

Sähköverkon käyttökeskuskoulutuksen kehittäminen

Pekka Holopainen

Sähkötekniikan korkeakoulu

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 11.04.2020.

Työn valvoja

Prof. Matti Lehtonen

Työn ohjaaja

DI Juha Korpio

Copyright © 2020 Pekka Holopainen



Tekijä Pekka Holopainen

Työn nimi Sähköverkon käyttökeskuskoulutuksen kehittäminen

Koulutusohjelma Automation and Electrical Engineering

Pääaine Electrical Power and Energy Engineering **Pääaineen koodi** ELEC3024

Työn valvoja Prof. Matti Lehtonen

Työn ohjaaja DI Juha Korpio

Päivämäärä 11.04.2020

Sivumäärä 82 + 3

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Vaatimukset sähkönjakelun toimitusvarmuudelle kiristyvät kuluvan vuosikymmenen aikana. Yhtenä keskeisenä korkean toimitusvarmuuden toteuttajana ovat verkon käytön operatiivisesta toiminnasta vastaavat sähkönjakeluverkkoyhtiöiden käyttökeskukset.

Käyttökeskuksen toiminta-alue on hyvin laaja muun muassa lukuisten erilaisten sähköverkolla tapahtuvien tilanteiden ja järjestelmien monimuotoisuuden ansiosta. Käyttökeskuksesta vastaavat käyttökeskusoperaattorit, joiden on hallittava sähköverkon normaalin käyttötilanteen ja häiriötilanteiden vaatimat toimintaperiaatteet ja käytännöt yhdessä verkon käytössä hyödynnettävien järjestelmien tuntemuksen kanssa. Toimitusvarmuuden parantuessa myös käyttökeskusoperaattoreiden päivittäisen työskentelyn yhteydessä tulevien häiriötilanteiden määrä laskee, mikä nostaa tarvetta erilaisten harjoitus- ja koulutusmuotojen kehittämiseksi.

Tässä diplomityössä tarkasteltiin erilaisia käyttökeskusympäristöissä käytettäviä harjoitus- ja koulutusmenetelmiä, joiden pohjalta luotiin Helen Sähköverkon käyttökeskuksen tarpeisiin uusia käyttökeskusoperaattoreille suunnattuja harjoitteita jo käytettyjen koulutusmenetelmien rinnalle.

Harvoin järjestettävien laajojen häiriöharjoitusten ja yksittäisten koulutustilaisuuksien rinnalle luotiin helposti toistettavia kevyempiä harjoitusmuotoja, joiden avulla käyttökeskustoimintaan osallistuvat saavat harjoiteltua erilaisia harvoin vastaan tulevia tilanteita entistä tehokkaammin.

Diplomityön tuloksena luodut harjoitukset ovat helposti ylläpidettäviä ja toimivat jatkossa käyttökeskusoperaattoreiden osaamisen ylläpidon työkaluna sekä uusien käyttökeskusoperaattoreiden perehdytyksen tukena. Harjoitukset mahdollistavat erilaisten todellisista häiriötilanteista poimittujen hälytyslistojen tulkinnan harjoittamisen, sekä kootuista kysymyksistä luotujen kyselylomakkeiden pohjalta verkon käyttöön liittyvien ohjeiden ja monimuotoisten käyttökeskustoiminnassa vastaan tulevien tilanteiden harjoittamisen.

Avainsanat käyttökeskus, käyttökeskuskoulutus, käyttökeskusoperaattori

Author Pekka Holopainen

Title Development of electricity distribution control center dispatcher training

Degree programme Automation and Electrical Engineering

Major Electrical Power and Energy Engineering

Code of major ELEC3024

Supervisor Prof. Matti Lehtonen

Advisor M.Sc. (Tech.) Juha Korpio

Date 11.04.2020

Number of pages 82 + 3

Language Finnish

Abstract

A reliable electricity distribution has become more and more essential for our digitalized society. In Finland the level of supply reliability is already quite high and one of the key aspects in electricity distribution's reliability is well functioning control centers.

The working field of distribution network's control center is quite wide with several different fault situations and numerous systems used in the operation. The management of the control center operation is in hands of the dispatchers. It is crucial that the dispatchers have the knowledge and the ability to handle every occasion by the correct operating principles in normal operating conditions as well as in pressurized fault conditions. While the reliability of the distribution networks increases the amount of the network faults decreases forming growing need of dispatcher training development.

In this Master's thesis, the training methods used for the distribution network dispatchers were studied and based on these studies the new dispatcher oriented training methods were created for the control center of Helen Electricity Network. Created training methods were made to complement already running fault management exercises which are kept a few times a year. New methods are comparatively easy to arrange and modify and so these exercises provide sufficient and easy training access for the dispatchers and other operating staff.

The training methods created in this thesis were made for maintaining and improving currently working control center dispatcher skills and also to support new dispatcher trainee's orientation with minor modifications. With these methods the understanding of alarm lists can be trained based on the data extracted from the real fault situations. Also the different operating situations and operating principles can be trained with the enquiry forms containing multiple targeted questions and exercises.

Keywords control center, operator training, dispatcher training, control center dispatcher

Esipuhe

Tämä diplomityö on tehty Helen Sähköverkko Oy:n verkon käyttö -yksikölle. Erityiskiitokset laadukkaasta kommentoinnista ja ohjauksesta diplomityön ohjaajalle käyttöasiantuntija Juha Korpiolle, tutkimus- ja kehityspäällikkö Pirjo Heinelle sekä käyttökeskuspäällikkö Juho Kuokkaselle. Lisäksi haluan kiittää myös muita HSV:läisiä, käyttökeskusoperaattori kollegoitani sekä kaikkia haastateltuja, joiden panoksella työn sisältöä kartutettiin. Kiitos työn kommentoinnista ja tarkastamisesta työn valvojalle Matti Lehtoselle.

Haluan kiittää myös perhettäni ja vaimoani läpi opintojen jatkuneesta tuesta ja kannustuksesta.

Helsinki, 11.04.2020

Pekka Holopainen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	ii
Tiivistelmä (englanniksi).....	iii
Esipuhe	iv
Sisällysluettelo	v
1 Johdanto.....	1
2 Helen Sähköverkko.....	3
2.1 Sähkönjakelujärjestelmä	4
2.2 Helen Sähköverkon jakelujärjestelmä.....	5
2.2.1 Suurjännitteinen jakeluverkko	6
2.2.2 Sähköasemat	7
2.2.3 Jakeluverkko.....	10
3 Käyttökeskus	12
3.1 Käyttökeskuksen tehtävät.....	12
3.1.1 Verkon valvonta, rakentaminen ja kunnossapito	12
3.1.2 Vikojen hallinta.....	13
3.2 Sidosryhmät ja kumppanit	14
3.3 Käyttökeskuksen tietojärjestelmät	15
3.3.1 Käytönvalvontajärjestelmä	16
3.3.2 Käytöntukijärjestelmä	17
3.3.3 Puhelinjärjestelmät	18
3.3.4 Muut järjestelmät	18
4 Sähköverkon häiriöt	21
4.1 Häiriöiden vaikutukset ja keskeytyskustannukset	21
4.2 Helen Sähköverkon toimitusvarmuus.....	28
4.3 Suurjännitteisen jakeluverkon ja keskijänniteverkon häiriöt.....	35
4.3.1 Oikosulku.....	35
4.3.2 Maasulku	36
4.3.3 Kiskoviat	38
4.3.4 Päämuuntajaviat	39
4.3.5 Releviat.....	40

4.3.6	Jakelumuuntajaviat	40
4.3.7	Kaapelipääteviat.....	41
4.3.8	Asiakasverkkojen viat	41
4.3.9	Inhimilliset virheet	42
4.3.10	Tietoturvariskit ja kyberuhat.....	42
4.3.11	Tulipalot	43
4.3.12	Sähköpulatilanne.....	43
4.3.13	Vakavat häiriöt	44
4.4	Häiriönselvityseriaatteet ja käyttökeskuksen toimintamallit	45
4.4.1	110 kV siirtojohtojen ja kiskostojen viat	46
4.4.2	Sähköasemaviat	47
4.4.3	Keskijänniteverkon viat	51
4.4.4	Vakavat häiriöt	58
4.4.5	Kyberhyökkäykset ja tietoturva	59
4.4.6	Palo- ja pelastustoiminta.....	59
4.4.7	Muut toimintaperiaatteet.....	61
5	Käyttökeskuskoulutus	63
5.1	Koulutus ja harjoitustoiminta.....	63
5.1.1	Nykytila.....	64
5.1.2	Kehitystarpeet.....	65
5.2	Käyttökeskuskoulutukset	67
5.2.1	Koulutusympäristön järjestelmät.....	67
5.2.2	Harjoitukset.....	68
5.2.3	Koulutusten ylläpito ja kehittäminen.....	73
6	Tulevaisuus.....	74
7	Yhteenveto	77
	Lähdeluettelo	79

Lyhenteet

HSV	Helen Sähköverkko Oy
N-1	Periaate, jonka mukaan järjestelmä kestää minkä tahansa yksittäisen vian
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, Käytönvalvontajärjestelmä
KAH	Keskeytyksestä aiheutuva haitta
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index <i>Keskeytystapahtumien (yli 5 min) keskimääräinen lukumäärä (kpl/käyttöpaikka) tietyllä aikavälillä</i>
SAIDI	System Average Interruption Duration Index <i>Keskeytystapahtumien keskimääräinen yhteenlaskettu kesto aika (h/käyttöpaikka) tietyllä aikavälillä</i>
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index <i>Keskeytyksen kokeneiden asiakkaiden keskeytyksien keskipituus (h/keskeytys)</i>
FLIR	Fault detection, Location, Isolation and supply Restoration <i>Automaattinen vianpaikannus-, vianrajaus-, ja sähkönjakelun palautusjärjestelmä</i>

1 Johdanto

Sähkön yhteiskunnallinen merkitys on jatkuvassa nousussa. Samalla odotukset sähkönjakelun toimitusvarmuudelle kasvavat ja vaatimukset keskeytymättömästä sähkönjakelusta luonnollisesti kiristyvät. Sähkökatkojen aiheuttamat yhteiskunnalliset vaikutukset ulottuvat yhä laajemmille osa-alueille entistä suuremmin seurauksin. Sähkönjakelun toimitusvarmuus Suomessa on jo hyvällä tasolla, mutta edelleen jatkuvan kehityksen kohteena muun muassa vuonna 2013 tulleen sähkömarkkinalain velvoittamana. Toimitusvarmuuden kehittyminen näkyy lyhentyneinä yhä harvemmin tapahtuvina sähkökatkoina. [1] Taajamissa on totuttu lähes häiriöttömään sähkönjakeluun muun muassa korkean kaapelointiasteen mahdollistamana, mikä korostaa väistämättä toisinaan tapahtuvien häiriöiden vaikutuksia.

Osittain saavutettu korkea toimitusvarmuus ja harvoin tapahtuvat sähköverkon häiriöt aiheuttavat osaltaan haasteita verkon operatiivisen käytön näkökulmasta. Harvoin tapahtuvien häiriöiden seurauksena häiriötilanteiden selvittäminen ei ole enää välttämättä eniten työaikaa vievä osa kaupunkiympäristön sähköverkkoa valvovan käyttökeskusoperaattorin päivittäistä työskentelyä. Tämän seurauksena häiriötilanteisiin varautuminen ja erilaisten verkon käyttötoiminnan osa-alueiden harjoittelun merkitys korostuu toimintavalmiuden ylläpitämiseksi. Tämä diplomityö on tehty Helen Sähköverkko Oy:n verkon käyttö -yksikön tarpeisiin. Diplomityön tavoitteena on tarkastella erilaisia käyttökeskusympäristön koulutusmenetelmiä sekä luoda Helen Sähköverkon käyttökeskuksen tarpeisiin uusia kohdennettuja koulutusmuotoja käyttökeskusoperaattoreiden häiriönselvitysosaamisen tueksi.

Käyttökeskuksen toiminnassa tulee vastaan monimuotoisia tilanteita, joissa ratkaisumallit eroavat toisistaan. Toiminnan tehostamiseksi käyttökeskukseen on luotu useita työkaluja ja tämä digitalisaation myötä alkanut järjestelmien kehitys näkyykin yhtenä olennaisena osa-alueena käyttökeskusympäristön muutoksessa. Suuressa osassa nykyistä käyttökeskustoimintaa onkin erilaisten järjestelmien sujuva hyödyntäminen tilannekuvan muodostamiseen ja toimenpiteiden suorittamiseen. Käyttökeskusoperaattoreilta vaadittava järjestelmäosaaminen tulee todennäköisesti kasvamaan ja kehittymään tulevaisuudessakin. Tosin kehityssuunta on luultavasti nykyisestä järjestelmien kirjosta integroidumpiin sekä automatisoidumpiin järjestelmäkokonaisuuksiin.

Sähkönjakelujärjestelmässä tapahtuvat muutokset tuovat käyttökeskusympäristöön uusia toimintamalleja ja lisää huomioitavia yksityiskohtia. Tästä hyvänä jo toteutuneena esimerkkinä on Helsingin keskijänniteverkon maasulkuvirtojen kompensoinnin tuomat muutokset maasulkuvikojen vianselvittämisen toimintamalleihin. Käyttökeskusoperaattorin on hallittava ajankohtaisten toimintaperiaatteiden ja käytettävien järjestelmien kokonaisuus tehokkaan ja laadukkaan toiminnan takaamiseksi niin verkon normaalin käyttötoiminnan kuin paineen alaisen häiriönselvitystyöskentelyn osalta. Mahdolliset käyttökeskusoperaattorin tekemät virhetulkinnat alkaneen häiriön tai muun yllättävän tilanteen tilannekartoituksen yhteydessä voivat konkretisoitua vakavin seurauksin väärin perustein tehtyjen tai tekemättömien toimenpiteiden vuoksi. Tämän takia yksi tärkeimmistä ja kriittisimmistä käyttökeskusoperaattorin osaamisalueista onkin tehtävien toimenpiteiden pohjana käytettävän tapauskohtaisen tilannekuvan muodostaminen.

