleitä yhtä tyyppiä ja se on **SPAF 1G50 J3**. Staattinen rele, joka on tarkoitettu generaattoreiden ali- ja ylitaajuussuojaksi. Useamman taajuusportaan eroon kytkentä ja mahdollinen takaisinkytkentä voidaan toteuttaa kytkemällä kaksi relettä rinnan. Releestä on tehty erikoisversio, nimen loppuun tulee päätte E190. Erikoisversio eroaa tavallisesta taajuusreleestä siten, että erikoisversiossa taajuusasettelualueet f1 ja f2 ovat erilaiset (symmetriset ylä- ja alataajuusalueet).

Releen taajuuden mittaaminen perustuu jännitteen jakson pituuden mittaamiseen. Rele laskee jakson aikana esiintyvien vakiotajuusoskillaattorin (100 kHz) pulssien lukumäärän. Rele havahtuu laskettujen pulssien ollessa ylitaajuusasettelulla pienempi tai alitaajuusasettelulla suurempi, kuin asetteluarvoa vastaava pulssiluku. Taajuusportaan toiminta palautuu taajuuden noustessa "normaalille" tasolle. Releessä on kaksi lähtörelettä A ja B, joiden toiminta voidaan valita kiinteäksi tai pulssimaiseksi. Kummankin taajuusportaan toimintahidastus on pistikkeellä valittavissa kiinteäksi (150 ms.) tai potentiometrillä aseteltavaksi. Taajuusportaiden asettelu on valittavissa potentiometreillä. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

### **SPAS suunnatut releet**

Käytössä olevat staattiset Strömbergin J-sarjan suuntareleet ovat tyypiltään SPAS 1F1J3 ja SPAS 1K5J3 releitä. Alla on kuvattuna yksityiskohtaisemmin kyseiset suunnatut staattiset releet.

**SPAS 1F1J3** on kaksisuuntainen laaja asettelualueinen maasulkurele, joka on tarkoitettu käytettäväksi sammutettuihin, maasta erotettuihin tai vastuksella maadoitettuihin verkkoihin. Releessä on valmius jälleenkytkentäreleiden liittämiseen. Pienen tuloimpedanssin takia rele toimii luotettavasti

kaapelivirtamuuntajien kanssa. Rele soveltuu myös generaattoreiden ja moottorien maasulkusuo-  
jaukseen ja se mittaa virran pätö- tai loistehokomponenttia. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

Releen toiminta perustuu virran näytteenottoperiaatteeseen. Rele ottaa 0,1 ms pituisen näytteen  
joka puolijaksolla. Riippuen, mittaako rele virran pätö- vai loiskomponenttia, otetaan näyte jännit-  
teen ollessa maksimiarvossa (pätökomponentti) tai jännitteen ollessa nollakohdassa (loiskompo-  
nentti). Havahtumisen ehtona on lisäksi releen mittaaman jännitteen asetteluarvon ylitys. Rele ha-  
vahtuu myötä suuntaan, jos jännitteen positiivisen puolijaksion aikana otettu näyte ylittää asettelu-  
ja vastasuuntaan näytteen ylittyessä negatiivisella puolijaksolla. Ohjelmointi toteutetaan poten-  
tiometreillä ja valintapistukoilla. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

**SPAS 1K5 J3** on suunnattu ylivirtarele, joka on ensisijaisesti tarkoitettu käytettäväksi suurjännite-  
verkkojen oikosulun suuntavertosuojauksissa vaihekohtaisena ylivirtareleenä. Suojarelettä voidaan  
myös käyttää toimivirikkeiden muodostamiseen aikaselektiivisissä johtolähtöjen oikosulkusuo-  
jissa, joissa oikosulkuvirta kulkee kumpaankin suuntaan tahansa. Samanaikaisesti sitä voidaan myös käyttää  
kiskostosuojan osana. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

Suojareleen toiminta perustuu oikosulkuvirran suuruuden ja suunnan mittaukseen. Rele havahtuu  
näiden molempien ehtojen toteutuessa samanaikaisesti, kun asetteluarvot ylitetään. Oikosulkuvirran  
kulkusuunta todetaan muodostamalla suojareleen mittaaman vaihevirran ja vastakkaisen pääjännit-  
teen 30 asteen käännetyistä jännitteistä vaihekulma. Asettelu releelle tehdään potentiometreillä ja  
valintapistukoilla. (ABB Strömberg releet, 1975-1981).

## 4.2 EYT suojareleet

Osa LO1 ja LO2 kytkinlaitosten 6 kV kennojen suojareleistä ei ole ydinturvallisuuden kannalta luoki-  
teltuja. Tällöin turvallisuusluokka on EYT, eli ei ydinturvaluokkaa. Tämä tarkoittaa, että kyseisellä  
laitteella tai laitteistolla ei ole ydinturvallisuuden kannalta kriittisiä toimintoja tai vaatimuksia. Turval-  
isuusluokat ovat määriteltyinä kohdassa 7.1.

Tällaisia EYT suojareleitä ovat Loviisan voimalaitoksen kytkinlaitoksilla ovat mm. tässä opinnäyte-  
työssä tutkittavat ja nykyisesti käytössä olevat Micom suojareleet. EYT luokan takia suojareleen rele-  
tyyppivalinta, kuten nämä Micomin suojareleet voivat olla numeerisia eli ohjelmistopohjaisia suojare-  
leitä. Micom tuotesarjan suojareleet ovat nykyisin Schneider Electric:n valmistamia ja kyseiset suo-  
jareleet on asennettu Loviisan voimalaitokselle 2000-luvun alussa. Lisäksi diesel rakennuksen yh-  
dessä kennossa on Siemensin numeerinen suunnattu ylivirtarele Siprotec 7SJ8021, joka kuuluu  
myös turvallisuusluokkaan EYT, ja joka sisällytetään myös opinnäytetyöhön.

### **Micom P122 rele**

Micom P120 sarjan releet ovat Arevan valmistamia ylivirtasuojareleitä, jotka ovat maailmanlaajuisesti käytössä olevia suojareleitä. Micom P120-23 Suojareleet on suunniteltu valvomaan, suojaamaan sekä monitoroimaan teollisuuden asennuksia, jakeluverkkoja sekä sähköasemia, ja ne voivat toimivat myös varasuojina suurjänniteverkoissa. Micom P120 sarjan releet tarjoavat kattavan vaiheylivirta- ja maasulkusuojauksen yleisverkoille, teollisuuslaitoksille ja verkoille sekä muille sovelluksille, joissa ylivirtasuojaus vaaditaan. maasulkusuojaus on riittävän herkkä, jotta sitä voidaan käyttää sähköverkoissa, joissa maasulkuvirta on pieni. (Areva, 2010).

Jokainen rele tarjoaa suojaustoimintojensa ohella ohjaus- ja tallennusominaisuuksia. Ne voidaan integroida ohjausjärjestelmään, jotta suojaus, valvonta, tietojen hankkiminen ja vikojen, tapahtumien sekä häiriöiden tallennus saataisiin käytettäväksi. (Areva, 2010) (Schneider Electric, 2020).

### **Micom P126 rele**

Micom P12y sarjan releet ovat kuten P120 sarja, maailmanlaajuisesti käytössä olevia suojareleitä, ja niitä voidaan käyttää samoissa käytöissä kuin P120 sarjan releitäkin. P12y sarja on nykyään, kuten muutkin Micom releet Schneider Electricin valmistamia eikä Arevan ja itse releen koko on hieman eri. Erona P120 sarjan releisiin on, että P12y sarjaa voidaan käyttää myös osana muuntajan ja generaattorimuuntajan suojausjärjestelmiä. Micom P126 suojareleessä on kattava kolmivaihe ylivirta- ja suunnattu maasulkusuojaus sekä jälleenkytkentä ominaisuudet (Schneider Electric, 2011).

### **Micom P241 rele**

Schneider Electricin valmistamat Micom P24x sarjan moottorisuojareleet on kehitetty ja suunniteltu keskikokoisten ja suurten pyörivien koneiden, kuten tahtikoneiden ja epätahtikoneiden suojaamista varten. P24x sisältää myös 10 toimintonäppäintä integroidun järjestelmän tai operaattorin ohjaamatoimintojen ja kolmiväristen (punainen / keltainen / vihreä) merkkivalojen avulla. (Schneider Electric, 2015). P24x moottorisuojareleet tarjoavat lukuisia lisätoimintoja suojaukselle, seurannalle, vianmääritystyökaluille ja ylläpidon apuvälineille, jonka takia ne soveltuvat lukuisiin moottorikäyttöihin. (easyenergy sivu). Micom P24x moottorisuojareleen suojausfunktioita ovat mm. ylivirtasuojaus, alijännitesuojaus, maasulkusuojaus, herkkä maasulkusuojaus, ylikuormitussuojaus ja vinokuormasuojaus. (Schneider Electric, 2015).

### **Micom P922 rele**

Micom P92x sarjan releet ovat Arevan valmistamia jännite/taajuusreleitä, jotka ovat maailmanlaajuisesti käytössä olevia suojarleitä. Micom P921-923 Suojarleet on suunniteltu valvomaan, suojaamaan sekä monitoroimaan teollisuuden asennuksia, jakeluverkkoja sekä sähköasemia, ja niitä voidaan käyttää myös suurjänniteverkoissa. (Areva, 2010).

P921-923 releet tarjoavat kattavan jännite ja taajuus suojausten. Releet ovat suurjännitekojeistojen jännite tai taajuusvalvoja. Jokainen rele tarjoaa suojaustoimintojensa ohella ohjaus- ja tallennusominaisuuksia. Ne voidaan integroida ohjausjärjestelmään, jotta suojaus, valvonta, tietojen hankkiminen ja vikojen, tapahtumien sekä häiriöiden tallennus saataisiin käytettäväksi. (Areva, 2010).

### **Siprotec 7SJ821 rele**

7SJ80 sarja on Siemensin valmistama monitoiminnallinen numeerinen vakioaika ylivirtarele, joka toimii suojana, ohjauslaitteena sekä syöttölaitteiden valvontayksikkönä. Relettä voidaan käyttää yleisesti säteittäisessä ja rengasmallisessa verkossa. Ylivirtarele soveltuu verkoille, jotka ovat maadoitettuja, maasta erotettuja tai kompensoituja. Laitte sisältää katkaisijan suojaukselle, valvonnalle ja ohjaukselle tarpeelliset toiminnot, sekä se tarjoaa hyvän varasuojauksen differentiaalisuojauksille johdoilla, muuntajilla sekä kiskoilla. (Siemens Oy, 2017).

Laitteen perussuojauksena toimii ylivirtasuojaus, joka voidaan täydentää myös suunnatuksi ylivirtasuojaukseksi. Releessä on 4 aikaelementtiä, joista 3 on tarkoitettu vaihevirroille ja yksi käänteisai- kaelementti maavirralle. 7SJ80 releen muita suojaustoimintoja ovat vastakomponentin suojaus (ks. kohta 6.4.1), ylikuormitussuojaus, katkaisijavikasuojaus sekä maasulkusuojaus. Muun ohella lisäsuojauksena voidaan laitteeseen saada taajuus-, yli- ja alijännite- sekä suurimpedanssi maasulkusuojaus. (Siemens Oy, 2017).

## 5 MITTAMUUNTAJAT

Mittamuuntajat ovat jännitteen tai virran mittaukseen tarkoitettuja erikoisrakenteisia muuntajia, joiden tehtäviä ovat mitta-alan muuttaminen, jolloin mitta- ja suojalaitteiden standardointi on mahdollista, mittauspiirin erotus päävirtapiiristä, mittauspiirin suojaus ylikuormituksilta ja mahdollisuus sijoittaa mittalaitteet (suojareleet) kauas varsinaisesta mittapaikasta. Mittamuuntajia on kahdenlaiseen tarkoitukseen, mittaukseen ja suojaukseen. (Mörsky, 1993).

### 5.1 Jännitemuuntaja

Jännitemuuntajia on rakenteeltaan ja toiminnaltaan erilaisia, ja niiden tehtävänä on ensiöjännitteen syöttö toisilaitteille sekä ensiö- ja toisiopiirien eristys toisistaan. (Keskisarja, 2016)

Jännitteen mittaustapoja ovat:

- Resistiivinen jännitteenjakaja (laboratorio)
- kapasitiivinen jännitteen jakaja
- magneettinen jännitemuuntaja
- kapasitiivinen jännitemuuntaja (kahden edellisen yhdistelmä). (Mörsky, 1993).



KUVA 8. Valuhartsijännitemuuntaja (ABB Oy, 2011)

#### 5.1.1 Nimelliset arvot

Jännitemuuntajille kriittisimmät tekniset arvot ovat:

- Eristystaso
- mitoitustaajuus
- mitoitusensiöjännite
- mitoitusjännitekerroin
- mitoitus toisiojännite
- mitoitustaakka
- tarkkuusluokka. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000)

Mitoitusensiöjännite ilmoitetaan jännitemuuntajan kytkennän mukaisesti. Jos jännitemuuntaja kytketään 3-vaiheverkon vaiheiden väliin, ilmoitetaan ensiöjännite pääjännitteenä, esim. 20 000 V. Ja jos jännitemuuntaja kytketään vaiheen ja tähtipisteen tai vaiheen ja maan väliin, ilmoitetaan ensiöjännite vaihejännitteenä, esim.  $20\,000:\sqrt{3}$  V. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Mitoitusjännitekerroin ilmoittaa suurimman ensiöjännitteen, jolla muuntajaa on voitava käyttää tietyn ajan. Mitoitusjännitekerroin ja mitoitusensiöjännitteen tulo on edellä mainittu suurin ensiöjännitteen suuruus. Lämpenemän ja mitoitustarkkuuden on pysyttävä määrättyissä arvoissa. Jännitekertoimen suuruus riippuu myös verkon maadoituksesta ja muuntajan ensiökämin kytkentätavasta verkkoon. Taulukossa 1 on mitoitusjännitekertoimen standardiarvoja ja sallittu käyttöaika ko. jännitteellä. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

TAULUKKO 1. Mitoitusjännitekertoimen arvoja (ABB TTT-käsikirja, 2000)

| Nimellisjännitekerroin | Aika    | Ensiön kytkentä ja verkon maadoitus  |
|------------------------|---------|--|
| 1,2                    | Jatkuva | Vaiheiden välissä kaikissa verkoissa. Tehomuuntajan tähtipisteen ja maan välissä kaikissa verkoissa                |
| 1,2                    | Jatkuva | Vaiheen ja maan välissä tehollisesti maadoitetuissa verkoissa  |
| 1,5                    | 30 s    |  |
| 1,2                    | Jatkuva | Vaiheen ja maan välissä ei-tehollisesti maadoitetussa verkossa, jossa on automaattinen maasulkulaukaisu            |
| 1,9                    | 30 s    |  |
| 1,2                    | Jatkuva | Vaiheen ja maan välissä maasta erotetussa tai sammutetussa verkossa, jossa ei ole automaattista maasulkulaukaisua. |
| 1,9                    | 8 h     |  |

Alla nähdään jännitemuuntajan toisiojännitteen standardiarvot. Suomessa suositellaan käytettäväksi alleviivattuja arvoja. Jos avokolmiokämin mitoitusjännite on  $100:3$  V, se tarkoittaa yksivaihemuuntajan ko. toisiokämin jännitettä normaalikäytössä. Kun kolme yksivaihemuuntajaa on kytketty kolmivaiheryhmäksi ja avokolmiokäämit on kytketty yhdestä kulmasta avoimeksi kolmioksi, niin ko. kulman liittimien välillä on 100 V jännite verkon yksivaiheisessa impedanssittomassa täydellisessä maasulussa. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000)

TAULUKKO 2. Toisiojännitteiden standardiarvot (ABB-TTT-käsikirja, 2000)

|                              | Ensiökäämi kytketty kahden vaiheen väliin tai verkon tähtipisteen ja maan väliin. | Ensiökäämi kytketty vaiheen ja maan väliin                                    |
|------------------------------|---|---|
| Mittaus- ja suojauskäämeille | <u>100 V</u> , 110 V ja 200 V   | <u>100 : <math>\sqrt{3}</math> V</u> , 110 : $\sqrt{3}$ ja 200 : $\sqrt{3}$ V |
| Avokolmiokäämeille           |   | <u>100 : 3 V</u> , 110 : 3 ja 200 : 3 V                                       |

Mitoitustaakka on jännitemuuntajan suurin kuormituksen admittanssi (johtavuus), jolla sitä voidaan kuormittaa kyseessä olevassa tarkkuusluokassa. Tavallisimmin mitoitustaakka ilmoitetaan näennäis-  
tehona  $S$  [VA], joka on mitoitustaakan admittanssi kerrottuna toisiojännitteen neliöllä. Mitoitustaa-  
kan standardiarvot ovat: 10 - 15 - 25 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 400 - 500 VA.

Suosittelvat arvot on alleviivattu. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Mittauskäämin tarkkuusluokat määräytyvät suurimpien sallittujen jännite- ja kulmavirheiden avulla. Kulmavirhe on ensiö- ja toisiojännitteen ajallinen vaihesiirtokulma, joka on positiivinen toisiojännitteen ollessa ensiöjännitettä edellä. Mittauskäämille sallitut virheiden maksimiarvot ovat nähtävissä taulukossa 3. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000)

TAULUKKO 3. Mittausjännitemuuntajien jännite- ja kulmavirherajat. (ABB-TTT käsikirja, 2000)

| Luokka | Jännitevirhe<br>± % | Kulmavirhe<br>± min |
|--------|---------------------|---------------------|
| 0.1    | 0,1                 | 5                   |
| 0.2    | 0,2                 | 10                  |
| 0.5    | 0,5                 | 20                  |
| 1      | 1,0                 | 40                  |
| 3      | 3,0                 | -                   |

Suojaus- ja avokolmiokäämin tarkkuusluokat on nähtävissä alla olevassa taulukossa 4. Suojaus-  
käämeille (ei avokolmiokäämille) on määrättävä myös jokin mittauskäämin tarkkuusluokka. Avokol-  
miokäämille suositellaan 6P tarkkuusluokkaa. Pelkästään kippivärähtelyn vaimentamiseen käytettä-  
väälle avokolmiokäämille ei tarvita tarkkuusluokkavaatimusta. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

TAULUKKO 4. Suojaus- ja avokolmiokäämien tarkkuus. (ABB-TTT käsikirja, 2000)

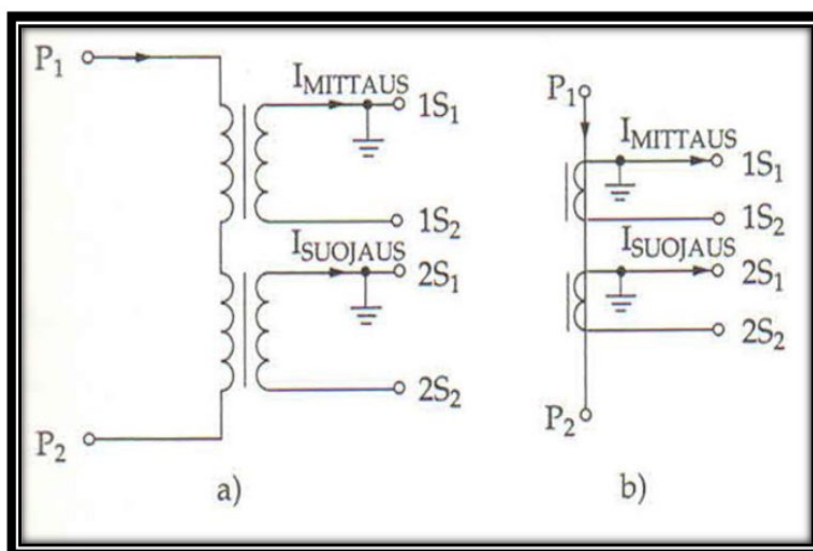
| Luokka | Jännitevirhe<br>± % | Kulmavirhe<br>± min |
|--------|---------------------|---------------------|
| 3P     | 3,0                 | 120                 |
| 6P     | 6,0                 | 240                 |

Taulukossa 4 mainitut virherajat pätevät ensiöjännitteen ollessa 80-120 % ja 5 % jännitteellä  
mitoitusjännitteestä, mitoitusjännitekertoimen mukaisella jännitteellä. 2 % jännitteellä virheraja on  
kaksinkertainen. Taakan edellytetään olevan 25-100 % mitoitustaakasta ja tehokertoimen olevan 0,8  
(ind). (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000) (Mörsky, 1993).

