



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tomi Kuusisto

Sähköasemien akustojen kapasiteettien riittävyys selvitys

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Tomi Kuusisto

Työn nimi: Sähköasemien akustojen kapasiteettien riittävyys selvitys

Ohjaaja: Matti Perälä

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 43

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Enersense Oyj. Euroopan komissio on antanut asetuksen sähköverkon hätätilaa ja käytönpalautusta koskevasta verkkosäännöstä. Työn tavoitteena oli selvittää, ovatko määrättyjen sähköasemien akustojen kapasiteetit riittäviä aseman kenttälaitteiden vähimmäistoiminnan suorittamiseen ja aseman omakäyttökuorman ylläpitämiseen 24 tunnin ajan.

Teoriaosiossa tutustuttiin Suomen sähköjärjestelmään, sähköasemien kenttälaitteisiin ja varavirtalähteenä käytettäviin lyijyakkuihin sekä NC ER -verkkosäätöön. Työ aloitettiin kenttätutkimuksella, jossa kerättiin tietyistä sähköasemista tarvittavia tietoja perehtymällä asemien dokumentointiin ja suorittamalla erinäisiä mittauksia. Näiden lähtötietojen avulla voitiin seuraavassa vaiheessa tehdä tarvittavat akustojen kapasiteettien riittävyttä selvittävät laskelmat.

Työn tuloksena saatiin laskelmat, joista kävi ilmi, että 17 sähköasemasta suurimpaan osaan tulee hankkia uudet akustot. Laskelmien avulla tullaan suunnittelemaan uusien akustojen hankkiminen sähköasemille.

¹ Asiasanat: sähkötekniikka, sähköverkot, sähköasemat, akut, kytkinlaitteet

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Tomi Kuusisto

Title of thesis: Adequacy assessment of substation batteries

Supervisor: Matti Perälä

Year: 2022

Number of pages: 43

Number of appendices: 0

The thesis was made for a company named Enersense Oyj. The European Commission has given a regulation concerning the network code on electricity emergency and restoration. The objective of the thesis was to find out if the capacity of the batteries in the set distribution substations is large enough to withstand the minimum operation of the field equipment and the load of the substations for 24 hours.

The theory part of the thesis explored the electrical system of Finland, the field equipment of distribution substations and the lead-acid batteries which are used in the substations as a backup power system, and lastly the NC ER -network code was studied. The study was started with a field research where information was gathered from the set substations by going through documents and by making various measurements. With the help of the gathered information the next step was to make calculations of the adequacy of the batteries' capacities.

As the result of the study, there were calculations which showed that most of the 17 substations need a new set of batteries. The results of the calculations are going to be used for planning the new set of batteries for the substations.

¹ Keywords: electrical engineering, electrical power networks, electric substations, accumulators, switching devices

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Yritysesittely	10
2 SUOMEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ	11
2.1 Kantaverkko	11
2.2 Alue- ja jakeluverkko	12
3 SÄHKÖASEMIEN KENTTÄLAITTEET	13
3.1 Katkaisijat.....	13
3.2 Erilaiset katkaisijatyypit	13
3.3 Erottimet.....	15
3.4 Erilaiset erotintyypit	16
4 SÄHKÖVERKON HÄTÄTILAA JA KÄYTÖNPALAUTUSTA KOSKEVA VERKKOSÄÄNTÖ (NC ER)	19
4.1 24 h toimintakyky.....	19
4.2 Alitaajuussuojausjärjestelmä	20
4.3 Taajuusportaat alitaajuussuojausjärjestelmässä	20
5 LYIJYAKUT	22
5.1 VRLA-akku	22
5.2 VLA-akku.....	24
6 AKUSTOJEN KAPASITEETTIEN SELVITYSTYÖ.....	25
6.1 Erilaiset kytkennät asemille	27
6.2 Kohdattuja ongelmia.....	30

6.3 Laskelmat.....	36
7 TULOKSET	40
8 YHTEENVETO.....	41
LÄHTEET	42

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Kaksipainetyyppisen SF6-katkaisijan havainnekuva.....	14
Kuva 2. Yksipaine-puffer-tyyppisen SF6-katkaisijan havainnekuva.....	15
Kuva 3. Kaksipilarinen kiertoerotin ja kolmpilarinen kiertoerotin.....	17
Kuva 4. Pystysuunnassa liikkuva erotin ja horisontaalinen tartuntaerotin.....	17
Kuva 5. Saksityyppinen tartuntaerotin ja vertikaalitartuntaerotin.....	18
Kuva 6. VRLA-tyyppinen lasivillaerotteinen lyijyakusto.....	23
Kuva 7. VLA-tyyppinen lyijyakusto.....	24
Kuva 8. 110 V Tasasähköjärjestelmän pääkaavio akustolle G11.....	25
Kuva 9. 110 V Tasasähköjärjestelmän pääkaavio akustolle G21.....	26
Kuva 10. 110kV verkko Kristiina-Närpiö-Seinäjoki alue.....	28
Kuva 11. 110kV verkko Närpiö-Vaskiluoto alue.....	29
Kuva 12. Närpiön sähköaseman sisätila 1.....	30
Kuva 13. Närpiön sähköaseman sisätila 2.....	31
Kuva 14. Perälän sähköaseman sisätilat.....	31
Kuva 15. 110kV katkaisijan ulkopuoli.....	32
Kuva 16. 110kV katkaisijan ohjaustaulu.....	33
Kuva 17. 110kV katkaisijan koneisto.....	34
Kuva 18. 110kV katkaisijan johdotukset.....	35
Kuva 19. Korkiamäen sähköaseman yksikkökuormitukset.....	37
Kuva 20. Korkiamäen sähköaseman minimikapasiteettilaskenta.....	39

Taulukko 1. Eristelautasten ja eristeketjun suhde voimajohdon jännitteeseen.	12
Taulukko 2. Kulutuksen alitaajuudesta johtuvan automaattisen irtikytkennän asettelut.	20

Käytetyt termit ja lyhenteet

Topologia	Teoreettinen malli sähköverkon osien järjestyksestä.
MOBC	Vähimmäisöljypiirin katkaisija.
BOMC	Bulkkiöljypiirin katkaisija.
Dielektrinen lujuus	Läpilyöntilujuus, kertoo miten suurella jännityksellä tietynlaisella ja paksuisella kappaleella tapahtuu läpilyönti.
SF6	Rikkiheksafluoridi.
NC ER	Käytönpalautusta ja sähköverkon hätätilaa koskeva verkkosääntö (Network Code for Emergency and Restoration).
VRLA-akku	Venttiiliohjattu lyijyakku (Valve Regulated Lead-Acid).
VLA-akku	Avoin lyijyakku (Vented Lead-Acid).
AGM	Lasivillaerotin (Absorbent Glass Mat).
UPS-laite	Varavirtalaite (Uninterruptible Power Supply).
TSK	Tasasähkökeskus.
AC	Vaihtosähkö.
DC	Tasasähkö.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Euroopan komissio on laatinut sähköverkon käytönpalautusta ja hätätilaa koskevan verkkosäännön (Euroopan komission asetus sähköverkon hätätilaa ja käytönpalautusta koskeva vasta verkkosäännöstä 2017/2196), jonka mukaan kantaverkkoyhtiöiden (Suomessa Fingrid Oyj) tulee nimetä järjestelmän kannalta kriittiset osapuolet. Nimettyjen osapuolten tulee omissa järjestelmissään ja ohjeistuksissaan toteuttaa verkkosäännöissä esille tuodut vaatimukset.

Asetuksen (Euroopan komission asetus sähköverkon hätätilaa ja käytönpalautusta koskeva vasta verkkosäännöstä 2017/2196) mukaan käytönpalautussuunnitelman kannalta merkittävillä osapuolilla tulee olla toimintakyvykkyys 24 tunnin ajan akuston perässä sähkökatkon satuessa. Osapuolilla tulee myöskin olla kommunikaatiomahdollisuus toisien asemien ja valvomon välillä. Olennaista käytönpalautussuunnitelman kannalta on, että akuston kapasiteetti kestää sähköaseman omakäyttökuormituksen 24 tunnin ajan sekä kytkinlaitteiden kauko-ohjauksien minimimäärän.

EPV alueverkko on tilannut Enersense Oyj:ltä akuston kapasiteettiselvityksen seuraaville asemille: Brändskogon, Brännas, Korkiamäki, Kurikka, Kuutamolahti, Metsälä Eteläinen, Metsälä Pohjoinen, Nori, Närpiö, Paskoonharju, Petolahti, Perälä, Santavuori, Saunamaa, Seinäjoki, Sevo ja Vaskiluoto.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on

- Selvittää akkuja kuormittavien tasavirtalaitteiden, erottimien ja katkaisijoiden ohjauksien ottama virta.
- Selvittää ja laskea laitteiden kuormitus.
- Laskea akustoilta vaadittu minimikapasiteetti ja selvittää, täyttävätkö kyseiset akustot vaatimuksen vai tuleeko asemalle hankkia uudet akustot.

1.3 Työn rakenne

Aluksi käydään läpi Enersense Oyj:n esittely, jonka jälkeen siirrytään teoriaosaan. Se alkaa Suomen sähköjärjestelmän läpikäynnillä, jonka jälkeen käydään läpi sähköasemien kenttä-laitteita, painottuen lähinnä erottimiin ja katkaisijoihin. Luvussa 4 käydään läpi NC ER -verkosäätöä. Seuraavaksi kerrotaan hieman sähköasemilla käytettyjen lyijyakkujen historiasta ja tietoa eri lyijyakkutyypeistä. Tämän jälkeen siirrytään itse työn osuuteen, jossa käydään läpi, miten tyypillinen asemakäynti tapahtui, työssä esiintyneet erilaiset kytkennät sähköasemilla, sähköasemilla kohdatut ongelmat sekä asemien akustojen minimikapasiteettien laskeminen. Lopuksi käydään läpi työn tulokset ja yhteenveto.

1.4 Yritysesittely

Enersense Oyj on yritys, jonka päätoimialoihin kuuluu energia, tietoliikenne, teollisuus ja rakentaminen (Enersense, i.a.). Vuonna 2005 perustetussa yrityksessä työskentelee noin 2000 työntekijää eri liiketoiminta-alueilla. Yritys operoi yli 40 maassa, ja sen pääkonttori sijaitsee tällä hetkellä Porissa.

Enersense Oyj:n palvelukokonaisuus jakaantuu neljään liiketoiminta-alueeseen: Power, Smart Industry, International Operations, sekä Connectivity (Enersense, i.a.).

Power liiketoiminta-alueeseen kuuluu sähköasemien ja voimansiirtoverkkojen, sekä tuulivoimapuistojen rakentaminen, suunnittelu ja kunnossapito (Enersense, i.a.). Smart Industry liiketoiminta-alue keskittyy asiakkaiden tuotantolaitosten käyttövarmuuden parantamiseen ja kunnossapidon tehostamiseen. Smart Industry liiketoiminta-alueen tehtäviä ja vastuualueita ovat digitaalisten ratkaisujen tekeminen tuottavuuden parantamiseen, vastuu asiakkaidensa tuotantolaitosten kokonaiskunnossapidosta ja käyttövarmuudesta sekä resurssi- ja urakointipalveluiden ja alihankintaketjun hallintapalveluiden tuottaminen kotimaisten ja kansainvälisten teollisuushankkeiden tarpeisiin. Liiketoimintayksikön (Connectivity) puolella asiakkaita autetaan mobiiliverkon ja kiinteän verkon palveluiden toimittamisessa ja niiden toimivuuden varmistamisessa. Liiketoimintayksikön puoli on mukana kaikissa tietoliikenneverkkojen toimintavaiheissa ja vastaa langattomien ja kiinteiden tietoliikenneverkkojen suunnitteluista, rakentamisesta ja ylläpidosta. International Operations -liiketoimintaan kuuluu edellä mainittujen toiminta-alueiden tehtävät Isossa-Britanniassa, Saksassa, Ranskassa, sekä Baltian maissa.

2 SUOMEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Suomen sähköjärjestelmä koostuu jakeluverkoista, suurjännitteisistä jakeluverkoista, voimalaitoksista, kantaverkosta sekä sähkön kuluttajista (Fingrid, i.a.-a). Suomen sähköjärjestelmä on yhdessä Norjan, Ruotsin ja Itä-Tanskan järjestelmien kanssa osana yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää.