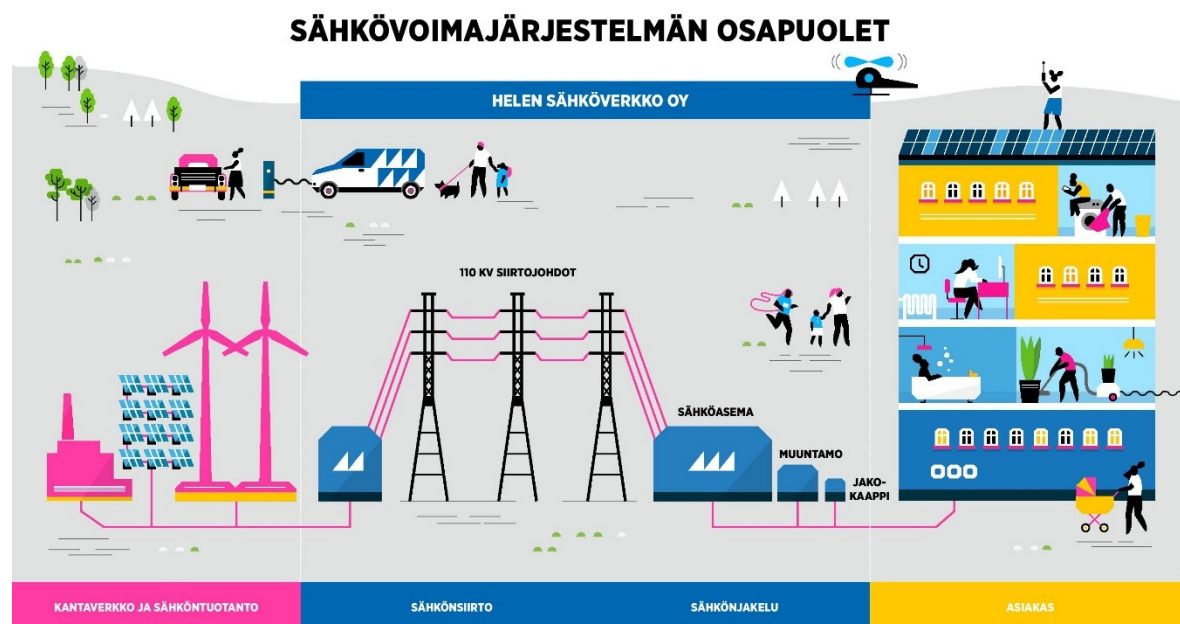
Verkon käyttötoiminnassa on pystyttävä hallitsemaan suuria kokonaisuuksia pienempien osajen pohjalta, mikä tarkoittaa monien tietolähteiden ja järjestelmien kautta saatavan datan sujuvaa hyödyntämistä operatiivisen toiminnan pohjana. Yllättävät tilanteet ja niiden suhteellisen pieni volyyymi ovat käyttökeskustoiminnalle tyypillisiä. Vaikeatulkintaiset ja haastavat, ehkä käyttökeskusoperaattorin kohdalle ensimmäistä kertaa tulevat tilanteet asettavat järjestelmäosaamisen sekä vaadittavien toimintamallien soveltamisen koetukselle.

Käyttökeskustoiminnan koulutusta ja häiriönselvitysharjoittelua on toteutettu Helen Sähköverkon osalta pääsääntöisesti vuosittain järjestettävien yksittäisten laajojen häiriönselvitysharjoitusten sekä satunnaisten suojausjärjestelmäkoulutusten muodossa. Näiden suurempien häiriönselvitysharjoitusten avulla voidaan simuloida todellisia häiriötilanteita kokonaisuuden hallinnan harjoittelun kannalta menestyksekkäästi. Käyttökeskusoperaattorilta vaadittava tietotaito koostuu kuitenkin yksittäisten häiriönselvitystilanteiden kokonaisuuden hallintaa huomattavasti laajemmalla kentällä, sillä näiden häiriötilanteiden lisäksi on hallittava esimerkiksi kaikki verkon käytön normaalitilanteen toimintaperiaatteet ja niidenkin sujuva soveltaminen. Häiriönselvitysharjoituksia järjestetään lisäksi verrattain harvoin, jolloin harjoitusvälit saattavat venyä yksittäistä käyttökeskusoperaattoria kohden jopa vuosiin. Toteutetut koulutusmuodot eivät siten anna yksittäisten häiriötilanteiden kokonaisuuden hallinnan kehittämisen lisäksi käyttökeskustoimintaa tukevaa laajempaa asiaosaamista ja lukuisten toisistaan poikkeavien toimintamallien sisäistämiseen tarvittavaa toistoa käyttökeskusoperaattoreille. Uusien koulutusmuotojen kehittämisessä muiden verkkoyhtiöiden harjoitus- ja koulustoitintaan tutustuminen on hyödyllistä. Kaiken kaikkiaan koulustoitinta voi käsittää muun muassa laajoja tai kohdennettuja häiriönselvitysharjoituksia, ryhmätyöskentelyä tehtäviä rastiluonteisia koulutuspäiviä, esseemuotoisia kyselylomakkeita sekä kollegojen rinnalla toteutettavaa käytännön havainnointia ja perehdyttämistä.

Sähköverkon toimiva ja ammattitaitoinen käyttökeskustoiminta on onnistuneen operatiivisen verkon käyttötoiminnan keskiössä. Muuttuvassa ja kehittyvässä toimintaympäristössä tulee tunnistaa toimet käyttökeskushenkilöstön korkean ammattitaidon ylläpidon ja kehittämisen tukemiseksi. Tässä diplomityössä käsitellään Helsingin sähköverkon käyttökeskustoimintaa. Diplomityön luvussa 2 esitellään lyhyesti Helen Sähköverkko Oy yrityksenä sekä sähköjakelujärjestelmän rakenne. Luvussa 3 käsitellään Helen Sähköverkon käyttökeskuksen tehtäviä ja toimintaympäristöä järjestelmineen. Seuraavassa luvussa 4 tarkastellaan sähköverkossa tapahtuvia häiriöitä ja niiden vaikutuksia, sekä Helen Sähköverkon toimitusvarmuutta tunnuslukuineen. Tässä luvussa käydään läpi myös käyttökeskuksen toimintamalleja erilaisten häiriöiden sekä muiden osoitettujen tilanteiden osalta. Luvussa 5 tarkastellaan verkkoyhtiöiden erilaisia harjoitus- ja koulutusmetodeja, käyttökeskuskoulutusten nykytilaa ja mahdollisia kehitystarpeita Helen Sähköverkon osalta, sekä esitellään diplomityön tuloksena toteutettuja uusia harjoitusmuotoja. Luvussa 6 pohditaan käyttökeskusympäristön mahdollisia tulevaisuuden näkymiä ja niiden vaikutuksia toteutettaviin koulutuksiin. Työn lopuksi tehdään yhteenvetoa ja johtopäätöksiä tärkeimmistä tuloksista.

2 Helen Sähköverkko

Helen Sähköverkko Oy (HSV) vastaa Energiaviraston verkkoluvan mukaisella yksinoikeudella Helsingin alueen sähkönjakelusta lukuun ottamatta Sipoon liitosaluetta vuodelta 2009. Yhtiö on osa Helsingin kaupungin omistamaa Helen-konsernia. Kuvassa 1 on havainnollistettu jakeluverkkoyhtiön toimialue, mikä rajautuu suurjännitteiseen jakeluverkkoon sekä jakeluverkkoon. [2]

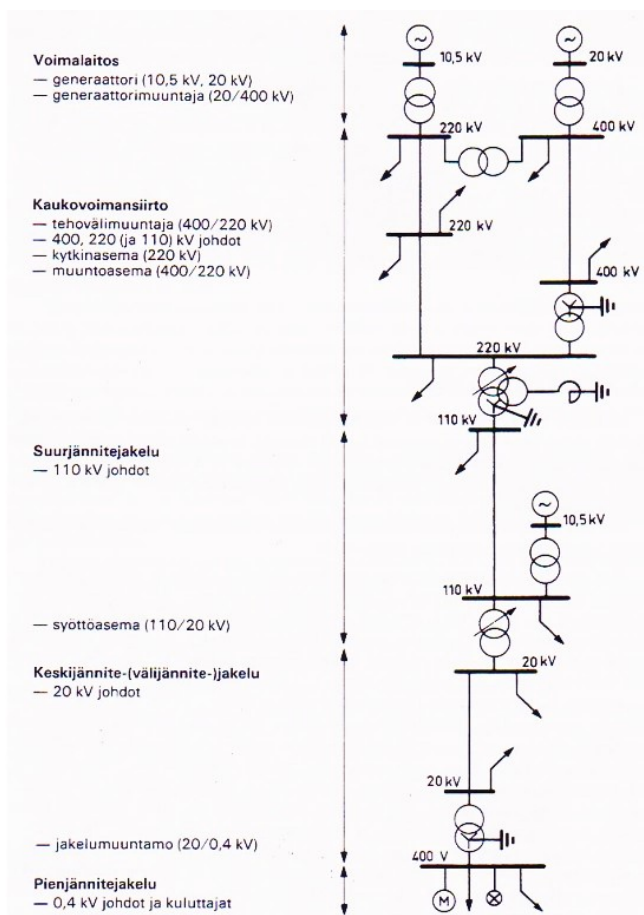


Kuva 1 Helen Sähköverkko Oy:n toiminta-alue [2]

HSV on kolmanneksi suurin jakeluverkkoyhtiö Suomessa noin 390 000 asiakkaallaan. Helsingin alueen sähkönkulutus vuonna 2018 oli noin 4500 GWh ja huipputeho 762 MW. [2] Sähköverkkoa on yhteensä noin 6380 km. Kaupunkiverkolle tyypillisesti kaapelointiaste on suhteellisen korkea suurjännitteisen jakeluverkon kaapelointiasteen ollessa 38 %, keskijänniteverkon 99,7 % ja pienjänniteverkon 98 %. Jakelualueella on 25 sähköasemaa ja 1845 jakelumuuntamoita, joiden verkostoautomaatioaste on 28 %.

2.1 Sähkönjakelujärjestelmä

Sähkönjakelujärjestelmän tehtävänä on siirtää kantaverkon kautta tuleva tai suoraan jakeluverkkoon liittyneiden voimalaitosten tuottama sähkö loppukäyttäjille. Sähkönjakelujärjestelmän muodostaa kantaverkkoon (400 kV, 220 kV) liittyvä suurjännitteinen jakeluverkko (110 kV), sähköasemat (110/20 kV ja 110/10 kV), keskijänniteverkko (20 kV ja 10 kV), jakelumuuntamot (20/0,4 kV ja 10/0,4 kV) sekä pienjänniteverkko (0,4 kV). Kuvasta 2 nähdään, miten siirto- ja jakeluverkoston eri osa-alueet ovat yhteydessä toisiinsa.



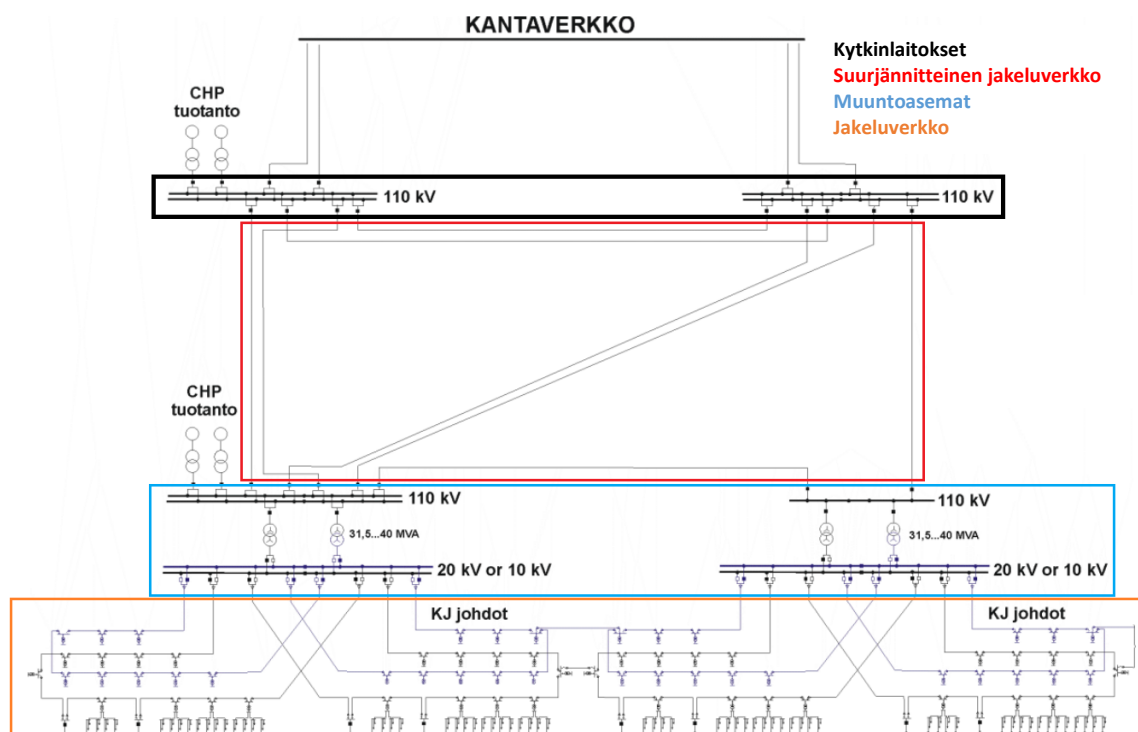
Kuva 2 Siirto- ja jakeluverkoston periaatekaavio [3]

Suurjännitteinen jakeluverkko tarkoittaa jakeluverkkoyhtiön omistuksessa olevaa verkkoa, jonka nimellisjännite on 110 kV. Keskijänniteverkossa yleisin käytetty nimellisjännite on 20 kV, mutta Suomessa käytössä on yhä myös 45 kV jännitetasoa sekä joidenkin kaupunkiverkkojen käytössä oleva 10 kV jännitetaso. Pienjännitejänniteverkossa käytetyin jännitetaso on 0,4 kV. Pienjänniteverkoksi määritellään myös 1 kV verkko-osuudet, joita käytetään etenkin harvaan asutuilla seuduilla korvaamaan keskijänniteverkon haarajohtoja. [4]

Suomen sähkönjakelujärjestelmän jälleenhankinta-arvo on yli 12 mrd. €. Se koostuu pääosin avojohtorakenteisista ilmajohtoverkoista, mutta sähkömarkkinalain kiristyneet laatuvaatimukset (588/2013) ovat ajaneet kaapelointiasteen voimakkaaseen lisäämiseen. Kaupunkiverkkojen alueilla käytetään jo pääsääntöisesti maakaapeliverkkoa muun muassa tiiviin rakentamisen vuoksi. [4, pp. 11-13]

2.2 Helen Sähköverkon jakelujärjestelmä

HSV:n sähkönjakelujärjestelmä koostuu suurjännitteisestä jakeluverkosta sekä keski- ja pienjännitteen kattavasta jakeluverkosta. Kuvasta 3 nähdään yleinen periaate HSV:n sähköverkon rakenteesta.