## 5.2 Virtamuuntajat

Virtamuuntajien tarkoituksena on muuntaa ensiöpiirissä esiintyvä virta ko. piirin suojauksessa, valvonnassa ja mittauksessa käytettäville pienjännitteisille maan potentiaalissa oleville releille ja mittareille sopiviksi virroiksi sekä eristää ensiö- ja toisiopiirit toisistaan. Virtamuuntajien nimelliset arvot poikkeavat toisistaan paljon, johtuen siitä, käytetäänkö virtamuuntajaa suojaus- vai mittaustarkoitukseen. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000) (Mörsky, 1993).

Virtamuuntaja voi olla yksi- tai useampisydäminen, riippuen käyttötarkoituksesta. Jos virtamuuntajalla on usea sydän, on niillä yhteinen ensiökäämi, mutta kaikilla sydämillä on oma toisiokääminsä. Mittaukseen käytettävää sydäntä kutsutaan mittaussydämeksi ja vastaavasti suojaukseen käytettävää sydäntä suojaussydämeksi. Suojausvirtamuuntajien tarkkuusvaatimukset ovat erilaiset kuin mitausvirtamuuntajien, joten tästä syystä niillä on erilaiset sydämet. Virtamuuntajan sijaiskytkentä ja piirrosmerkki nähtävissä kuvassa 9. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000) (Mörsky, 1993).



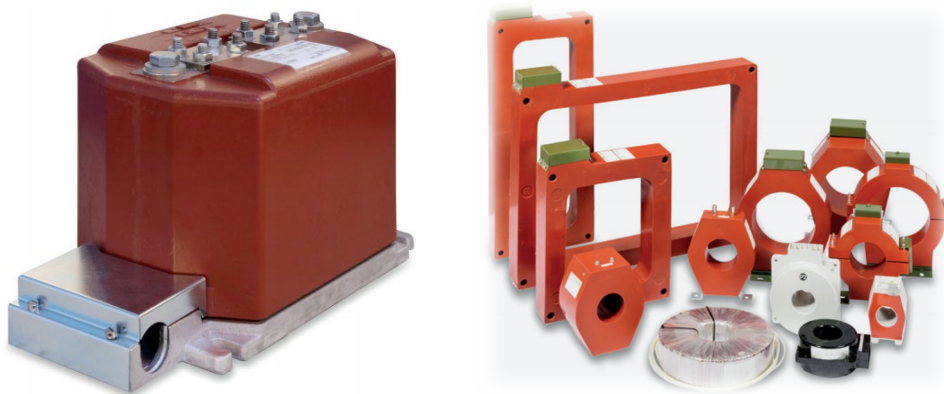
KUVA 9. Virtamuuntaja, jossa erilliset mittaus- ja suojausydämet, a) kytkentä, b) piirrosmerkki. (Mörsky, 1993)

Virtamuuntajat jaetaan käyttötarkoituksen mukaan suojaus- ja mittausvirtamuuntajiin. Erityyppisillä virtamuuntajilla on omat nimityksensä ja käyttötarkoituksena. Erilaisia virtamuuntajia ovat mm.

- Rengasvirtamuuntajat
  - kaapelivirtamuuntajat
- välivirtamuuntajat
- virtajännitemuuntajat
- sekoitusvirtamuuntajat, (Keskisarja, 2016).

Käytössä olevan virtamuuntajan toisiopiiriä ei saa avata, koska tällöin koko ensiövirta magnetoi sydäntä, joka kyllästyy nopeasti. Tämän seurauksena toisioliittimien välisen jännitteen huippuarvo kasvaa hyvin suureksi, jopa kymmeneen kilovolttiin, mikä on sekä laitteille että ihmisille vaarallinen jännite. Näin suuresta jännitteestä voi syntyä läpilyönti, joka tuhoaa virtamuuntajan ja mahdollisesti muita laitteita. Toisiopiiri tulee ensin oikosulkea, jos se täytyy avata. (Mörsky, 1993).

Virtamuuntajan, kuten jännitemuuntajan, toisiopiirin yksi piste on maadoitettava, samoin kuin myös kaikki kosketeltavissa olevat johtavat osat. (Mörsky, 1993).



KUVA 10. Valuhartsivirtamuuntajia (ABB Oy, 2017).

### 5.2.1 Nimelliset arvot

Virtamuuntajille kriittisimmät tekniset arvot ovat:

- Terminen mitoitusvirta (1 s virtakestoisuus)
- dynaaminen mitoitusvirta
- eristystaso
- nimellisjännite
- mitoitustaajuus
- mitoitusensiövirta
- mitoitustoisiovirta
- virta-alueen laajennuskerroin (ext %)
- mitoitustaakka
- tarkkuusluokka
- tarkkuusrajakerroin (suojaussydän) tai mittarivarmuuskerroin (mittaussydän). (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Virtamuuntajan terminen mitoitusvirta tarkoittaa sen suurinta ensiövirtaa, minkä virtamuuntaja kestää 1 s ajan termisesti vahingoittumatta, kun toisiokäämit on oikosuljettu. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Dynaaminen mitoitusvirta ilmoittaa, kuinka suuren ensiössä kulkevan virran aiheuttamat voimat virtamuuntaja kestää vahingoittumatta, kun toisiokäämit on oikosuljettu. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Mitoitusensiövirrat ovat standardoidut:

10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 A, sekä näiden kymmenpotenssikerrannaiset ja -osat. Suositeltavat arvot ovat alleviivattuna. Virtamuuntajat voivat olla myös vaihtokytkettäviä kahdelle ensiövirralle, jolloin merkintä on 50 - 100 A kaltainen. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Virta-alueen laajennuskerroin ext % ilmoitetaan prosentteina mitoitusensiövirrasta. Se on ensiövirta, jolla lämpenemät eivät ylitä annettuja arvoja. Mitoitustoisiovirrat ovat standardoidut ja ne ovat 1 A, 2 A ja 5 A, joista suositeltavat arvot ovat 1 A sekä 5 A. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Mitoitustaakka on suurin kuormitusimpedanssi, jolla virtamuuntajaa voidaan kuormittaa siinä olevassa tarkkuusluokassa. Nimellistaakka ilmoitetaan tavallisesti näennäistehona S [VA], joka on mitoitustaakka kerrottuna nimellistoisiovirran neliöllä. Mitoitustaakan standardiarvot ovat 2,5 - 5 - 10 - 30 VA. Suuremmat tehot valitaan tarpeen mukaan. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Mittaussydämen tarkkuusluokat määräytyvät suurimpien sallittujen virta- ja kulmavirheiden avulla. Kulmavirhe on ensiö- ja toisiovirran ajallinen vaihesiirtokulma, joka on positiivien toisiovirran ollessa ensiövirtaa edellä.

Mittaussydämelle sallitut maksimivirhearvot ovat nähtävissä taulukossa 5. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

TAULUKKO 5. Mittaussydämen sallitut maksimivirhearvot (ABB-TTT käsikirja, 2000)

| Luokka | Virtavirhe ± %        |      |     |     |     | Kulmavirhe ± min      |     |     |     |
|--------|-----------------------|------|-----|-----|-----|-----------------------|-----|-----|-----|
|        | $I_p = I_{pn} \times$ |      |     |     |     | $I_p = I_{pn} \times$ |     |     |     |
|        | 0,05                  | 0,2  | 0,5 | 1,0 | 1,2 | 0,05                  | 0,2 | 1,0 | 1,2 |
| 0.1    | 0,4                   | 0,2  |     | 0,1 | 0,1 | 15                    | 8   | 5   | 5   |
| 0.2    | 0,75                  | 0,35 |     | 0,2 | 0,2 | 30                    | 15  | 10  | 10  |
| 0.5    | 1,5                   | 0,75 |     | 0,5 | 0,5 | 90                    | 45  | 30  | 30  |
| 1      | 3,0                   | 1,5  |     | 1,0 | 1,0 | 180                   | 90  | 60  | 60  |
| 3      |                       |      | 3,0 |     | 3,0 |                       |     |     |     |
| 5      |                       |      | 5,0 |     | 5,0 |                       |     |     |     |

Tarkkuusluokat tarkoittavat suoraan virtamuuntajan tarkkuusvaatimusta virroilla 1  $I_n$  ja 1,2  $I_n$ . Virtamuuntajien tarkkuuteen vaikuttaa toisioon kytketty taakka, magnetointivirta sekä virtamuuntajan mahdollinen kyllästyminen, joka johtaa virheen kasvuun kuormitusvirran yhä kasvaessa. (Mörsky, 1993).

Tarkkuusluokilla 3 ja 5 ei ole ollenkaan kulmavirhevaatimuksia, sillä ne ovat puhtaasti virranosoitusta varten. Samalla virtamuuntajalla voi olla useita tarkkuusluokkia eri nimellistaakoilla, esim. 15 VA Class 0,5 - 30 VA class 1. (Mörsky, 1993).

Suojaussydämen tarkkuusluokat. Suojaussydämelle sallitut maksimivirheet ja niiden arvot nähtävissä taulukossa 6, jossa P kirjain tarkoittaa suojaussydämen tunnusta. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

TAULUKKO 6. Suojaussydämen sallitut maksimivirhearvot (ABB-TTT käsikirja, 2000)

| LUOKKA | Mitoitusensiövirtaa ja mitoitus-<br>taakkaa vastaava |            |
|--------|--|------------|
|        | virtavirhe   | kulmavirhe |
| 5P     | ± 1 %  | ± 60 min   |
| 10P    | ± 3 %  | -<br>1)    |

1) Linearisoidulla virtamuuntajalla 150 min.

Suojausvirtamuuntajan on puhtaalla vaihtovirralla voitava pysyä tarkkuusluokassaan, tarkkuusraja-kertoimen ja nimellisvirran tulon mukaiseen rajaan saakka. Suojausvirtamuuntajan sydämen mer-kintä on muotoa esim. 10P50, missä 10 tarkoittaa yhdistettyä virhettä, P suojaussydän (protection) ja 50 tarkkuusraja-kerrointa. (Mörsky, 1993).

Tarkkuusraja-kertoimen on oltava suuri, kun suojareleen halutaan toimivan virtamuuntajan nimellis-virtaan verrattuna suurella, muuntosuhteen mukaisella virralla. Standardoidut tarkkuusraja-kertoimet ovat: 5 - 10 - 15 - 20 - 30. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

## 6 SUOJAUKSET

Standardin SFS- 6001:2018 3. painoksessa sanotaan: *”Laitteistossa on oltava tarpeen mukaan sen virheettömän ja turvallisen toiminnan vaatimat valvonta-, suoja-, säätö ja ohjauslaitteet. Laitteisto on suojattava ylikuormitukselta sekä sisäisiltä että ulkoisilta vioilta automaattisesti, nopeasti ja selektiivisesti toimivilla suojalaitteilla. Suojauksen suunnittelussa on otettava huomioon laitteiston koko ja tärkeys. Suojalaitteasettelujen määrittämiseksi suojauskoordinaatioselvityksiä on tehtävä käyttäjän ja toimittajan kesken sovituissa laajuudessa.”* (SESKO ry, 2018).

Suojauksen suunnittelussa huomioon otettavat ilmiöt:

- ylivirta (oiko- ja maasulku)
- ylikuormitus ja lämpövaikutukset
- yli- ja alijännite
- yli- tai alitaajuus. (SESKO ry, 2018).

Loviisan voimalaitoksella on käytössä riittävän kattavat suojaukset, jotka on määritelty siten, että ne ovat yksinkertaiset, varmat, luotettavat sekä selektiiviset. Luotettavuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä ensisijaisesti suojauksen luotettavaa ja varmaa toimimista vikatilanteissa mutta toissijaisesti myös virhelaukaisujen minimointia. Virhelaukaisujen minimoiminen on siis vähintään yhtä tärkeää ydinvoimalaitoksissa, kuin suojauksen oikea toimiminen vikatilanteissa, koska väärät virheelliset suojauksen toiminnot voivat pahimmassa tapauksessa vaarantaa ydinturvallisuuden sekä johtaa tuotannon menetykseen ja täten rahan menetykseen. Käytössä olevissa releissä molemmissa sekä EYT, että turvallisuusluokitelluissa, on käytössä ylivirtasuojaus (oiko- ja ylikuormitus), maasulkusuojaus (tai suuntasuojaus), yli- ja alijännitesuojaus sekä moottorisuojaus, joka kattaa ylikuorman, oikosulut, lämpenemän sekä vinokuormituksen pyörivillä koneilla. Lisäsuojauksena kennoilla on kiskostosuojana toimiva valokaarisuojaus.

Suojareiden uusimisien kannalta tämä tarkoittaa sitä, että releiden tulisi suojauksiltaan olla mahdollisimman yksinkertaiset siten, että ne sisältäisivät vähintään samat suojaukset, kuin olemassa olevat releet, mieluiten ei yhtään enempää. Liian monipuoliset monitoimisuojarleedat monine suojauksiineen eivät siis välttämättä ole oikea valinta ydinvoimalaitoksiin käytettävyyden, ohjelmoimisen, lukuisien parametrien sekä virhetoimintojen ehkäisemisen kannalta. Ydinvoimalaitoksissa suojauksen tulee olla varma, varmennettu, luotettava sekä yksinkertainen, jotta päästään optimaalisimpaan suojaustasoon. Teknis- taloudellinen yksinkertaisuus on relesuojauksen painosana, ja se liittyy virhetoimintojen minimoimiseen, koska virhelaukaisusta saattaa syntyä suuriakin tuotannon menetyksiä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että suojaukset halutaan pitää samoina, vaikka suojarleitä uusittaisiin.

## 6.1 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen ensisijaisena tavoitteena on torjua oikosulkuvirran lämpenemästä ja dynaamisista voimista aiheutuvat vauriot sähkölaitteistolle sekä erottaa viallinen osa irti sähköverkosta. Toissijaisena tavoitteena on sähköjärjestelmän turvallisuuden takaaminen myös vikatilanteissa käyttäjien ja ulkopuolisten ihmisten kannalta. Yleensä oikosulkusuojaukseen Suomen suurjännitejärjestelmissä käytetään vakioaikaylivirtareleitä, joissa on käytössä kaksi asetteluporrasta. Ensimmäinen porras havaitsee ylikuormituksen ja toinen ylempi porras oikosulkuvirran. (Lakervi Erkki, 2012).

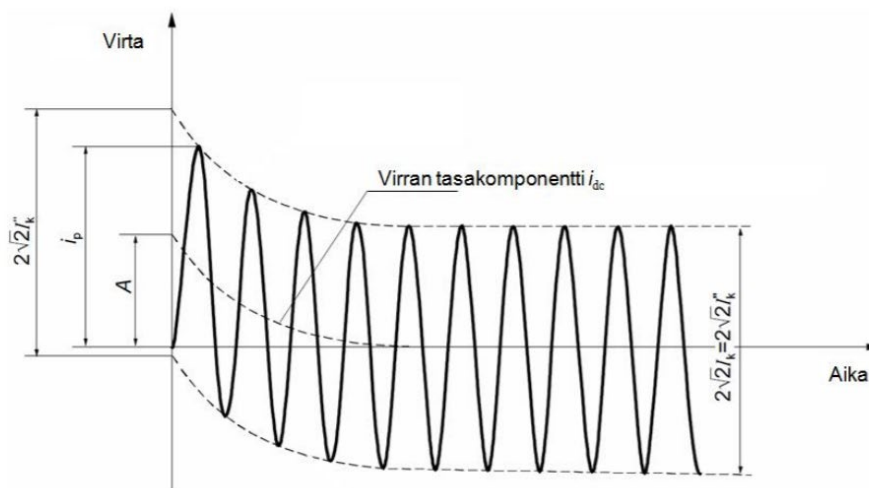
Oikosulkusuojaustavan valinnalla voidaan vaikuttaa suojauksen toimintanopeuteen, jolla on merkittävä vaikutus oikosulun aiheuttamiin haittoihin. Mitä nopeammin suojaus toimii sitä pienemmiksi jäävät oikosulusta johtuvat vaaratekijät ja vahingot sekä verkon termiset rasitukset. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Selektiivinen oikosulkusuojaus voidaan muodostaa:

- Aikaselektiivisenä
- aika- ja virtaselektiivisenä
- aika- ja suuntaselektiivisenä
- virta- tai impedanssiselektiivisenä
- lukitus- tai differentiaalisuojauksena
- distanssi- tai vertosuojauksena. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Sähköverkoissa esiintyvät oikosulut voivat olla joko symmetrisiä, kuten 3-vaiheinen oikosulku, tai epäsymmetrisiä, kuten kaksi- tai yksivaiheinen oikosulku. Näistä 3-vaiheinen oikosulku on sähköjärjestelmän kannalta vaikein, koska oikosulkuvirran suuruus voi olla suuruusluokaltaan 10 – 40 kertainen kuormituksen nimellisvirtaan nähden. Suojausautomaatiikan on siis katkaistava kyseinen vika mahdollisimman nopeasti säilyttääkseen laitteet toimintakuntoisina vian jälkeenkin. (Laiho, 2007).

Oikosulkusuojauksen havahtumisvirran asetteluarvot on asetettava siten, että suojaus havaitsee pienimmänkin kaksivaiheisen oikosulun johdon loppupäässä, mutta ei laukaise kuormitusvirrasta. Tällöin hyvänä sääntönä virran asetteluille voi olla kaksinkertainen virta kuormitusvirtaan nähden, johdon oikosulkusuojauksessa. (Lakervi Erkki, 2012).



KUVA 11. Oikosulkuvirran käyrämuoto.  $I_k$  on alkuoikosulkuvirta,  $i_p$  on sysäysoikosulkuvirta,  $I_k$  on loppuoikosulkuvirta ja  $A$  on tasavirtakomponentin  $i_{dc}$  huippuarvo. (Hirvonen Rauno, DI-työ 2010.)

Maasta erotetussa verkossa yksivaiheinen oikosulku tarkoittaa yksivaiheista maasulkua. Tällöin maasulkuvirta ei yleensä ole tarpeeksi suuri aiheuttamaan ylivirtareleen toimimista. Tällöin maasulkusuojaus voidaan toteuttaa käyttämällä nolajännitereleitä eli jännitemuuntajia avokolmiokytkennällä sekä summavirtamuuntajien avulla, jolloin on kyse suunnatusta maasulusta. (Mörsky, 1993).