Ensimmäiseksi voimalaitoksilla tuotettu sähkö siirretään koko maan kattavaan kantaverkkoon (Säteilyturvakeskus (STUK), 2021). Kantaverkossa käytetään korkeita jännitteitä, mikä mahdollistaa pienet energiahäviöt ja STEK:n mukaan pienet johtimien poikkipinta-alat, koska jännitteen kasvaessa johtimen virta pienenee (STEK, i.a.). Sähköasemilla sähkö siirretään kantaverkosta 20 kV:n keskijänniteverkkoon. Jakelumuuntamoiden avulla keskijännitejohdoista tulevan sähkön jännite alennetaan 400 volttiin, jonka jälkeen se siirretään asiakkaille pienjännitejohdoissa.

2.1 Kantaverkko

Suomen kantaverkossa on voimajohtoja noin 14 000 km ja yli sata sähköasemaa. Suomen kantaverkon omistaa Fingrid Oyj (STUK, 2021).

Voimajohdoissa suurin käytetty nimellisjännite on 400 kV, ja sen lisäksi käytetään 220 ja 110 kV:n jännitetasoja (STUK, 2021). Voimajohdot sijaitsevat avojohtoina pylväissä tai kaapeleina maassa. Pylväiden koko riippuu jännitetasosta: 400 kV johdoissa pylväävät ovat aina teräksisiä, kun taas 110 kV:n pylväävät on yleisesti ottaen tehty puusta. Joissain tapauksissa puupylvään korkeus tai kestävyys ei riitä, jolloin myös 110 kV:n johdolla on käytettävä teräspylväitä. Jännitetason pystyy tunnistamaan johtojen ripustukseen käytetyn eristeketjun pituudesta ja siinä olevien eristelautasten lukumäärästä.

Taulukossa 1 on kuvattu eristelautasten lukumäärän ja eristeketjun pituuden suhdetta voimajohdon jännitetasoon.

Taulukko 1. Eristelautasten ja eristeketjun suhde voimajohdon jännitteeseen (Perustuu: STUK, 2021).

Voimajohdon jännitetaso (kV)	Eristeketjun pituus	Eristelautasten lukumäärä
110	noin 1 metri	6–8
220	noin 2 metriä	10–12
400	noin 4 metriä	18–21

Pohjoismaiden verkot toimivat jatkuvasti samalla taajuudella ja Suomen kantaverkosta on tasasähköyhteydet Viroon ja Venäjälle, jonka lisäksi Suomen ja Ruotsin välillä on meren alitse kulkeva tasasähköyhteys (STEK, i.a.). Keski-Euroopan järjestelmän ja yhteispohjoismaisen järjestelmän välillä on myös tasasähköyhteys (Fingrid, i.a.-a).

2.2 Alue- ja jakeluverkko

Tärkeimmäksi luokitellut 110 kV:n voimajohdot kuuluvat kantaverkkoon (STUK, 2021). 110 kV:n voimajohdoista, jotka eivät kuulu kantaverkkoon muodostuu alueverkkoja. Alueverkko voidaan mieltää jakeluverkon ja kantaverkon välimalliksi.

Jakeluverkot ovat verkkoyhtiöiden omistamia alle 110 kV:n keskijännite- ja pienjänniteverkkoja (STUK, 2021). Kaupungeissa ja taajamissa jakeluverkot ovat yleisesti maakaapeli- verkkoja, maaseuduilla pylväissä kulkevia avojohtoja.

3 SÄHKÖASEMIEN KENTTÄLAITTEET

Verkon topologiaa voidaan tarvittaessa muuttaa kytkinlaitteiden avulla ja tällä tavoin ohjata sähköenergian kulkemista verkossa (Elovaara & Haarla, 2011, s.161). Lisäksi kytkinlaitteilla voidaan erottaa vioittunut verkoston osa pois verkosta nopeasti ja välttyä näin lisävahingoilta ja vaaroilta. Kytkinlaite voi toimia myös erotuskohtana sähköverkoston eri osien välillä. Tärkeimpiä kytkinlaitteita sähköenergian siirrossa ja jakelussa ovat erottimet, katkaisijat, kuormanerotimet sekä kytkimet.

Kaikilla toimilaitteilla on normaalitila ja toimintatila (Elovaara & Haarla, 2011, s. 162). Normaalitilassa kytkinlaitteiden tulee johtaa kuormitusvirtoja ilman suuria häviöitä ja yllämpene-misiä. Toimintatilassa kytkinlaite muuntautuu sähköä johtavasta kappaleesta eristeeksi tai päinvastoin.

Elovaaran ja Haاران (2011, s.162) mukaan kytkinlaitteilla on seuraavia ominaisuuksia: jatkuva virta, katkaisukyky, sulkemiskyky, mekaaninen luotettavuus, jänniterasitukset, turvallisuustekniset ominaisuudet ja oikosulkuvirta.

3.1 Katkaisijat

Katkaisijoiden tehtävänä on virtapiirien avaaminen ja sulkeminen (Elovaara & Haarla, 2011, s. 162–163). Niitä voidaan ohjata sekä manuaalisesti että automaattisesti. Yleisin katkaisijan automaattitoiminto on ylivirran vaikutuksesta johtuva avautuminen. Tällöin avautumiskäskyn katkaisijalle antaa virtapiiriin mittamuuntajien avulla kytketty rele. Sulkeutuminen voi myös tapahtua automaattisesti esimerkiksi tietyn jälleenkytkentäreleistyksen käynnistämänä.

3.2 Erilaiset katkaisijatyypit

Chaudharin (i.a.) mukaan korkeajännitteisiä katkaisijoita ovat esimerkiksi ilmakatkaisijat, paineilmakatkaisijat, öljykatkaisijat, tyhjiö- ja kaasukatkaisijat.

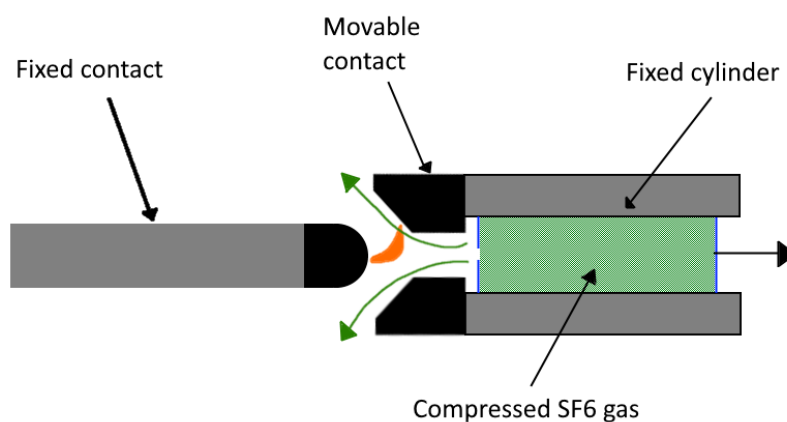
Ilmakatkaisijat on suunniteltu matala- ja keskijännitteisiin suojauksiin (Chaudhari, i.a.). Tiivistetty ilma tai kaasu toimii välittäjäaineena virran katkaisussa. Ilmakatkaisijaa käytetään vaihtovirta- tai tasasähköpiireissä, jakeluverkossa ja moottoripiireissä.

Paineilmakatkaisijoita käytetään virran katkaisussa korkeapaineisissa tai korkeajännitteisissä asennuksissa (Chaudhari, i.a.). Paineilmakatkaisijassa korkeaa painetta (tai muita kaasuja kuten vetyä, typpeä tai hiilidioksidia) käytetään valokaaren sammuttamiseen.

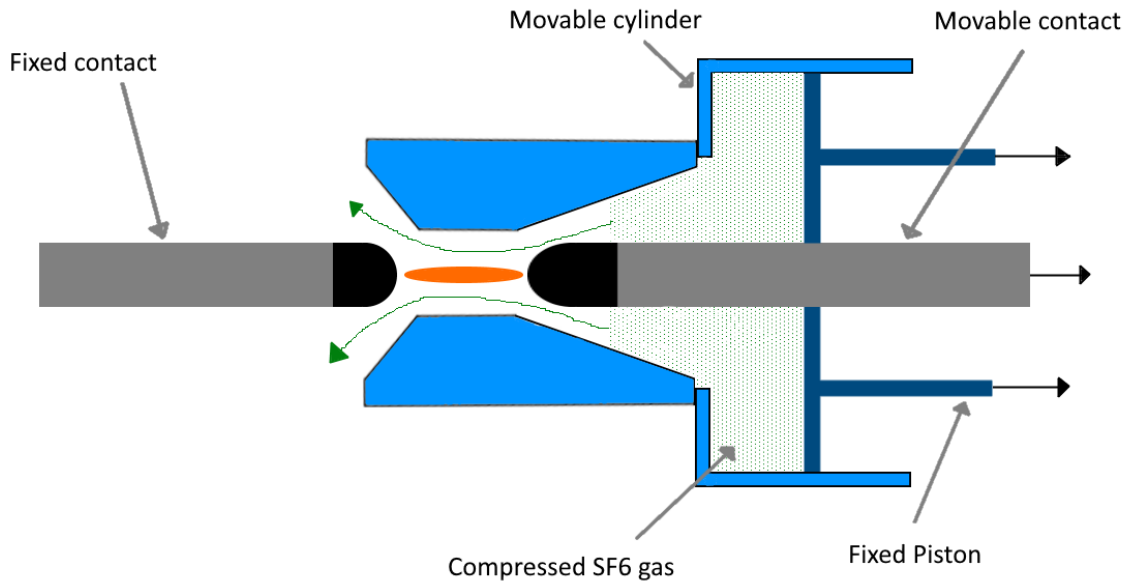
Öljykatkaisijoissa valokaaren sammuttamiseen käytetään eristäviä öljyjä, kuten muuntajaöljyä (Chaudhari, i.a.). Öljykatkaisija on vanhin katkaisijatyyppeistä, ja ne ovat yleisesti luotettavia, yksinkertaisia rakenteeltaan ja suhteellisen halpoja. Kyseisiä katkaisijoita on kahdenlaisia: BOCB (bulkkiiöljypiirin katkaisija) ja MOCB (vähimmäisöljypiirin katkaisija).

Tyhjiökatkaisijat ovat yksinkertaisia rakenteeltaan verrattuna paineilmakatkaisijoihin ja öljykatkaisijoihin (Chaudhari, i.a.). Tyhjiökatkaisijassa tyhjiö tarjoaa korkean dielektrisen lujuuden. Rakenteellisesti tyhjiökatkaisijat jaotellaan kahteen luokkaan, kiinteätyyppisiin ja liikkuviin. Tyhjiökatkaisijoita käytetään sähköasemilla ylivirta- tai korkeajännitesuojina 11 kV ja 33 kV jännitteille.

Kaasukatkaisijoissa käytetään SF₆ kaasua valokaaren sammuttamiseen öljyn, ilman tai tyhjiön sijasta (Chaudhari, i.a.). Elovaaran ja Haarlan (2011, s.178) mukaan kaasukatkaisijoita käytetään korkeajännitteisten (123–765 kV) piirien katkaisussa. SF₆-katkaisijat jakautuvat kahteen tyyppiin, kaksipainetyyppisiin katkaisijoihin (kuva 1) ja yksipaine-puffer-tyyppisiin katkaisijoihin (kuva 2) (Study electrical, i.a.).



Kuva 1. Kaksipainetyyppisen SF₆-katkaisijan havainnekuva (Perustuu: Study electrical, i.a.).



Kuva 2. Yksipaine-puffer-tyyppisen SF6-katkaisijan havainnekuva (Perustuu: Study electrical, i.a.).

3.3 Erottimet

Erottimet ovat laitteita, joiden tarkoituksena ja tehtävänä on saada jokin haluttu sähkölaitoksen osa turvallisesti tekemällä sen jännitteettömäksi. Tehtävänä on myös turvallisen avausvälin muodostaminen erotettavan virtapiirin ja muun aseman/laitoksen välille (Elovaara & Haarla, 2011, s. 190).