Kuva 3 Helsingin alueen sähköverkon rakenne [2]

2.2.1 Suurjännitteinen jakeluverkko

Suurijännitteinen jakeluverkko on yhteydessä Fingridin kantaverkkoon, Vantaan Energian sähköverkkoon sekä varayhteydellä Caruna Espoon verkkoon. Paikalliset voimalaitokset sekä suurimmat kulutusasiakkaat liittyvät myös suoraan HSV:n 110 kV verkkoon. Helsingin alueen suurjännitteinen jakeluverkko on rakenteeltaan silmukoitu verkko, joka koostuu noin 60 – 70 km pituisesta maakaapeliverkostosta sekä noin 130 km pituisesta avojohtoverkosta. Silmukoidulla verkolla tarkoitetaan rengasverkon kaltaista rakennetta, mikä sisältää myös renkaan sisäisiä yhteyksiä kuvan 3 mukaisesti. Säteittäisverkkoihin verraten silmukkaverkon käyttövarmuus on huomattavasti parempi, sillä sähköasemia pystytään syöttämään normaalitilassa vähintään kahdesta suunnasta. Tällöin yhden johdon vikaantuminen ei aiheuta jakelukeskeytyksiä verkon normaalin kytkentätilan aikana. Lisäksi silmukoidun verkon tehohäviöt ja jännitteenalenema ovat pienemmät. [5] Korkean kaapelointiasteen vuoksi verkkoa käytetään osittain maadoitettuna, jotta kosketusjännitteet pysyvät sallituissa rajoissa sekä verkon vikavirrat suojauksen kannalta tarpeeksi suurina. Maadoitus on toteutettu päämuuntajien tähtipisteiden kautta suoraan tai kuristimien läpi. Silmukoidun verkon johtorenkaat pidetään suljettuina, mikä kasvattaa oikosulkuvirtoja ja vaatii säteittäisverkkoa monimutkaisemman suojausjärjestelmän. [5] [6]

Helen Sähköverkon tarkastelujen mukaan loistehon kulutus on pienentynyt HSV:n verkossa vuosittain 2000-luvun alkupuolelta lähtien, minkä seurauksena loistehon profiili on muuttunut viime vuosina merkittävästi induktiivisesta loistehosta (kulutus) kapasitiiviselle puolelle (tuotanto). Muutokselle ei ole havaittavissa yksittäistä selkeää selittävää tekijää, mutta loistehon tuotannon kasvuun HSV:n verkossa ovat vaikuttaneet ainakin 110 kV maakaapeleiden rakentaminen, asiakkaiden kompensointilaitteiden sekä elektronisten kulutuslaitteiden lisääntyminen. Nykyisin ongelma on pienen kulutuksen aikainen loistehon liiallinen tuotanto, kun taas aikaisempaa liiallista kulutusta ei enää esiinny. Kapasitiivisen loistehon määrä jatkaa todennäköisesti kasvuaan muun muassa mahdollisten 110 kV avojohtojen kaapelointien, uusien kaapelireittien, mahdollisten uusien 110 kV asiakkaiden ja sähköasemien liittymiskaapeleiden sekä kaapeloidun jakeluverkon laajenemisen seurauksena. [7]

Loistehon siirtäminen ei ole kannattavaa muun muassa siitä aiheutuvien häviöiden takia, joten loistehon säätö on järkevää toteuttaa paikallisesti. Aikaisemmin HSV:n loistehotasapainoa hallittiin tuottamalla tai kuluttamalla loistehoa paikallisen energiayhtiön Helenin voimalaitoksilla. Voimalaitosten käyttöaste kuitenkin pienentyi pisteeseen, jossa kesäajan loistehosäätöä ei enää olisi pystytty takaamaan kaikkien voimalaitosten tuotannon ollessa katkolla. Edellä mainitun ja Fingridin kiristyneiden loistehomaksujen [8] takia Helenin kanssa tehty sopimus loistehon hallinnasta purettiin vuonna 2016, minkä jälkeen loistehon säätö on toteutettu HSV:n omien kompensointilaitteiden avulla. HSV:n verkossa oli vuoden 2019 loppuun mennessä kaksi 30 Mvar kondensaattoria sekä yksi säädettävä 30 Mvar reaktori 110 kV sähköaseman kiskostoon liitettynä loistehotasapainon hallitsemiseksi. Kondensaattorit ovat jääneet tarpeettomiksi ja reaktori kapasiteetti ei riittänyt loistehotaseen hallintaan. Tämän vuoksi hankittiin toinen verkkoalueen loistehon säädön tasoittava noin 50 Mvar säädettävä reaktori, minkä käyttöönotto tehtiin vuoden 2020 alussa. Ennen uuden reaktorin valmistumista loistehon tuotantoa vähennettiin kytkemällä osa 110 kV verkon kaapeleista jännitteettömäksi verkon kuormitustilanteen salliessa toimitusvarmuutta vaarantamatta. Kaapeleiden kytkentätilaa optimoimalla loistehon tuottoa voidaan laskea kokonaisuudessaan noin 21 Mvar. [9]

2.2.2 Sähköasemat

HSV:n sähköverkossa on 25 sähköasemaa, jotka toimivat verkon osien välisenä rajapintana. Sähköasemilla muutetaan jännitetasoa sekä suoritetaan kytkentöjä sähkötehon jakamiseksi verkon eri osiin. Asemat voidaan jakaa muuntoasemiin ja kytkinlaitoksiin niiden rakenteen mukaisesti. Kytkinlaitoksella tarkoitetaan yhden jännitetason asemaa, missä kokoojakiskojen, katkaisijoiden ja erottimien avulla voidaan yhdistää saman jännitetason verkon osat toisiinsa. Muuntoasemien päämuuntajilla alennetaan lisäksi jännite jakeluverkkoon sopivaksi keskijännitteeksi. [5] Sähköaseman laitteistot voidaan jakaa primääri-, toisio-, apu- ja kiinteistölaitteisiin seuraavasti:

Primäärilaitteet:

- Päämuuntajat
- 110 kV:n ja keskijännitekojeistot
 - Katkaisijat
 - Erottimet
 - Jännite- ja virtamuuntajat
 - Kiskostot
- 20 kV:n maasulkuvirran kompensointikelat
- Loistehon kompensointireaktori

Toisilaitteet:

- Suojausjärjestelmät
 - Suojareleet
 - Relekaapit
- Ohjausjärjestelmät
 - Ala-asema
 - Paikallisohjausepiste
 - Liitäntäyksiköt
 - I/O hälytysyksiköt
 - Varakaukokäyttö

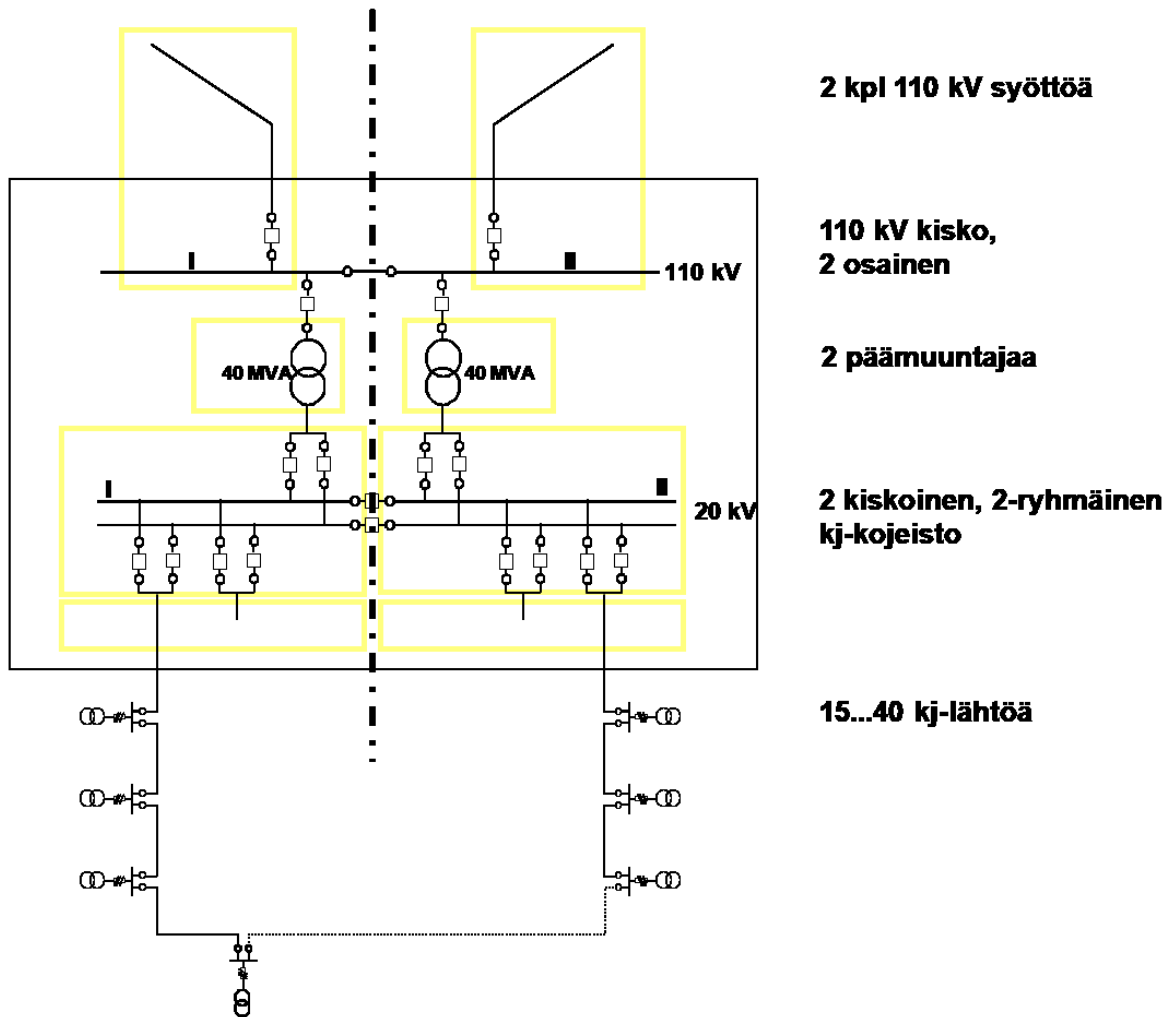
Apulaitteet:

- Päämuuntajan jäähdytysjärjestelmät
 - Öljy- ja vesiglykolipumput
 - Puhaltimet
 - Lämmönvaihtimet
 - Jäähdyttimet
- Apusähköjärjestelmät
 - Akustot
 - Invertterit
 - Tasasuuntaajat
 - Omakäyttömuuntaja
 - Tasasähkö- ja vaihtosähkökeskukset

Kiinteistölaitteet

- Installaation sähköjärjestelmät
 - Keskukset
 - Valaistus
 - UPS-laitteet
- Palo- ja rikosilmoituslaitteistot
 - Palovaroitin
 - Sammutusjärjestelmät
 - Paloilmoitinkeskus
 - Rikosilmoitinkeskus
- Kulunvalvonta- ja kamerajärjestelmät
- Ilmanvaihtolaitteet

Sähköasemat laitteistoinen ovat yksi keskeisin sähkönjakelun osa-alue, ja häiriöt tässä kokonaisuudessa voivat aiheuttaa laajasti näkyviä ongelmia. Toimitusvarmuuden turvaamiseksi HSV:n sähköasemat on toteutettu niin sanottua N-1 periaatetta noudattaen, eli yksittäisen merkittävän komponentin vikaantuessa sähkönjakelu tai aseman laitteiston toiminta pystytään varmistamaan ilman välittömiä korjaustoimenpiteitä. HSV:n verkkorakenne ja käytettävissä oleva tehoreservi mahdollistavat kuitenkin tarvittaessa kokonaisen sähköaseman korvaamisen vasta-asemien kautta. [6]



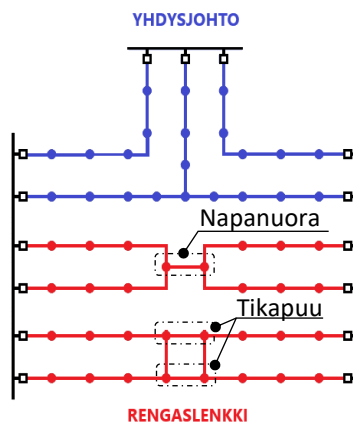
Kuva 4 Esimerkkikuva HSV:n jakelusähköaseman rakenteesta [10]

Kuvassa 4 on esitetty HSV:n jakelusähköaseman yleisrakenne, missä 2-osaiseen 110 kV kiskostoon liittyy kaksi syöttävää johtoa. 110 kV:n kiskosto syöttää kahta päämuuntajaa, joiden molempien kapasiteetit riittävät aseman kuormien kattamiseen. Keskijännitekiskostot ovat ryhmäjaottelun lisäksi kahdennetut. Lisäksi kuvassa näkyy keskijänniteverkon rengasmaisen rakenteen jakelumuuntamoin. HSV:n sähköasemilla on toteutettu pitkälle kojeistojen kahdennus mahdollistaen joustavan käytön esimerkiksi huolto- ja korjaustoimenpiteitä sekä vianselvityskytkeä varten.