## 6.2 Maasulkusuojaus

Suomessa keskijänniteverkon ja teollisuuden sähköjakeluverkon maadoitustapana käytetään yleensä maasta erotettua tai sammutettua verkkoa. Syyt näihin ovat Suomen maaperän huonoista maadoitusominaisuuksista johtuva kosketusjännite ongelma maasulun aikana. Tällaisissa verkoissa maasulkusuojausta ei voida toteuttaa oikosulkusuojauksen avulla, koska vikavirta on todella pieni, jopa pienempi kuin kuormitusvirta. Mahdollisia maasulun indikaattoreita on kuitenkin monia:

- Perustaajuinen tähtipisteen jännitemuutos
- perustaajuinen vaihejännitteen muutos
- perustaajuinen summavirta
- suurtaajuiset muutosvirrat
- virran ja jännitteen yliaallot. (Lakervi Erkki, 2012).

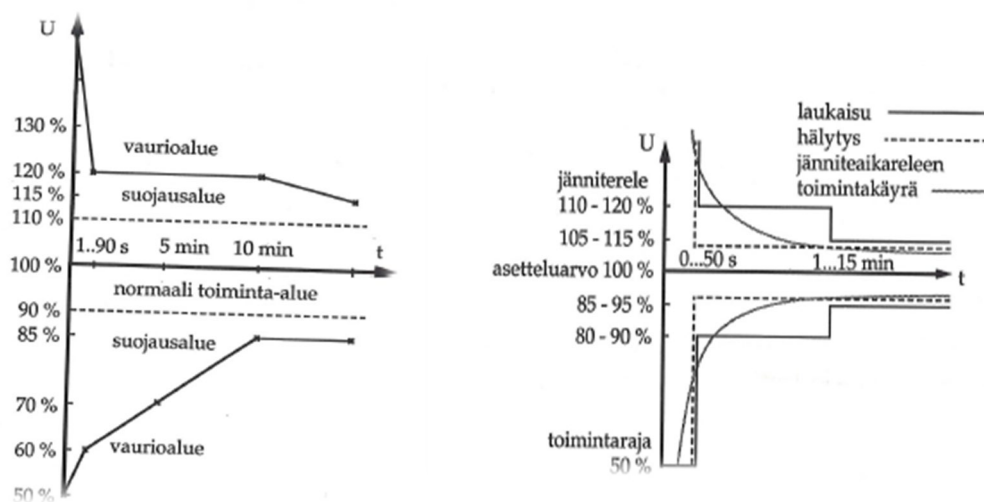
Kun maasulku tapahtuu maasta erotetulla verkolla, muuttuvat verkon vaiheiden sekä tähtipisteen jännitteet ja verkossa esiintyy johtojen maakapasitanssien kautta kulkevia vikavirtoja.



kulkevan nollavirran välistä kulmaa. Maasulun kapasitansseista johtuvien reaktanssien takia verrattavan kulman tulee olla lähellä  $90^\circ$ . Tällöin releen sijaintilähdön tunnistavaksi toimintaehdoksi tulee  $90^\circ - \Delta\varphi < \varphi < 90^\circ + \Delta\varphi$ . (Lakervi Erkki, 2012).

### 6.3 Yli- ja alijännitesuojaus

Kokemusten ansiosta tiedetään liian kauan vaikuttavien yli- ja alijännitteiden aiheuttavan sähkökultuslaitteiden vaurioita. Jännitettä säädetään jakeluverkossa muuntajien käämikytkimillä, mutta ainoastaan käämikytkimellä ja jännitteensäätäjällä ei yli- ja alijännitesuojausta voida toteuttaa, sillä niiden säätöalue tai nopeus eivät ole riittäviä. Tarvitaan jännitesuojausta sekä jännitteiden valvoja, jolla yli- ja alijännitteiden vaikutusaikaa kyetään lyhentämään. (Mörsky, 1993).



KUVA 13. Yli- ja alijännitteiden aika-alueet laitevaurion kannalta (vas.) & yli- ja alijännitesuojauksen toteuttaminen (oik.) (Mörsky 1993, s.232-233)

Yli- ja alijännitesuojaus toteutetaan yli- ja alijännitesuojareleistyksellä, jotka aikahidastettuina antavat hälytyksen ja/tai häiriön jatkuessa laukaisukäskyn katkaisijalle. Yli- ja alijännitereleet havahtuvat siis asetellun yli- tai alijännitteen ylittyessä/alittaessa toiminta-arvon. Jännitereleistyksessä on välttämätöntä niiden epäherkkyys, riippuen suojauksen sovellutuksesta, jottei rele toimisi väärässä tilanteessa, kuten pikajälleenkytkennän, moottorin käynnistyksen tai kuormituksen äkillisen pienen muutoksen takia. (Mörsky, 1993).

Alijännitereleistystä käytetään usein suurten moottoreiden tai generaattoreiden yhteydessä sekä kiskovalvojen osilta myös kiskosuojauksessa. Ylijännitereleistystä käytetään usein aikahidastettuina havaitsemaan maasulkuja, tahtigeneraattorien (ryntäyssuojan varasuoja), moottoreiden, muuntajien (ylimagnetointi) ja kiskosuojausten yhteydessä. Koska ylijännitereleiden on yleensä annettava usealle kohteelle kytkentävirike, on niissä oltava useita koskettimia tai apureleitä. (Mörsky, 1993).

Yli- ja alijännitereleistys moottoreilla toteutetaan yleensä siten, että ylijänniterele kytkee moottorin irti verkosta jännitteen noustessa pysyvästi 15 – 20 % yli nimellisen ja alijänniterele kytkee moottorin vastaavasti irti jännitteen laskiessa tarpeeksi tai kiskoston tullessa jännitteettömäksi. Alijännitereleistyksellä estetään moottoreiden yhdenaikainen käynnistyminen jännitteen palatessa normaaliksi ja ylijännitereleistyksellä estetään moottorin ylikuormitus sekä eristeiden vaurioituminen. (Mörsky, 1993).

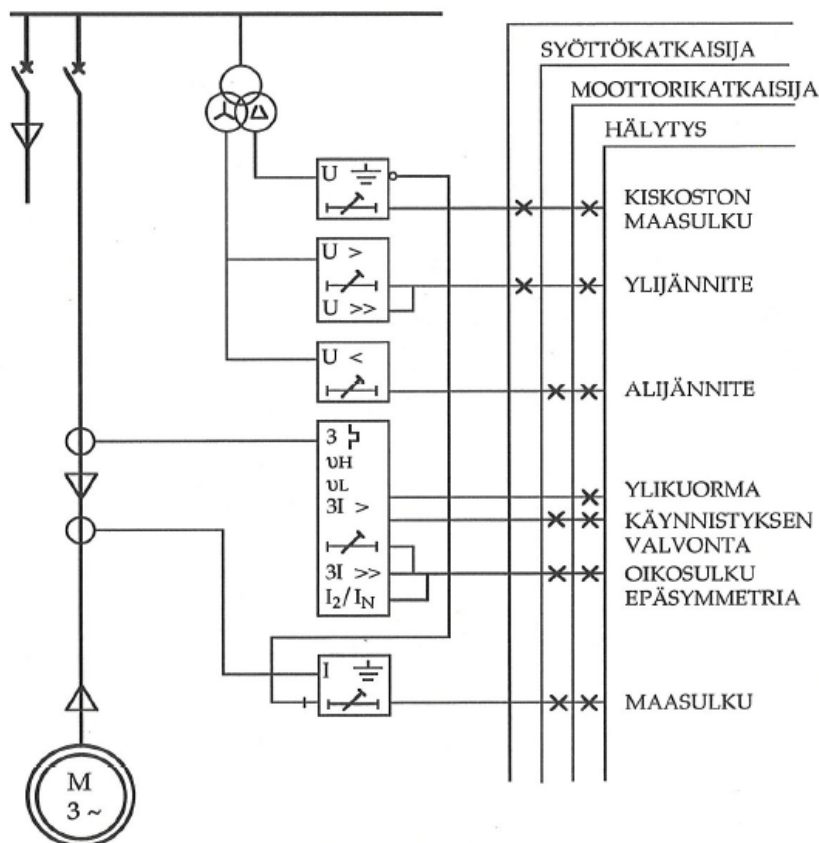
#### 6.4 Moottorisuojaus

Moottoreiden relesuojauksen kannalta merkittäviä käyttöpaikkoja ovat voimalaitokset ja teollisuus. Moottorit altistuvat monille erilaisille häiriöille ja rasituksille käyttöpaikoissaan. Sähköverkosta aiheutuvia häiriöitä ovat yli- ja alijännitteet, yli- ja alitaajuudet, yliaallot, jännite-epäsymmetria ja jälleenytkennät. Käytöstä johtuvia rasituksia ovat monesti toistuvat käynnistykset, jumitilat, ylikuormat ja mekaaniset rasitukset. Muita ulkoisia häiriötekijöitä ovat mm. likaantuminen, jäähtyksen häiriöt, lämpötila, kosteus ja huoltovirheet. Moottorisuojauksessa pyritään siis minimoimaan moottorin rasitukset, varsinkin eristyksen kannalta, etteivät ne tulisi liian suuriksi ja moottorin eristys kestäisi käyttökuntoisena mahdollisimman pitkään. (Mörsky, 1993).

Relesuojauksen avulla yritetään suojella moottoria rasituksilta ja häiriöiltä kuten:

- Käynnistysrasitus
- ylikuormitus ja yllämpö
- epäsymmetria
- yli- ja alijännite
- oikosulku ja maasulku
- moottorin sisäiset oiko- ja maasulut
- tärinä. (Mörsky, 1993).

Suurjännitemoottoreiden suojaus pystytään siis toteuttamaan ns. moottorisuojareleillä, jotka sisältävät oikosulku-, ylikuormitus- ja epäsymmetriasuojat sekä käynnistykseen valvonnan yksittäisen sekä jatkuvan käynnistykseen osalta. Maasulkusuojaus toteutetaan nollavirtareleen avulla, joka on lukittuna kiskoston nollajännitereleeseen. Kuvasta 14 nähdään suurjänniteoikosulkumoottorin suojaus. (Mörsky, 1993).



KUVA 14. Esimerkki suurjänniteoikosulkumoottorin suojauksista (Mörsky 1993, s. 182)

| Häiriötilanne  | Epätahtimoottori   |                 |                                   |            | Tahtimoottori |        |
|--|--------------------|-----------------|-----------------------------------|------------|---------------|--------|
|  | Nimellisjännite kV | <1              |                                   | 2,8 - 13,8 | 2,4 - 13,8    |        |
|  |                    | Nimellisteho MW | ≤ 0,5                             | > 0,5      | ≤ 3           | 3 - 10 |
| Ylikuormitus   |                    | •               | •                                 | •          | •             | •      |
| Oikosulku verkossa                                   |                    | •               | •                                 | •          | •             | •      |
| Käämisulku staattorissa                              |                    | -               | -                                 | -          | o             | •      |
| Maasulku staattorissa                                |                    | ◊               | ◊o                                | ◊o         | ◊o            | •      |
| Napajännitteen nousu                                 |                    | -               | ◊                                 | ◊          | ◊             | ◊      |
| Epäsymmetria   |                    | -               | o                                 | •          | •             | •      |
| Alijännite tai hetkellinen katkos                    |                    | ◊               | ◊                                 | ◊          | ◊             | ◊      |
| Alimagnetointi ja epätahtikäyttö                     |                    |                 |                                   |            |               | •      |
| Maasulku roottorissa                                 |                    |                 |                                   |            |               | •(1)   |
| Käynnistyksen valvonta                               |                    | •               | •                                 | •          | •             | o      |
| Magnetointipiirin pyörivän diodisillan vikaantuminen |                    |                 |                                   |            |               | •(2)   |
| Yliämpö staattorikäilyksessä                         |                    | o               | •                                 | •          | •             | •      |
| Yliämpö jäähdytysilmassa                             |                    | -               | o                                 | o          | o             | o      |
| Yliämpö liukulaakerissa                              |                    | -               | •                                 | •          | •             | •      |
| Tärinävalvonta                                       |                    | -               | -                                 | -          | o             | o      |
| Tärinä vierintälaakerissa                            |                    | o               | •                                 | •          | •             | •      |
| Taulukon merkinnät:                                  |                    | •               | Välttämätön konekohtaisena        |            |               |        |
|  |                    | o               | Harkinnan varainen konekohtaisena |            |               |        |
|  |                    | ◊               | Välttämätön verkkokohtaisena      |            |               |        |
|  |                    | -               | Tarpeeton                         |            |               |        |
|  |                    | 1)              | Harjallinen kone                  |            |               |        |
|  |                    | 2)              | Harjaton kone                     |            |               |        |

TAULUKKO 7. Moottorisuojauksen laajuustaulukko (Mörsky 1993, s. 186)

Suurjännitemoottorin suojausten laajuus riippuu moottorin tyypistä sekä tehosta. Kuvan 14 ja taulukon 7 mukaan, voidaan arvioida mitä suojausta tulee käyttää suurjännitemoottorien suojauksessa ja mitkä suojaukset ovat harkinnan varaisia. Kuvan 14 suurjännitemoottorin suojauskaaviosta nähdään esimerkki suojauksista. Moottorin tehoa ei tiedetä, mutta moottorilla on käytössä maasulku-, yli- ja alijännite-, ylikuormitus- epäsymmetria- sekä oikosulkusuojaus. Moottorilla on lisäksi käynnistuksen valvonta. Suojaukset on toteutettu relesuojauksen avulla.

### **Vinokuormitussuojaus**

Kolmivaihejärjestelmän kuormitus muodostuu epäsymmetriseksi eli vinoksi, kun kuormituksen virtaan ilmestyy vastakomponenttia. Epäsymmetrinen virta synnyttää kuormituksen eri osissa jännitehäviöitä, jolloin myös jännitteeseen ilmestyy yhdenmukainen epäsymmetrinen vastakomponentti. Pyörivissä koneissa virran vastakomponentti saa aikaan päävuota vastaan pyörivän magneettivuon, joka synnyttää pyörintää vastustavan vääntömomentin, josta voi mahdollisesti aiheutua värinöitä, eristykselle, vaarallisen suurien jännitteiden roottoriin sekä koneen ylikuumentumista. (Mörsky, 1993).

Yksi- tai kaksivaiheiset oikosulut aiheuttavat suurimpia vinokuormitustilanteita, mutta oikosulkusuojaus hoitaa yleensä tällaiset viat nopeasti. Toisena suurena vinokuormituksen aiheuttajana ovat johdinkatkokset ja niistä aiheutuvat kuormitustilat. Myös normaalit kaksivaiheiset kuormat, esimerkiksi yksivaiheiset sähkörautatien syötöt muuntajilla, suoraan kolmivaiheisesta kantaverkosta, aiheuttavat virtoihin ja jännitteisiin vastakomponenttia. (Mörsky, 1993).

ABB TTT 2000-7 käsikirjan mukaan pyörivien koneiden moottorisuojausta voidaan täydentää erityis-suojilla, joista yksi on myös Loviisan voimalaitoksella moottorisuojareleissa oleva aikaisemmin mainittu vinokuormitussuojaus. Vinokuormitussuojaus on siis lisäuojaus, joka suojaaa moottoreiden roottoreita liialliselta lämpenemiseltä, joka johtuu sähköverkon jännitteiden epäsymmetriasta. Tämä tarkoittaa, että 3-vaihejärjestelmän kaikki vaiheet eivät ole yhtä suuria ja/tai ne eivät ole 120° kulmaerossa toisistaan. Tällöin moottoreilla esiintyy vastakomponenttia, joka aiheuttaa edellä mainitun roottorin liiallisen lämpenemisen. Vinokuormitussuojaus mittaa ja havaitsee virran ja jännitteen vastakomponentin suojassa olevan kytkennän avulla. Suoja laukeaa, kun asetteluarvo ylittyy. (ABB:n TTT käsikirja 2000-7, 2000).

Tärkeät koneet voidaan siis suojata vaaralliselta kuormituksen epäsymmetrialta vinokuormitus- eli epäsymmetriasuojilla. Niiden toiminta perustuu erikoiskytkentöihin, joilla kolmivaihejärjestelmän jännitteistä ja virroista pelkistetään erilleen vastakomponentti. Vastakomponentti asetetaan vaikuttamaan jännite- tai virtareleeseen, joka vaaratilanteessa erottaa koneen verkosta. (Mörsky, 1993).

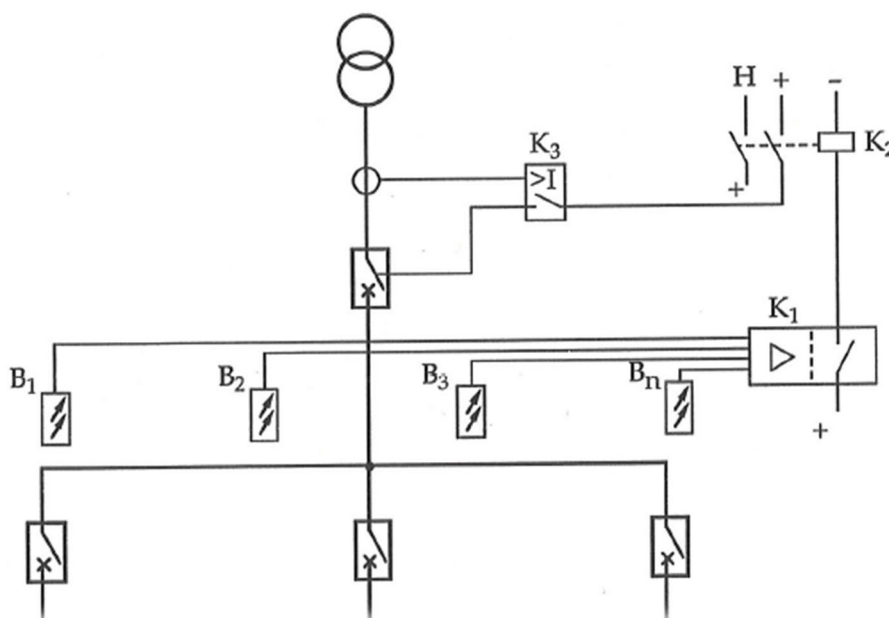
Kappaleessa 3.1.2 kerrottiin Loviisan voimalaitoksella olevan staattisia SPAJ 3R5J6 moottorisuojareleita, joissa on oikosulku-, ylikuormitus- jumi- ja vinokuormasuojaus sekä käynnissä olon valvonta.

Tällä suojarieellä hoidetaan turvallisuusluokiteltujen moottorilähtöjen suojaus. Vastaavasti EYT moottorilähtöjen suojaus toteutetaan Micom P241 moottorinsuojareileillä.

## 6.5 Valokaarisuojaus

Valokaarisuojauksessa syntyvä valokaari sisältää todella paljon energiaa, joten valokaarioikosulut tulisi estää mahdollisimman nopeasti, jotta vältetään suuremmilta vaurioilta. Valokaarioikosulkusuojauksen toteutukseen on monta erilaista menetelmää, joista nopein on valoon perustuva valokaarisuojaus. Tähän valoon perustuvaan suojausmenetelmään kuulu valokaarirele, valoanturit, virtamuuntajat ja suojattavan kohteen katkaisija. Valokaarisuojausjärjestelmä on tarkoitettu asennettavaksi sähköasemille ja sähkökeskuksiin tarvittaessa, ja sen tehtävänä on vian tullessa rajoittaa valokaarioikosulun vauriot mahdollisimman pieniksi antamalla ohjaukskäsky katkaisijalle. (Tikkanen, 2015).

Valokaarisuojauksen toimintaperiaate perustuu virtamuuntajien mittaamaan ylivirtaan sekä valoantureiden samanaikaiseen valokaaren välähdyksen havaitsemiseen. Tällöin valokaarirele antaa nopeasti ohjaukskäskyn katkaisijalle. Valokaarisuojauksen toiminta-ajat ovat pieniä, ne ovat kokonaislaukaisultaan ajallisesti yleensä noin 50 – 100 ms luokkaa. (Tikkanen, 2015), (Mörsky, 1993).