Eroittimia ei ole tarkoitettu avaamaan tai sulkemaan kuormitettua virtapiiriä, ja sen takia niiltä ei vaadita virran sulkemis- tai katkaisukykyä (Elovaara & Haarla, 2011, s. 190). Kuitenkin erottimilla voidaan erottaa lyhyt johto tai kiskosto tai katkaista tyhjäkäyntivirta muuntajalta. Jos erotinta ohjataan nopeasti, on sen sulkemiskyky noin muutaman ampeerin.

Turvallisuussyistä erottimilta vaaditaan, että ne voidaan lukita auki- tai kiinniasentoon, jolloin pystytään estämään erottimen vaaraa aiheuttava käyttö, esimerkiksi erottimen kiinniohjaus tilanteessa, jossa kyseinen toimenpide saattaisi aiheuttaa suurta vaaraa työntekijälle tai laitteistolle (Elovaara & Haarla, 2011, s. 190). Erottimelta vaaditaan myös, että kiinniasennossa se pystyy vaivattomasti johtamaan oikosulku- ja kuormitusvirtoja.

Elovaaran ja Haaran (2021, s.190) mukaan riittää, että erotin on sijoitettuna syöttävän kiskon ja katkaisijan väliin, mikäli energian virtaussuunnalle on vain yksi vaihtoehto. Mikäli energiaa syötetään molemmista suunnista, niin erottimien tulee olla katkaisijan molemmilla puolilla.

Jännitteettömänä tarkistettavien ja huollettavien laitteiden kanssa voidaan käyttää erottimia sarjassa (Elovaara & Haarla, 2011, s. 190–191). Erottimia käytetään myös ohituserottimina, joilla mahdollistetaan keskeytymätön käyttö, sekä niitä käytetään myös työmaadoitusten ohella maadoituserottimina.

Verkossa työskenneltäessä maadoituserottimella pyritään estämään vaaroja, jotka saattaisivat tulla indusoituneista jännitteistä tai vikavirroista (Elovaara & Haarla, 2011, s. 190–191). Jotta vahingoilta säästyttäisiin, tulee maadoituserottimet olla suljettuna ennen työmaadoitusten asentamista.

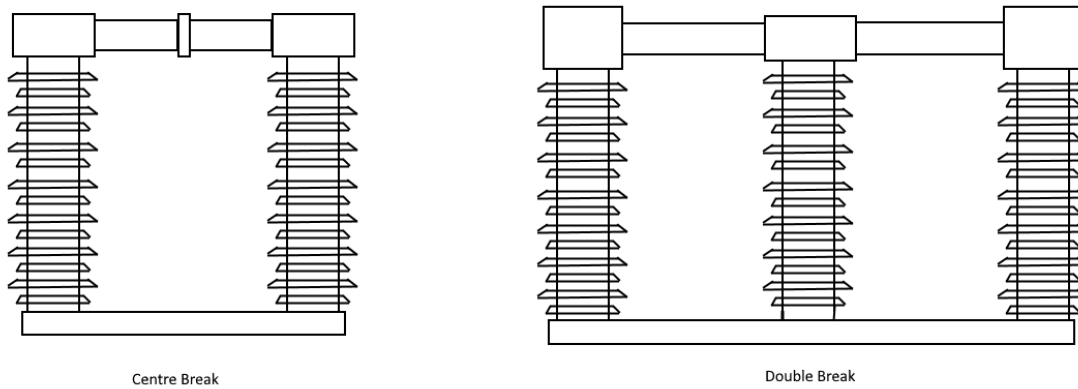
3.4 Erilaiset erotintyypit

Elovaaran ja Haaran (2011, s.193) mukaan erilaiset erotintyypit voidaan lajitella tukieristimien lukumäärän ja koskettimien liikkumissuunnan mukaan kuuteen luokkaan:

- vaakatasossa liikkuva kaksipilarinen kiertoerotin (center break disconnecter)
- kolmipilarinen kiertoerotin (double-side breaker)
- pystysuunnassa liikkuva erotin (vertical-break disconnecter)
- vertikaalitartuntaerotin (semi-pantograph disconnecter)
- horisontaalinen tartuntaerotin (knee-type disconnecter)
- saksityyppinen tartuntaerotin (pantograph disconnecter).

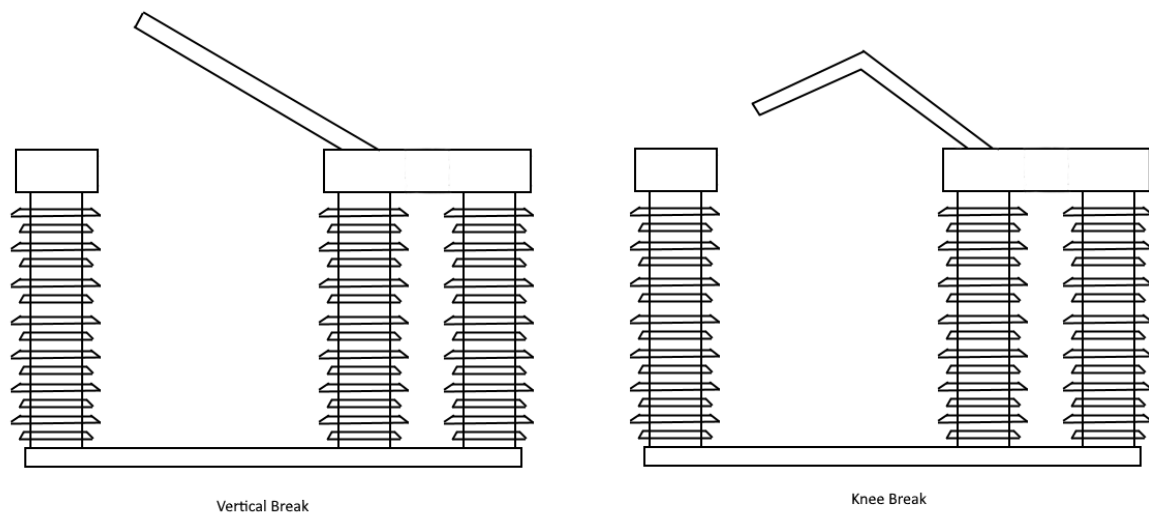
Vaakatasossa liikkuva kaksipilarinen kiertoerotin sopii asemille, joissa erottimia tulee asentaa rinnakkain (Elovaara & Haarla, 2011, s.193). Kaksipilarinen kiertoerotin on erotinmalleista yleisin. Kolmipilarisella kiertoerottimella saadaan pienempi vaiheväli verrattuna kaksipilariseen kiertoerottimeen. Pystysuunnassa liikkuva erotin vie vähän maa-alaa, mutta se vaatii tilaa pystysuunnassa. Vertikaalitartuntaerottimen etuna on pieni asennuspinta-ala ja se soveltuu putkikiskolaitoksiin. Horisontaalisen tartuntaerottimen etuna on myös pieni asennuspinta-ala ja se soveltuu köysikiskolaitoksiin. Saksityyppiset tartuntaerottimet toimivat kiskoerottimina, mutta vaakaerottimina niitä ei voida käyttää. Tartunta- ja kiertoerottimien varustukseen voidaan tarvittaessa lisätä maadoitusveitset.

Kuvassa 3 on havainnollistettu kaksi- ja kolmpilarisen kiertoerotin ulkonäköä.



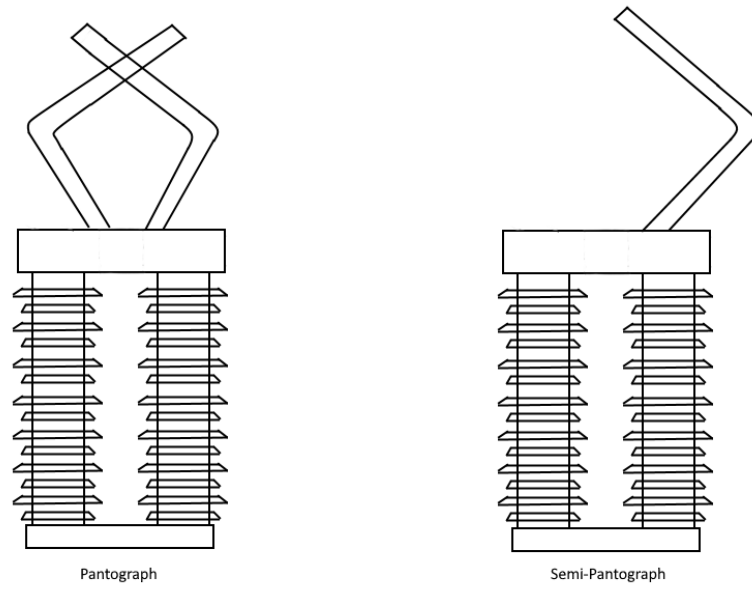
Kuva 3. Kaksipilarinen kiertoerotin ja kolmpilarinen kiertoerotin (Perustuu: SaVRee, i.a.).

Kuvassa 4 on havainnollistettu pystysuunnassa liikkuvan erottimen ja horisontaalisen tartuntaerottimen ulkonäköä.



Kuva 4. Pystysuunnassa liikkuva erotin ja horisontaalinen tartuntaerotin (Perustuu: SaVRee, i.a.).

Kuvassa 5 on havainnollistettu saksityyppisen tartuntaerottimen ja vertikaalitartuntaerottimen ulkonäköä.



Kuva 5. Saksityyppinen tartuntaerotin ja vertikaalitartuntaerotin (Perustuu: SaVRee, i.a.).

4 SÄHKÖVERKON HÄTÄTILAA JA KÄYTÖNPALAUTUSTA KOSKEVA VERKKOSÄÄNTÖ (NC ER)

NC ER -verkkosäännön tavoitteena on varmistaa järjestelmän nopea palautuminen normaali-tilaan, ehkäistä häiriötilanteiden laajeneminen sekä pysäyttää eteneminen suurhäiriöön (Fingrid, i.a.-b). NC ER -verkkosäätö keskittyy kantaverkkoyhtiöiden välisen kommunikaation ja koordinoinnin parantamiseen häiriötilanteiden sattuessa.

Euroopan komission asettaman verkkosäännön mukaan kantaverkkoyhtiöiden tulee nimetä osapuolet, jotka ovat kriittisiä järjestelmän kannalta (Fingrid, i.a.-b). Valittujen osapuolten tulee toteuttaa verkkosäännön vaatimukset järjestelmissään ja laitoksissaan sekä ohjeistuksissaan.

4.1 24 h toimintakyky

24 h toimintakyky tarkoittaa Fingridin kykyä toimia ja tehdä tarvittavat toimenpiteet sähköjen ollessa poikki, vähintään 24 tunnin aikana suurhäiriön jälkeisessä käytönpalautuksessa (Fingrid, i.a.-b).

Komission asetuksessa (Euroopan komission asetus sähköverkon hätätilaa ja käytönpalautusta koskevasta verkkosäännöstä (EU) 2017/2196, 42 art. § 5) sanotaan seuraavaa:

Sähköasemien, jotka on määritelty olennaisen tärkeiksi käytönpalautussuunnitelman toimenpiteiden kannalta 23 artiklan 4 kohdan mukaisesti, on pysyttävä toiminnassa vähintään 24 tunnin ajan tilanteessa, jossa pääsähkönsyöttö menetetään. Irlannin ja Latvian synkronialueen sähköasemien osalta toiminnan jatkumisaika tilanteessa, jossa pääsähkönsyöttö menetetään, voi olla 24 tuntia lyhyempi, ja jäsenvaltion sääntelyviranomaisen tai muun toimivaltaisen viranomaisen on hyväksyttävä tämä aika siirtoverkonhaltijan ehdotuksesta.

Vaatus koskettaa

- nimettyjä jakeluverkkojen ja kantaverkon sähköasemia sekä Fingridiä
- voimalaitoksia, joiden nimellisteho on yli 30 MW sekä kyseisten laitoksien omistajia
- jakeluverkonhaltijoita, joiden keskikulutus on yli 30 MW (Fingrid, i.a.-b).