2.2.3 Jakeluverkko

Jakeluverkosta puhuttaessa tarkoitetaan keskijännite- sekä pienjänniteverkon kokonaisuutta. HSV:n keskijänniteverkko on laajuudeltaan noin 1640 km, jonka kaapelointiaste on 99,7 %. [2] Keskijänniteverkko jakaantuu maasta erotettuun ydinkeskustan 10 kV:n verkkoon, sekä päämuuntajien kautta keskitetysti kompensoituun 20 kV:n verkkoon. Kompensoidussa verkossa päämuuntajan tähtipiste on kytketty kompensointikuristimen kautta maahan kapasitiivisten maasulkuvirtojen kompensoimiseksi. 20 kV maasulkuvirran kompensoinnin avulla saavutetaan pienet maasulkuvirrat ja kosketusjännitteet, minkä ansiosta 20 kV keskijänniteverkkoa voidaan käyttää 10 kV aluetta vastaavasti myös maasulun aikana. Maasulkuvirran kompensointia ei tarvita 10 kV jakelualueella, sillä sen maasulkuvirrat jäävät noin neljäsosaan 20 kV:n maasulkuvirroista.

Keskijänniteverkko on rakennettu sähköasemien tapaan N-1 periaatteita noudattaen siten, että vikakohta voidaan erottaa ja sähköjakelu palauttaa käyttötoimenpitein minkä tahansa yksittäisen vian jälkeen. Keskijänniteverkko ja osin pienjänniteverkkokin on suurjännitteisen jakeluverkon tapaan rakenteeltaan silmukoitu. Silmukoidusta keskijänniteverkon rakenteesta huolimatta verkkoa käytetään kuitenkin pääsääntöisesti säteittäisenä, mikä mahdollista jakelumuuntamoissa ja kytkemöissä huomattavasti yksinkertaisemman kojeistorakenteen sekä suojauksen hyödyntämisen. Keskijänniteverkon tavanomaisia rakenteita on esitetty kuvassa 5, mistä nähdään sinisellä merkityt sähköasemien väliset yhdysjohtoverkkorakenteet sekä punaisella merkityt rengaslenkilliset rakenteet. Nykyisin verkon suunnittelussa pyritään käyttämään ensisijaisesti rengaslenkkejä, joilla on vähintään yksi varayhteys vasta-aseman rengaslenkkiin. Vasta-aseman rengasverkkoyhteydet näkyvät kuvassa napanuorana ja tikapuuna. Näillä mahdollistetaan se, että rengaslenkin kuormat voidaan tarvittaessa siirtää vasta-asemille esimerkiksi sähköaseman jännitteettömyyden takia. Napanuora- ja tikapuurakenteen määrittää sähköaseman korvaustilanteen vaatima siirtokapasiteetti. Aseman sisäisellä rengaslenkillä mahdollistetaan muun muassa maasulkuvikojen erottaminen ilman jakelukeskeytyksiä. Yhdysjohtorakenne ei mahdollista vastaavaa maasulkuvikojen keskeytyksetöntä selvitystä, minkä vuoksi tästä rakenteesta pyritään luopumaan. [11]



Kuva 5 HSV:n sähköasemien välisiä keskijänniteverkon tavanomaisia kytkentämalleja [12]

Sähköasemalähdöt syöttävät jakelumuuntamoin ja kytkemöin porrastettua keskijänniteverkkoa siten, että kaksi tai useampi sähköasemalähdöstä on mahdollista yhdistää keskijänniteverkon silmukan kautta toisiinsa. Verkon säteittäiskäytöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa nämä sähköasemalähdöt pidetään pääsääntöisesti toisistaan erillään silmukassa sijaitsevaan jakelumuuntamoon tai kytkemöön tehtävän jakorajan avulla. Jakorajalla tarkoitetaan keskijännitekojeiston auki pidettävää kuormanerotinta. Kytkemön ja jakelumuuntamon ero on siinä, että kytkemössä on vain kytkinlaitteet verkon kytkentätilan hallintaan. Jakelumuuntamossa on kytkinlaitteiden lisäksi jakelumuuntaja, jolla jännite alennetaan pienjänniteverkkoon sopivaksi. Tämän lisäksi jakelumuuntamossa on pienjännitekojeisto, jonka kautta sähkö jaetaan eteenpäin pienjänniteverkon asiakkaille. Jakelumuuntamot voivat olla HSV:n tai asiakkaan omistuksessa. Asiakasmuuntamoista vastaa asiakas liittymiskaapeleita ja päätteitä lukuun ottamatta, mutta HSV:llä on oikeus muuntamotiloissa olevien keskijännitekytkinlaitteistojen kytkentöjen suorittamiseen.

Keskijänniteverkon suljettua rengaskäyttöä testataan tutkimus- ja testikäytössä pienellä alueella Kalasatamassa osana vuonna 2011 käynnistynyttä Kalasataman alueen älykkäiden energiaratkaisujen konsortiohanketta. [13] Tämä vaati sähköasematason kojeistoja sekä suojausjärjestelmiä differentiaali- ja maasulun vertosuojineen keskijänniteverkon kytkemöihin, ja näin myös huomattavasti haastavampaa sähköasemakunnossapitoa normaaleihin keskijännitekytkemöihin ja jakelumuuntamoihin verrattuna. Jatkuvalle rengaskäytöllä saavutetaan toimintavarmempaa sähkönjakelua, sillä yksittäisen keskijännitelähdön vikaantuminen ei aiheuta sähkönjakelun keskeytystä. Toteutusta vaativan laitteiston sekä kunnossapidon kustannukset suhteessa saavutettavaan hyötyyn ovat kuitenkin erittäin suuret, eikä jatkuva rengaskäyttö keskijänniteverkossa ole näin kannattavaa vielä tänä päivänä. [14]

3 Käyttökeskus

Käyttökeskus on osa Helen Sähköverkko Oy:n Verkon käyttö -yksikköä, joka jakaantuu edelleen käyttökeskus- ja kunnossapitoryhmään. Käyttökeskusryhmä vastaa operatiivisesta sähköverkon käytöstä ja käytönsuunnittelusta. [2]

3.1 Käyttökeskuksen tehtävät

Helen Sähköverkon käyttökeskus vastaa Helsingin sähköverkon operatiivisesta hallinnasta ja käyttövarmuudesta. Sähköverkon käytön on oltava turvallista, luotettavaa sekä taloudellista. Sähköverkon reaaliaikaista tilaa valvotaan ja ylläpidetään käyttökeskuksessa, ja tarvittavat toimenpiteet erilaisten häiriötilanteiden selvittämiseksi johdetaan käyttökeskuksesta käsin. Verkolla tehtävät käyttötoimenpiteet suoritetaan käyttökeskuksen johdolla, niin suunniteltujen töiden kuin häiriötilanteidenkin osalta. [15]

Helen Sähköverkko Oy:n operatiivista käyttökeskustoimintaa toteutetaan keskeytymättömänä kolmivuorona. Vuorokierron lisäksi käyttökeskuksessa pidetään arkisin toimistotyöaikoina kahden henkilön vahvuus päivittäisten tehtävien sujuvuuden varmistamiseksi. Käyttökeskustoimintaa on vahvistettu kouluttamalla päivittäisen toiminnan ulkopuolella olevaa henkilöstöä käyttökeskuksessa vaadittaviin toimenpiteisiin, mikäli käyttökeskuksen vahvuus ei jostain syystä täytyisi. [15]

3.1.1 Verkon valvonta, rakentaminen ja kunnossapito

Merkittävä osa käyttökeskuksen tehtävistä liittyy normaalin toimintatilanteen tehtäviin. Verkon jatkuva valvonta kattaa sähkönjakelujärjestelmän kuormitustilan seurannan, suojaus- ja kytkinlaitteiden toiminnan seurannan sekä kriittisten kiinteistöjen turvallisuuden valvonnan. [4] Verkon tilaa valvotaan pääsääntöisesti käytönvalvontajärjestelmään reaaliajassa tulevien tapahtumien, tila- ja mittaustietojen sekä hälytysten avulla. Ilmoituksia verkon tilasta käyttökeskukseen saadaan myös järjestelmävalvonnan ulkopuolisten ilmoitusten pohjalta esimerkiksi asiakkaiden vikailmoituksista tai verkolla työskentelevien henkilöiden toimesta.

Helen Sähköverkon vähäisten häiriötilanteiden ansiosta verkon suunniteltuihin rakennus- ja kunnossapitotöihin liittyvien kytkentöjen johtaminen on suurin käyttökeskusta työllistävä tekijä. Suunnitellut kytkennät tarkoittavat kytkentöjä, joihin laaditaan ennalta sähköturvallisuusstandardin SFS 6002 vaatimat kirjalliset kytkentäohjelmat. Standardissa määritellään, että ”Suurjännitelaitteistojen kytkennöistä tehdään yksittäisen laitteen kytkemisiä sekä häiriötilanne- ja hätäkytkentöjä lukuun ottamatta aina kirjallinen kytkentäohjelma...”. [16] Kytkentäohjelmat vahvistavat kytkennän johtajan ja paikalliskytkijöiden toimintavarmuutta mahdollistamalla muun muassa suoritettavien kytkentöjen moninkertaisen varmuuden häiriö- tai hätäkytkentöihin verrattuna. Turvallisuusnäkökohdat ja muut mahdolliset kytkentöjen erityispiirteet huomioivat

kytkentäohjelmat tehdään käytöntukijärjestelmään HSV:n käytönsuunnittelijoiden, käyttökeskusoperaattoreiden tai urakoitsijoiden verkon käyttäjien toimesta. Suunniteltuihin töihin lukeutuu esimerkiksi sähköasemien aikataulutetut vuosihuollot ja ensiö- ja toisiouusintaprojektit, uusien verkonosien rakentaminen, jakelumuuntamoiden kunnossapito sekä kiireettömien vikojen korjaustyöt.

Rakennus- ja kunnossapitotöihin liittyvät kytkennät voidaan usein suorittaa ilman asiakkaille näkyviä keskeytyksiä vahvaksi mitoitettun verkon ja sen silmukoidun rakenteen ansiosta. Pienjännitetöiden kohdalla esimerkiksi jakokaapin vaihto näkyy kuitenkin asiakkaan suunniteltuna jakelukeskeytyksenä, jolloin asiakastiedottaminen sisällytetään kytkentöjen suunnitteluun. Suunniteltuihin jakelukeskeytyksiin kuuluu myös esimerkiksi asiakkaiden tilaamat keskeytykset heidän omistamiensa kuluttajamuuntamoiden huoltojen ajaksi. [17]

3.1.2 Vikojen hallinta

Käyttökeskuksen toiminnan kannalta yksi oleellisin osa-alue on vikatilanteiden järjestelmällinen ja toimintamallien mukainen selvittäminen. Viat ja niiden selvitystavat ovat luonteeltaan hyvin erilaisia riippuen muun muassa vian aiheuttajasta, toimintaympäristöstä, jännitetasosta, verkon kytkentätilanteesta sekä verkostoautomaatioasteesta. Osa vioista vaatii käyttökeskusoperaattorin välittömiä toimenpiteitä, kun taas osa voidaan hoitaa kiireettömästi. Kiireettömät viat käsitellään suunniteltujen töiden prosessin mukaisesti ennalta laadittavien kytkentäohjelmien askeltamisen kautta. Akuutit vikatilanteet vaativat käyttökeskusoperaattorin tulkinnan mukaisia välittömiä toimenpiteitä mahdollisten riskien ja jakelukeskeytysten hoitamiseksi. Vikojen hallintaan voidaan sisällyttää myös suuremman vaikuttavuuden suurhäiriöt, joilla tarkoitetaan laajoja tai pitkäkestoisia Helsingin alueen sähköverkkoa koskettavia häiriötilanteita. Suurhäiriöiden mahdollisia aiheuttajia Helsingin alueella olisivat esimerkiksi kantaverkkoyhteyden katkeaminen ja kantaverkon häiriöt, sähköntuotannon häiriöiden aiheuttama tehopula, tai erittäin epätodennäköinen useiden sähköasemien yhtäaikainen vikaantuminen. Nykyjärjestelmien kohdalla laajojen häiriöiden riskiä kasvattaa osaltaan myös lisääntyneet kyberturvallisuusuhat. Korkean kaapelointiasteen ja kaupunkiverkkoympäristön takia sääilmiöt eivät juurikaan uhkaa suoraan Helsingin alueen sähköverkkoa toisin kuin maaseutuverkkoa hallinnoivilla yhtiöillä.

3.2 Sidosryhmät ja kumppanit

Jakeluverkkoyhtiö on kantaverkon, sähkökuluttajien ja tuottajien välillä sähköenergiajärjestelmän toiminnan mahdollistajana, joten yhteistyön tulee toimia saumattomasti jokaisen sidosryhmän kanssa. Helen Sähköverkon käyttökeskus toimii ajoittain yhdessä kantaverkkoyhtiö Fingridin kantaverkkokeskuksen, lähialueiden muiden verkkoyhtiöiden, Helenin energiantuotannon keskusvalvomon, Helenin Helsingin alueen voimalaitosten, junaliikenteen ratakäyttökeskuksen, metrovalvomon, pelastuslaitoksen, poliisin sekä sähköverkon pien- ja suurjänniteasiakkaiden kanssa. Suurin osa käyttökeskuksen toimintaan liittyvistä kontakteista tapahtuu sähköalan ammattilaisten välillä. Toisaalta on pelastustilanteita tai kaupunkilaisten vikailmoituksia, joissa käyttökeskus kommunikoi sellaisten henkilöiden kanssa, joille sähköala on tuntematon.