KUVA 15. Valokaarisuojan toimintaperiaate. B1 - Bn valokennot, K3 vakioaikaylivirtarele, K2 apurele, K1 vahvistin ja H hälytyspiiri. (Mörsky 1993, s. 213)

Kuvassa 15 on esitetty valokaarisuojauksen toteutuksen esimerkki, jossa valokennot B1 – Bn valvoivat kiskoston valokaarioikosulkuja ja antavat kiskoston valokaarivioissa vahvistimen K1 ja apureleen K2 koskettimien ja ylivirtareleen K3 havahtumiskoskettimen kautta laukaisukäskyn katkaisijalle. Tällaista suojausjärjestelmää suositellaan käytettävän keskijännitejärjestelmissä. Suojaus toimii vain

valokaarivioissa, ja sitä voidaan käyttää pelkästään sisätiloissa, sillä auringon ja muun ympäristön valo sekä lämpötila sekä niiden vaihtelu voivat häiritä valokennojen toimintaa. (Mörsky, 1993). Loviisan voimalaitoksella 6 kV kenoissa käytössä oleva valokaarisuojaus on toteutettu UTU:n Falcon valokaarisuojaus tuotepaketilla. UTU Falcon on tarkoitettu käytettäväksi pien- ja keskijännitekojeistoissa ja valokaarisuojaus varmistaa henkilöiden turvallisuuden sekä minimoi laitteistojen rikkoutumisen valokaarioikosuluissa. Kuva UTU:n valokaarisuojausjärjestelmästä on nähtävissä seuraavalla sivulla. (UTU).



KUVA 16. UTU Falcon valokaarisuojaus. (UTU, 2008)

UTU Falcon valokaarisuojaus koostuu keskusyksiköstä FALCON, Falcon arc valokaarireleestä sekä kolmivaiheisesta ylivirtareleestä UTU CR3. Valokaarireleistyksen toimintaperiaate on omaisuuden ja ihmisten suojaaminen valokaarioikosuluissa. Suojaus toteutetaan mittaamalla kennostoissa ja keskuksissa syntyvää valoa valokaarireleen ja valokaapelien sekä samanaikaisen ylivirtareleen mittamaan ylivirran avulla. UTU Falcon valokaarisuojaustuotepaketin toimintanopeus saadaan hyvinkin nopeaksi suojausreleiden puolijohdinkytkimien Triacien sekä valokaapeleiden avulla. Suojausreleen toimintanopeus on alle 1 ms siitä, kun valokaari havaitaan ja kun virta-asetus ylittää 50 – 500 % virta-arvon. UTU Falcon valokaarisuojauksen toimintaperiaatekaavio nähdään kuvasta 15 (edellinen sivu). (UTU Valokaarisuojausreleet ARC10, CR3 & BR 4 esite, 2008).

## 6.6 Muuntajasuojaus

Muuntajavikoja tapahtuu todella harvoin, harvemmin kuin yksi 100 muuntajavuotta kohti. Muuntajavian kuitenkin tapahtuessa, muuntaja vaurioituu pahoin, jolloin syntyy pitkät ja kalliit korjaukset. Tämän takia muuntajia suojataan ja valvotaan huolellisesti. (Mörsky, 1993).

Muuntajan vikoja aiheuttavat mm. eristyksen vanheneminen pitkäaikaisen yllämpötilan vaikutuksesta, jännitelujuusominaisuuden menettänyt ja likaantunut öljy, eristyksen osittaispurkaukset, ylijännitteet, yliaallot sekä ulkoisten vikojen oikosulkujen aiheuttamat voimat muuntajan käämityksissä. (Mörsky, 1993).

Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, muuntajasuojaus kattaa muuntajan lisäksi suojauksessa olevien virtamuuntajien rajoittamat yläjännite ja alajännitepuolen laitteet. Muuntajan yläjännitepuolen suojaus kuuluu muuntajan lisäksi syöttävän johdon suojausalueeseen. Alajännitepuoli kuuluu osittain myös kahteen suojausalueeseen. Muuntajakentällä ei usein toteuteta erillistä maasulkusuojausta, vaan maasulkusuojaus kuuluu kiskostosuojan alueeseen. (Mörsky, 1993).

Muuntajasuojaus voidaan luokitella seuraavasti:

- Ylivirtasuojaus (muuntajan sisä- ja ulkopuoliset oikosulut)
- maasulkusuojaus (sisäiset maasulut)
- käämi- ja kierrossulkusuojaus (sisäiset oikosulut)
- ylijännitesuojaus (käyttötaajuiset)
- ylikuormitussuojaus
- kaasuojaus (Buchholz, sisäinen oikosulku)
- käämikytkinsuojaus (käämikytkimien viat). (Mörsky, 1993).

Ylivirta- ja differentiaalisuojausta käytettäessä tulee huomioida muuntajan sallittu ylikuormitus. Täten ainakin ylivirtasuojien releiden virta-asetteluiden tulee olla ainakin  $1,5 \times I_n$ , jotta muuntajan ylikuormitettavuus saadaan hyvin hyödynnettyä. Ylivirta- ja differentiaalisuojauksessa tulee huomioida myös muuntajan verkkoon kytkeytymisestä aiheutuva sysäysoikosulkuvirta. Muuntajan sysäysoikosulkuvirta aiheuttaa 2. harmonista yliaaltoa taajuudella 100 Hz. Tätä voidaan hyödyntää ylivirtasuojauksen ja differentiaalisuojauksen asetteluissa vakavoinnilla, lukituksella tai asetteluiden arvoilla. (Mörsky, 1993).

Muuntajissa on ulkoisen suojareleistyksen lisäksi myös omia kiinteitä suojia, jotka suojaavat muuntajia sisäisiltä oiko- ja maasulkutilanteilta. Muuntajan primääripuolen tärkein suojalaite on kaasurele eli Buchholz-rele, joka on kehitetty jo 1920-luvulla. Kaasurele asennetaan muuntajasäiliön ja paisuntasäiliön väliseen putkeen, ja se toimii ensisijaisesti muuntajan erilaisten sisäisien eristysvikojen vaikutuksesta. Releen toimintanopeus on lyhimmillään 50 – 100 ms. (Mörsky, 1993).

Normaalitilanteessa kaasurele on täynnä öljyä. Kun vian aiheuttama valokaari saa aikaan öljyn ja eristeaineiden kaasuuntumisen, joka työntyy paisuntasäiliöön ylös, syrjäyttää kaasu öljyä tieltään. Kaasun kerääntyessä ja öljyn laskettaessa kaasureleen uimuri laskeutuu. Rele hälyttää, kun uimuri laskeutuu hälytyskoskettimelle, ja laukaisee sen laskeutuessa laukaisukoskettimelle. Buchholz kaasurele laukaisee yleensä muuntajan ylä- sekä alajännitepuolen katkaisijan auki. (Mörsky, 1993).

Käämikytkimien suojareleitä ovat virtaus- ja painerele. Käämikytkimen rakenteen mukaan määräytyy, kumpaa relettä tulee käyttää. Virtausrele asennetaan käämikytkimen yläosan ja paisuntasäiliön

putkeen. Rele havahtuu käämikytkimeltä paisuntasäiliöön päin virtaavan vaikutuksen takia ja toimii täten vain käämikytkinivioissa. Painerele asennetaan käämikytkimen yläosaan ja rele toimii käämikytkimen tehokytkinosassa esiintyvässä epänormaalissa paineennousussa. Molemmat releet ohjaavat ylä- ja alajännitepuolen katkaisijat auki. (Mörsky, 1993).

Muuntajan ylikuormitussuojana käytetään usein releistyksen ohella öljyn ja/tai käämin kuumimman kohdan lämpötilan mittausta kosketinlämpömittarilla, joka voidaan asettaa antamaan hälytys ja laukaisu. Öljyssä oleva lämpömittari saadaan tarkaksi kytkemällä lämmitysvastus muuntajan virtamuuntajan toisiopiiriin. Tällaisia suojia sanotaan käämin lämpötilan kuvaajiksi. Lämpötilakuvaajan käämiä matkiva vastuselementti kuormittuu verrannollisesti samanlaisella virralla kuin muuntaja, joten kuvaaja osoittaa käämin kuumimman kohdan lämpötilaa ja kuvaajan vastuksen lämpenemisaikavakio on käämityksen kanssa vastaavanlainen ajallisesti. Lämpötilakuvaajan hälytysraja asetellaan usein hälyttävän melkein heti, kun jatkuvan kuormitettavuuden yläraja ylittyy, ja laukaisu asetellaan yleensä lähelle käämin suurinta sallittua lämpötilaa varmuusmarginaali huomioiden. (Mörsky, 1993).

Jakeluverkossa pienillä jakelumuuntajilla toteutetaan suojaus yleensä sulakkeiden avulla. Muuntajakoon ylittyessä yli 1 MVA:n, suojaus kattaa ylivirtareleen ja kaasusuojan. Kosketinlämpömittari tai lämpörele voidaan myös tällöin sisällyttää suojaukseen. Muuntajakoon suuretuessa lisää, kattaa suojaus ylivirtareleen, eroreleen, kaasusuojan ja käämin lämpötilakuvaajan (yleensä jonkin sortin termostori ja hälytyskeskus systeemi). (Mörsky, 1993).

Loviisan voimalaitoksen 6 kV kytkinlaitoksen lähdoissä olevat omakäyttömuuntajat ovat tyypeiltään kuiva- ja öljytäytteisiä muuntajia, joiden tehot ovat luokkaa 1 – 31,5 MVA. EYT muuntajat ovat kuivamuuntajia, ja turvallisuusluokitellut muuntajat öljytäytteisiä. Omakäyttömuuntajia käytetään 6 kV / 0,4 kV, ensiö- / toisiojännitteellä. Muuntajien relesuojauksessa käytetään mm. ylivirta-, maasulku-, yllilämpenemis-, kaasu-, alijännite- ja valokaarisuojausta. Relesuojaus on toteutettu staattisilla suoja-releillä turvallisuusluokitelluissa järjestelmissä, ja numeerisilla releillä EYT kohteissa. Tämän lisäksi öljytäytteisissä muuntajissa on ainakin Bucholz kaasurele sekä käämikytkimen suojaus.

## 7 SUOJARELEVAIHTOEHDOT

Tässä osiossa tarkastellaan ja listataan mahdolliset vaihtoehdot ja toimintamallit uusille suojareleille. Tilaaja voi vaihtoehdoista päättää suojareleitä uusittaessa, että mitkä vaihtoehdot ja toimintamallit ovat heille suotuisimpia.

Suojareleiden vaihtoehtojen tarkastelu aloitettiin lähettämällä tarjouspyyntö sekä Excel-lista suojareleista eri valmistajien suojareleasantuntijoille. Valmistajilta kysellään heidän korvaavat tuotteensa olemassa olevien suojareleiden tilalle. Valmistajien mahdollisista vastauksista tulee ehdotetut suojareleet tarkastella sekä analysoida ja selvittää sopivimmat vaihtoehdot Fortumille. Suojarelelistaus lähetettiin mm. seuraaville valmistajille; ABB, Siemens, Schneider Electric ja Arcteq. Kaikki valmistajilta saatavat tarjoukset ovat luottamuksellisia ja ne ovat liitteinä ja sitä kautta toimitettu ainoastaan toimeksiantajalle Fortum Power & Heat Oyj:lle.

### 7.1 Kriteerit & vaatimukset

Jotta suojareleet olisivat mahdollista vaihtaa, tulee uusinnan olla perusteltua ja perusteiden näkyvissä. Tämän takia suojareleiden vaihtamiselle on kriteereitä ja vaatimuksia, jotka niiden tulee käyttää. Kriteereitä ja vaatimuksia käsitellään tässä osiossa. Sähköalan normaalien standardien, normien, direktiivien sekä suositusten lisäksi kohdassa 7.1.1 käsitellään vaatimuksia, jotka koskevat ydinvoimalaitoksen luvanhaltijan sähkö- ja automaatiolaitteistoja turvallisuusluokiteltujen järjestelmien näkökulmasta. Ko. vaatimukset tulee täyttää, koska käyttöympäristönä toimii ydinvoimalaitos.

Turvallisuusluokitus määrittää vaaditut kriteerit sekä vaatimukset, jotka tulee täyttää todistetusti. Turvaluokat ovat numeroitu 1 - 4, jossa 4 on vanha luokitus, ja on nykyään EYT/STUK nimityksellä. Numero 1 on korkein turvaluokitus, ja siinä turvallisuusluokassa ei ole sähkölaitteita. EYT turvaluokitus tulee EYT/STUK:n jälkeen, ja on alhaisin, eikä ko. luokituksella ole ylimääräisiä turvallisuusvaatimuksia. (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

#### 7.1.1 Kriteerit & vaatimukset Loviisan voimalaitoksella

Loviisan voimalaitoksella sähköjärjestelmien, sähkölaitteiden ja -laitteistojen sekä komponenttien kriteerit ja vaatimukset tulevat monesta paikasta ja monelta eri taholta. Ylätason vaatimukset tulevat laista, kuten YVL:stä, sähkötyöturvallisuuslaista (SFS6002) ja hallinnollisilta viranomaisilta kuten STUK:lta, voimalaitoksen omista menettelyohjeista sekä lopullisen turvallisuusraportin taulukosta. Em. lopullisen turvallisuusraportin taulukosta tulevat käytännössä vaatimukset apuenergiälähteen

toleransseille, ja käyttöjännitteille, jotka ovat 400 VAC /220/48/24 VDC. Taulukosta tulevat jännitteiden toleranssit esimerkiksi 400 VAC:lle, ovat jännitteenlaatustandardin SFS-EN 50160 arvoja huomattavasti vaativampia ja tarkempia.

Salassapitovelvollisuuden takia, mitään lopulliseen turvallisuusraporttiin kirjattuja vaihtojännitteen tarkkoja toleranssiarvoja ei voida näyttää tässä opinnäytetyössä, mutta niiden arvoja vertailtaessa sähkölaatustandardiin, huomattiin vaatimusten olevan paljon rajummat, kuin mitä SFS-EN 50160 standardi vaatisi. Nämä vaatimustasot johtuvat siitä, että käyttöympäristönä on ydinvoimalaitos.

STUK on sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön hallinnonalan viranomaisena, joka valvoo säteily- ja ydinturvallisuutta Suomessa. STUK valvoo myös siis Loviisan voimalaitoksen toimintaa. STUK:n tavoitteena on ihmisten, yhteiskunnan, ympäristön ja tulevien sukupolvien suojeleminen säteilyn haitallisilta vaikutuksilta. STUK:n tehtävänä on valvoa Suomen säteilyturvallisuutta. (STUK, 2020).

Ydinvoimalaitoksien elinkaaren kaikissa olosuhteissa, sähkö- ja automaatiolaitteilla ja -laitteistoilla on lain osoittamia vaatimuksia. Näitä vaatimuksia, joiden sähkö- ja automaatiolaitteiston sekä niiden valmistajien tulee täyttää, on mainittu YVL E.7 – ohjeessa, Ydinvoimalaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet 15.3.2019. YVL E.7 ohjeessa kuvaillaan ydinlaitosten sähkö- ja automaatiolaitteita sekä kaapeleita koskevia yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia sekä STUK:in valvontaan ja tarkastukseen liittyvät menettelyt. (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

YVL ohjeessa E.7-102 kohdassa sanotaan: *”Ydinenergialain (990/1987) 63 §:n 1 momentin 3 kohdan mukaan Säteilyturvakeskuksella on oikeus vaatia, että ydinpolttoaine tai ydinlaitoksen osiksi tarkoitetut rakenteet tai laitteet valmistetaan säteilyturvakeskuksen hyväksymällä tavalla ja velvoittaa luvanhaltija tai sen hakija järjestämään keskukselle tilaisuus riittävästi tarkkailla polttoaineen tai sellaisten rakenteiden tai laitteiden valmistusta.”* (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

Lisäksi YVL ohjeen E.7-103 kohdassa lausutaan: *”Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 [2] 4 §:n toisen kohdan mukaisesti turvallisuustoimintoja toteuttavat sekä niihin liittyvät järjestelmät, rakenteet ja laitteet on suunniteltava, valmistettava ja asennettava sekä niitä on käytettävä siten, että niiden laatu ja laatuksen todentamiseksi tarvittavat arvioinnit, tarkastukset ja testaukset, mukaan lukien ympäristökelpoisuus, vastaavat kohteen turvallisuusmerkitystä.”* (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

YVL ohjeen E.7-4.2 kohdassa käsitellään laadunhallintajärjestelmää sekä sen vaatimuksista valmistajan laadunhallintajärjestelmälle sähkö- ja automaatiolaitteistojen valmistuksessa. YVL ohjeen E.7-4.2 kohdassa 410 sanotaan: *”Turvallisuusluokan 2 ja 3 sähkö- ja automaatiolaitteiden ja kaapeleiden toimittajilla on oltava hyväksytysti sertifioitu tai kolmannen osapuolen riippumattomasti arvioima johtamisjärjestelmä.”* Eli, kun valmistajan toimitus käsittää turvallisuusluokkaan kuuluvan sähkö- tai automaatiolaitteen tai -laitteiston, tulee toimittajalla olla hyväksytysti sertifioitu tai kolmannen osapuolen riippumattomasti arvioima johtamisjärjestelmä. Laki vaatii tämän. Käytännössä tämä tarkoittaa

taa lähes aina laatustandardin ISO 9001:2015 mukaista kolmannen osapuolen sertifioimaa johtamisjärjestelmää. Yhteenvedona, kun toimituksen kohde on turvallisuusluokkaa 3, riittää, että valmistajalla on ISO 9001:2015 mukainen johtamisjärjestelmä. (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

Kun kohde on turvallisuusluokkaa 2, täytyy valmistajalla täten olla yllä mainitun sertifikaatin lisäksi ydinalan johtamisjärjestelmän vaatimukset täyttävä johtamisjärjestelmä, josta osoituksena voi olla esimerkiksi KTA1401 sertifikaatti, tai vähemmän valmistajilla ollut NQA-1 sertifikaatti. YVL E.7-4.2 kohdassa 411 sanotaan yllä mainittu vaatimus: *”Turvallisuusluokan 2 sähkö- ja automaatiolaitteiden ja kaapeleiden toimittajien johtamisjärjestelmän on täytettävä ohjeessa YVL A.3 esitetyt toimittajien johtamisjärjestelmää koskevat vaatimukset. Johtamisjärjestelmää voidaan tarvittaessa täydentää vaatimuksen 403 mukaisessa toimituskohtaisessa laatusuunnitelmassa, mikäli edellä mainitut ohjeen YVL A.3 johtamisjärjestelmävaatimukset eivät täyty.”*(Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

Sähkö- ja automaatiolaitteilla ja -laitteistoilla on myös teknisiä vaatimuksia. Näitä ovat esimerkiksi ympäristöolosuhdekestoisuus, joka tarkoittaa, että laitteen tulee olla soveltuva käytettäväksi sen asennuspaikan mukaisissa ympäristöolosuhteissa. Laitoksella on myös erilaisia tilaluokkia huonetiloille, kuten automaatio-, sähkö- tai prosessitilat, joille on määritelty lämpötilan ylä- ja alarajat, kosteus ja mahdollisen säteilyn rajat. Laitteiden tulee siis olla tilaluokkaan soveltuva. Lisäksi kaikkein kriittisimpiin kohteisiin on myös erikoisympäristöolosuhteisiin liittyvät vaatimukset. Ympäristöolosuhdekestoisuuden alle sisältyy myös maanjäristyskestoisuus, joka on tullut käyttöpaikan vaatimukseksi vuoden 2011 Fukushiman onnettomuuden jäljiltä. Maanjäristyskestoisuudella vaaditaan laitteen mahdollinen toimintakunto maanjäristyksen jälkeen, riippuen laitteelle asetetusta maanjäristysluokasta.