Osapuolet ovat velvollisia varmistamaan, että sähkökatkon sattuessa sähköasemat, nimetyt voimalaitokset sekä valvomot ovat toimintakyvyllisiä 24 tunnin ajan (Fingrid, i.a.-b).

Sähköasemilla ja voimalaitoksilla tulee sähkökatkojen aikana olla valmius tehdä sellaisia kytkentöjä ja toimenpiteitä, jotka sähköjen palaututtua mahdollistavat voimalaitoksen käynnistämisen ja tahdistamisen verkkoon mahdollisimman nopeasti.

4.2 Alitaajuussuojausjärjestelmä

NC ER -verkkosääntö edellyttää, että jakeluverkkoyhtiöiden ja Fingrid Oyj:n tulee luoda alitaajuussuojaus yhdessä (Fingrid, 2021). Alitaajuussuojauksena toimii automaattinen alitaajuussuojausjärjestelmä eli automaattinen kulutuksen irtikytkemisjärjestelmä.

Automaattinen kulutuksen irtikytkemisjärjestelmä toimii silloin, kun ylläpidettävät häiriöreservit eivät riitä kattamaan syntynyttä tuotantovajausta, jolloin taajuus voimajärjestelmässä jatkaa laskuaan (Fingrid, 2021). Kulutuksen automaattisen irtikytkennän ylläpitämisestä on sovittu pohjoismaisten järjestelmävastaajien kesken, jotta tällaisista häiriöistä järjestelmä selviytyisi mahdollisimman hyvin.

Alitaajuussuojareleistyksellä varustetaan 30 % Suomen kaikesta kulutuksesta, tarvittaessa alitaajuussuoja kytkee automaattisesti kulutusta irti (Fingrid, 2021).

4.3 Taajuusportaat alitaajuussuojausjärjestelmässä

Taulukossa 2 on kuvattu asettelut ja taajuusportaat irtikytkennälle. Jokaisella portaalla on omat tavoitetaajuudet, jolloin suojaus/irtikytkentä tapahtuu. Seuraavana on Irtikytkennän kokonaistoiminta-aika taajuuden saavuttaessa asetteluarvon. Viimeisenä, kuinka monta prosenttia kulutuksesta irrotetaan (Fingrid, 2021).

Taulukko 2. Kulutuksen alitaajuudesta johtuvan automaattisen irtikytkennän asettelut (Perustuu: Fingrid, 2021).

Porras	Tavoite f (Hz)	Kokonaistoiminta- aika (s)	% kulutuksesta
1	48,8	0,15	5
2	48,6	0,15	5
3	48,4	0,15	5
4	48,2	0,15	5
5	48	0,15	10

Taajuusportaiden toteuttamiseen on kaksi vaihtoehtoa (Fingrid, 2021). Ensimmäisessä vaihtoehdossa otetaan huomioon suuret jakeluverkkoyhtiöt, jotka omistavat monia sähköasemia, jolloin taulukossa määriteltyjä taajuusportaita ei tarvitse toteuttaa yhdellä sähköasemalla. Jakeluverkon haltija saa itse päättää, miten suoja eri asemille hajautetaan. Kaikki taulukossa olevat taajuusportaat voivat olla yksittäisellä sähköasemalla, kunhan taulukon mukaiset osuudet kytetään irti kokonaiskulutuksesta koko jakeluverkon alueella, mukaan lukien toiset jakeluverkot, jotka ovat liitoksissa kyseiseen verkkoon.

Toinen vaihtoehto huomioi pienemmät jakeluverkkoyhtiöt, jotka omistavat vähemmän asemia ja joille kaikkien taulukon 2 mukaisten taajuusportaiden toteuttaminen voisi näin ollen olla vaikeaa. Tällöinkin suositellaan suojan hajauttamista mahdollisimman monelle portaalle. Ylimmästä taajuusportaasta aloitetaan, josta laajennetaan alempiin taajuusasetteluihin. Ylimmässä taajuusportaassa tulee olla vähintään 5 % kulutuksesta, ennen kun voidaan ottaa alempia taajuusportaita käyttöön. Voi olla myös ääritapauksia, jolloin on vain yksi taajuusportas, joka kytketään irti kyseessä olevan jakeluverkon kokonaiskulutuksesta vähintään 30 %. Taajuusportaan asettelu ääritapauksessa tulee olla 48.8 Hz.

5 LYIJYAKUT

Gaston Planté keksi ensimmäisen lyijyhappokennon vuonna 1859 Ranskassa (Balakrishnan & Rethinam, 2008, s.1). Plantén akku on ensimmäinen ladattava akku (Bobby, 2014). Se on valmistettu kahdesta elektrodista, jotka on erotettu kumisuikeilla toisistaan ja ne ovat upotettuna elektrolyyttiin. Negatiivinen elektrodi (tai anodi) on valmistettu lyijystä, kun taas positiivinen elektrodi (tai katodi) on valmistettu lyijyoksidista. Elektrolyytti on rikkihaposta ja vedestä tehty liuos. Purkauksen aikana elektrolyytti johtaa elektroneja anodista katodille. Tämä saa aikaan sähkövirran, jolla voidaan esimerkiksi valaista lamppu.

Gaston Plantén akkukonsepti on itse asiassa saanut inspiraationsa Daniell Cellin kehittämästä primääriskennosta ”Daniellin pari”, jonka jännite on 1,1 V per kenno (Bobby, 2014). Merkittävää on, että Plantén yksittäisen kennon jännite on 2 V, kemiallinen reaktio voidaan kääntää, jolloin akun lataaminen mahdollistuu, sekä useita kennoja voidaan yhdistää suuremman jännitekapasiteetin tuottamiseksi. Lisäksi hänen akkunsäilyttivät vain yhtä elektrolyyttiä molemmille elektrodeille, kun taas Daniellin kennossa käytettiin kahta eri elektrolyyttiä. Plantén konsepti yhdeksänkennoisesta akusta syntyi vuosi sen jälkeen, kun hän oli keksinyt yksikennoisen akun. Hän esitteli yhdeksänkennoisen akun Ranskan tiedeakatemialle vuonna 1860.

Sähköasemilla käytetään pääosin kolmenlaista akkutyyppiä, joita ovat tiivistetyt ja huoltovapaat VRLA-akut, VLA-tyyppiset huollettavat avoimet akut sekä nikkelikadmiumakut (NiCd) (Eqbal, 2012).

5.1 VRLA-akku

VRLA-akuissa happo on imeytetty lasivillaerottimeen (AGM) tai geeliin, joten niissä ei ole vapaita elektrolyyttiä (OEM, i.a.). VRLA-akuista vapautuu vain pieniä määriä kaasua normaalin käsittelyn aikana, sillä kaasu, joka syntyy varauksessa, muunnetaan akun sisällä vedeksi. Hoffmanin (2014) mukaan VRLA-akkujen huoltovapauden ja tiiveyden takia, akkuja voidaan käyttää missä tahansa asennossa ilman, että tarvitsee pelätä vuotoja.

Geelikennoakussa elektrolyytti on koostumukseltaan hyytelöimäinen ja elektrolyytti on tehty sekoittamalla rikkihappoa ja sakeutusaineena toimivaa pyrogeenistä piioksidia (Hoffman,

2014). Elektrolyytin geelimäisen koostumuksen ansiosta akusto kestää hyvin ääriämpötiloja, tärinää ja iskuja.

Lasivillaerotteisessa (AGM) akussa rikkihappo on imeytetty ohuisiin lasivillamattoihin lyijylevyjen väliin, jolloin elektrolyytti on liikkumaton samalla tavoin kuin geelikennoisissa akuissa (Hoffman, 2014). Rakenne mahdollistaa nopean reaktion hapon ja lyijylevyjen välillä. AGM akkujen etuna on matala sisäinen sähköinen resistanssi sekä hapon nopea liikkuminen kuidun ja levyjen välillä. Näiden tekijöiden ansiosta kyseiset akut pystyvät antamaan ja ottamaan suurempia määriä virtaa verrattuna muihin tiivistettyihin akkuihin.

Kuvassa 6 on sähköasemalta otettu kuva VRLA-tyyppisestä lasivillaerotteisesta akustosta.



Kuva 6. VRLA-tyyppinen lasivillaerotteinen lyijyakusto.

5.2 VLA-akku

VLA-tyyppistä avointa akkua voidaan myös kutsua standardiakkuksi (OEM, i.a.). Avoimen akun tunnistaa korkeista, joista voidaan halutessaan mitata ominaispaino ja joista kennoon lisätään akkuvettä.

VLA-tyyppisten akkujen kennoihin ei pääse kertymään painetta, koska ne ovat avonaisia eli kaasut pääsevät purkaantumaan vapaasti (First National Battery, i.a., s.1). Kennojen elektrolyyttiä/akkuvettä voidaan lisätä tarvittaessa, ja sen takia ne kestävät enemmän korkeita lämpötiloja ja yllilatausta. Vapaa elektrolyytti myös helpottaa akun jäähtymistä.

Avoimet akut voidaan asentaa ainoastaan pystypäin, koska muuten happo pääsisi vuotamaan (Baykee, 2020). Avoimet akut ovat ekonomisin vaihtoehto verrattuna VRLA-tyyppiin akkuihin, sekä niiden elinikä voi olla pidempi kuin VRLA-tyyppisillä akuilla, mikäli niitä ylläpidetään huolellisesti.

Kuvassa 7 on sähköasemalta otettu kuva VLA-tyyppisestä avoimesta akustosta.



Kuva 7. VLA-tyyppinen lyijyakusto.

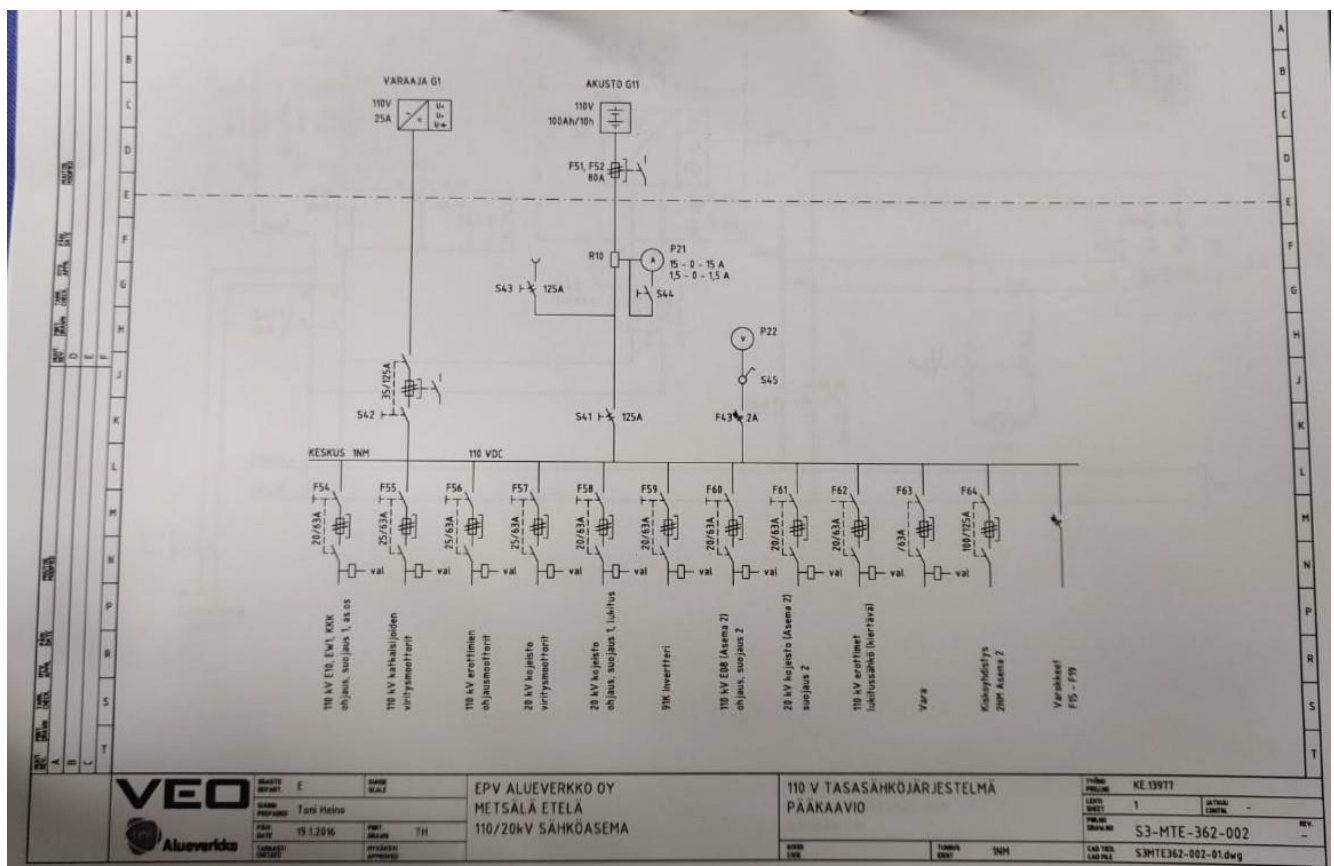
6 AKUSTOJEN KAPASITEETTIEN SELVITYSTYÖ

Työssä käytiin läpi vaaditut sähköasemat ja jokaiselle asemalle tehtiin laskelmat. Sähköasemilta selvitettiin, mitä laitteistoja on akuston perässä ja paljonko kyseiset laitteet ottavat virtaa. Kerättyjen tietojen perusteella toteutettiin laskelmat, joista saatiin selville asemien akustojen minimikapasiteettivaatimukset. Mikäli asemalla olemassa olevan akuston kapasiteetti jäi alle lasketun minimikapasiteettivaatimuksen, tulee asemalle hankkia uudet akut.