Kantaverkkokeskuksen kanssa viestintä koskee pääosin molempia osapuolia koskettavien suunniteltujen kytkentätoimenpiteiden suorittamista Helsingin alueen sähköverkon ja kantaverkon välisillä johto-osuuksilla. Viestinnän sujuvuus ja toimintavarmuus kantaverkkokeskuksen kanssa on myös erittäin tärkeää erityisesti mahdollisissa tehopula- tai suurhäiriötilanteissa.

Lähialueiden sähköjakeluyhtiöiden kanssa hoidetaan kytkennät, jotka vaativat toimenpiteitä molemmilta osapuolilta tai kytkennät vaikuttavat verkkojen liittymäkohtiin. Tällaisia ovat esimerkiksi verkkoyhtiöiden välisten johto-osuuksien tai sähköasemalähtöjen huoltokytkennät sekä mahdolliset häiriö- ja vaaratilanteet kyseisiin verkon osiin liittyen. Käyttökeskusten välisiä tiedusteluja tehdään myös laajojen relehavahtumien osalta ilmiön aiheuttajan selvittämiseksi.

Helenin omistamien Helsingin alueen voimalaitosten kanssa yhteistyössä suoritetaan muun muassa suunnitellut kytkennät generaattoreiden määräaikaistarkastusten ja huoltojen yhteydessä. Helenin energiantuotannon keskusvalvomo valvoo kaukolämpö- ja kaukokylmäverkkojen lisäksi Helsingin alueen voimalaitoksia, ja toimii näin usein linkkinä käyttökeskuksen ja voimalaitosten välillä.

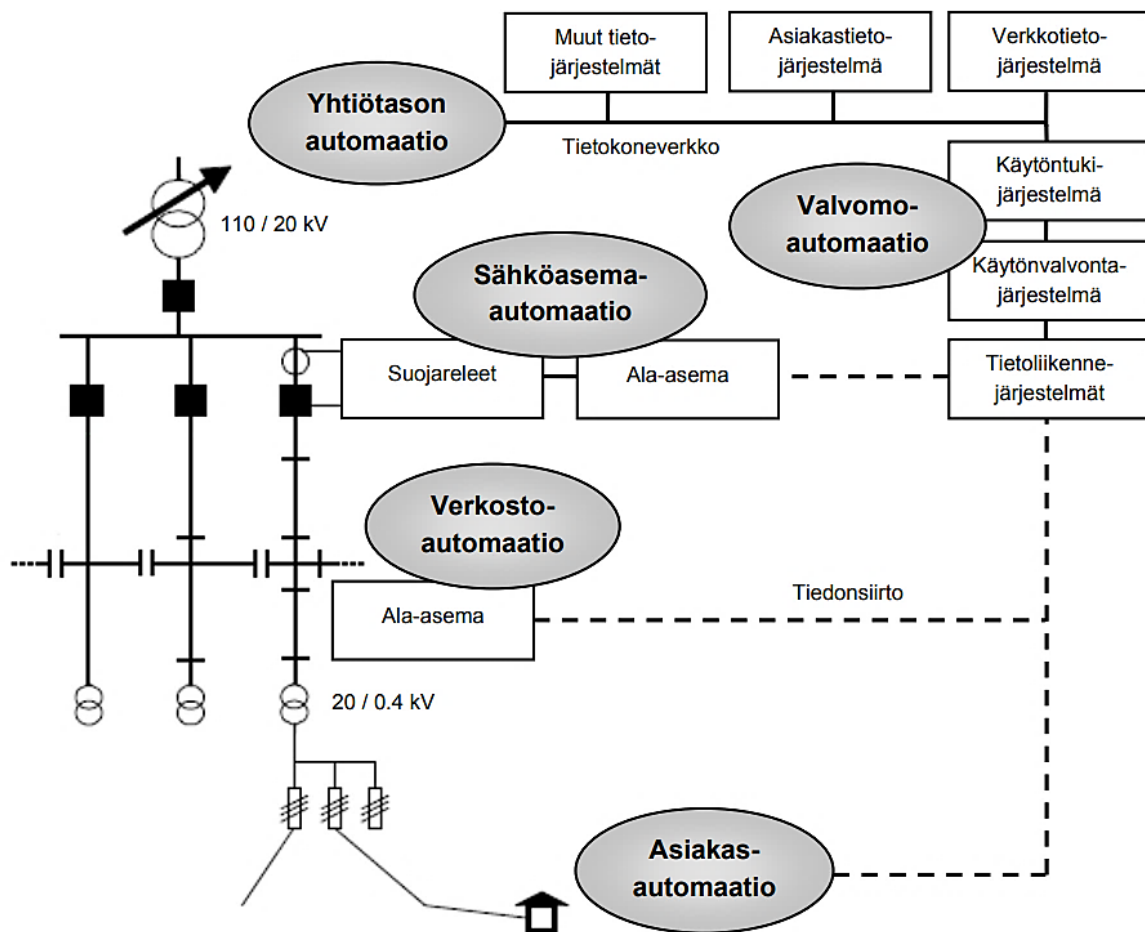
Pelastus- ja poliisiviranomaisten kanssa kommunikointi liittyy usein omaisuuden tai hengenvaaraa aiheuttaviin sähköverkkoa koskettaviin vikatilanteisiin. Tällaisia tilanteita ovat muun muassa sähköverkon tiloissa alkaneet tulipalot, sähköverkkoon liittyvien kiinteistöjen tulipalot sekä liikenneonnettomuuden yhteydessä tuhoutuneet sähkötilat. Usein yhteistyötä tehdään myös esimerkiksi kaukolämpöverkkoa koskettavien suurien vesivuotojen yhteydessä, jolloin veden vaikutuksen alaisena olevien sähkötilojen turvallisuuden varmistaminen on jakeluverkkoyhtiön tehtävä. Käyttökeskuksen tehtävä onkin edellä mainittujen poikkeustilanteiden kohdalla turvallisuuden varmistaminen sähköverkon osalta esimerkiksi varmistamalla vikaantuneen kohteen jännitteettömyys tai poistamalla mahdollinen sähkötapaturman vaara muilla keinoin.

Pienjänniteasiakkaiden ja muiden kuluttaja-asiakkaiden kanssa yhteydenpito koskee lähinnä yksittäisten käyttöpaikkojen jakelukeskeytyksiä sekä niitä koskevia selvitystoimenpiteitä. Nämä keskeytykset voivat johtua esimerkiksi asiakkaan sähkösopimusongelmista, sähkömittarin virheellisestä toiminnasta, kiinteistöjen sisäisistä ongelmista, jakeluverkon vioista tai suunnitelluista keskeytyksistä. Käyttökeskuksen vikailmoitusnumeroon ollaan yhteydessä myös kaupungilla tehtyjen jakeluverkkoa koskevien havaintojen osalta.

Sähköverkon kytkennät johdetaan käyttökeskuksen toimesta lukuun ottamatta päivystysajan ulkopuolisia pienjänniteverkon kytkentöjä, jotka hoidetaan urakoitsijan palvelukeskuksen toimesta. Verkon kunnossapito ja viankorjaustyöt tehdään pääosin urakoitsijoiden toimesta, joten aktiivinen yhteydenpito urakoitsijan ja käyttökeskuksen välillä on tärkeää. Urakoitsijoiden kanssa yhteistyössä hoidetaan muun muassa suunniteltujen kunnossapitotöiden valmistelu- ja palautuskytkennät sekä vianselvitys- ja korjauskytkennät.

3.3 Käyttökeskuksen tietojärjestelmät

Käyttötoiminta vaatii paljon reaaliaikaista tietoa sähköverkosta ja sen komponenttien toiminnasta, joten käyttökeskuksen toiminta perustuu laajasti useiden järjestelmien kokonaisuuden hallintaan. Tehokkaan prosessin takaamiseksi järjestelmien on toimittava kokonaisuutena sujuvasti, ja käyttökeskusoperaattorin hyvä järjestelmätuntemus on ensiarvoisen tärkeää tilannekuvan muodostamisen sekä kriittisten tilanteiden hallinnan mahdollistamiseksi. Kuvassa 6 esitetään periaatteellinen rakennekuva verkkoyhtiön sähköjakeluautomaation rakenteesta. [4]



Kuva 6 Sähköjakeluautomaation eri tasot [18]

3.3.1 Käytönvalvontajärjestelmä

Käytönvalvontajärjestelmän eli SCADA-järjestelmän (Supervisory Control And Data Acquisition) päätehtävä on mahdollistaa sähkönjakeluverkon reaaliaikainen valvonta ja ohjaukset. Tapahtumatietojen ja verkon kytkentätilanteen hallinta, suurjännitteisen jakeluverkon verkostolaskenta, kauko-ohjaukset, kaukomittaukset ja joiltain osin releiden kaukoasettelut toteutetaan käytönvalvontajärjestelmän kautta. Käytönvalvontajärjestelmä on yksi käyttökeskuksen kriittisimmistä järjestelmistä ja näin ollen sen toiminnalle on erityiset luotettavuusvaatimukset. Kriittisyytensä vuoksi käytönvalvontajärjestelmän toimintaa varmennetaan useilla eri toimenpiteillä, järjestelmillä ja tietoliikenne-arkkitehtuurin ratkaisulla. SCADAn tekninen toteutus voi vaihdella eri yhteyksissä, mutta yleisesti se muodostuu varmennetuista tietokoneista, sovellusohjelmista, korkeatasoisesta käyttöliittymästä sekä hyvin suojatusta tiedonsiirtoverkosta. Usein SCADAn palvelimet ovat kahdennettuja, ja kytketty pitkään toiminta-aikaan kykeneviin UPS-laitteistoihin. [4, pp. 235 - 236]

HSV:n SCADA järjestelmään on kuvattu suurjännitteinen jakeluverkko, sähköasemat laitteistoinen sekä etäohjattavat ja valvottavat muuntamoautomaatiokohteet. Verkkomallia keskijännitteen ja pienjännitteen osalta ei ole mallinnettu käytönvalvontajärjestelmässä. Näin ollen SCADAn avulla ylläpidetään suurjännitteisen jakeluverkon, sähköasemien suur- ja keskijännitekojeistojen sekä muuntamoautomaatiokohteiden kytkentätilaa. Lähes kaikki edellä mainittujen osa-alueiden kytkinlaitteet ovat kauko-ohjattavissa tai valvottavissa, joten reaaliaikainen kytkentätilanne päivittyy käytönvalvontajärjestelmään automaattisesti.

Käyttökeskukseen saadaan käytönvalvontajärjestelmän tapahtumatietojen hallinnan kautta tietoa muun muassa suojareleiden havahtumisesta ja toiminnoista, kytkinlaitteiden tilamuutoksista, käämikytkinten ja kompensointilaitteiston toiminnoista sekä vikailmaisimien indikoinneista. Myös kiinteistöjen palohälytykset sekä muut kiinteistöautomaatioon liittyvät hälytykset tulevat SCADAn kautta käyttökeskukseen. Kaukomittaukset käsittävät nykyisin lähes kaikki releiltä ja kennoyksiköiltä saatavat käyttökeskuksessa hyödylliseksi havaitut mittaukset. Näihin sisältyy muun muassa sähköasemien kennokohtaiset jännite-, virta-, tehomittaukset sekä päämuuntajien ja kompensointilaitteistojen lukuisat mittaukset.

3.3.2 Käytöntukijärjestelmä

Käytöntukijärjestelmä eli DMS (Distribution Management System) on käyttötoiminnan päätöksentekoa tukeva monipuolinen ohjelmistokokonaisuus. Merkittävimmät erot SCADAn ja DMS:n välillä ovat analyysi- ja suunnitteluominaisuuksissa. Käytönvalvontajärjestelmä toimii pääsääntöisesti ohjauksia ja tapahtumia tehokkaasti keräävänä ja välittävänä prosessitietokoneena, kun DMS puolestaan sisältää monipuolisia analyysi- ja päättelyominaisuuksia yhdessä raportointi- ja suunnittelusovellusten kanssa. Käytöntukijärjestelmä hyödyntää toiminnassaan muun muassa käytönvalvonta-, verkkotieto-, asiakastieto- ja paikkatietojärjestelmästä saatavaa dataa, jonka pohjalta se tarjoaa työkaluja verkon tilan seurantaan, käytön suunnitteluun sekä häiriötilanteiden hallintaan. [4, p. 236]

Käytöntukijärjestelmä koostuu viidestä tasosta: käyttöliittymä, sovellukset, mallinnus- ja laskentamenetelmät, tietojärjestelmäliittynät sekä tietolähteet ja muuta tietojärjestelmät. Käyttöliittymässä esitetään muun muassa kootusti tietolähteiden pohjalta rakennettu verkkomalli, josta nähdään verkon ajankohtainen kytkentätilanne. Esitettävä verkkomalli rakentuu verkkotietojärjestelmästä saatavasta staattisesta verkkomallista yhdistettynä käytönvalvontajärjestelmän reaaliaikaisiin tilatietoihin sekä asiakas- ja mittaustietojärjestelmien asiakas- ja mittaustietoihin. [4, p. 238] [19]