Laitteen yhteensopivuus laitoksen muun sähköverkon kanssa on myös tekninen vaatimus laitteelle. Loviisan voimalaitokselle on määritelty standardeista poikkeavia rajoja eri jännitteille, esimerkiksi 400 VAC laitteille on asetettu alijännitevaatimus ja ylijännitetransienttivaatimus, joten turvallisuusluokiteltujen laitteiden tulee toimia näiden rajojen sisällä.

Sähkömagneettinen yhteensopivuus, eli EMC-direktiivin vaatimuksien mukaan laitteen tulee toimia asennuspaikan mukaisessa häiriötasossa ja laite ei saa häiritä muita laitteita. Teollisuuden normaalien standardien ylittämiä raja-arvoja ei ole Loviisan voimalaitoksella huomattu, eikä täten ole tunnustettu tarvetta käyttää normaalin teollisuusympäristön raja-arvoista poikkeavia rajoja häiriöiden päästöille tai siedoille. Häiriöpäästöille on standardi IEC 61000-6-4 ”Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6: Generic standards – Section 4: Emission standard for industrial environments.” Ja Siedolle IEC 61000-6-2 ”Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments.” (IEC, 2018), (IEC, 2016).

Järjestelmästä, sen osasta tai prosessista riippuen Loviisan voimalaitoksella on myös muita vaatimuksia liittyen käyttöpaikkaan (komponentin ominaisuus, toiminnallisuus tai rakennevaatimus), kiinnityksiin (maanjäristyskestoisuus), turvallisuusluokkaan (laitteen laatu sekä toimintavarmuus kriitti-

sissä tilanteissa), soveltuvuuteen sekä laatujärjestelmään liittyen. Vaatimukset vaihtelevat ja määräytyvät siis sen mukaan, mihin rakennukseen, prosessiin, turvallisuusluokkaan, ympäristöön ja käyttöpaikkaan kyseinen laite tai laitteisto on tulossa.

### 7.1.2 Suojareleen vaatimukset

Suojareleen valinnalle on asetettu vaatimukset, jotta sen valinta on teknistaloudellisesti perusteltua. Näitä vaatimuksia listattiin yhdessä Fortumin työntekijöiden kanssa ja niistä saatiin seuraava lista:

- Suojareleen konfiguroiminen ja ohjelmoinnin tulee olla riittävän helppoa
- suojauksen tulee olla mahdollisimman kevyt, mutta kattava sekä luotettava
- helppokäyttöinen suojarele
- itsevalvonta
- varaosien saatavuuden kiistämättömyys
- teknistaloudellisesti järkevin valinta

Uusien suojarelevaihtoehtojen on oltava yhteensopivia olemassa olevien mittamuuntajien (jännite- ja virtamuuntajien) kanssa, jotta niitä ei tarvitsisi tässä yhteydessä uusia. Käytännössä siis suojarelevaihtoehtojen virran toisio on oltava 5 A. Mittamuuntajien yhteensopivuus vähentää muutostöiden tarpeen osuutta, vaikkakin toisaalta virtamuuntajakin on tulevaisuudessa tarve uusia niiden tullessa elinkaartensa päähän. Jännitemuuntajat on uusittu lähiaikoina, joten ne ovat elinkaarensa alkupäässä.

Muita huomioitavia asioita, joita painotettiin, olivat uuden tekniikan välttäminen, joka tarkoittaa käytännössä uusia vasta lanseerattuja elinkaarensa alussa olevia suojareleitä. Näiden laitteiden toimintaa, kestävyyttä sekä toimintavarmuutta ei ole vielä tiedossa, joten ydinvoimalaitokset eivät yleisesti halua ottaa riskiä uusien laitteiden valinnassa. Toinen huomioitava painotus oli suosia yksinkertaisia ja vakaita kestäviä laitteita. Tämä tarkoittaa, että suojareleiden vaihtoehdoissa olisi suotavaa, että kaikkia toimintoja ei sisällytettäisi samaan laitteeseen, varsinkaan lähtö- tai keskuskohtaisia suojauksia. Tämä koskee lähinnä turvallisuusluokiteltujen releiden suojauksissa.

### 7.2 Turvallisuusluokitellut suojarelevaihtoehdot

Kaikki kohdan 7. alussa mainitut valmistajat ilmoittivat, että heiltä ei löydy enää staattisia analogisia suojareleitä valmistuksesta – poikkeuksena ABB, jolta on jälkituotantona J-sarjan staattisia suojareleitä tälläkin hetkellä käytössä Loviisassa.

Valmistajat ilmoittivat, ettei keneltäkään, paitsi yhdeltä valmistajalta, löydy vielä tällä hetkellä numeerisia suojusteja, jotka olisivat rakennettu sekä niiden ohjelmistot suunniteltu ja toteutettu standardien IEC 60880 tai IEC 61508-3 vaatimusten mukaisesti. Tällaisten suojusteiden ohjelmistojen kehitys on tällä hetkellä liian kallista, eikä niistä ole vielä suurta kysyntää, joten ns. suurta markkinarakoa ei vielä ole havaittavissa. Ainoa valmistaja, jolla on ydinvoimalaitoksien turvallisuusluokkiin soveltuva suojuste, on Schneider Electric. Heiltä löytyy tuote, joka täyttää IEC 61508 standardin vaatimukset. Tuote voi siis täyttää turvallisuusluokan 3 vaatimukset ja on mahdollista kelpoistaa turvallisuusluokan 3 kohteisiin. Tuotteella on standardin täyttämisen myötä myös SIL-2 luokitus. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että Schneider on tällä hetkellä ainoa valmistaja, jonka numeerisella suojusteella olisi hyvät edellytykset tulla kelpoistetuksi turvallisuusluokiteltuihin käyttöihin.

Lähtötilanteessa, kun maailman muutkin ydinvoimalaitokset tulevat siihen pakottavaan tilanteeseen, että heidän täytyy suojusteistystään uusia, niin tilanne voi muuttua ja relevalikoima suurenua. Tällöin kysynnän kasvaessa tarpeeksi suureksi, valmistajat voivat ymmärtää ydinvoimaloihin sopivien suojusteiden valmistuksen kannattavuuden.

Yhtenä vaihtoehtona voisi olla staattisten suojusteiden vaihtaminen sähkömekaanisiin suojusteisiin. Ainakin Siemens ilmoitti heillä olevan Reyrollen tuotepereeseen kuuluvia sähkömekaanisia suojusteja. Toisaalta sähkömekaaniset suojusteet ovat maanjäritysherkempiä, vanhempaa tekniikkakäytäntöä sekä huomattavasti epätarkempia, kuin staattiset releet. Muutoksesta aiheutuisi kuitenkin se hyvä puoli, että sähkömekaaniset suojusteet eivät tarvitsisi ulkoista apusähkölähdettä, mutta toisaalta vaihtamisesta aiheutuisi suojustuksen kehityksen suunnan kääntymisen taaksepäin.

### 7.3 EYT suojustevaihtoehdot

Muutostöiden laajuuden minimoimisen kannalta, EYT suojusteiden eli Schneider Electricin Micom suojusteiden helpoimmat vaihtoehdot olisivat valita vanhojen numeeristen Micom releiden tilalle uudet vastaavanlaiset Micomit. Toinen vaihtoehto, olisi valita ns. retrofittinä uudet suojusteet joltain muulta valmistajalta. Retrofittauksen avulla uudet numeeriset suojusteet sopisivat vanhojen suojusteiden pohjiin. Tämä vähentäisi huomattavasti muutostöistä aiheutuvia kustannuksia, mutta nostaisi hankintahinta huomattavasti. Käytännössä retrofit tilatut suojusteet tarkoittaisivat releiden hankinnassa huomattavasti korkeampaa hintaa, mutta muutostöiden huomattavaa vähenemistä.

#### 7.3.1 ABB

ABB:n myyntipäällikkö, vastasi kyselyyn ja listasi ABB:n korvaavat suojustevaihtoehdot. Micomin korvaavat suojusteet olisivat Relion - suojustus- ja ohjauslaitteet tuotepereeseen kuuluva 615 sarja.

Kyseinen sarja on suunniteltu sähköasemien ja teollisuuden kytkinlaitteistojen sekä laitteiden suo-  
jaukseen, mittaamiseen valvontaan ja hallintaan. Tuoteperheen suojauslaitteiden rakenne perustuu  
standardin IEC 61850 sähköasemien automaatiolaitteiden tietoliikenteen ja yhteensopivuuden vaati-  
muksiin. Releet ovat pienikokoisia ja helppokäyttöisiä pistoyksiköitä, joita voidaan asentaa monin  
tavoin, sekä niihin on mahdollista saada ohjelmiston, että laitteiston lisätoimintoja tilausvaiheessa.  
615 sarja tukee monia tietoliikennetyhteysprotokollia, kuten IEC 61850- ja IEC 60870-5-1103 -stan-  
dardeja, GOOSE-viestintää sekä Modbus – ja DNP3 -yhteyksikäytäntöjä. (ABB Oy, 2010).

Alla olevasta taulukosta 8 nähdään 615 sarjan suojausreleet, jotka korvaisivat Micom suojausreleet. Kor-  
vaavat releet olisivat REF 615, REM 615, REU615 ja REA101-107.

TAULUKKO 8. ABB suojausvaihtoehdot

| Korvattava rele           | Valmistaja   | ABB:n korvaava rele |
|---------------------------|--------------|---------------------|
| Micom P122                | Alstom/Areva | REF615              |
| Micom P126                | Alstom/Areva | REF615              |
| Micom P241                | Alstom       | REM615              |
| Micom P241                | Areva        | REM615              |
| Micom P922                | Areva        | REU615              |
| Micom P922S               | Alstom       | REU615              |
| 7SJ8021-5EB00             | Siemens      | REF615              |
| Valokaarisuoja UTU-FALCON | UTU          | REA101-AAA-MAIN     |
| Falcon arc valokaarirele  | UTU          | REA107-AA           |
| UTU CR3 ylivirtarele      | UTU          | REA107-AA           |

**REF 615** on IED (Intelligent Electronic Device) kennotermiini, joka on suunniteltu teollisuusjärjes-  
telmien ja sähköasemien suojaukseen, valvontaa, hallintaan ja mittaukseen. kennotermiini sovel-  
tuu niin säteittäisten, kuin silmukoituhiin verkkoihiin, joissa on hajautettua sähköntuotantoa. Sarjan  
IED 615 laitteille on ominaista kompaktisuus ja ulos vedettävän pistoyksikkö. Kennotermiini toimii  
pääsuojana ilmajohdoille sekä johtolähdöille, ja varasuojauksena sovelluksissa, joissa tarvitaan riip-  
pumaton redundattinen suojausjärjestelmä. Vakio konfiguraation mukaan kennotermiini sopii  
maasta erotettuun, kompensoituun, suoraan maadoitettuun ja tehollisesti maadoitettuun verkkoon.  
(ABB Oy, 2018a).

**REM 615** on samanlainen IED kennotermiini, kuin REF 615, mutta se on suunniteltu asynkronis-  
ten (epätahtimoottoreiden) suojaukseen, valvontaan, hallintaan ja mittaukseen prosessi- ja valmis-  
tusteollisuudessa. REM 615 on siis moottorisuoja kennotermiini, jossa on mm. ylivirta-, suunnattu  
maasulku-, alijännite-, vinokuormitus-, taajuus-, ylikuormitus-, jumi-, ja takatehosuojaus. (konfigu-  
raatio B). (ABB Oy, 2012).

**REU 615** on Relion-tuotepiheeseen kuuluva jännitesuojaus- ja ohjausrele, jota on saatavana kahdena vakiokonfiguraationa A ja B. A Konfiguraatio on mukautettu valmiiksi käytettäväksi jännite- ja taajuuspohjaisissa suojauskaavioissa teollisuus- ja jakeluverkoissa, mukaan lukien verkot, joissa on hajautettua sähköntuotantoa. B kokoonpano on suunniteltu tehomuuntajien automaattiseen jännitesuojaukseen sekä säätöön, ja ne on varustettu kuormanvaihtimella. Molemmissa kokoonpanoissa on myös käytettävissä ylimääräinen katkaisijan ohjaus-, mittaus- ja valvontatoiminnot. (ABB Oy, 2018b).



KUVA 17. Relion, REF 615 kennotermiini (ABB Oy, 2018a)

### 7.3.2 Arcteq

Arcteq:ltä kyselyyn vastasi myyntipäällikkö. Heidän korvaavat suojarieensä olisivat IED 255 sarjan modulaarisia kennotermiinaaleja, joiden avulla erilaiset korvaavat suojarielemallit korvattaisiin mahdollisimman pienellä eri suojarielevariaatioiden määrällä. Muutamalla kennotermiinaalimallilla voidaan korvata Micomeilla toteutettu suojaus, jolloin Arcteq:in kennotermiinaalien varaosien tarve sekä konfiguroinnin osuus jäisi mahdollisimman pieneksi. Näin kaikkien suojarieiden käyttäminen on samantyyppistä; asetukset ja ohjelmistot ovat samantyyppisiä ja varalaitteiden määrä jää mahdollisimman pieneksi.

Alla olevasta taulukosta 9 nähdään Arcteq:n korvaavat suojarieleet, jotka ovat 255 sarjan kennotermiinaaleja. Korvaavat suojarielemallit olisivat AQ-F255, AQ-M255, AQ-110P, AQ-01a ja AQ-101. Kennotermiinaalien päätteet PH0AAAA-BCAAAAA ja AAAA tarkoittavat seuraavaa ja tyyppimallilistelykset ovat myös nähtävissä liitteessä 3:

- P = paneelikiinnitys,
- H = apujännite (80-265 VAC/DC),
- 0 = teho- ja energiamittauksen tarkkuusluokka, class 0.5,
- A = standardi päätteet,
- A = Tulevan käytön varaus N/A,
- A = Virtalähdemoduulin digitaaliset tulot, 3 kpl 24 V nimelliskynnys
- A = Tulevan käytön varaus N/A,
- B = 8 digitaalituloa
- C = 5 relelähtöä
- A = Tyhjä.

TAULUKKO 9. Arcteq suojarelvaihtoehdot

| Korvattava rele           | Valmistaja   | Korvaava rele               |
|---------------------------|--------------|-----------------------------|
| Micom P122                | Alstom/Areva | AQ-F255-PH0AAAA-BCAAAAAAAAA |
| Micom P126                | Alstom/Areva | AQ-F255-PH0AAAA-BCAAAAAAAAA |
| Micom P241                | Alstom       | AQ-M255-PH0AAAA-BCAAAAAAAAA |
| Micom P241                | Areva        | AQ-M255-PH0AAAA-BCAAAAAAAAA |
| Micom P922                | Areva        | AQ-F255-PH0AAAA-BCAAAAAAAAA |
| Micom P922S               | Alstom       | AQ-F255-PH0AAAA-BCAAAAAAAAA |
| 7SJ8021-5EB00             | Siemens      | AQ-F255-PH0AAAA-BCAAAAAAAAA |
| Valokaarisuoja UTU-FALCON | UTU          | AQ-110P-AAAA                |
| Falcon arc valokaarirele  | UTU          | AQ-01a                      |
| UTU CR3 ylivirtarele      | UTU          | AQ-101-AAAA                 |

**AQ-F255** tarjoaa modulaarisen ja laajan suojan syöttölaitteille sekä hyvän ohjaustratkaisun sovelluksiin, joihin tarvitaan suuri I / O pisteiden kapasiteetti. Korkeintaan 11 valinnaista I / O- tai kommunikaatiokorttia on saatavana laajoihin valvonta- ja ohjausovelluksiin. AQ-F255 kommunikointi tapahtuu eri protokollien mukaisesti, mukaan luettuna IEC 61850 sähköaseman tiedonsiirtostandardi. AQ-F255 kennotermiinalin kohokohtia ovat kaksikiskojärjestelmän ohjaus, suunnattu- ja jännitesuojaus, kaapelinpäätteen differentiaalisuojaus, pieni-impedanssinen maasulkusuojaus, harmonisten yliaaltojen suojaus ja valvonta, 5 kaaviollinen jälleenkytkentä ja jopa luokan 0,2S energia- ja tehomittaus. (Arcteq Oy, 2020a).

**AQ-M255** on samankaltainen modulaarinen IED kennotermiinali, joka tarjoaa laajan suojan ja ohjaustratkaisun isoille sekä tärkeille moottoreille, joilla iso I / O kapasiteetti. Jopa 11 valinnaista I / O- tai kommunikaatiokorttia on saatavissa laajoihin valvonnan ja hallinnan sovelluksiin. Korkeintaan 16 RTD-signaalia voidaan kytkeä moottorin -hälytys ja lämpölaukaisua varten. AQ-M255 on monta suo-

jausfunktiota, esimerkiksi suunnattu ja suuntaamaton ylivirta- ja maasulkusuojaus, virran epäsymmetria-, alivirta-, moottorijumi-, ylikuormitus-, tehokerroin-, yli- ja alijännite-, taajuus- sekä vinkuormitussuojaus. (Arcteq Oy, 2020b).



KUVA 18. Arcteq AQ-F255 kennotermiinaali (Arcteq Oy, 2020a)

### 7.3.3 Schneider Electric

Schneider Electriciltä tarjouspyyntöön vastasivat kaksi myyntipäällikköä. Schneider ehdotti SEPAM 80 tuoteperhettä korvaavaksi suojausvaihtoehdoksi. SEPAM 80 sarjaan kuuluu NPP (Nuclear Power Plant) vaihtoehto, joka on suunniteltu ja tarkoitettu kriittiseen sähköjakelun suojaukseen, erityisesti ydinvoimalaitoksille. SEPAM 80 sarja ovat IED kennotermiinaaleja, jotka ovat suorituskykyisiä digitaalisia suojauslaitteita, ja jotka soveltuvat kaikkiin sovelluksiin ja kriittiseen sähköjakelun suojaukseen. Sepam 80 NPP tuotteella saavutetaan korkein mahdollinen turvallisuuden taso, koska ne ovat suunniteltu, valmistettu sekä testattu kehittyneillä menetelmillä. Schneiderin tehtaissa valmistettu SEPAM 80 NPP tuote on valmistettu elektronisista komponenteista, jotka ovat täysin jäljitettävissä alusta loppuun asti. Ydinvoimalaitoksen turvallisuusvaatimusten varmistuksen täyttämiseksi, tuotteelle on käytetty kehittyneitä testausmenetelmiä. Täten laite täyttää RCCE vaatimuksen. Toisin sanoen rele on suunniteltu, valmistettu sekä testattu standardin IEC 61508 mukaisesti, ja sillä on SIL-2 luokitus. (Schneider Electric, 2020).