Asemia oli 17 kappaletta, joten niitä läpi käydessä kehittyi tietynlainen toimintamalli.

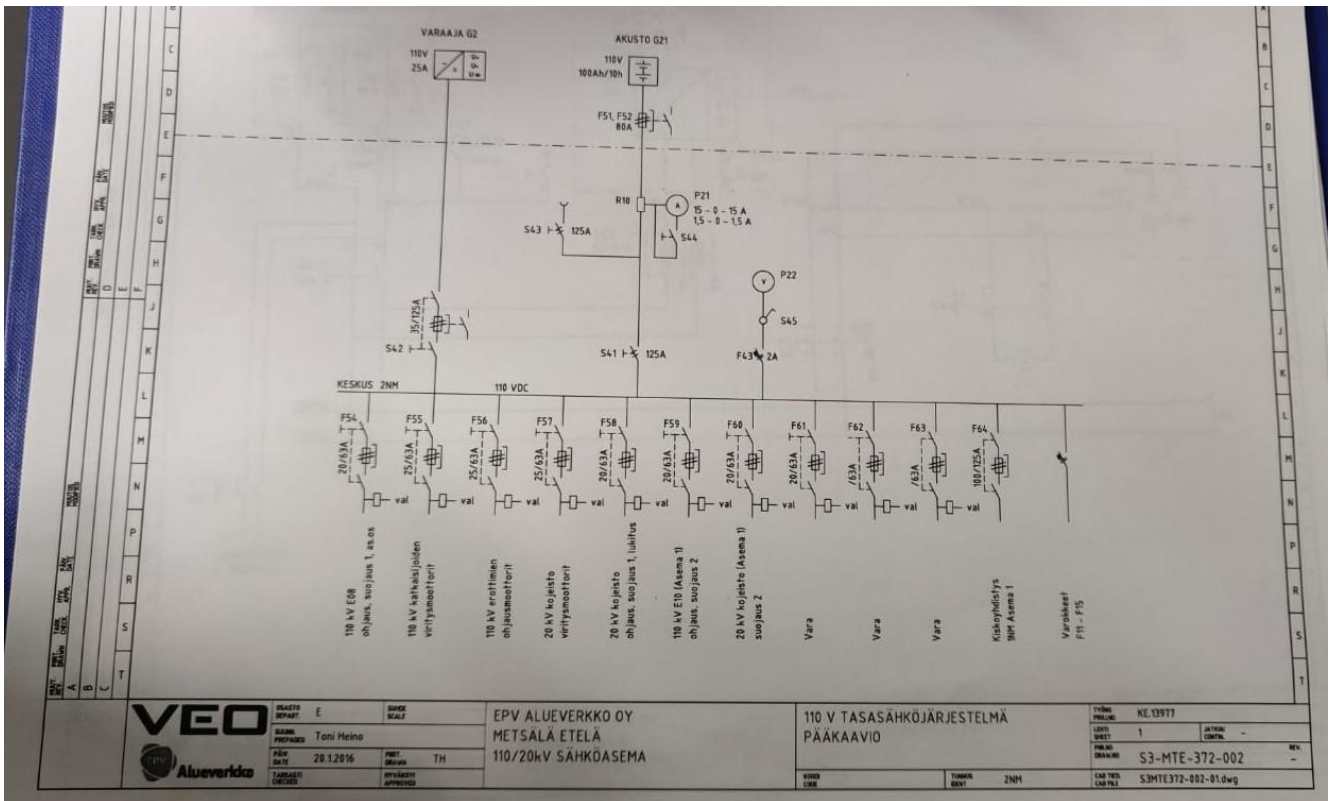
Sähköasemien sähkökuvat on järjestetty sisällön mukaan, ja ne löytyvät tarkoitusta varten varatusta kansioista. Kansioista etsitään akustojen piirikaaviokuvat, joista nähdään, mitä laitteita kyseisten akkujen perässä on.

Kuvassa 8 on havainnointu Metsälä Etelä 110/20 kV sähköaseman akuston G11 pääkaviokuva, josta näkee mitä laitteistoja akuston perässä on.



Kuva 8. 110 V Tasasähköjärjestelmän pääkaavio akustolle G11.

Kuvassa 9 on havainnointu Metsälä Etelä 110/20 kV sähköaseman akuston G21 pääkaaviokuva. Kun vertailee akuston G11 ja G21 kuvia, voi huomata, miten laitteistot jakautuvat akustojen välille.



Kuva 9. 110 V Tasasähköjärjestelmän pääkaavio akustolle G21.

Yleisesti ottaen akustot syöttävät varavalaistusta, katkaisijoita (mukaan lukien 20 kV ja 30 kV katkaisijat, mikäli niitä asemalla on), erottimien moottoreita ohjauspiireineen sekä UPS-laitetta varmennettua vaihtosähkönsyöttöä varten. Myöhempiä laskelmia varten kuvista tulee katsoa, miten laitteistot jakautuvat akustojen välillä, mikäli akustoja on enemmän kuin yksi. Sähkökuvista pitää myös selvittää, miltä johtimelta saadaan mitattua erottimien ja katkaisijoiden moottoreiden ottama virta niitä ohjattaessa.

Perusasioiden selvittämisen jälkeen soitettiin Enerimin verkkokeskukseen ja tehtiin asemalle kytkentä, jotta katkaisijaa voidaan ohjata auki/kiinni 6 kertaa. Kytkennän aikana saadaan myös mitattua erottimien moottoreiden ottama virta. Joillakin asemilla oli myös mahdollista avata 20/30 kV katkaisijoita, mikäli niitä oli asemalla. Yleensä niiden ohjaaminen ei kuulunut kytkentäsuunnitelmaan, vaan piti erikseen kysyä, oliko niiden ohjaaminen mahdollista.

Toinen asentaja oli puhelinyhteydessä Enerimin verkkokeskukseen ja verkkokeskus teki ohjaukset etäyhteyden avulla. Toinen työntekijä taas oli sähkökaapilla mittaamassa johtimelta ohjatun erottimen ottamaa virtaa pihtiampeerimittarin avulla ja merkkasi tulokset ylös myöhempiä laskelmia varten.

Kun erottimien ottama virta oli saatu mitattua kytkentöjen yhteydessä, niin sen jälkeen aseman omakäyttö siirrettiin akustojen perään. Sähköaseman omakäytöllä tarkoitetaan aseman omaa kuormaa, joka muodostuu kaikista niistä laitteista, mitä asema tarvitsee toimiakseen. Kun omakäyttö oli akustojen perässä, pystyttiin mittaamaan kummankin akuston plus- ja miinusnavasta akuston peruskuorma varavalojen ollessa päällä, sekä niiden ollessa pois päältä. Tällä tavoin saatiin tieto siitä, paljonko varavalaistus otti kuormaa akustolta. Peruskuorma asemien akustojen välillä vaihteli yhden ja yhdeksän ampeerin väliltä. Lisäksi otettiin myös invertterin ottama virta muistiin, jotta tätäkin tietoa voidaan käyttää hyödyksi tulevaisuuden suunnitteluissa, mikäli asemalle joudutaan hankkimaan uudet akut.

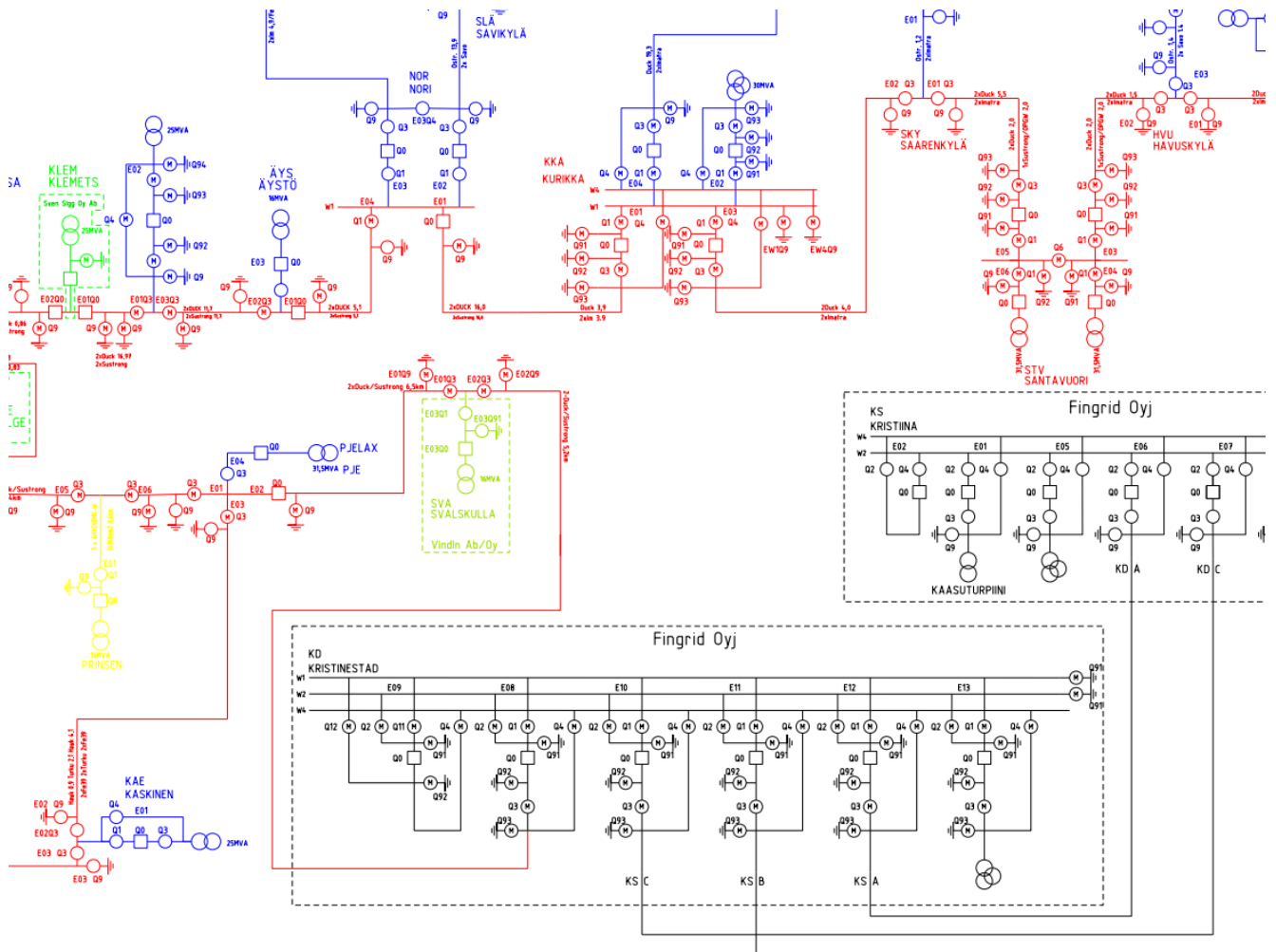
Peruskuormien mittauksen jälkeen toinen asentaja otti jälleen yhteyden Enerimin verkkokeskukseen ja ehdotti katkaisijaa ohjattavan 6 kertaa. Toinen työntekijä oli jälleen tasasähkökaapilla mittaamassa pihtiampeerimittarilla katkaisijan moottorin ottaman virran ja merkkasi sen ylös.