Sovellustaso voidaan jakaa kolmeen kokonaisuuteen, joita ovat verkon tilaseuranta, häiriötilanteiden hallinta ja käytön suunnittelu. Verkon reaaliaikaiseen tilaseurantaan kuuluvat pääsovellukset ovat kytkentätilanteen ylläpito, verkon sähköteknisen tilan reaaliaikainen laskenta ja analyysi sekä viankorjaushenkilöstön sijaintitietojen hallinta. Pääsovellukset verkon häiriötilanteiden hallintaan ovat tapahtuma-analyysi, vikojen paikantaminen, varasyöttöjen suunnittelu, raportointi sekä asiakaspalvelu. Kyseisten sovellusten avulla voidaan muun muassa määrittää laskennallinen vikapaikka, automatisoida vianselvitykseen liittyvien kytkentöjen suunnittelua ja mahdollisesti kytkentääkin, hallita häiriöilmoitusten käsittelyä sekä keskeytysraportointia. Kolmas sovelluskokonaisuus on käytön suunnittelua tukevat sovellukset, joita ovat työkeskeytysten suunnittelu, verkon kytkentätilanteen optimointi sekä jänniteoptimointi. Kytkentätilan optimoinnilla pyritään valitsemaan jakeluverkon jakorajapaikat siten, että häviö- ja keskeytyskustannukset ovat mahdollisimman pienet, kauko-ohjattavat erotinkojeistot ovat optimaalisilla paikoillaan sekä verkon käyttö esimerkiksi kunnossapidon toimenpiteiden yhteydessä tai häiriötilanteessa on sujuvaa. Jänniteoptimoinnilla taas tarkastellaan verkon kytkentätilanteen mukaista jännitteen alenemaa siten, että asiakasjännitteet pysyvät halutuissa rajoissa. [4]

3.3.3 Puhelinjärjestelmät

Merkittävä osa käyttökeskuksen toiminnasta vaatii sujuvaa viestintää niin sisäisten kuin ulkoistenkin toimijoiden kanssa. Kommunikoinnin estyminen paikalliskytkijöiden, kantaverkkokeskuksen ja muiden toimijoiden välillä normaali- tai häiriötilanteessa tekisi toiminnasta erittäin haastavaa. Tästä syystä luotettavat puhelinjärjestelmät ovat hyvin kriittisessä asemassa käyttökeskusjärjestelmien osalta. Puhelinjärjestelmäkokonaisuudet vaihtelevat verkkoyhtiöittäin toimintavaatimusten ja periaatteiden mukaisesti koostuen usein joistain seuraavista: Kiinteään tai yleiseen verkkoon perustuvat puhelinjärjestelmät, erillinen sähköverkon käyttö- ja vikakorjaustoimintaa palveleva puhelinverkko, analoginen tai digitaalinen radiopuhelinverkko, VIRVE-radiopuhelinverkko ja satelliittipuhelin. [20]

HSV:ssä käytettävä puhelinjärjestelmäkokonaisuus on pääasiallinen kommunikointikanava lähes kaikessa käyttökeskuksen operatiivisessa toiminnassa. Puhelinjärjestelmä mahdollistaa muun muassa erilaisten puhelujonojen hallinnoimisen, joilla voidaan erottaa tulevista kontakteista esimerkiksi valvomoiden väliset puhelut vikapuheluista tai sähköasemakytkennät verkkokytkennöistä. Tällainen jonolajittelu auttaa käyttökeskusta puheluiden kriittisyysluokittelussa tai jo käynnissä oleviin kytkentöihin liittyvien puheluiden poimimisessa muiden joukosta.

Useilla verkkoyhtiöillä on käytössään myös ryhmäpuhelut mahdollistavia puhelinjärjestelmiä, jolloin esimerkiksi vianselvitysryhmän jäsenet voidaan koota yhteiseen puheluun useiden yksittäisten kontaktien välttämiseksi. Kaupunkiverkkoympäristössä ei ole toistaiseksi ollut vastaavalle tarvetta, joten ryhmäviestintä on hoidettu VIRVE-radiopuhelinten avulla.

3.3.4 Muut järjestelmät

Asiakastietojärjestelmä kattaa kokonaisvaltaisesti asiakkuudenhallintaan liittyvät osa-alueet, joita ovat muun muassa laskutus, asiakaspalvelun tukeminen, sopimusten hallinta ja markkinointitiedot. Järjestelmän asiakastietokanta sisältää tiedot verkkoyhtiön sähkönkäyttöpaikoista asiakas- ja sähkönkäyttötietoineen. Tarkkaa kulutus- ja tuotantodataa ei nykyisin hallinnoida suoraan asiakastietojärjestelmässä, vaan tuntiluentaan siirtymisen jälkeen kasvaneen mittausdatan vuoksi datan hallinnointi on toteutettu usein erillisen järjestelmän tai tietokannan kautta, mikä välittää energiatiedot kootusti asiakastietojärjestelmään.

Käyttökeskuksessa asiakastietojärjestelmästä nähdään asiakkaiden tietoja, joiden pohjalta mittarin kytkentöjä voidaan tarvittaessa toteuttaa. Asiakastietojärjestelmästä saadaan käytöntukijärjestelmän verkostolaskennassa tarvittavat asiakkaiden käyttöpaikat, kuluttajaryhmät sekä vuosienergiatiedot. [18]

Sähköverkon kriittisten kohteiden turvallisuus varmistetaan kameravalvontajärjestelmän kautta niin kohteiden kuin ulkopuolistenkin turvallisuuden varalta. Kameravalvonnan avulla käyttökeskuksesta voidaan havaita muun muassa valvottujen kohteiden mahdollinen tulipalo tai vian aiheuttaja, esimerkiksi pieneläinten aiheuttamat oikosulut muuntajan alajännitepuolen

kiskostossa. Valvonta antaa myös mahdollisuuden varmistaa, ettei sähköasemien alueille tunkeudu ulkopuolisia henkilöitä. Tällaiset tilanteet voivat pahimmillaan johtaa henkilövahinkoihin jännitteisten laitteistojen aiheuttaman vaaran takia. Kameravalvontaa voidaan hyödyntää myös kytkentöjen varmistamisessa kuvaamalla ohjattavien ilmaeristeisten erottimien toimintaa. Tällöin voidaan varmistua kytkinlaitteiden täydellisestä erotuksesta tai yhdistämisestä ilman paikalliskytkijän silmämääräistä toteamista, jolloin kytkentöjen suorittaminen nopeutuu huomattavasti. [21]

Sähkönjakeluuyhtiöllä on tuhansia aluevalvontajärjestelmän kautta kulunvalvottuja kohteita, muun muassa sähköasemat, toimitilat, jakelumuuntamot ja varastot. Aluevalvontajärjestelmällä hallitaan avaimia, kulkutunnisteita, lukkoja, kulkuoikeuksia, kiinteistöjä sekä turvallisuuden kannalta kriittisiä kohteita. Järjestelmä tarjoaa visualisoidun kokonaiskuvan valvotuista kohteista ja mahdollistaa käyttökeskukselle ajantasaisen tiedon tiloissa liikkuvista henkilöistä.

Krivat (kriittisen infrastruktuurin varautumisen tehostaminen) on kriittisen infrastruktuurin organisaatioille suunnattu järjestelmä, jonka tarkoitus on tehostaa yritysten välistä yhteistyötä päivittäisessä toiminnassa sekä suurhäiriötilanteissa. Järjestelmä toimii julkisen internetin ja matkapuhelinverkon ulkopuolella Erillisverkkojen ylläpitämässä tietoliikennepalvelussa. Krivatin avulla organisaatiot voivat yhdessä muodostaa tiedoistaan reaaliaikaisen tilannekuvan, ja näin kriittinen tieto saadaan nopeasti kaikkien osapuolten tietoisuuteen. Tilannekuvan lisäksi Krivat tarjoaa muitakin toiminnollisuuksia häiriötilannejohtamisen avuksi, kuten tarkemmat säätiedot varautumisen tueksi lisätietoineen päivystäviltä meteorologeilta sekä dokumenttien jakomahdollisuuden muun muassa yhteisten karttapohjien osalta. [22] [23]

Erillisen keskeytystilauksjärjestelmän kautta voi sähköverkkoon tilata keskeytyksen esimerkiksi asiakaskohteen huoltotoimenpiteen ajaksi. Tällöin tilaaja täyttää HSV:n internet-sivuilta keskeytystilauslomakkeen, ja tämä käsitellään keskeytystilauksjärjestelmässä. Keskeytystilauksesta nähdään muun muassa keskeytyksen kohde, alkamis- ja päättymisajat, tilaajan tiedot sekä yhteyshenkilöt työstä vastaavine henkilöineen sekä sähköturvallisuusvahteineen. Keskeytystilaukskäyttöjärjestelmässä läpi hyväksymisprosessin, jossa tarkastetaan ajankohdan ja toteutustavan kelpoisuus. Keskeytystilaukseen liitetään tarvittaessa kytkentäsuunnitelmat, jotka lähtevät hyväksyttäessä tilaajalle.

Sähköverkon kunnossapito- ja verkonrakennushankkeiden ylläpitoon sekä seurantaan käytetään rakennuttamisjärjestelmää. Käyttökeskusoperaattori luokittelee käyttökeskuksen kautta hoidetut vikatyöt ja niihin liittyneet toimenpiteet rakennuttamisjärjestelmässä siten, että urakoitsijalla teetetyt toimenpiteet voidaan kohdentaa ja laskuttaa oikein jälkikäteen. Käytöntukijärjestelmään kirjatut vikailmoitukset saadaan siirrettyä suoraan rakennuttamisjärjestelmään integraation mahdollistamana. Näin vikakirjaus voidaan tehdä käytöntukijärjestelmään ja täydentää rakennuttamisjärjestelmän puolella tiedoilla, menikö vikatyö urakoitsijan hoidettavaksi vai hoituiko vikailmoitus suoraan käyttökeskuksen toimenpiteillä. Helen Sähköverkon mittauspalveluista vastaavat seuraavat rakennuttamisjärjestelmään käyttökeskuksen toimesta kirjattuja mittarivikoja, jolloin käyttökeskuksessa kirjatut energiamittareihin liittyvät viat saadaan suoraan heidän kauttaan jatkoselvitykseen.

Käyttökeskuksesta tehtävien resurssikutsujen työkaluna HSV:llä käytetään resurssikutsujärjestelmää, joka on nimensä mukaisesti käyttökeskuksen työkalu tarvittavien resurssien kutsumiseen järjestelmään ennalta määritellyn logiikan mukaisesti. Järjestelmää voidaan hyödyntää esimerkiksi verkon varallaolijoiden hälyttämiseen sekä käyttökeskuksen tuurauksujen tai lisähenkilöstön tarvepyyntöjen lähettämiseen. Resurssikutsujärjestelmää käytetään myös ryhmäviestinnän työkaluna esimerkiksi hälyttävien maasulkuvikojen aikana. Tällöin HSV:n henkilöstölle ja verkolla työskenteleville urakoitsijoille tiedotetaan maasulkuvian alkamisesta ja sijainnista, jotta mahdolliset maasulun aiheuttamat turvallisuusriskit osataan huomioida työskenneltäessä.

Sujuva tiedonvaihto käyttökeskusoperaattoreiden ja muiden verkon käytössä mukana olevien henkilöiden kesken on tärkeää verkon käytön jatkuvuuden hallinnan kannalta. Yhtenä tiedonvaihdon keinona hyödynnetään käyttökeskuspäiväkirjaa, mihin kukin käyttökeskusoperaattori kirjaa vuoron aikaiset huomioitavat tapahtumat. Kirjatut tapahtumat voidaan lähettää suoraan käyttökeskuspäiväkirjan kautta tiedoksi tapahtumaan osallisten sähköposteihin jatkotoimenpiteitä varten. Käyttökeskuspäiväkirjasta voidaan katsoa esimerkiksi pääpiirteittäin edellisen viikon aikaiset tapahtumat ja näin saavuttaa muiden järjestelmien tukemana vieläkin parempi verkon tilannekuva juuri vuoron aloittaneen käyttökeskusoperaattorin osalta.

4 Sähköverkon häiriöt

4.1 Häiriöiden vaikutukset ja keskeytyskustannukset

Sähköverkon häiriöillä ja niistä mahdollisesti aiheutuvilla jakelukeskeytyksillä voi olla laajoja vaikutuksia niin sähköverkon asiakkaille, verkkoyhtiöille kuin koko yhteiskunnallekin. Näitä vaikutuksia sekä mahdollisia varautumis- ja toimintaperiaatteita vastaaviin tilanteisiin on esitelty Turvallisuuskomitean julkaisussa ”Sähköriippuvuus modernissa yhteiskunnassa”. [1] Lähes kaikki toimintomme tarvitsevat nykyisin sähköä, esimerkiksi kotitaloutemme ja elinkeinoelämämme toimivat täysin sähköön varassa. Suurin osa yhteiskunnan kriittisistä toiminnoista perustuu sähköiseen tiedonsiirtoon ja tietovarastojen käyttöön. Lyhyidenkin keskeytysten vaikutukset näkyvät jo vedenjakelun, jäteveden poiston, kauppojen, pankkien, sähköisen liikenteen ja bensiiniasemien toiminnan lamaantumisessa. Pitkittyneiden katkojen vaikutukset puolestaan näkyvät muun muassa julkisten ja yksityisten laitosten toiminnassa, terveydenhuollossa, lämmitysjärjestelmissä, tiedonvälityksessä sekä jäteveden käsittelyssä. Edellä mainittujen esimerkkien perusteella voidaan jo selvästi todeta sähköön toimitusvarmuuden olevan erittäin tärkeää modernissa yhteiskunnassamme. Sähköverkkoyhtiöiden toimitusvarmuuden kehittämisen ja sen yhtenä osa-alueena käyttökeskusten toiminnan turvaamisen puolesta puhuu seuraavaksi esitetyt Turvallisuuskomitean julkaisussa nimetyt jakelukeskeytysten vaikutukset.