TAULUKKO 10. Schneider suojarlevaihtoehdot

| Korvattava rele           | Valmistaja   | Korvaava rele   |
|---------------------------|--------------|-----------------|
| Micom P122                | Alstom/Areva | SEPAM 80 NPP    |
| Micom P126                | Alstom/Areva | SEPAM 80 NPP    |
| Micom P241                | Alstom       | SEPAM 80 NPP    |
| Micom P241                | Areva        | SEPAM 80 NPP    |
| Micom P922                | Areva        | SEPAM 80 NPP    |
| Micom P922S               | Alstom       | SEPAM 80 NPP    |
| 7SJ8021-5EB00             | Siemens      | SEPAM 80 NPP    |
| Valokaarisuoja UTU-FALCON | UTU          | VAMP 321        |
| Falcon arc valokaarirele  | UTU          | VA1DA-20 anturi |
| UTU CR3 ylivirtarele      | UTU          | VAM 4CDSE       |

SEPAM 80 NPP on tällä hetkellä ainut numeerinen suojarlele, jolla voidaan arvioida olevan hyvät edellytykset saada kelpoistetuksi turvallisuusluokiteltuihin keskuksiin korvaamaan turvallisuusluokitellut staattiset suojarleet. Suurena hyötynä olisi, jos EYT ja TL kohteissa olisi sama rele, se vähentäisi varaosien määrää huomattavasti.

**SEPAM 80 NPP** on erityisesti suunniteltu vaativiin suojausiiin isoissa teollisuuslaitoksissa, kuten ydinvoimalaitoksissa. Sepam 80 tarjoaa todistetusti luotettavia ratkaisuja kaikkiin suojausiiin soveluksiin. Sepam 80 sarja tarjoaa helppoutta, luotettavuutta ja tehokkuutta, joka on yli 20 vuoden digitaalisojarleiden kehityksen tulosta. Sepam 80 NPP suojarleessä on 14 input tuloa ja 6 output lähtöä. Sovelluksen mukaan (S80 tai M81) suojarleessä on yksi- ja kolmivaiheinen ylivirtasuojaus, maasulkusuojaus, katkaisijavikasuojaus, vinokuormitusuojaus, ylikuormitus- ja lämpösuojaus, suunnatut ylivirta- ja maasulkusuojaus, pätötehon yli- ja alisuojaus, loistehon ylisuojaus, alijännitesuojaus, jäännösjännitesuojaus, ylijännitesuojaus ja nollajännitteen mittaaminen. (Schneider Electric, 2013).



KUVA 19. Schneider Electric, SEPAM 80 NPP kennotermiinaali (Schneider Electric, 2013)

## 7.3.4 Siemens

Siemensiltä tarjouspyyntöön vastasivat Head of Sales ja Sales Manager. Siemens ehdotti kahta tuoteperhettä korvaaviksi suojarelevaihtoehdoiksi, joista ensisijainen tuoteperhe olisi Siprotec 5 ja toissijainen tuoteperhe reyrolle 5. Reyrolle he eivät suosittelleet, koska se on melko uusi vasta lanseerattu tuoteperhe ja täten se ei välttämättä ole joustava ja sopiva valinta ydinvoimalaitokselle.

**SIPROTEC** on vakiinnuttanut asemansa energiemarkkinoilla vuosikymmenien ajan voimakkaana ja täydellisenä numeerisen suojareleen järjestelmäperheenä ja kenttäohjaimena Siemensiltä. SIPROTEC -suojareleitä käytetään johdonmukaisesti kaikissa sovelluksissa keski- ja suurjännitteellä. SIPROTEC -sovelluksella operaattorit pitävät järjestelmänsä tukevasti ja turvallisesti valvonnassa, ja heillä on perusta toteuttaa kustannustehokkaasti ratkaisut kaikkiin tehtäviin nykykäsissä "älykkäissä" verkoissa. (Siemens Oy, 2017).

Siprotec 5 perustuu Siprotec laitesarjaan, ja se on suunniteltu nykyaikaisten korkeajännitejärjestelmien uusien vaatimusten mukaan. Tämän takia Siprotec 5 on varustettu laajoilla toiminnoilla ja laite-tyypeillä. Kokonaisvaltaisen ja johdonmukaisen suunnittelutyökalun Digi 5 avulla, tarjolla on myös monimutkaisien prosessien ratkaisuja suunnittelusta käyttöönottoon asti. Laitteiston ja ohjelmistojen modulaarisuuden ansiosta laitteiden toiminnallisuus voidaan räätälöidä halutuksi sovellukseksi sekä mukauttaa muuttuvia vaatimuksia vastaaviksi laitteen koko elinkaaren ajan. Luotettavan, valikoivan suojauksen ja automatisoidun toiminnan lisäksi, Siprotec 5 tarjoaa laajan tietokannan nykyaikaisten virtalähteiden toimintaan ja valvontaan.

Seuraavalla sivulla olevasta taulukosta 11 nähdään Siemensin ehdottamat suojarelevaihtoehdot. Vaihtoehdot ovat numeerisia IED kennotermiinaaleja, joista 7SJ82 on ylivirtasuojarele, jossa 100fp (funktioipistettä = vastaavat suojareleen suojausominaisuuksia) sekä 7SK82 + ATEX, on moottorisuojarele, jolla on ATEX tilan luokitus. Valokaarisuojaus 7SJ82 + ARC tarkoittaa ylivirtarelettä, johon on integroitu valokaarisuojaus. Siemensillä ei ollut tuotteissaan erillistä valokaarisuojausta olemassa.

Taulukko 11. Siemens suojarelevaihtoehdot.

| Korvattava rele           | Valmistaja   | Siemens korvaava rele |                          |
|---------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------|
| Micom P122                | Alstom/Areva | 7SJ82                 | 7SR5110 Non-Directional  |
| Micom P126                | Alstom/Areva | 7SJ82                 | 7SR5111 Directional      |
| Micom P241                | Alstom       | 7SK82 + ATEX          | -                        |
| Micom P241                | Areva        | 7SK82 + ATEX          | -                        |
| Micom P922                | Areva        | 7SJ82                 | 7SR5111 Directional      |
| Micom P922S               | Alstom       | 7SJ82                 | 7SR5111 Directional      |
| 7SJ8021-5EB00             | Siemens      | 7SJ82                 | 7SR5110 Non-Directional  |
| Valokaarisuoja UTU-FALCON | UTU          | 7SJ82 + ARC           | 7SR5110 Non-Directional  |
| Falcon arc valokaarirele  | UTU          | 7SJ82 + ARC           | 7SR5110 Non-Directional  |
| UTU CR3 ylivirtarele      | UTU          | 7SJ82 + ARC           | 7SR5110 Non-Directional  |
|                           |              | Siprotec 5            | Reyrolle 5 (ei suositus) |

**7SJ82** on ylivirtasuojarele, joka on erityisesti suunniteltu kustannustehokkaaseen ja kompaktiin suojaukseen syöttölaitteiden, keski- ja korkeajännite johtojen järjestelmiin. Joustavalla ja tehokkaalla DIGSI 5 teknisellä suunnittelutyökalulla, SIPROTEC 7SJ82 -laite tarjoaa korkean sijoitusturvallisuuden sekä alhaiset käyttökustannukset ja tulevaisuuteen suunnatut järjestelmäratkaisut. 7SJ82 suojausfunktioita ovat mm. suuntaamaton tai suunnattu ylivirta-, maasulku-, yli- ja alijännite-, taa-juus-, valokaari-, teho-, kondensaattoripatteristo- ja katkaisijavikasuojaus. (Siemens Oy, 2018a).

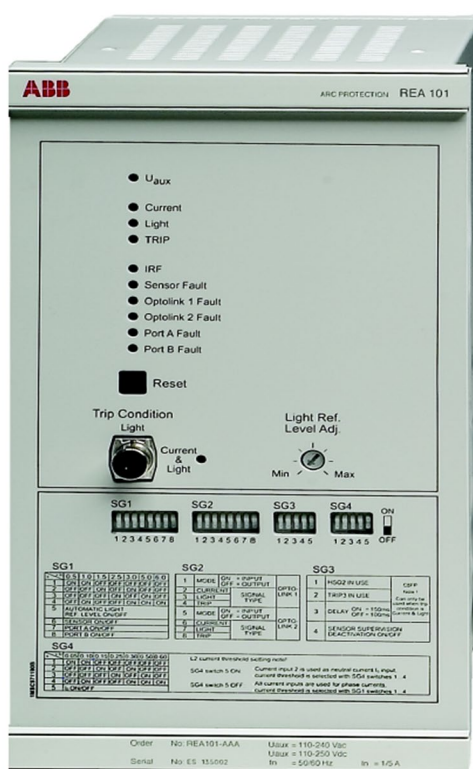
**7SK82** on ominaisuuksiltaan kuten 7SJ82, mutta se on moottorisuojarele, joka on suunniteltu kustannusoptimoidusti ja kompaktisti pienille ja keskisuurille moottoreille. Siinä on myös DIGSI 5 suunnittelutyökalu, joka mahdollistaa monimutkaistenkin prosessien suunnittelun käyttöönottoon ja hallintaan asti. Räjähdyssäilyissä ympäristöissä SIPROTEC 7SK82 on saatavana myös EN 60079-14 tai Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik 0165, Part 1 (ATEX) -sertifikaatilla. (Siemens Oy, 2018b).



KUVA 20. Siemens Siprotec 7SJ82 kennotermiinaali (Siemens Oy, 2018a)

## 7.4 Valokaarisuojauksen vaihtoehdot

**ABB** ehdotti valokaarisuojaukseen käytettäväksi ABB REA101 valokaarisuojausjärjestelmää. REA 101 on valokaarisuojauskeskukseksikkö, jota voidaan käyttää yksin tai yhdessä muiden keskukseksiköiden kanssa. REA 101 keskukseksikössä on kaksi laajennusporttia, jotka mahdollistavat laajan suojauksen. Keskukseksiköstä voidaan valita suojauksen toiminta, toimiiko laukaisu pelkällä valokaaren havaitsemisella vai ylivirran sekä valokaaren havaitsemisen yhteisvaikutuksen avulla. Virran mittaus on mahdollista tehdä yksi- kaksi- tai kolmivaiheisena virran mittauksena tai maasulkuvirran mittauksena. Valosensorit voidaan kytkeä säteittäisesti tai silmukkamaisesti ja niissä on automaattinen tai manuaalinen taustavalon kompensointi. REA101 on toiminta-ajaltaan todella nopea, jopa alle 2,5 ms. kokonaisajalla keskukseksikkö laukaisee kaikki katkaisijat, joissa havaitaan vika. (ABB, 2008).



KUVA 21. ABB REA101 valokaarikeskukseksikkö (ABB Oy, 2008)

**Arcteq** ehdotti valokaarisuojaukseen käytettäväksi AQ-110P keskukseksikköä, AQ-101 yksikköä sekä niihin kytkettyjä valosensoreita. AQ-110P on mikroprosessoripohjainen keskukseksikkö, joka suojaa keskuksia valokaarioikosuilta. Keskukseksikkö toimii ylivirran ja valokaaren yhteisvaikutuksesta, joka minimoi vauriot kaksiosaisen laukaisukriteerin takia. AQ-101 yksikkö toimii itsenäisenä yksikkönä mutta se voidaan myös liittää osaksi suurempaa valokaarisuojausjärjestelmää. Yksikkö toimii valokaaren havaitsemisen avulla. AQ-100 sarjan valokaarisuojajareilla on todella nopea laukaisuaika, jopa 2 ms. laukaisuaika, kun kytkettynä erittäin nopeaan valokaarensammutusjärjestelmään. AQ-110P toiminta-aika on 7 ms. käytettäessä relelähtöä. (Arcteq Oy, 2019).



KUVA 22. Arcteq valokaarisuojareleet AQ-110P & AQ-101 (Arcteq Oy, 2019)

**Schneider Electric** ehdotti valokaarisuojaukseen käytettäväksi VAMP 321 keskusyksiköiden, valosensoreiden sekä VAM 4CDSE I/O korttien yhdistelmää. Mikroprosessoripohjainen VAMP 321 on suunniteltu käytettäväksi raskaissa ympäristöissä ja se on kehitetty yhteistyössä asiakkaiden kanssa, yhdistäen edeltävien VAMP valokaarisarjojen teknologian tehden V321 luotettavan valokaarisuojausyksikön. Tietokone konfiguroitava valokaariyksikkö on joustava ja modulaarinen kokonaisuus, joka toimii valokaarioikosulussa nopeasti kokonaistoiminta-ajalla 7 ms. (Schneider Electric, 2015).



KUVA 23. Schneider Electric, VAMP 321 (Schneider Electric, 2015)

Toiminnaltaan analogisia valokaariareileitä ei valmistajilta löytynyt, joten ainakin nykyiset käytössä olevat ohjelmistopohjaiset UTU:n valokaariareleet voidaan vaihtaa mihin tahansa valmistajien ehdottamista vaihtoehtoista. Vaihtoehtoista kaikki ovat varteen otettavia, mutta huomattavasti taloudellisin on Arcteq. Teknillisesti kaikki vaihtoehdot ovat melko samanlaisia ja yhtä luotettavia. Toiminta-ajan suhteen nopein on ABB:n REA valokaarisuojaus.

## 8 SUOJARELEIDEN TARKASTELU

### 8.1 Vikalistaustiedot

Loviisan voimalaitoksella on käytössään sähköinen kunnossapitojärjestelmä, johon kerätään työmääräinkäytännöllä tietoa kaikista voimalaitoksella tehtävistä töistä. Samaan kunnossapitojärjestelmään kirjautuu, sekä siihen kirjataan työn, esimerkiksi kunnossapitotyön tiedot. Vikahistoria, komponentti, korjaus, varaosa, työkirjaus ja komponentin uusintatiedot tallentuvat järjestelmään.

Fortumille ja Loviisan voimalaitokselle tehdystä yhdestä opinnäytetyöstä löytyy mm. 6 kV kytkinlaitoksen suojarleiden vikalistaus ajalta 1990 – 2018 kesäkuu. Kyseinen vikalistaus on haettu edellä mainitusta kunnossapitojärjestelmän historiatiedoista. Tästä vikalistauksesta saadaan selville 6 KV kojeistossa esiintyvien suojarleista johtuvien vikojen määrä. (Lähdettä ei voida näyttää).

Kuitenkin, opinnäytetyön vikalistauksesta voidaan todeta, että sähkömekaaniset BBC:n suojarleet ovat edelleen vähävikaisempia, kuin muut suojarleet, mutta ne ovat samalla myös epätarkimpia, herkempiä maanjäristyksille sekä vanhimpia suojarleitä, jotka ovat käytössä. Samalla huomataan valokaarireleen vikojen olevan määrällisesti vähäisimpiä, mutta vian luokituksen kannalta kriittisimpiä. Valokaarireleen vika voi pahimmassa tapauksessa tuhota koko keskuksen tai useampia keskuksia.

Määrällisesti eniten vikoja on aiheuttanut Micomin numeeriset releet varmentamattomissa keskuksissa. Micom suojarleitä on käytössä yhteensä 107 kappaletta. Viat ovat kuitenkin esiintyneet 13 vuotena, mutta niiden trendi on nouseva. Kyseiset releet tulevat pian elinkaarensa päähän ja ne on helpoin vaihtaa uusiin, koska niillä ei ole ydinturvallisuuden kannalta tärkeitä toimintokriteereitä.

Strömbergin staattiset J-sarjan suojarleet on uusittu 2010-luvulla. Strömbergin suojarleitä on käytössä 183 kappaletta varmennetuissa keskuksissa. Silti vikalistauksissa näkyy 5 vuodelta 11 vikatilannetta. Näiden suojarleiden tyyppiviat ovat jo tiedossa, joten näiden vikojen esiintyessä, käyttökunnottomuus jää lyhyeksi.

### 8.2 Edellytykset säilyttää staattiset suojarleet

Käytössä olevat Strömbergin staattiset suojarleet on uusittu jälkituotantoa ABB:ltä 2010-luvulla. Täten ne ovat melko uusia ja tulevat todennäköisesti kestävänsä vielä pitkän aikaa Loviisan voimalaitoksella. ABB on ilmoittanut säilyttävänsä vanhat tuotantolinjansa, joten Strömbergien staattisten suojarleiden varaosia saadaan tilattua vielä pitkään ABB:ltä sekä jälkituotantona voidaan tilata myös samankaltaisia releitä uusina. Ainoana negatiivisena puolena tässä on se, että jälkituotantona tilatut suojarleet ovat kalliita, koska ABB joutuu käynnistämään tuotantolinjansa valmistaakseen kyseisiä suojarleitä vain tilauskohtaisesti.

Strömbergin analogisia staattisia suojarkeitä ei tarvitse samalla tavalla ohjelmoida, kun numeerisia suojarkeitä. Suojareleen asettelu tapahtuu helposti suojarleessä olevista mekaanisista potentimetreistä sekä valintapistukoiden asetteluista. Käytössä olevien suojarleiden tarkkuuden on huomattu olevan riittävällä tasolla. Analogisten suojarleiden huollon ja kunnossapidon voidaan sanoa olevan helppoa, sillä suurimmalta osin niiden viat ovat jo tiedossa, suojarkeitä voidaan tietyissä määrin korjata itse voimalaitoksella sekä niistä on olemassa jo määräaikaistarkastukset ja ohjeistukset koskien releiden huoltoa ja kunnossapitoa. Lisäksi ABB on ilmoittanut, että Strömbergin J-sarjan suojarleisiin tullaan vielä tulevaisuudessakin saamaan varaosia sekä niitä voidaan tilata jälkituotantona tarvittaessa.

Yhtenä syynä analogisten suojarleiden käytön jatkamiselle, on ohjelmoitavan suojarleiden kelpoistamisen vaikeus turvaluokiteltuihin kennoihin. Kelpoistaminen on vaikeaa hallinnollisten asioiden, numeeristen releiden ohjelmistojen suurien standardivaatimuksien sekä pitkän byrokratiaprosessin ja testauksien sekä dokumentointien takia. Lisäksi, jos kelpoistaminen saataisiin ohjelmistopohjaiselle releelle tehtyä, tarkoittaa se sitä, että kelpoistus, on saatu tietyn valmistajan suojarleiden tietyille ohjelmistoversioille. Tämä taas tarkoittaa sitä, että jos valmistaja päättää päivittää suojarleessä olevan ohjelmiston tai käyttöjärjestelmän, ei sitä voida käyttää Loviisan voimalaitoksella ilman uuden version kelpoistamista. Tästä huomataan ehkäpä suurin vaikeus numeeristen suojarleiden kelpoistamiseen turvallisuusluokitelluissa keskuksissa.