Kun katkaisijoidenkin virrat oli mitattu, voitiin aseman omakäyttö jälleen palauttaa normaaliksi eli pois akuston perästä. Lopuksi tehtiin palautuskytkentä verkkokeskuksen kanssa ja palautettiin kentän erottimet ja katkaisijat normaaliin tilaan.

6.1 Erilaiset kytkennät asemille

Sähköaseman niin sanotussa normaalikytkennässä ensimmäisenä avattiin katkaisija, jota haluttiin lähteä ohjailemaan. Tämän jälkeen katkaisijan vieressä olevat erottimet otettiin auki. Kun erottimet olivat auki, niin pystyttiin katkaisijaa ohjailemaan ilman, että se vaikutti mihinkään. Lopuksi kun halutut ohjaukset oli tehty, palautuskytkentä tehtiin päinvastaisessa järjestyksessä. Ensin ohjattiin toinen katkaisijan vierellä oleva erotin kiinni, jonka jälkeen ohjattiin katkaisijan toisella puolella oleva erotin kiinni ja lopuksi ohjattiin katkaisija kiinni.

Kuvasta 10 näkee osan Kristiina-Närpiö-Seinäjoki alueen verkkokuvasta, joka auttaa havainnollistamaan Santavuoren sähköasemalla tehtyä kytkentää.



Suunn./Piir.t.	16.10.2003 MJ	Nimitys	110 kV VERKKO	Tunnus	Suhde
Tarkasti/Hyväksyi			KRISTINA-NÄRPIÖ-SEINÄJOKI ALUE	CAD no:	
Muutospvm	27.08.2018/EPA JUPA		EPA:n verkon hallinta	Piir.no:	S3-EPA-300-1-20

Kuva 10. 110kV verkko Kristiina-Närpiö-Seinäjoki alue.

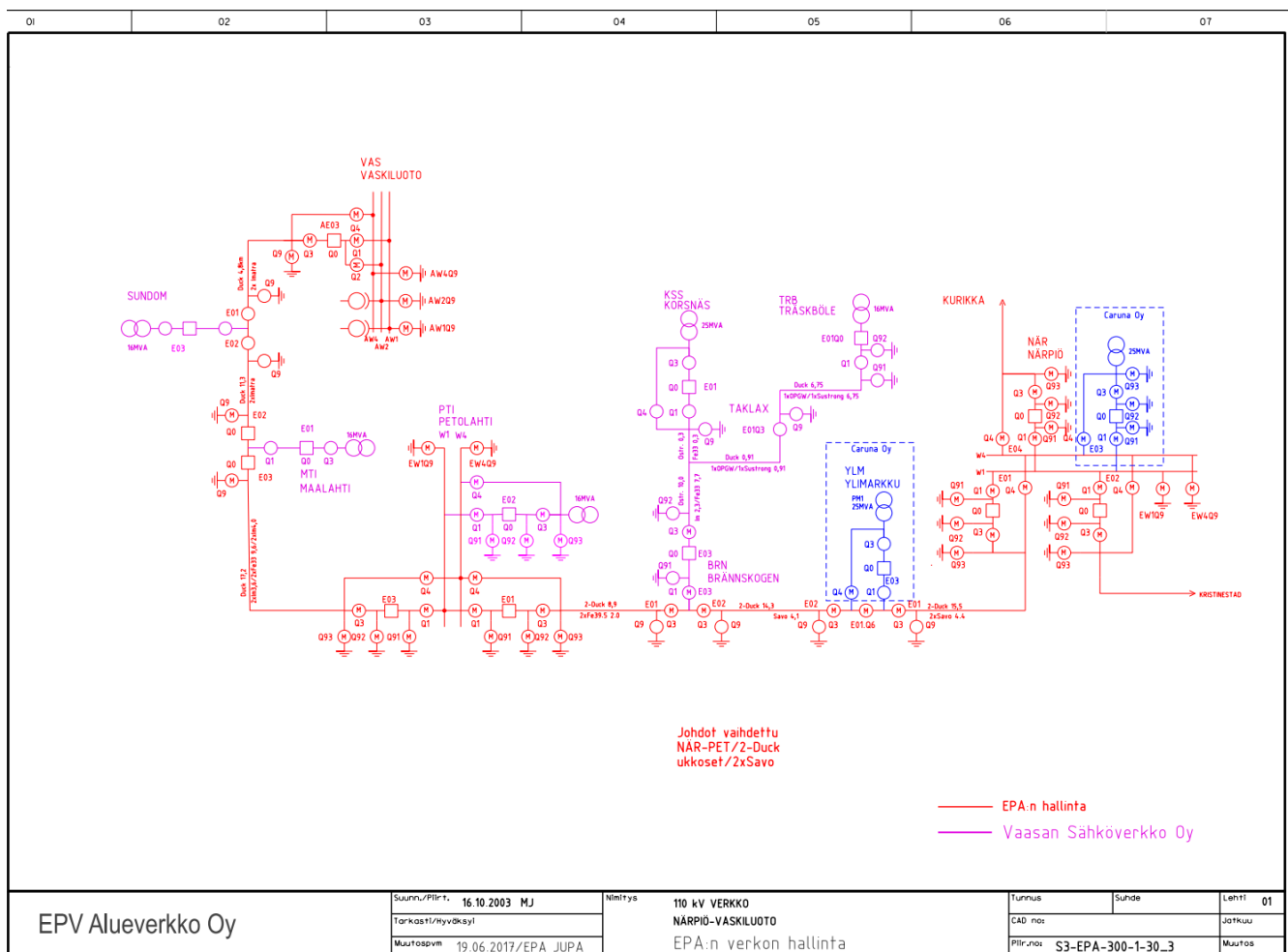
KytKentä oli paljon erilaisempi verrattuna sähköaseman normaaliin kytKentätilaan. Äystön katkaisijalla E01Q0 (kuva 10) on Kristiina-Närpiö-Seinäjoki alueen jakoraja. Jakorajalle tulee normaalitilanteessa molemmista suunnista jännite. KytKentä alkoi siten, että Äystön katkaisija E01Q0 ohjattiin kiinni, jolloin jakoraja hetkellisesti poistui ja tämän rajan molemmilta puoliilta tulevat jännitteet yhdistyivät eli Äystön ja Santavuoren välinen linja pysyi jännitteisenä. Tämän jälkeen avattiin Santavuoren asemalta johtolähdön katkaisija E05Q0, minkä jälkeen linjan jakoraja siirtyi Santavuoren aseman johtolähdön erottimelle E05Q3. Koska Äystön katkaisija E01Q0 oli kiinni, niin kyseisen katkaisijan vasemmalta puolelta tuleva jännite pääsi eteenpäin Santavuoren aseman uudelle jakorajalle erottimelle E05Q3 ja täten Äystön ja Santavuoren välinen linja pysyi jännitteisenä.

Jos Äystön katkaisijaa E01Q0 ei olisi avattu ennen kuin avattiin Santavuoren katkaisija E05Q0, niin Äystön ja Santavuoren välinen linja olisi tällöin ollut jännitteetön.

Sen jälkeen, kun Santavuoren aseman johtolähdön katkaisija E05Q0 oli avattu, niin normaaliin tyyliin avattiin katkaisijan molemmilta puolilta erottimet E05Q3 ja E05Q1, jonka jälkeen pystyttiin ohjalemaan katkaisijaa 6 kertaa auki/kiinni.

Palautuskytkentä tapahtui jälleen päinvastaisessa järjestyksessä. Santavuoren aseman johtolähdön erottimet E05Q3 ja E05Q1 ohjattiin kiinni, tämän jälkeen katkaisija E05Q0 ohjattiin kiinni ja lopuksi Äystön katkaisija E01Q0 avattiin. Jakoraja palautui takaisin Äystön katkaisijalle ja linja oli takaisin normaalissa tilassa.

Kuvasta 11 näkee Närpiö-Vaskiluoto alueen verkkokuvan, joka auttaa havainnollistamaan Petolahden asemalla tehtyä kytkentää.



Kuva 11. 110kV verkko Närpiö-Vaskiluoto alue.

Kyseinen kytkentä oli toinen normaalista kytkentätilasta poikkeava. Ohituskytkentä tehtiin Petolahden sähköasemalle. Petolahden asemalla (kuva 11) on pääkisko EW1 ja apukisko EW4. Kytkennän aluksi apukiskoerottimet kytkettiin kiinni kentiltä E01 (erotin Q4) ja E03 (erotin

Q4), jonka jälkeen normaaliin tyyliin avattiin katkaisija E01Q0 ja sen jälkeen avattiin katkaisijan molemmilta puolilta johtoerotin E01Q3 ja kiskoerotin E01Q1. Tämän jälkeen katkaisijaa pystyttiin vapaasti ohjaamaan vaadittavat 6 kertaa auki/kiinni.

Kyseisen kytkennän avulla saatiin pidettyä Petolahden asema linjoilla Närpiön suuntaan, koska jännite pääsi kulkemaan E01 kentän ohi erottimien E01Q4 ja E03Q4 kautta.

Palautuskytkentä tapahtui jälleen päinvastaisessa järjestyksessä, erottimet E01Q1 ja E01Q3 ohjattiin takaisin kiinni, katkaisija E01Q0 ohjattiin takaisin kiinni ja viimeiseksi ohjattiin apukiskoerottimet E01Q4 ja E03Q4 takaisin auki.

6.2 Kohdattuja ongelmia

Vaikka ongelmia tuli yleensä hyvin vähän, muodosti Närpiön sähköasema poikkeuksen. Närpiön sähköasema on vanhempi verrattuna muihin selkeästi uudempiin asemiin, joten asemalla oleva tekniikka on joltain osin myös vanhempaa.

Kuvasta 12 näkee, miltä Närpiön sähköasema näyttää sisältäpäin.



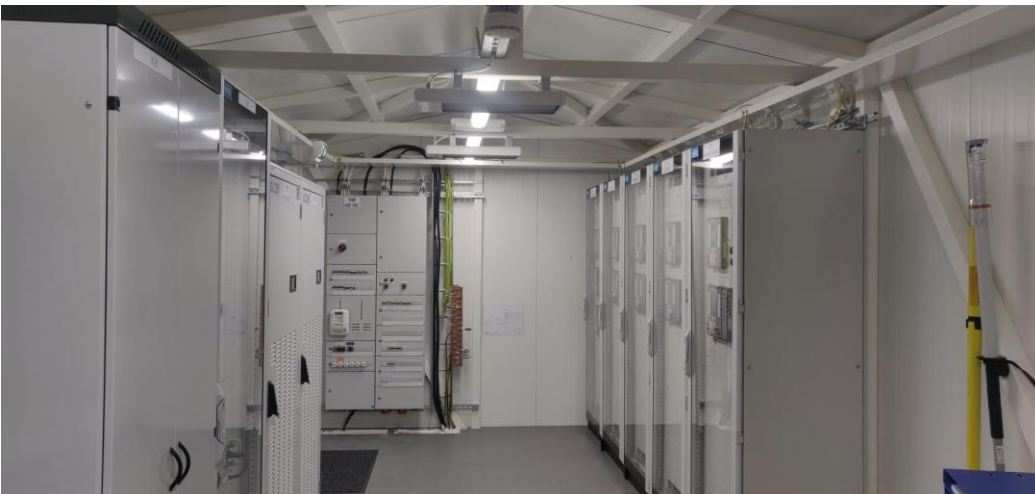
Kuva 12. Närpiön sähköaseman sisätila 1.