Nykyaikainen vesihuolto vaatii sähköä toimiakseen, sillä veden jakelu ja jätevesien johtaminen viemäreistä puhdistamolle vaativat pumppaamista. Myös veden käsittelyssä ja vesijohtajärjestelmän valvonnassa sekä ohjauksessa tarvitaan sähköä. Suurella osalla vesilaitoksista on veden paineen ylläpitämiseksi ja vesivarastoksi yksi tai useampi vesitorni, mihin vesi pumpataan. Täydestä säiliöstä riittää vettä keskimäärin 14 tunniksi. Yksittäiset vesitornit eivät kuitenkaan riitä luomaan riittävää vedenpainetta pitkille matkoille, joten kaukana vesitorneista oleville alueille vesi on kuljetettava pumppaamalla. Sähköistä pumppausta tarvitaan myös korkeiden rakennusten vedenpaineen ylläpitoon sekä pienkiinteistöjen omiin kaivopumppuihin.

Elintarviketeollisuus kattaa muun muassa elintarviketuotannon, jakelun ja myymälät. Kaikki elintarviketeollisuuden osa-alueet vaativat sähköä toimiakseen. Elintarviketuotantolaitokset ja myymälät ovat usein varavoimalla varustettuja, mutta esimerkiksi tuotantolaitoksien varavoima riittää käytännössä prosessien hallittuun alas ajamiseen tai huomattavasti supistettuun perustuotteisiin keskittyvään tuotantoon. Myös supistettu tuotanto vaatii toimivan jakeluketjun tuotantolaitoksista varastoihin ja edelleen vähittäiskauppiaille. Sähköä vaativat satamien tietojärjestelmät, nosturit ja liukuhihnat lamaantuvat sähkökatkoista. Myös varastoissa käytettävät sähköiset trukit ja hissit lakkaavat toimimasta. Kaupat ja marketit ovat usein varavoimalla varustettuja, jotka kattavat vähintään turvalaistuksen ja usein myös joidenkin kassojen hetkellisen toiminnan jonojen purkamiseksi. Suurimmat hypermarketit pysyvät toimintakykyisinä enimmillään noin neljä tuntia varavoiman avulla, jonka jälkeen suurimpia uhkia ovat pakasteiden ja muiden kylmätuotteiden pilaantuminen. Varavoiman loppuessa myymälät on suljettava, sillä esimerkiksi laskuttaminen ei enää onnistuisi.

Laajat sähkökatkot vaikuttavat välittömästi myös pankkeihin ja maksuliikenteeseen. Ostosten ja laskujen maksaminen loppuu pääsääntöisesti heti sähkökatkon alkaessa. Pankkien konttorit sulkeutuvat varavoiman puuttuessa, käteis- ja maksuautomaatit lakkaavat toimimasta, eikä liikkeiden kassa- tai varastokirjanpitojärjestelmät toimi. Verkkopankit ovat kuitenkin hyvin varmennettuja, ja toimivat sähkökatkon aikana, mikäli tietoliikenneyhteydet edelleen toimivat.

Kaupallinen tele- ja tietoliikenneverkko toimii sähkökatkon aikana varavoiman avulla pääsääntöisesti vähintään kolmen tunnin ajan, minkä jälkeen puhelut ja tietoliikenne lakkaavat toimimasta. Tele- ja tietoliikenneverkkojen osat on jaettu varmennusluokittelun osalta tärkeysluokkiin käyttäjämäärien ja maantieteellisen alueen laajuuden mukaisesti. Kaupallisten verkkojen lisäksi yhteiskunnan kriittiset toimijat käyttävät omia suljettuja tietoliikenneverkkojaan, joiden tarkoituksena on varmistaa yhteiskunnan turvallisuuden ja toiminnan kannalta tärkeiden viranomaisten sähköisten tieto- ja viestintäjärjestelmien toiminta kaikissa tilanteissa.

Laajat sähkökatkot vaikuttavat myös liikenteeseen. Liikenteenohjausjärjestelmät, katuvalot, liikennevalot ja risteysvalot sammuvat, mikä aiheuttaa ruuhkia etenkin kaupunkien liikennevaloilla ohjatuissa järjestelmissä sekä lisää raide- ja maantieliikenteen onnettomuusriskiä. Pimeys ja liikennevalojen sammuminen heikentävät huomattavasti myös kevyen liikenteen turvallisuutta. Sähkökatkon vaikutukset näkyvät laajasti myös joukkoliikenteessä, sillä esimerkiksi junaliikenne häiriintyy ja suurilta osin myös pysähtyy katkon laajuudesta riippuen. Metrot, raitiovaunut ja sähköiset linja-autot lakkaavat toimimasta yhdessä hissien ja liukuportaiden kanssa. Linja-autojen liikkuminen sähkökatkon aikana on kiinni polttoaineen saannista, mikä vaikeutuu huomattavasti pitkien sähkökatkojen yhteydessä. Suomen polttoainevarastot riittävät viideksi kuukaudeksi, mutta täysin sähköllä toimivat huoltoasemien polttoainepumput, mittarit, kassajärjestelmät ja maksupäätelaitteet ovat polttoainejakelun ongelmakohta. Lisäksi liikenteenohjausjärjestelmien, aikatauluneuvonnan ja lipunmyynnin keskeytyminen vaikeuttaa joukkoliikenteen toimintaa. Pitkien katkojen aikana laivaliikenne hidastuu ja vaikeutuu sähköisten merenkulun ohjausjärjestelmien toiminnan lakatessa ja esimerkiksi matkustaja-alusten toimintaa satamissa vaikeuttaa sähköllä toimivien matkustajaramppien käyttökatkokset. Myös lentoliikenne ajetaan hallitusti alas pitkien sähkökatkojen aikana, joskin lentotoimintaa voidaan jatkaa lyhyiden katkojen aikana varavoimakoneiden ja ups-laitteiden ansiosta.

Puu-, pelletti- ja hiililämmitteisiä rakennuksia lukuun ottamatta rakennusten lämmitys Suomessa toimii sähkön varassa. Sähköä tarvitaan luonnollisesti suorassa sähkölämmityksessä, mutta myös automatiikan, polttimien, puhaltimien ja kiertopumppujen ylläpitämisessä kaukolämpöverkossa, öljylämmityksessä, maalämmössä sekä pellettikamiinoissa ja -kattiloissa. Näin ollen lämmitykset katkeavat sähkökatkon aikana asuin-, liike- ja toimistorakennuksista sekä laitoksista, joilta ei löydy vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja tai varavoimaa. Rakennusten huoneistolämpötilojen laskeminen voi aiheuttaa epämukavuutta ja terveysriskejä sekä omaisuusvahinkoja muun muassa pakkasen aiheuttamien putkivaurioiden muodossa. Sosiaali- ja terveysministeriön mukaan huonelämpötilan välttävänä tasona asuinrakennuksien kohdalla pidetään +18 °C ja päiväkotien, koulujen sekä vanhainkotien kohdalla +20 °C. Kovien pakkasten aikana rakennusten lämpötilat laskevat alle välttävän tason jo muutamien tuntien aikana riippuen ulkolämpötilan lisäksi rakennuksen sisälämpötilasta, rakenteista ja materiaaleista.

Päiväkotien ja koulujen toimintaan vaikuttavat muun muassa veden tulon loppuminen, lämmityskaudella tilojen kylmeneminen, valojen ja tietokoneiden sammuminen, ruokahuollon ongelmat ja koneellisten ilmanvaihtojen pysähtyminen. Koulujen ja päiväkotien toiminta on tärkeää sähkökatkojenkin aikana, sillä yleisen turvallisuuden tunteen ylläpitämisen lisäksi monien päivystystai hätätyövelvollisten vanhempien on päästävä työpaikoilleen yhteiskunnan toiminnan turvaamiseksi.

Yhtenä sähköverkon kriittisistä asiakkaista ovat terveyspalvelut, eli sairaalat ja terveyskeskukset. Sairaaloiden jakeluverkkoyhteydet ovat usein varmennettuja useamman liittymisjohdon ja reitin avulla, jolloin pienet alueelliset jakelukeskeytykset eivät aiheuta pitkiä jakelukeskeytyksiä sairaaloihin. Potilaiden hoidon kannalta kriittiset toiminnot, kuten leikkaussalit, teho-osastot ja heräämöt ovat määritelty sähkölaitteistoja koskevassa standardissa lääkintätiloiksi, jotka on varmennettava varasähköjärjestelmällä. Käytännössä tämä tarkoittaa muun muassa sitä, ettei elintoimintoja ylläpitävien sähköisten järjestelmien sähkönsyöttö saa katketa yli 15 sekunniksi ja leikkausvalaisimien on siirryttävä turvasyöttöjärjestelmän perään vähintään puolen sekunnin viiveellä. Kriittisimpien osa-alueiden lisäksi sairaaloissa on useita sähköllä toimivia laitteita potilaiden tutkimiseen ja hoitamiseen. Lisäksi jo edellä mainitut lämmityksen, vedensaannin, ilmanvaihdon, ruokahuollon sekä tele- ja tietoliikenneverkkojen ongelmat koskevat myös terveydenhuoltopalvelujen rakennuksia. Sairaaloista poiketen terveyskeskukset ja psykiatriset sairaalat eivät välttämättä ole varustettuja varavoimakoneilla, joten pienet terveydenhuollon yksiköt voivat joutua sulkemaan ovensa ja ohjaamaan asiakkaat sairaaloiden päivystyksiin.

Sähkökatkot voivat aiheuttaa merkittäviä turvallisuus- ja terveysriskejä etenkin kotona asuville erityisryhmille, kuten huonokuntoisille vanhuksille ja imeväisikäisille lapsille. Edellä mainitut ryhmät eivät siedä hyvin esimerkiksi kylmyyttä. Iäkkäille ihmisille myös veden puute on nuorempia kriittisempi ongelma, mikä yhdessä kesän helleaikojen sähkökatkoihin lisää vedensaannin tarvetta ja näin nostaa sairaskohtauksien riskiä.

Suomen pelastustoimen osa-alueet ovat pitkälle varmennettuja sähkökatkojen varalta. Sähkökatkot eivät estä esimerkiksi poliisin ja pelastuslaitoksen paikallista toimintaa. Sähköverkon käyttökeskusten sekä eri viranomaisten välinen yhteydenpito sähkökatkojen aikana hoidetaan varmennettujen kommunikointijärjestelmien avulla. Kuitenkin pitkittyneiden sähkökatkojen yhteydessä puhelinyhteyksien ja tukiasemien lakatessa toimimasta viranomaisten välinen tiedonvaihto vaikeutuu ja näin toiminta hidastuu merkittävästi. Pienillä alueilla, kuten pelastustilanteiden onnettomuuspaikoilla, voidaan käyttää VIRVE-radiopuhelimen suorakanavatoimintaa, mikä ei vaadi toimivaa tietoliikenneverkkoa. Viestinnän vaikeuksien lisäksi ongelmia hälytysajossa aiheuttaa kaupunkien katuliikenteen ruuhkautuminen liikennevalojen sammussa ja julkisen liikenteen pysähtyessä. Viranomaisten varmennetuista verkoista huolimatta apua tarvitsevien kansalaisten vaikeudet avun hälyttämiseen ovat todelliset puhelinten mykistyessä tai televerkkojen ruuhkautuessa. Tällöin apu on haettava fyysisesti lähimmiltä auki olevilta poliisitai paloasemilta. [1]



Kuva 7 Aikajanaesimerkki Suomessa tapahtuvien keskeytysten vaikutuksista. [24]

Keskeytysten aiheuttamat kustannukset verkkoyhtiölle

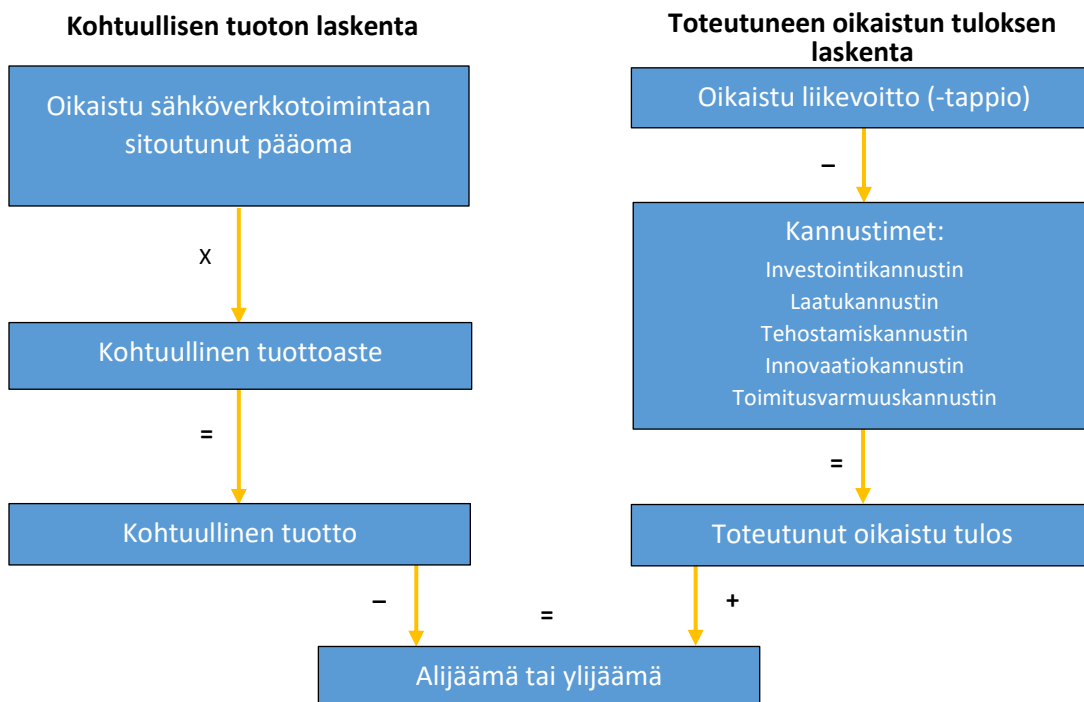
Verkkoyhtiölle aiheutuu jakelukeskeytyksistä kustannuksia. Tällaisia ovat muun muassa vakiokorvaukset, toimittamatta jääneestä sähköstä syntyvät kustannukset sekä viankorjauskustannukset. Jakelukeskeytykset vaikuttavat lisäksi valvontamallin kannustinten ja täten kohtuullisen tuoton laskennassa.