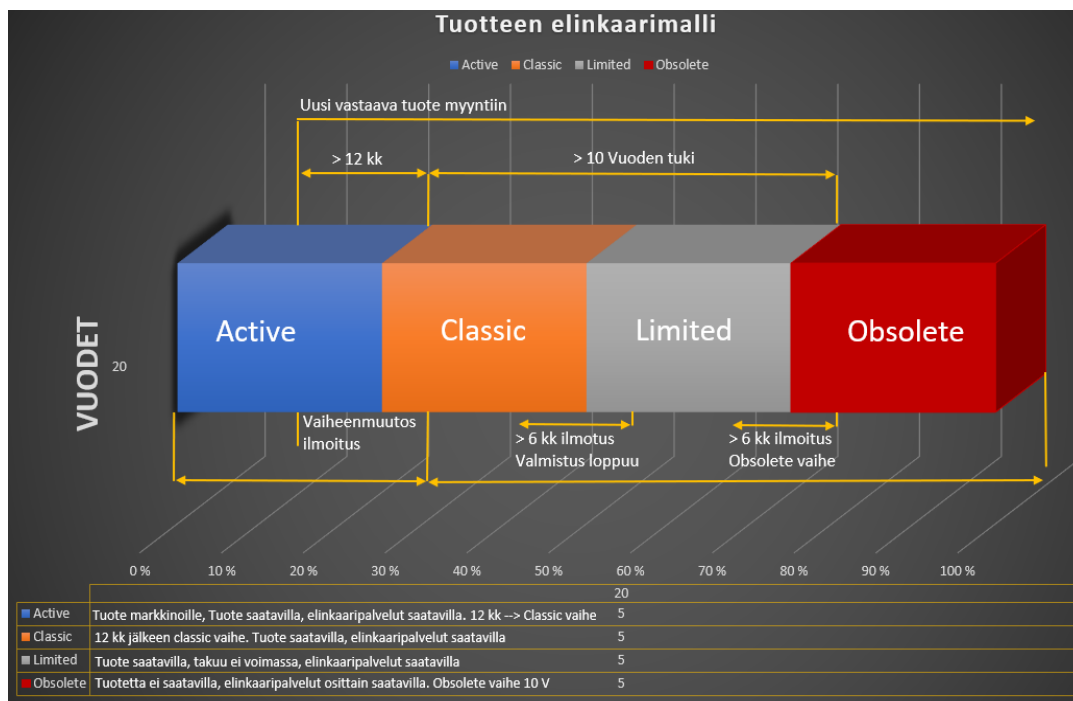
Toinen näkökulma numeeristen suojarleiden hankalaan kelpoistamiseen on Loviisan voimalaitoksella STUK:n vaatimuksesta turvallisuusluokiteltujen järjestelmien Diversiteetti, eli redundanssin toteuttaminen turvallisuusjärjestelmän sisällä, käyttämällä erityyppisiä komponentteja ja toimintatavataan erilaisia teknisiä menetelmiä. Tämä tarkoittaisi numeeristen suojarleiden kohdalla sitä, että yhden numeerisen suojarleiden varasuojan tulisi olla erimallinen tai kokonaan eri valmistajalta. Diversiteetillä päästään eliminoimaan komponentin mahdollinen yhteisvian vaikutus ja samanaikainen esiintyvyys molemmilla laitteilla. Tämä tarkoittaa sitä, että suojarleiden kelpoistamista jouduttaisiin joka tapauksessa tekemään vähintään kaksi kappaletta, molemmille numeerisille suojarleille ja niiden ohjelmistoversioille, ellei valmistajalla ole osoittaa dokumentointien avulla toisin. Redundanttiisuus tarkoittaa toiminnon varmentamista varaamalla useampia toimintavalmiita, toisistaan riippumattomia laitteita tai järjestelmiä kuin toiminnon suorittamiseksi on välttämätöntä. Toisin sanoen monitasoinen varmennus on redundanttisuutta. (Loviisan sähköinen arkisto).

Viimeisenä näkökohtana staattisten suojarleiden säilyttämisen kannalta on valmistajien suojarlevalikoimat. Staattiset suojarleet ovat kuitenkin jo vanhempaa tekniikkaa, joten voi olla, että suuri osa suojarlevalmistajista on luopunut kokonaan staattisten suojarleiden valmistamisesta. Tämä tarkoittaa sitä, että jos numeerisia suojarkeitä ei voida vielä kelpoistaa, ei ole muuta mahdollisuutta, kuin jatkaa olemassa olevissa suojarleillä turvallisuusluokitelluissa keskuksissa.

## 8.3 EYT suoja-releiden kustannuslaskenta

EYT suoja-releiden osalta tehtiin kustannuslaskennan, joka toteutettiin Excel taulukkona. Taulukkoon listattiin valmistajien tarjousten perusteella suoja-releiden hankintahinnat, releiden elinkaari, varaosasaatavuus, määräaikaikoestusväli sekä arvio asennuksen hinnoista. Näistä sarakkeista koostuvat kustannuslaskennan kokonaiskustannusarviot, jotka ovat asennuksen kannalta vähintäänkin intuitiivisia arvioita, mutta ne antavat kuitenkin osviittaa siitä, kenen valmistajan tuote on taloudellisin valinta. Kustannuslaskenta on välitetty nähtäväksi ainoastaan Fortumille.

EYT releiden hankintahinnat koostuvat valmistajien tuotteiden kappalehinnosta, asennuskustannusarvioista sekä konfiguraatioon kuluva ajasta. Kaikilla valmistajilla oli tuotteen normaali takuu 5 vuotta - pois lukien Schneider, jolla takuu 2 vuotta sekä varaosasaatavuus tuotteen valmistuksen loputtua 10 vuotta. ABB tarjoaa lisähinnalla lisätakuuta, jolloin takuu-aika olisi 5 vuoden sijasta 10 vuotta. Kaikkien valmistajien elinkaarimalli oli jokseenkin samanlainen. Tuotteiden elinkaarimalli koostuu 3 - 4 vaiheesta, jotka ovat Active, Classic, Limited ja Obsolete (joillain valmistajalla Limited ja Obsolete-vaihe tarkoitti Legacy-vaihetta). Active vaiheessa tuote on uusi ja ollut markkinoilla alle vuoden, sitä mainostetaan ja siihen on saatavilla tuotepalveluja sekä varaosia. Classic vaiheessa tuotetta mainostetaan, myydään ja siihen on saatavilla tuotepalveluja sekä varaosia, takuu on voimassa. Limited/Legacy vaiheessa tuotetta ei valmisteta, tuotteen takuu ei ole enää voimassa mutta palveluja sekä varaosia on saatavana. Obsolete/Legacy vaiheessa tuotteeseen saadaan vain asiakkaan vaatimuksesta palveluja tai varaosia, mutta niissä ei ole enää takuuta, tuote on ikäloppu.



KUVA 24. Tuotteen Elinkaarimalli (ABB Oy, 2020).

Kaikilla suoja-releillä on elinkaari noin 20 vuodessa. Tämän lisäksi kaikkien suoja-releiden varaosasaatavuus sekä elinkaari-palvelut ovat saatavilla noin 10 vuotta tuotteen valmistamisen jälkeen. Nämä ominaisuudet olivat kaikilla valmistajilla lähestulkoon samat. Eroavaisuudet taloudellisuuden kannalta tulevat siis lähinnä releiden hankintahinnasta, releiden toiminnallisuudesta sekä luotettavuudesta,

asennuksen hinnasta sekä muutostöistä aiheutuvista kustannuksista. Kokonaiskustannusarvion pohjalta voidaan taloudellisin valinta havaita, mutta muutostöiden osalta aiheutuvat kustannukset on vaikea arvioida ilman, että kyseisen valmistajan asiantuntija kävisi paikan päällä arvioimassa tilanteen. Muutostöitä joudutaan kuitenkin tehdä ainakin vaihdettavien kennojen oviin, uuden suojareleiden kiinnitystä varten, sekä jonkin verran johdotusmuutoksia on tiedossa. Moottorisuojareleiden osalta voidaan joutua purkamaan vanhoja komponentteja pois sekä lisäämään releelle tarvittavaa johdotusta esimerkiksi lämpösuojausosalta.

Teknitaloudellisesti Loviisan voimalaitokselle sopivin valmistaja voisi olla ABB, tai Arcteq. Koska kohteena ovat EYT suojarelekeskukset, Schneiderin vaihtoehto on kallis näihin keskuksiin. Schneiderin vaihtoehto SEPAM 80 NPP onkin ainoa vaihtoehto, joka voisi soveltua turvallisuusluokiteltujen keskuksien J-sarjan suojareleiden korvaajiksi. Toisaalta, jos SEPAM releitä asennettaisiin EYT kohteisiin, saataisiin niistä laitokselle käyttökokemuksia, joita voitaisiin hyödyntää myöhemmin kelpoistuksessa turvallisuusluokiteltuihin keskuksiin. Tällöin myös varaosien tarve pienenesi, turvallisuusluokiteltujen ja EYT releiden ollessa samoja. Lisäksi SIL-sertifikaatin takia, suojarelettä voitaisiin kokeilla pilotti projektina turvallisuusluokan 3 kohteeseen. Muokattavuuden ja joustavuuden kannalta Siemens olisi sopivin vaihtoehto, koska Siemensin Siprotec 5 suojareleitä voidaan muokata vapaasti juuri sellaiseksi, kuin tilattaessa halutaan. Lisäksi valokaarisuojaus saataisiin integroiduksi näihin suojareleisiin, jolloin ei tarvittaisi hankkia erikseen uutta valokaarisuojausta.

#### 8.4 Kelpoistus

Turvallisuusluokiteltujen ohjelmistopohjaisten sähkö- ja automaatiolaitteiden kelpoistamisessa ohjelmiston suunnittelu, ohjelmointi, toteutus ja testaus tulee YVL E.7 kappaleen 6 mukaan tehdä ja dokumentoida noudattaen ydinteknisiä ja/tai turvallisuuskriittisten ohjelmistojen suunnitteluun tarkoitettuja standardeja. Turvallisuusluokan mukaan määräytyy, kumpaa standardia tulee ensisijaisesti noudattaa. (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

YVL E.7 kappaleen 6 kohdassa 602 - 602c, kerrotaan turvallisuusluokan 2 ohjelmistojen vaatimuksena, että kyseisen ohjelmiston suunnittelu ja toteutus tulee perustua ydintekniseen standardiin IEC 60880. Turvallisuusluokan 3 luokitetulla ohjelmistolla edellä mainittua ydinteknistä standardia tulee ensisijaisesti noudattaa, ja toissijaisesti ohjelmiston suunnittelun ja toteutuksen tulee perustua standardiin IEC 62138 tai muuhun turvallisuuskriittisten ohjelmistojen suunnitteluun tarkoitettuun standardiin esimerkiksi IEC 61508-3. Eli mikä tahansa turvallisuuskriittisen standardin mukainen ohjelmisto käy turvallisuusluokan 3 kohteisiin. (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

Näiden vaatimusten täyttyminen ohjelmistojen osalta täytyy olla osoitettavissa todistein ja dokumentein, ja niiden täytyy olla STUK:n hyväksymiä. Poikkeuksia standardeista voidaan tehdä, mutta täl-

löin jokainen standardeista eriävä poikkeus on todistettava sekä vastaavanlaisuus on osoitettava dokumentein alusta loppuun asti. Eli jokainen eroavaisuus standardista tulee tunnistaa, arvioida puutteiden vaikutus ja hyväksyttävyyys. (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

Muut YVL:n ohjelmistopohjaiset vaatimukset ohjelmistolle:

- Ohjelmiston tulee olla yksinkertainen ja selkeä turvallisuusluokassa 2
- TL 2 ohjelmiston rakenteen on minimoitava yksittäisen leviävän ohjelmavirheen vaikutus
- TL 2 ohjelman suoritusjaksot määriteltävä
- tehtävän suorittamisen kannalta tarpeettomat ohjelmiston osat tunnistettava ja turvallisuusmerkitys analysoitava sekä niiden merkitys on otettava huomioon suunnittelussa turvallisuusluokassa 2
- TL 2 itsediagnostiikan kattavuus on analysoitava määräaikaikoeostuksille sekä määräaikaikoeostusväleille
- TL2 & TL3 ohjelmiston vikautumistavat tunnistettava ja analysoitava riittävän laajasti
- TL2 & TL3 ohjelmiston vaatimusten on jäljitettävästi oltava johdettavissa laite- tai järjestelmävaatimuksista. (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

Ohjelmiston perusjärjestelmän ja sovelluksen kelpoistuksen on sisällytettävä turvallisuusluokan 2 ja 3 ohjelmistopohjaisen järjestelmän kelpoistussuunnitelmaan. Turvallisuusluokan 2 ja 3 ohjelmistopohjaisen järjestelmän tai laitteen kelpoistuksen osana on käytettävä selvitystä suunnittelun sekä osallistuvan henkilöstön standardinmukaisuudesta sekä pätevydestä. (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

Lisäksi YVL E.7 kappaleessa 6 on lisää vaatimuksia liittyen ohjelmiston suunnittelumenetelmiin- ja prosesseihin, hyväksytyihin käytettäviin ohjelmistotyökaluihin sekä ohjelmiston testaukseen. Esimerkiksi turvallisuusluokan 2 ja 3 ohjelmiston valmistukseen on määriteltävä standardien mukainen elinkaarimalli, sekä suunnitteluun, testaamiseen ja laadunvarmistukseen käytettävät menetelmät tulee määrittää ennakkoon. Järjestelmän tai laitteen turvallisuusmerkityksen mukaisin menettelyin, tulee konfiguroinnin ja objektikoodin tuottoon käytettävien työkalujen konfiguraatiohallinnan, ylläpidon ja muutossuunnittelun toteuduttava turvallisuusluokissa 2 ja 3. Ohjelmiston testausta varten, tulee ohjelmistolla olla testaussuunnitelma, jonka on oltava yhteensopiva laitteiden ja järjestelmien olemassa olevien testaussuunnitelmien kanssa. Testaussuunnitelmassa käytettävien menettelyjen on myös oltava riittäviä turvallisuusmerkityksiin nähden turvallisuusluokissa 2 ja 3. (Säteilyturvakeskus STUK, 2019).

## 9 POHDINTA

Suojareiden vaihtoehtojen etsinnän yhteydessä huomattiin, että ainoastaan Schneider Electricillä on markkinoilla numeerisia suojareileitä, jotka täyttävät IEC standardin 61508-3 (ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus, osa 3 ohjelmistovaatimukset). Kuitenkaan IEC standardia 60880 (Ydinvoimaloiden turvallisuuden kannalta tärkeät instrumentointi- ja ohjausjärjestelmät - A-luokan toimintoja suorittavien tietokonepohjaisten järjestelmien ohjelmistonäkökohdat), ei täyttänyt kukaan valmistaja.

Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että vielä tällä hetkellä on numeeristen suojareiden kelpoistaminen turvallisuusluokiteltuihin keskuksiin hankalaa, mutta ei mahdotonta Schneiderin tuotteen osalta. Muilla valmistajilta ei löytynyt tällaiselle tuotteelle vielä kilpailijaa. Optimaalisinta olisi ollut, jos joltain valmistajalta olisi löytynyt uutena tuotantona staattisia suojareileitä. ABB lienee ainut, joka valmistaa enää staattisia suojareileitä, ja niitäkin jälkituotantona. Toisaalta staattiset suojareileet ovat tekniikaltaan jo vanhentunut, mutta ydinvoimalaitoksissa kyberturvallisuuden kannalta helpompi vaihtoehto.

Opinnäytetyötä tehdessä on tullut huomattua, että nykyisten suojareiden valmistuksen ja suunnittelun trendi on kääntynyt numeerisien suojareiden, kennoterminaalien puoleen. Kehitys on ollut siihen suuntaan, että yksi suojarele ei toimi enää yhtenä suojana, vaan yksi suojarele voi hoitaa koko lähdön suojauksen. Suojareleisiin on yhdistetty useita suojausfunktioita yhteen laitteeseen, jotka voidaan konfiguroinnin yhteydessä ottaa käyttöön. Esimerkiksi ylivirta-, maasulku-, yli- ja alijännite-, taajuus- sekä ylikuormitussuojaus voidaan täten hoitaa yhdellä laitteella. Tämä vähentää tarvittavien suojareiden kappalemäärää, mutta esimerkiksi ydinvoimalaitoksilla tällaiset "monitoimireleet", saattavat olla liian raskaita käyttää ydinvoimalaitos ympäristössä. Syynä siihen on, että usein halutaan pitää laitoksen suojaukset mahdollisimman yksinkertaisina käyttövarmuuden takia. Ydinvoimalaitoksilla siis konfiguroinnin yhteydessä saattaa käydä niin, että suojareleessä voi olla liikaa parametrejä, joista suuri osa näistä jää tarpeettomaksi. Tällöin parametointi muodostuu raskaaksi ja aikaa vieväksi prosessiksi.

Toinen esille tullut suuntaus on suojareleisiin liittyvä modulaarisuus. Suurin osa valmistajien suojarele tuotteista oli pitkälle integroitua modulaarisia yksiköitä. Tämä on hyvä suuntaus, sillä modulaarisuus helpottaa suunnittelua, asennusta sekä tuotteiden vaihtoa. Pitkälle viedyn modulaarisuuden takia voidaan myös helposti muokata jo olemassa olevaa järjestelmää, esimerkiksi lisäämällä I / O pisteiden määrää tarvittaessa. Pitkälle viedyllä modulaarisuudella säästetään siis huomattavasti kustannuksissa.

Henkilökohtaiset tavoitteet saavutettiin myös. Tätä opinnäytetyötä varten tehdyn teoriakartoituksen sekä suojarelevaihtoehtojen tutkimisien myötä oma tietämys suojareleistä ja niihin liittyvistä komponenteista on lisääntynyt huomattavasti.

## 10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, onko edellytyksiä säilyttää staattiset suojareleet turvallisuusluokitelluissa kennoissa 6 kV kytkinlaitoksella. Tavoitteena oli myös tutkia numeeristen releiden kelpoistamista turvallisuusluokiteltuihin keskuksiin sekä selvittää teknistaloudellisen kustannuslaskennan avulla EYT suojareleille sopivimmat vaihtoehdot ja toimintamallit.

Taloudellisin vaihtoehto EYT suojareleiden korvaajaksi olisi ABB. Kuitenkin hinnassa melkein samoihin lukemiin pääsee Arcteq. Toisaalta luotettavuuden ja turvallisuuden kannalta Schneiderin vaihtoehto olisi myös hyvä, sillä heidän tuotteensa täyttää IEC 61508 standardin vaatimukset, omaa SIL-2 luokituksen ja kävisi täten myös turvallisuusluokiteltuihin kennoihin. Jos taas täydellistä muokattavuutta, joustavuutta sekä lisäpalveluja halutaan, niin Siemens saa silloin ehdottoman etulyöntiaseman. Kuitenkin kaikkien valmistajien tuotteet olisivat teknillisesti hyviä vaihtoehtoja, mutta esimerkiksi näytteenottotaajuudessa Arcteq:n rele on todella tarkka. Heidän tuotteensa näytteenottotaajuus on jopa 3200 Hz ja mittauksen tarkkuusluokka 0.2S. Näin tiheä näytteenottotaajuus auttaa havaitsemaan esimerkiksi vaikeasti huomattavan katkeilevan maasulun. Toisaalta huipputarkkoihin suojauksiin ei ole tarvetta.

Valokaarisuojauksen osalta Arcteq olisi taloudellisin valinta. Siemensillä ei ollut suoraan erillistä valokaarisuojausta, vaan he ehdottivat suojareleeseen integroitua ratkaisua. ABB:n valokaarisuojauksen vaihtoehto on muista vaihtoehdoista kokonaistoiminta-ajallaan ehkä nopein 2,5 ms. kokonaisajalla. Schneiderin vaihtoehto on taas kaikista joustavin. Valokaarisuojausta voidaan muokata helposti sopivaksi ja mieleiseksi pitkälle viedyn modulaarisuuden ansiosta. Teknillisesti kuitenkin Arcteq lienee paras vaihtoehto, sillä heidän valokaarisuojareleensä vaikuttivat luotettavilta mutta kaikkein yksinkertaisimmilta käyttää. Käyttöönottaessa tarvitsee painaa ainoastaan yhtä nappia.

Yhteenvedona todettakoon, että teknistaloudellisin valinta suojareleille olisi ABB:n Relion-tuoteperheen releet, ja valokaarisuojauksen osuudelta Arcteq olisi järkevin ja taloudellisin valinta. Turvallisuusluokiteltuihin releisiin on ehdottomasti valittava Schneiderin SEPAM 80 NPP -suojareleet, mikäli niitä ruvetaan vaihtamaan numeerisiin releisiin, koska ne ovat luotettavia ja täyttävät vaatimukset. SEPAM 80 NPP -releissä on lisäksi kahdennettu CPU, sekä ne vioittuvat todella harvoin.