Kuvasta 13 näkee, että Närpiön sähköaseman asemarakennuksessa ei ole käytössä jakokaappeja, vaan riviliittimet, laitteistot, johdinkourut ja johtimet ovat avoimesti kiinnitettynä seinille.



Kuva 13. Närpiön sähköaseman sisätila 2.

Kuvan 14 avulla pystyy vertaamaan Närpiön sähköasemaa hieman uudempaan Perälän asemaan.



Kuva 14. Perälän sähköaseman sisätilat.

Asemalla tehtiin normaalit toimenpiteet kytkentöjen ja mittauksien suhteen. Ongelma syntyi siinä vaiheessa, kun aseman katkaisijalle E01Q0 (kuva 15) alettiin tekemään ohjauksia. Katkaisija saatiin avattua kaksi kertaa ja viritettyä kerran, toisen avaukseen jälkeen katkaisija ei enää viritetty. Aluksi luultiin ongelman olevan katkaisijan kitkakytkimessä, mutta tarkemalla tutkimisella tultiin lopputulokseen, että kyseessä on mahdollisesti vakavampi ongelma. Parhaimmaksi nähtiin, että katkaisijan vikaa tullaan selvittämään asiasta enemmän tietävällä työryhmällä. Tilanteesta ilmoitettiin Enerimin verkkokeskukseen sekä Caruna Oy:n verkkokeskukseen, koska Närpiön sähköasema on Caruna Networks Oy:n omistuksessa ja EPV alueverkko Oy:llä on siellä myös omat laitteistonsa.

Katkaisijarikko on yleisesti kriittinen vika ja ongelma ilmeni perjantaina, joten toinen työryhmä laitettiin heti seuraavana maanantaina selvittämään asiaa.

Loppujen lopuksi selvisi, että kyseinen katkaisija on ollut niin vähäisellä käytöllä viime aikoina, että se oli jumittunut. Katkaisija alkoi toimimaan normaalisti, eikä mitään suurempia toimenpiteitä tarvinnut lähteä tekemään.

Kuvassa 15 on Närpiön sähköasemalla ongelmia tuottaneen 110kV katkaisijan E01Q0 ulkopuoli.



Kuva 15. 110kV katkaisijan ulkopuoli.

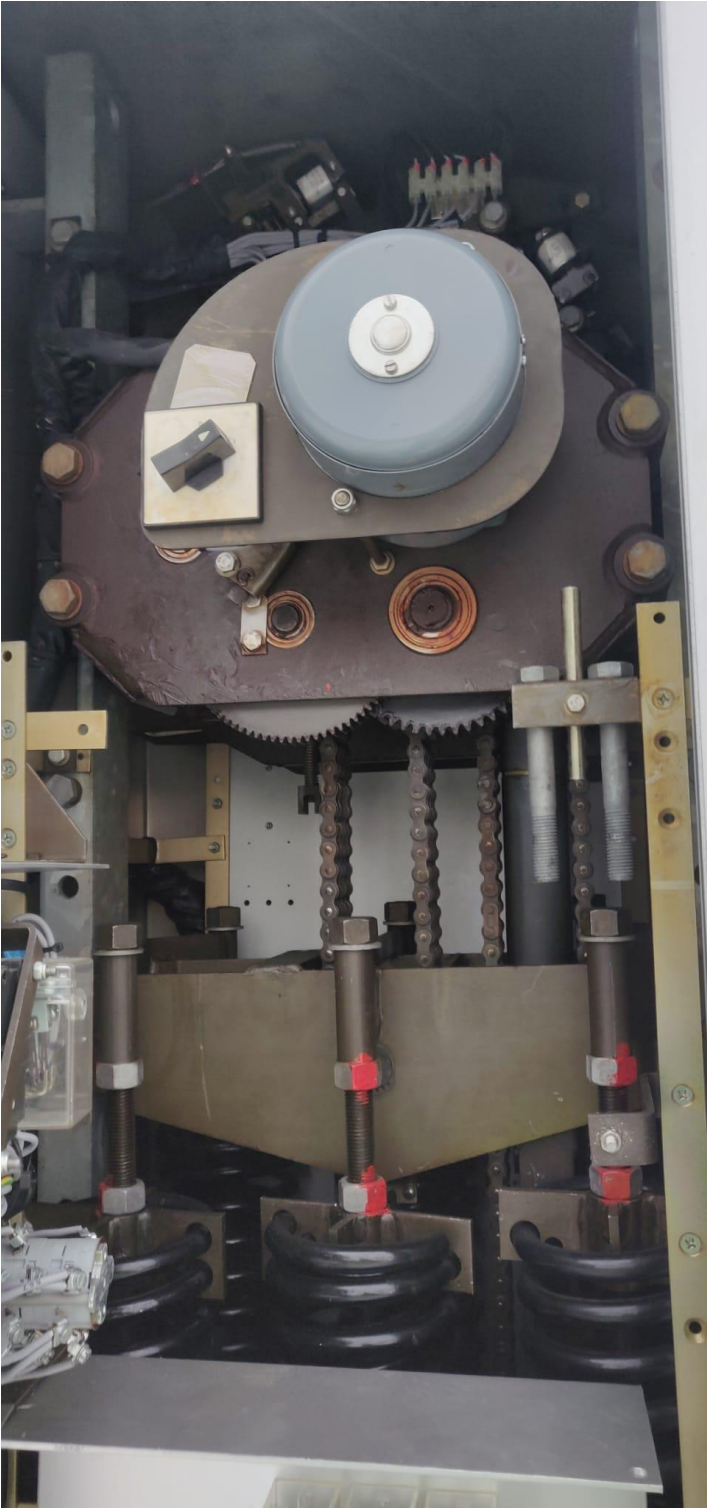
Kuvassa 16 on katkaisijan ohjaustaulu, josta pystyy asettamaan katkaisijan kaukokäyttö- / paikalliskäyttötilaan tai nolla-asentoon, jolloin katkaisijaa ei pysty ohjaamaan. Paikalliskäyttötilassa katkaisijaa pystytään ohjaamaan paikan päältä manuaalisesti, ja kun kaukokäyttö on

valittuna, pystytään katkaisijaa ohjaamaan etäyhteydellä valvomosta käsin. Katkaisijat pidetään oletuksena kaukokäyttötilassa.



Kuva 16. 110kV katkaisijan ohjaustaulu.

Kuvassa 17 on katkaisijan koneisto, jonka avulla jouset virittyvät ja katkaisija menee kiinni/auki. Jouset mahdollistavat nopean aukeamisen.



Kuva 17. 110kV katkaisijan koneisto.

Kuvassa 18 on katkaisijan ohjaustaulun toisella puolella olevat johdotukset, lämmittimien säädöt ja katkaisijan ohjauksien lukumäärälaskuri.



Kuva 18. 110kV katkaisijan johdotukset.

6.3 Laskelmat

Jokaiselle sähköasemalle tehtiin akustojen minimikapasiteetilaskenta asemalta saatujen mitaustulosten ja tietojen perusteella. Laskennat toteutettiin Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla. Käytössä oli Enersense Oyj:n suunnittelupuolen tekemä Excel-pohja, joka on alun perin tarkoitettu sähköasemien suunnitteluun. Kyseistä Excel-pohjaa muokattiin paljon kevyemmäksi tätä työtä varten.

Ensimmäiseksi laskelmissa yksilöitiin aseman DC-laitekuormat, eli paljonko mikäkin yksittäinen laite ottaa virtaa. Yksilöinnistä karsiutuu paljon laitteita pois, koska suojareleet/apusähkölaitteet ovat valmiiksi osa TSK:n peruskuormaa, apureleet sisältyvät laskukaavassa korjauskertoimiin. Viestilaitteet ovat myös osana TSK:n peruskuormaa tai varmentamattoman AC:n perässä. Laitteita, joita loppujen lopuksi käytettiin laskelmissa, olivat suurjännitekytkinlaitteet, keskijännitekytkinlaitteet, muut laitteet, kuten valaisimet, sekä tulevaisuudessa asennettavat varayhteyslaitteet.

Suurjännitekytkinlaitteisiin kuului 110 kV katkaisijoiden moottoreiden ja ohjausmagneettien ottama virta, sekä 110 kV erottimien moottoreiden ja lukitusmagneettien ottama virta. Poikkeuksena Norin sähköasema, jossa ei ollut erottimia lainkaan, vaan niiden sijaan oli pelkästään erottavat katkaisijat, joissa oli itsessään mekaaninen lukitus, joka toimii erottimen korvaajana. Norin aseman laskennassa käytettiin siis laskennassa erottimien sijaan tämän mekaanisen lukituksen ottamaa virtaa.

Keskijännitekytkinlaitteisiin kuuluivat 20/33 kV katkaisijoiden moottorit ja ohjausmagneetit

Tulevaisuudessa asennettaviin varayhteyslaitteisiin kuuluvat satelliitti- ja kuitupuhelimet, joiden avulla taataan valvomon ja eri asemien välinen kommunikaatio sähkökatkon sattuessa. Satelliittipuhelimet tullaan asentamaan ainoastaan Seinäjoen ja Närpiön asemille ja kuitupuhelimet asennetaan kaikille muille asemille. Kuitupuhelimissa kommunikaatio kulkee valokuitua pitkin.

Seuraavaksi laskettiin yksikkökuormat, eli 110 kV kentän häiriötilan lisäkuormitus, 20/33 kV katkaisijoiden häiriötilan lisäkuormitus, sekä muut laitteistot. 110 kV kentän häiriötilan lisäkuormitukseen kuuluu 110 kV erottimien moottorit ja erottimien maadoituskytkimien moottorit, sekä niiden molempien lukitusmagneetit, sekä 110 kV katkaisijoiden moottorit ja


ohjausmagneetit. 20/33 kV katkaisijoiden häiriötilan lisäkuormitukseen kuuluu näiden katkaisijoiden moottorit ja ohjausmagneetit. Muihin laitteistoihin kuuluu varayhteyslaitteet, sekä valaistukset.

Laskelmien perusmitoituspäätökset olivat seuraavanlaiset:

- Aseman peruskuorma perustuu todelliseen TSK:n kulutukseen.
- 12 ohjausta/110 kV:n erotin.
- Toiminta-aika ohjaukselle laskennassa 10 sekuntia.
- Erottimien lukituskelat ovat laskennassa 1 h päällä.
- 6 viritystä/katkaisija.
- Katkaisijan virityksen toiminta-aika laskennassa 10 sekuntia.
- 12 ohjausta/katkaisija.
- Katkaisijan ohjausmagneetti on laskennassa päällä 3 sekuntia.

Perusmitoituspäätösten lisäksi oli asemakohtaisia muuttujia, kuten varavaloja, kameravalvontaa, poistumisvalaistimia. Lisäksi piti huomioida kuormien jakautuminen akustojen kesken.

Kuvassa 19 on käytetty esimerkkinä Korkiamäen sähköaseman yksikkökuormien laskentaa.

SÄHKÖASEMAN DC-KUORMITUKSET												
YKSIKKÖKUORMITUKSET												
 3/4												
Kohde	Liityntäkuorma			Normaalkuormitus				Häiriötilan lisäkuormitus				
	Kuormitus 110V		kpl	110VDC akku G11		110VDC akku G21		110VDC akku G11		110VDC akku G21		
	A/kpl	Akku 1/2 kpl yht.		Kuormitus A kpl	Kuormitus A yht.	kpl	t / s	Ah	kpl	t / s	Ah	
110 kV												
110 kV kenttä häiriötilan lisäkuormitus												
1	3,90	12					12	10	0,13	12	10	0,13
2	0,06	1					1	3 600	0,06	1	3 600	0,06
3	3,90	12					12	10	0,13	12	10	0,13
4	0,06	1					1	3 600	0,06	1	3 600	0,06
5	2,27	12					12	3,0	0,02	12	3,0	0,02
6	12,50	6					6	10	0,21	6	10	0,21
					0,00				0,62			0,62
Kuormitus yhteensä												
20 kV katkaisijoiden häiriötilan lisäkuormitus												
7	2,27	12					12	3,0	0,02	12	3,0	0,02
8	2,20	6					6	10	0,04	6	10	0,04
					0,00				0,06			0,06
Kuormitus yhteensä												
Muut yhteiset												
9	0,09	1	1	0,09								
10	0,40	5					5	3 600	2,00	5	3 600	2,00
					0,09				2,00			2,00
Kuormitus yhteensä												

Kuva 19. Korkiamäen sähköaseman yksikkökuormitukset.

Liityntäkuormasarakkeeseen tulee aiemmin laskettujen yksilöityjen laitteiden ottama virta sekä montako kertaa kyseistä laitetta ohjataan. Esimerkiksi 110 kV erottimen moottorin mitoitusperiaatteen mukaan erottimia ohjataan 12 kertaa, joten ohjauksien määräksi tulee 12 kpl.

Häiriötilan lisäkuormitus sarakkeeseen on laskettu nimensä mukaisesti, mikä on yksittäisen laitteen kuormitus (Ah) mitoitusperiaatteiden mukaisilla ohjaus- ja toiminta-aikamäärillä. Yksittäisen laitteen aiheuttama kuorma on kuormitusvirran, toimintakertojen ja niihin kuluvan ajan tulo.

Riville "Kuormitus yhteensä" on laskettu 110 kV kentän, 20/33 kV katkaisijoiden ja muiden laitteiden kuormitukset yhteensä.

Lopuksi lasketaan yhteenveto, jossa selviää akuston tai akustojen minimikapasiteettivaatimus.

Korkiamäen asemalla on kaksi asemarakennusta, joissa molemmissa on omat akustot ja rakennuksissa molemmissa on saman verran varavälisimie. Kenttien AE03, AE04 ja AE05 katkaisijoiden ja erottimien ohjauksista tulevat lisäkuormat menevät akulle G11 ja kentän AE06 lisäkuormat menevät akulle G21. Molemmissa rakennuksissa on 20 kV katkaisijat, joten kuormat sijoittuvat samassa rakennuksessa katkaisijoiden kanssa oleville akuille. Viimeisenä on kiskoerottimen lisäkuorma, joka sijoittuu akulle G11.

Yhteenvedossa (kuva 20) on eritelty kaikki eri kohteet, kuten sähköaseman peruskuorma, varayhteyslaitteet, varavälisimet, 110 kV kentät, 20/33 kV kentät sekä kiskoerottimet. Häiriötilan lisäkuormitukset on sijoitettu syöttävän akun sarakkeisiin.

SÄHKÖASEMAN AKUSTOJEN KAPASITEETILASKELMA JA MITOITUS NC ER VAATIMUSTEN MUKAISESTI

YHTEENVETO



1/4

Kohde	kpl	Kokonaiskuorma		Häiriötilan lisätarve	
		Akku G11	Akku G21	Akku G11	Akku G21
		Kuormitus A yht.	Kuormitus A yht.	Kuormitus Ah yht.	Kuormitus Ah yht.
Sähköaseman peruskuorma	1	3,00	3,90		
Varayhteyslaitteet	1	0,09			
Varavälisimet	1			2,00	2,00
110 kV AE03 - AE05 häiriötilan lisäkuormitus	3			1,86	
110 kV AE06 häiriötilan lisäkuormitus	1				0,62
20 kV Katkaisijoiden lisäkuormitus J101-J106	6			0,36	
20 kV Katkaisijoiden lisäkuormitus J201-J208	8				0,48
110 kV EW1 kiskoerotin	1			0,39	
Yhteensä		3,09	3,90	4,60	3,09
Pääakuston 1 (G11) minimikapasiteetti					
24 h normaalikäyttö (Le*Td)	74	Ah			
Häiriötilan lisäkäyttö (Cl)	4,6	Ah			
			$C = \frac{L_e * T_d}{U_n} * k_1 * k_2 * k_3 + C_L =$	131	Ah
Pääakuston 2 (G12) minimikapasiteetti					
24 h normaalikäyttö	94	Ah			
Häiriötilan lisäkäyttö	3	Ah			
			$C = \frac{L_e * T_d}{U_n} * k_1 * k_2 * k_3 + C_L =$	163	Ah

Kuva 20. Korkiamäen sähköaseman minimikapasiteettilaskenta.

Akuston kapasiteetti C määritellään Fingrid Oyj:n (sisäinen tietolähde, 30.11.2019) kaavalla

$$C = \frac{L_e * T_d}{U_n} * k_1 * k_2 * k_3 + C_L \quad (1)$$

Missä

L_e on häiriötilan lisäkuormitus (Ah)

T_d on varakäyntiaika (24 h)

U_n on nimellisjännite (V)

k_1 on korjauskerroin ikääntymisestä (1,25)

k_2 on korjauskerroin tulevaisuuden asennuksia varten (1,3)

k_3 on lämpötilakerroin (1,05)

C_L on Jatkuviin kuormiin lisättävät lyhytaikaiset kuormat (Ah)

7 TULOKSET

Työn tavoitteena oli selvittää, täyttävätkö vaadittujen sähköasemien akustojen kapasiteetit NC ER -verkkosäännön vaatimukset.

Selvitystyöt tuottivat tarvittavat tulokset, joita työtä aloittaessa lähdettiin hakemaan. Alkuolettamuksena oli, että suurin osa sähköasemista säästyy akkujen uusimiselta, mutta selvitystyön lopputulema olikin päinvastainen: selvitettäviä sähköasemia oli 17 kappaletta, joista suurimpaan osaan tulee uusia akusto.

Laskentaa tehtäessä kävi ilmi, että sähköasemien häiriötilan lisäkuormitukset vaikuttivat akkujen minimikapasiteettiin melko vähän. Suurin vaikuttava tekijä olikin asemien peruskuorma, jonka rinnalla häiriötilan lisäkuormitukset olivat melko mitättömiä.

Laskuissa on sen verran joustavuutta, että akuston minimikapasiteetin laskemiseen käytetyssä kaavassa (1) kerrointa k_2 (korjauskerroin tulevaisuuden asennuksia varten) voitaisiin hieman pienentää, mikäli asiakas niin haluaa. Tällä saattaisi olla vaikutusta akustojen uusimisen tarpeeseen muutamalla asemalla.

Laskelmien perusteella seuraavien sähköasemien akustot tulisi päivittää kapasiteetiltaan suurempiin: Brändskogen, Korkiamäki, Kurikka, Kuutamolahti, Metsälä Eteläinen, Metsälä Pohjoinen, Närpiö, Paskoonharju, Petolahti, Santavuori ja Seinäjoen asema.

Sähköasemat, joille ei tarvitse hankkia uusia akustoja ovat: Nori, Perälä, Saunamaa, Brännas, Sevo ja Vaskiluoto.

8 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli selvittää EPV alueverkko Oy:n NC ER -verkkosäännön mukaisesti valitsemien sähköasemien akustojen kapasiteettien riittävyys. Akkujen tulee kestää sähkökatkon sattuessa sähköaseman omakäyttöä 24 tuntia ja lisäksi kytkinlaitteiden minimiohjausmäärän. Lisävaatimuksena oli, että yhtä katkaisijaa ohjataan 6 kertaa auki/kiinni asemakäyntien yhteydessä.

Työ alkoi siten, että aluksi sovittiin viikoille päivät, jolloin asemakierroksia lähdettäisiin tekemään. Tarkkojen päivämäärien asettaminen oli tärkeää kytkentöjen ja aikataulutuksien suhteen. Seuraavaksi lähdettiin tekemään asemakierroksia. Päivässä käytiin yhdellä tai kahdella asemalla, riippuen oliko asemalla yksi vai kaksi asemarakennusta. Jokaisen asemakäynnin jälkeen tehtiin laskelmat saatujen mittaustuloksien ja tietojen perusteella. Lopputulokseksi saatiin, että 17 sähköasemasta 11 asemaa vaatii uudet isommat akustot.

Enersense Oyj pystyy hyödyntämään selvityksen tuottamia laskutuloksia uusien akkujen hankkimiseen ja niiden kapasiteetin määrittämiseen. Selvityksen avulla kävi ilmi myös, että muutamien sähköasemien kuormat ovat melko epätasaisesti jaoteltu akustojen välille. Voi olla, että näiden kuormien jaottelua tullaan suunnittelemaan uudelleen muutamissa kohteissa, mikäli sillä vältetään akustojen uusiminen.

Kaiken kaikkiaan työ eteni yllättävän vähäisillä ongelmilla Närpiön sähköasemalla tapahtunutta katkaisijan vikaa lukuun ottamatta. Olisi voinut olettaa, että samanlaisia ongelmia olisi voinut ilmaantua muissakin kohteissa, sillä katkaisijan ohjaaminen 6 kertaa peräkkäisesti on melko raskas toiminto katkaisijan moottorille. Jossain vaiheessa kävi ilmi, että akustojen peruskuorman olisi voinut mitata suoraan akkujen laturilta ilman kytkentämuutoksia ja omakäytön siirtoa akuston perään. Toki asiakas oli halunnut, että katkaisijoita ohjataan 6 kertaa auki/kiinni, joten kytkennät olisi tämän takia joka tapauksessa pitänyt tehdä.

LÄHTEET

- Balakrishnan, P. G., & Rethinam, J. (2008). *Development in valve-regulated lead-acid (VRLA) batteries*. Nova Science Publishers.
- Baykee. (16.9.2020). *Differences You Should Know About VRLA Battery and VLA Battery*. <https://www.baykeepssolar.com/differences-you-should-know-about-vrla-battery-and-vla-battery/>
- Bobby. (14.5.2014). *About the Planté Battery*. UPS Battery Center. <https://www.upsbatterycenter.com/blog/plante-battery/>
- Chaudhari, D. (i.a.). *10 Different Types of Circuit Breaker based on HT and LT*. Dipslab. <https://dipslab.com/circuit-breaker-types/>
- Elovaara, J., & Haarla, L. (2011). *Sähköverkot: II, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet*. Otatieto Helsinki University Press.
- Enersense. (i.a.). *Me olemme Enersense*. <https://enersense.fi/tietoa-meista/>
- Eqbal, A. (12.3.2012). *Different types of battery used for auxiliary power supply in substations and power plants*. Electrical Engineering Portal. <https://electrical-engineering-portal.com/different-types-of-battery-used-for-auxiliary-power-supply-in-substations-and-power-plants>
- Euroopan komission asetus sähköverkon hätätilaa ja käytönpalautusta koskevasta verkosäännöstä (EU) 2017/2196. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32017R2196&from=EN#d1e1868-54-1>
- Fingrid. (22.6.2021). *Alitaajuusreleistyksen toteutus kulutuksen irtikytkentään Suomessa: Sovellusohje*. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/verkkosaannot/alitaajuusreleistyksen-toteutus-kulutuksen-irtikytkentaan-suomessa.pdf>
- Fingrid. (i.a.-a). *Suomen sähköjärjestelmä*. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkon-siirto/suomen-sahkojarjestelma/>
- Fingrid. (i.a.-b). *Käytösäännöt: Network Code for Emergency and Restoration, NC ER*. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/verkkosaannot/kayttosaannot/#network-code-for-emergency-and-restoration-nc-er>
- First National Battery. (i.a.). *Industrial Lead Acid Batteries: Types and their selection*. <https://www.battery.co.za/wp-content/themes/battery/dl/IndustrialBatteriesTypesSelection.pdf>
- Hoffman, S. (10.12.2014). *Valve Regulated Lead Acid (VRLA) Batteries*. UPS Battery Center. <https://www.upsbatterycenter.com/blog/valve-regulated-lead-acid-vrla-batteries/>

OEM. (i.a.). *Tietoa akuista*. https://www.oem.fi/tuotteet/akku/yleist%C3%A4/tietoa_akuista

SaVRee. (i.a.). *High Voltage Disconnectors*. <https://savree.com/en/encyclopedia/high-voltage-disconnectors>

STEK (i.a.). *Sähkönsiirto*. <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkonsiirto/>

Study Electrical. (i.a.). *SF6 Circuit Breakers – Construction, Types and Working*. <https://studyelectrical.com/2014/07/sulphur-hexaflouride-sf6-circuit-breaker-construction-working-advantages.html>

Säteilyturvakeskus (STUK). (20.1.2021). *Sähkönsiirto ja -jakelu*. <https://www.stuk.fi/aiheet/sahkonsiirto-ja-voimajohdot/sahkonsiirto-ja-jakelu>