Opinnäytetyössä päästiin suurimmilta osin haluttuihin tavoitteisiin. Edellytykset on säilyttää käytössä olevat staattiset suojareleet turvallisuusluokitelluissa keskuksissa kytkinlaitoksilla, koska kelpoistuksen tutkimisessa huomattiin ohjelmistopohjaisten numeeristen suojareleiden ohjelmistojen suunnittelun ja toteutuksen puuttuminen suurilta osin IEC standardien 61508-3 ja IEC60880 pohjalta. Täten niiden kelpoistaminen on hankalaa tällä hetkellä. Vain yhdeltä valmistajalta (Schneiderilta) löytyi suojarele, joka soveltuisi turvallisuusluokiteltuihin keskuksiin, koska tuote täyttää standardin IEC 61508-3 vaatimukset. Lisäksi keneltäkään valmistajalta ei löytynyt enää uutena tuotantona staattisia suojareleitä.

Muutostöiden laajuuden arvioinnin osuus jäi todella olemattomaksi. Arviointi jäi todella pieneksi, koska aika loppui hieman kesken, ja tällä hetkellä vallitsevan pandemiatilanteen takia opinnäytetyötä tehtiin suurilta osin etätyöskentelyä. Tällöin kohteeseen ei suuremmilta osin ehditty tutustua eikä dokumentointia tutkia kunnolla.

EYT suoja-releiden osuudelta vaihtoehtojen tutkiminen ja kustannuslaskenta tuli valmiiksi ja se on välitetty Fortumin tietoon. Micomille löytyi korvaavia suoja-releitä monelta valmistajalta, ja kustannuslaskennan sekä tämän raportin pohjalta tilaaja voi tehdä päätöksen siitä, kenen valmistajan suoja-releituoteperhe on heille sopivin vaihtoehto releitä uusittaessa.

Jatko- ja kehitysideana tämän opinnäytetyön pohjalta voisi toimia esimerkiksi IEC 61508-03 ja IEC 60880 -standardien tutkiminen ja niiden käyttäminen numeeristen suoja-releiden ohjelmistojen suunnittelussa tai turvallisuusluokiteltujen staattisten suoja-releiden vaihtaminen Schneider Electricin SEPAM 80 NPP -suoja-releisiin pilottikäytön avulla. Ei ydinturvaluokkaan luokiteltuun kohteeseen, jos ottaisi pilotiksi käyttöön SEPAM 80 NPP -suoja-releen, niin siitä saataisiin käyttökokemuksia. Käyttökokemuksia halutaan saada kaikista uusista laitteista, joita halutaan ottaa Loviisan ydinvoimalaitoksella käyttöön. Näiden standardien tutkiminen ja niiden käyttö valmistajien ohjelmistojen suunnittelussa voisi helpottaa edelleen suoja-releiden kelpoistamista turvallisuusluokiteltuihin kohteisiin.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

**ABB. 2008.** *ABB REA101 valokaarirele.* Vaasa : ABB, 2008.

**ABB Oy. 2010.** *615-sarja käyttöohje. Relion - suojaus- ja ohjauslaitteet.* Vaasa : ABB, 2010.  
Käyttöohje. Dokumentin ID: 1MRS756792.

**ABB OY. 2020.** ABB, distribution automation products and solutions - Service and legacy product support. *Differential relay SPAD 330 C.* [Online] ABB Oy, 2020. [Viitattu: 27. Huhtikuu 2020.]  
<https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/protection-relay-services/legacy-relays-and-related-devices-and-tools/differential-relay-spad-330-c>.

**ABB Oy. 2011.** Keskiänniteverkon tuotteet. *TJC 6 sisäjäännitemuuntaja.* Videnska, Tsekki : ABB Oy, 2011. 1VLC000521 - Rev 2, en 2011, 01.15..

— **2017.** Keskiänniteverkon tuotteet. *KOFA virtamuuntajat.* Videnska, Tsekki : ABB Oy, 2017. 1VLC000510 Rev 1, en 2017, 02.07.

— **2018a.** *REF 615 Application manual.* Vaasa : ABB Oy, 2018a. Document ID: 1MRS756378.

— **2012.** *REM 615 Application manual.* Vaasa : ABB Oy, 2012. Document ID: 1MRS756885.

— **2018b.** *REU 615 Application manual.* Vaasa : ABB Oy, 2018b. Document ID: 1MRS757054.

— **1997.** virtamuuntaja katalogi. *KOLMA & IHDA kaapelivirtamuuntajat.* Vaasa, Suomi : ABB Oy, 1997. Catalogue KOLMA 1 GB 94-11/97-03.

**ABB Strömberg releet. 1975-1981.** J-sarjan staattiset suoja-releet esite. *SPAJ, SPAU, SPAS SPAF.* Vaasa : ABB Strömberg, 10. Helmikuu 1975-1981.

**ABB:n TTT käsikirja 2000-7. 2000.** *ABB teknisiä tietoja ja taulukoita 2000-7 Verkkajulkaisu 2000.* s.l. : ABB, 2000.

**Arcteq Oy. 2020a.** *AQ-F255 feeder protection brochure.* Vaasa : Arcteq, 2020a. AQ-F255 Feeder protection IED.

— **2020b.** *AQ-M255 Motor protection brochure.* Vaasa : Arcteq, 2020b. AQ-M255 Motor protection IED.

— **2019.** *Arcteq valokaarisuojaus AQ-100 series flyer.* Vaasa : Arcteq Oy, 2019.

**Areva. 2010.** *Micom P120/P121/P122/P123 overcurrent relays käsikirja.* versio 12. Belgia : Areva, 2010. s. 19 & 22. P12x/EN T/Da6.

— **2010.** *Micom P921/922/923 Voltage and Frequency Relays, tekninen ohje.* Versio 2. Belgia : Areva, 2010. s. 21 & 23. P92x/EN T/F22.

**BBC, Brown Boveri. 1977.** Releet ja suojauskaaviot, esite. *Rele-esite.* s.l. : BBC, Helmikuu 1977. CH-ES 61-51.1 E.

**Fortum . 2020a.** Fortum tietoa meistä. *Loviisan voimalaitos.* [Online] Fortum Oyj, 1. Tammikuu 2020a. [Viitattu: 27. Tammikuu 2020.] <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/loviisan-voimalaitos>.

**Fortum. 2020b.** Fortum tietoa meistä. *Tämä on Fortum.* [Online] Fortum Oyj, 1. Tammikuu 2020b. [Viitattu: 27. Tammikuu 2020.] <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/toimimme-puhtaamman-maailman-puolesta>. Fortum.

— **2020c.** Fortum tietoa meistä. *Ydinvoimalaitokset.* [Online] Fortum Oyj, 1. Tammikuu 2020c. [Viitattu: 27. Tammikuu 2020.] <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/ydinvoimalaitokset>. Fortum.

- Fortum Oyj konserniviesticentti.** 2013. Fortum - Lehdistöiedote 25.3.2013. [Online] 25. Maaliskuu 2013. [Viitattu: 28. Toukokuu 2020.] <https://www.fortum.fi/media/2013/09/fortumin-loviisan-ydinvoimalaitoksen-vuosihuollot-paatokseen>.
- Fortum.** 2020d. Tietoa meistä. *Raportointirakenne*. [Online] Fortum Oyj, 2020d. [Viitattu: 26. Helmikuu 2020.] <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/sijoittajille/avaintiedot/raportointirakenne>.
- Hirvonen, Rauno.** 2010. *Diplomityö, Sähköaseman ensiöpuolen suunnittelussa käytettävien laskentamenetelmien kehittäminen*. Helsinki : Aalto-yliopisto, 2010.
- IEC.** 2018. *IEC 61000 -6-4 Electromagnetic compatibility (EMC) Emission standard for industrial environments*. Geneve : IEC, 2018. ISBN 978-2-8322-5388-5.
- . 2016. *IEC 61000-6-2 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 6-2: Generic standards – Immunity standard for industrial environments*. Geneve : IEC, 2016. ISBN 978-2-8322-3579-9.
- Keskisarja, Janne.** 2016. *6 kV:n kojeiston suojausjärjestelmien modernisointi, Opinnäytetyö*. Kemi : Lapin ammattikorkeakoulu, 2016. Opinnäytetyö, insinööri AMK.
- Laiho, Jarmo Elovaara - Yrjö.** 2007. *Sähkölaitostekniikan perusteet*. 6. Helsinki : Otatietao, 2007. ISBN 978-951-672-285-9.
- Lakervi Erkki, Partanen Jarmo.** 2012. *Sähköjakelutekniikka*. 3. Helsinki : Otatietao, 2012. ISBN 978-951-672-359-7.
- Mörsky, Jorma.** 1993. *Relesuojaustekniikka*. toinen painos. Hämeenlinna : Otatietao, 1993. ISBN 951-672-175-3.
- Oy Strömberg Ab.** 1958. Toisio-lämpörelle ST, BBC:n manuaali. *STf*. s.l. : Oy Strömberg Ab, 1958.
- Schneider Electric.** 2011. *Micom P125, P126 & P127 Directional/non-directional Relay, Technical manual*. Ranska : Schneider Electric, 2011. s. 21 & 24. P12y/EN M/Fa5.
- . 2015. *Micom P241, P242 & P243 Rotating Machine Protection Relay, Technical manual*. Ranska : Schneider Electric, 2015. s. 26. P24x/EN M/F63.
- . 2020. Schneider Electric - SEPAM 80 NPP series. *Tuotteet*. [Online] Schneider Electric, 1. Tammikuu 2020. [Viitattu: 24. Huhtikuu 2020.] <https://www.se.com/fi/fi/product-range-presentation/61189-sepam-series-80-npp/?parent-subcategory-id=4755#tabs-top>.
- . 2020. Schneider Electric Protection relays. *Micom Px20 Series*. [Online] Schneider Electric, 1. Tammikuu 2020. [Viitattu: 29. Tammikuu 2020.] <https://www.se.com/ww/en/product/P122-----2---/micom-p122---overcurrent-and-earth-fault-protection-relay-20-te-standard-display/>.
- . 2013. *Sepam 80 user manual*. - : Schneider Electric, 2013. SEPED303001EN/9.
- . 2015. *VAMP 321 arc protection brochure*. Rueil Malmaison Cedex (France) : Schneider Electric, 2015.
- SESKO ry.** 2018. *SFS-käsikirja 601:2018 Suurjänniteasennukset ja ilmajohdot*. 3. painos. Helsinki : Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2018. s. 81. ISBN 978-952-242-398-6.
- Siemens Oy.** 2017. *Selection Guide for SIPROTEC and Reyrolle, Edition 6*. Dispo : Siemens AG 2017, 2017. Article No. EMDG-C10065-01-7600.
- . 2017. Siprotec 4. *Ylivirtasuojareleen 7SJ80 manuaali*. Espoo : Siemens Oy, Joulukuu 2017. V4.7. E50417-G1140-C343-A8, Edition 12.2017.
- . 2018a. *Siprotec 7SJ82 Feeder and overcurrent protection brochure*. Erlangen : Siemens AG, 2018a. SIPROTEC 7SJ82 Profile E7.8.docx.

—. **2018b.** *Siprotec 7SK82 motor protection brochure*. Erlangen : Siemens AG, 2018b. SIPROTEC 7SK82 Profile E7.8.docx.

**STUK. 2020.** Säteilyturvakeskus. [Online] 31. Tammikuu 2020. [Viitattu: 31. Tammikuu 2020.] <https://www.stuk.fi/>.

**Säteilyturvakeskus STUK. 2019.** Stuklex. *YVL E.7 ohje [25.3.2109]*. [Online] 15. Maaliskuu 2019. [Viitattu: 25. Maaliskuu 2020.] <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-7#a1>. YVL E.7/STUK.

**Tikkanen, Juho. 2015.** *Valokaarisuojauksen opetuslaitteisto Opinnäytetyö*. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylä : Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 2015. ss. 11-13.

**UTU.** UTU Production, Arc protection. *Arc protection*. [Online] UTU. [Viitattu: 25. Helmikuu 2020.] <https://www.utu.eu/en/arc-protection>.

**UTU Valokaarisuojausreleet ARC10, CR3 & BR 4 esite. 2008.** Valokaarirele, virtarele & Järjestelmärika rele. Loviisa : s.n., 2008. Sähköinen arkisto.

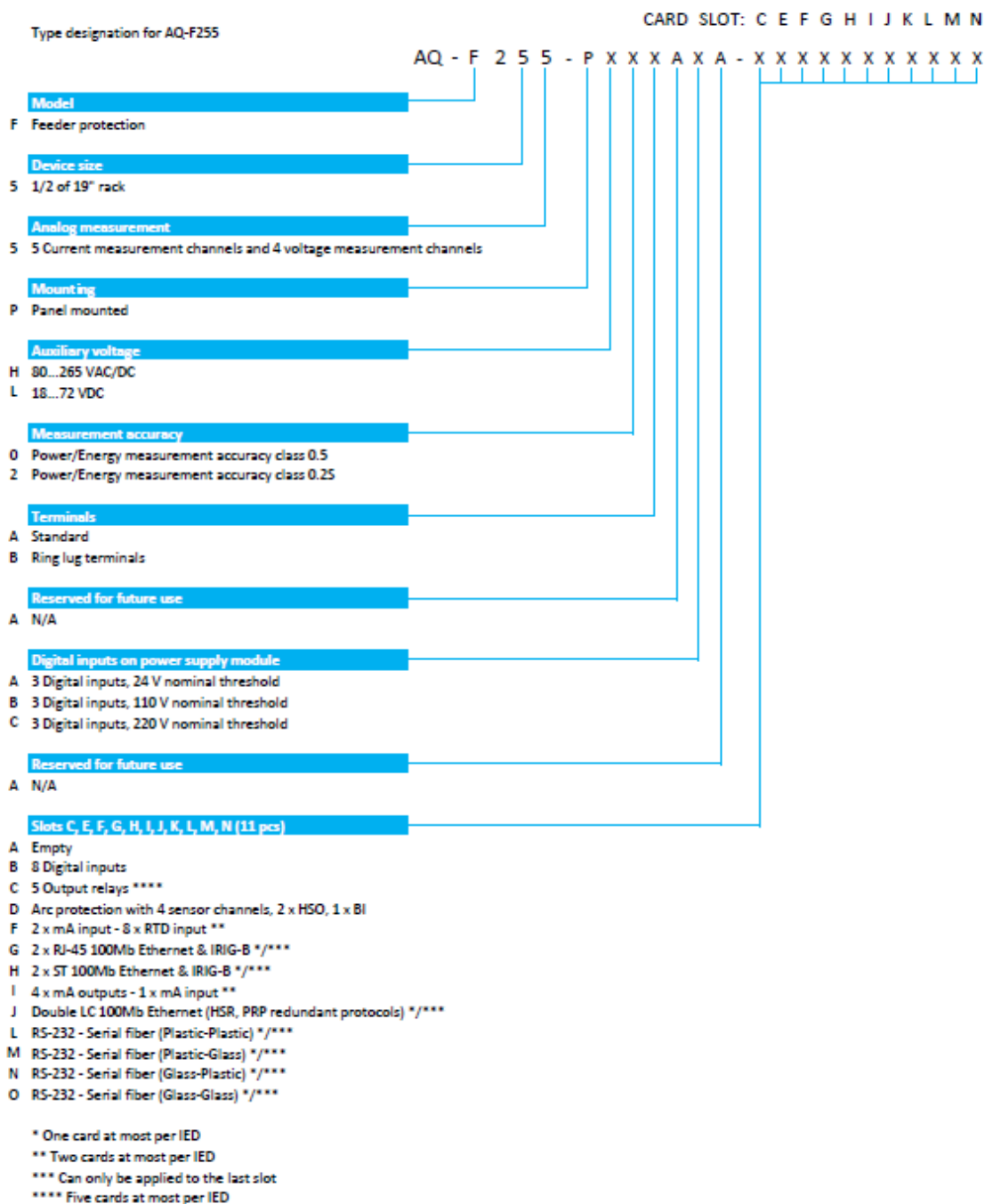
## LIITE 1: SUOJARELE KAPPALELISTAUS

| Tyyppi                    | Valmistaja   | KPL | Turvallisuusluokka | Reletyyppi      | Virtamuuntajien toisio | suojausfunktio            |
|---------------------------|--------------|-----|--------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|
| SPAJ 3C5J3                | Strömberg    | 62  | 2                  | Staattinen      | 5 A                    | ylivirta                  |
| SPAJ 3R5J6                | Strömberg    | 18  | 2                  | Staattinen      | 5 A                    | Moottorisuojaus           |
| SPAU 220 J1               | Strömberg    | 4   | 2                  | Staattinen      | 5 A                    | Tasasähkökeskus valvonta  |
| Staf AK                   | BBC          | 13  | 2                  | Sähkömekaaninen | 5 A                    | Toisio lämpörele          |
| SPAU 3F100J3              | Strömberg    | 1   | 2                  | Staattinen      | 5 A                    | Alijännite                |
| SPAU 1G100J3              | Strömberg    | 2   | 2                  | Staattinen      | 5 A                    | Jännitteennousu           |
| SPAU 1K100J3              | Strömberg    | 9   | 2                  | Staattinen      | 5 A                    | ylijännite                |
| SPAF 1G50J3               | Strömberg    | 1   | 2                  | Staattinen      | 5 A                    | Taajuus                   |
| SPAS 1F1J3                | Strömberg    | 56  | 2                  | Staattinen      | 5 A                    | Suun.maasulk              |
| SPAS 1K5J3                | Strömberg    | 18  | 2                  | Staattinen      | 5 A                    | Suun.ylivirta             |
| Micom P122                | Alstom/Areva | 21  | EYT                | Numeerinen      | 5 A                    | ylivirta & maasulku       |
| Micom P126                | Alstom/Areva | 27  | EYT                | Numeerinen      | 5 A                    | ylivirta & suun. Maasulku |
| Micom P241                | Alstom       | 20  | EYT                | Numeerinen      | 5 A                    | Moottorisuoja             |
| Micom P241                | Areva        | 23  | EYT                | Numeerinen      | 5 A                    | Moottorisuoja             |
| Micom P922                | Areva        | 7   | EYT                | Numeerinen      | 5 A                    | Ylijännite & Taajuus      |
| Micom P922S               | Alstom       | 9   | EYT                | Numeerinen      | 5 A                    | Ylijännite & Taajuus      |
| 7SJ8021-5EB00             | Siemens      | 1   | EYT                | Numeerinen      | 5 A                    | suun. ylivirta            |
| Valokaarisuoja UTU-FALCON | UTU          | 8   |                    | numeerinen      |                        | Valokaarioikosulku        |
| Falcon arc valokaarirele  | UTU          | 8   |                    | -               |                        | Valokaarioikosulku        |
| UTU CR3 ylivirtarele      | UTU          | 8   |                    | -               |                        | Valokaarioikosulku        |

## LIITE 2: VALMISTAJIEN TARJOUKSET

**Valmistajien tarjoukset sisältävät arkaluonteista materiaalia, ne on välitetty ainoastaan Fortumin tietoon ja ovat nähtävissä ainoastaan Fortumin sisäisesti.**

## LIITE 3: ARCTEQ TYYPIMALLISELITYS



## LIITE 4: HANKINTAKUSTANNUSTAULUKKO

**Suojareleiden Hankintakustannustaulukko-Excel sisältää arkaluonteista materiaalia, ja se on välitetty vain Fortumille ja on nähtävissä ainoastaan Fortumin sisäisesti.**