Vakiokorvaus on asiakkaille maksettava hyvitys yhtäjaksoisista ja pitkäkestoisista sähkökatkoista. Sähkömarkkinalain 588/2013 mukaan verkonhaltijan on maksettava tietyin ehdoin sähkökäyttäjälle hyvitystä, joka määräytyy keskeytyksen keston ja sähkökäyttäjän vuotuisen siirtopalvelumaksun mukaan. Vakiokorvausten määrä sähkökäyttäjän vuotuisesta siirtopalvelumaksusta on:

- 1) 10 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 12 tuntia mutta vähemmän kuin 24 tuntia;*
- 2) 25 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 24 tuntia mutta vähemmän kuin 72 tuntia;*
- 3) 50 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 72 tuntia mutta vähemmän kuin 120 tuntia;*
- 4) 100 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 120 tuntia mutta vähemmän kuin 192 tuntia;*
- 5) 150 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 192 tuntia mutta vähemmän kuin 288 tuntia;*
- 6) 200 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 288 tuntia.*

Kalenterivuonna maksettavien vakiokorvausten enimmäismäärä on kuitenkin enintään 200 prosenttia vuotuisesta siirtopalvelumaksusta tai 2000 euroa asiakasta kohden. Valtakunnallisesti vakiokorvausten vuosittaisissa määrissä näkyy selkeästi myrskyjen aiheuttamat suurhäiriöt, jotka eivät juurikaan vaikuta Helsingin alueen kaupunkiverkkoymppäristössä. Näin ollen HSV:n maksamien vakiokorvausten suuruus pysyy vuosittain melko pienenä. Esimerkiksi vuosina 2014, 2015 ja 2017 vakiokorvauksia ei maksettu lainkaan. Vuoden 2018 korvauksissa näkyi selkeä piikki, mutta tuolloinkin maksetut vakiokorvaukset olivat suuruudeltaan vain 0,03 % yhtiön liikevaihdosta. [25]

Vuosittaiset verkkoyhtiön jakelukeskeytykset vaikuttavat yhtiön tulokseen vakiokorvausten lisäksi Energiaviraston valvontamallin laatu- ja tehostamiskannustimien kautta. Energiavirasto valvoo sähköverkonhaltijoiden hinnoittelun kohtuullisuutta neljän vuoden pituisilla valvontajaksoilla, joista viides on vuosina 2020 - 2023. Verkkotoiminnan hinnoittelun valvonta tapahtuu kuvassa 8 esitetyn valvontamallin mukaisesti. Verkkoyhtiöille lasketaan yksilöllisesti valvontajakson aikainen toteutunut oikaistu tulos, jota verrataan kohtuullisen tuoton määrään. Kuvan 8 mukaisesti energiaviraston valvontamenetelmä sisältää sähköverkkotoimintaan sitoutuneen pääoman arvostusperiaatteet, sitoutuneen pääoman kohtuullisen tuoton ja verkkotoiminnan tuloksen määrittävät sekä verkkotoiminnan kannustimet; investointi-, laatu-, tehostamis-, innovaatio- ja toimitusvarmuuskannustin.



Kuva 8 Valvontamallin keskeisimmät elementit ja toimintaperiaate [57]

Valvontamallin laatukannustin ohjaa verkonhaltijoita kehittämään sähkön siirron ja jakelun laatua siten, että keskeytyksistä asiakkaille aiheutuneet laskennalliset kustannukset (KAH) minimoitaisiin. Tehostamiskannustimella kannustetaan verkonhaltijat kustannustehokkaaseen toimintaan eli mahdollisimman pienillä kustannuksilla mahdollisimman suurien hyötyjen saavuttamiseen. Myös tehostamiskannustimessa huomioidaan vuosittainen KAH-arvo. [26]

Asiakkaille aiheutuvaa haittaa kuvaavan KAH-arvon suuruuteen vaikuttaa keskeytysten lukumäärä, pituus sekä niiden ennakoimattomuus. Odottamattomien ja suunniteltujen keskeytysten aiheuttaman haitan arvioiminen sähkönkäyttäjien osalta on haastava ja monitahoinen tehtävä, sillä osa aiheutuneesta haitasta on hyvin vaikeasti mitattavissa. Tuotantolaitoksille aiheutuneen keskeytyksen aiheuttama kustannushaitta tuotannon keskeytyksestä ja työajan menetyksestä on helpommin mitattavissa kuin välillisesti kotitalouksille keskeytyksistä aiheutuneet kustannushaitat. Asiakaskohtaisen KAH-arvon arvioinnissa pyritään huomioimaan asiakastyypin erilaisuus. Keskeytysten kesto aika ja ajankohtakin vaikuttavat hyvin eri tavalla asiakasryhmien välillä. Lyhyt keskeytys voi aiheuttaa välittömät tulon menetykset esimerkiksi tuotannon keskeytyessä, kun taas toisilla merkittävää haittaa aiheutuu vasta pidempien keskeytysten kohdalla. KAH-arvot ovat nousseet vuosikymmenien aikana, mikä kertoo keskeytymättömän sähkönjakelun merkityksen kasvusta. [4]

Keskeytyksestä aiheutunut haitta eli KAH on laskettu vuodesta 2016 lähtien vian aikana irtikytketyn tuntitehon ja toimittamatta jääneen sähköenergian mukaisesti (KAH_{tot}). Käyttötukijärjestelmä laskee tämän jokaiselle vialle erikseen. Näin arvo vaihtelee riippuen siitä, mihin vuoden- ja kellonaikaan vika on tapahtunut. 2016 vuotta aikaisemmissa analyyseissä irtikytkettyä tehona on käytetty vuosienenergian avulla laskettua keskiarvoa, jossa tulos oli aina sama riippumatta vian tapahtuma-ajasta. KAH-laskennassa käytetään taulukon 1 yksikköhintoja. [26]

Taulukko 1 Keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinnat [26]

Odottamaton keskeytys		Suunniteltu keskeytys		Aikajälleenkytkentä	Pikajälleenkytkentä
$h_{E,odott}$	$h_{W,odott}$	$h_{E,suunn}$	$h_{W,suunn}$	h_{AJK}	h_{PK}
€/ kWh	€/ kW	€/ kWh	€/ kW	€/ kW	€/ kW
11,0	1,1	6,8	0,5	1,1	0,55

HSV:n käyttötukijärjestelmä laskee KAH_{tot} arvon yhtälöllä,

$$KAH_{tot} = \sum_{i=1}^a (ka_{kp}(i) * h_E + h_W) * P_{kp}(i) * \left(\frac{KHI_{2015}}{KHI_{2004}}\right) \quad (1)$$

missä $ka_{kp}(i)$ = käyttöpaikkaan i kohdistunut keskeytysaika (h),

$P_{kp}(i)$ = irtikytketty teho (kW)

a = keskeytyksen piirissä olleiden käyttöpaikkojen lukumäärä

h_E = keskeytyksestä aiheutuneen haitan hinta energialle (€/kWh), (taulukosta 1)

h_W = keskeytyksestä aiheutuneen haitan hinta teholle (€/kW), (taulukosta 1)

KHI_{2015} = huhti-kesäkuun kuluttajahintaindeksin keskiarvo vuodelta 2015. [27]

Keskeytykskustannusten laskennassa huomioidaan jakeluverkon osalta pitkien yli kolmen minuutin suunniteltujen ja odottamattomien keskeytysten lukumäärä ja keskeytysaika sekä lyhyiden enintään kolmen minuutin keskeytysten pika- ja aikajälleenkytkentöjen lukumäärä. Suurjännitteisen jakeluverkon keskeytyksistä huomioidaan odottamattomien keskeytysten kappalemäärä ja aika, sekä suunniteltujen keskeytysten liityntäpisteille aiheutuneet keskimääräiset keskeytysajat. Viidennellä 2020 alkavalla valvontajaksolla suurjännitteisen jakeluverkon keskeytyksiin lisätään myös pika- ja aikajälleenkytkentöjen lukumäärä. [26]

Valvontamallin sisältämä laatukannustin määräytyy siten, että verkkoyhtiön vuosittaisia keskeytyskustannuksia verrataan verkonhaltijakohtaiseen vertailutasoon. Tämä pohjautuu aikaisempien vuosien keskeytyskustannuksiin. Viidennellä valvontajaksolla laatukannustimen vertailutaso määräytyy keskijänniteverkon osalta vuosien 2012 - 2019 ja suurjännitteisen jakeluverkon osalta vuosien 2013 - 2019 toteutuneiden keskeytyskustannusten keskiarvojen summana. Vertailutason ja toteutuneiden keskeytyskustannusten erotus vähennetään laatukannustimena yhtiön liikevoitosta oikaistua tulosta laskettaessa. Viidennen valvontajakson aikana laatukannustimessa käytetään kokonaisia keskeytyskustannuksia aiempien valvontajaksojen puolikkaiden sijaan. Laatukannustimen vaikutus voi olla kuitenkin enintään 15 % verkonhaltijan vuosittaisesta kohtuullisesta tuotosta. [26]

Valvontamallin välillisten kustannusten lisäksi verkon keskeytyksien aikana toimittamatta jäänyt sähkö aiheuttaa tulonmenetyksiä verkkoyhtiölle. Häiriöt näkyvät myös sähköverkon vioista aiheutuvien viankorjauskustannusten muodossa, joihin sisältyy muun muassa henkilöstökustannukset, materiaalikustannukset, kalustokustannukset sekä erilaiset lupakustannukset esimerkiksi maankaivuuseen liittyen.

4.2 Helen Sähköverkon toimitusvarmuus

Toimitusvarmuudella kuvataan sähkönjakelun luotettavuutta, jota voidaan tarkastella erilaisten sähkönjakelukeskeytysten kautta. Keskeytys on määritelty standardin SFS-EN 50160 mukaan tilanteeksi, jossa jännite on liittämiskohdassa alle 1 % vaaditusta jännitteestä. Jakelukeskeytykset voidaan jakaa odottamattomiin vikakeskeytyksiin ja suunniteltuihin keskeytyksiin. Vikakeskeytykset aiheutuvat sähköverkon vikojen yhteydessä tulleista pysyvistä tai ohimenevistä katkoista, suunniteltujen keskeytysten ollessa asiakkaille etukäteen ilmoitettavia verkon kunnossapitotöihin liittyviä keskeytyksiä. [4]

Keskeytykset jaotellaan tilastoinnissa edelleen pitkiin ja lyhyisiin keskeytyksiin. Yli 3 minuuttia kestävät keskeytykset ovat pysyvien vikojen aiheuttamia pitkiä keskeytyksiä, kun enintään 3 minuutin keskeytykset luokitellaan lyhyiksi ohimeneviksi keskeytyksiksi. Keskeytysten lisäksi asiakkaille näkyvät verkon jännitekuopat laskevat sähköntoimituksen laatua. Jännitekuopasta puhutaan jakelujännitteen alentuessa äkillisesti 1 - 90 %:iin nimellisjännitteestä ja palautuessa lyhyen ajan kuluttua ennalleen. [4]

Jakeluverkon toimitusvarmuutta kuvataan usein alan kansainvälisessä kirjallisuudessa seuraavilla IEEE 1366-2012 standardin mukaisilla tunnusluvuilla:

- SAIFI, System Average Interruption Frequency Index
keskeytystapahtumien (yli 5 min) keskimääräinen lukumäärä (kpl/käyttöpaikka) tietyllä aikavälillä. Suomessa aikarajana käytetään 3 min.
- SAIDI, System Average Interruption Duration Index
keskeytystapahtumien keskimääräinen yhteenlaskettu kesto-aika (h/käyttöpaikka) tietyllä aikavälillä.
- CAIDI Customer Average Interruption Duration Index
keskeytyksen kokoneiden asiakkaiden keskeytyksien keskipituus (h/keskeytys).

Tunnusluvut lasketaan seuraavien yhtälöiden mukaisesti [28, p. 26]:

$$SAIFI = \frac{ASIAKASKESKEYTYSTEN LUKUMÄÄRÄ}{ASIAKKAIDEN LUKUMÄÄRÄ} = \frac{\sum N_i}{N_T}, \quad (2)$$

- N_i = asiakkaiden määrä keskeytystapahtumassa i
 i = keskeytystapahtumien lukumäärä tarkastellulla aikavälillä
 N_T = verkonhaltijan kaikkien asiakkaiden lukumäärä

$$SAIDI = \frac{ASIAKASKESKEYTYSTEN KOKONAISKESTO}{ASIAKKAIDEN LUKUMÄÄRÄ} = \frac{\sum r_i N_i}{N_T}, \quad (3)$$

- r_i = asiakkaille keskeytystapahtuman i aiheuttama keskeytysaika
 N_i = asiakkaiden määrä keskeytystapahtumassa i
 i = keskeytystapahtumien lukumäärä tietyllä aikavälillä
 N_T = verkonhaltijan kaikkien asiakkaiden lukumäärä

$$CAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{\sum N_i} = \frac{ASIAKASKESKEYTYSTEN KOKONAISKESTO}{ASIAKASKESKEYTYSTEN LUKUMÄÄRÄ} = \frac{SAIDI}{SAIFI}, \quad (4)$$

Suureet kuten edellä

Keskijänniteverkon keskeytykset tilastoidaan Suomessa yleisesti muuntopiiritasolla Energiavirastolle raportoitavaksi. Muuntopiirikohtaisissa tilastoissa ei huomioida pienjänniteverkon keskeytyksiä, ja niitä merkitään etuliitteellä "T". Tunnusluvut lasketaan seuraavien yhtälöiden avulla.

$$T - SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n mpk_i}{mp}, \quad (5)$$

n = keskeytysten määrä

mpk_i = keskeytyksen i vaikutusalueella olevien muuntopiirien määrä

mp = Jakelualueen muuntopiirien kokonaismäärä

$$T - SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^x mpk_{ij} h_{ij}}{mp}, \quad (6)$$

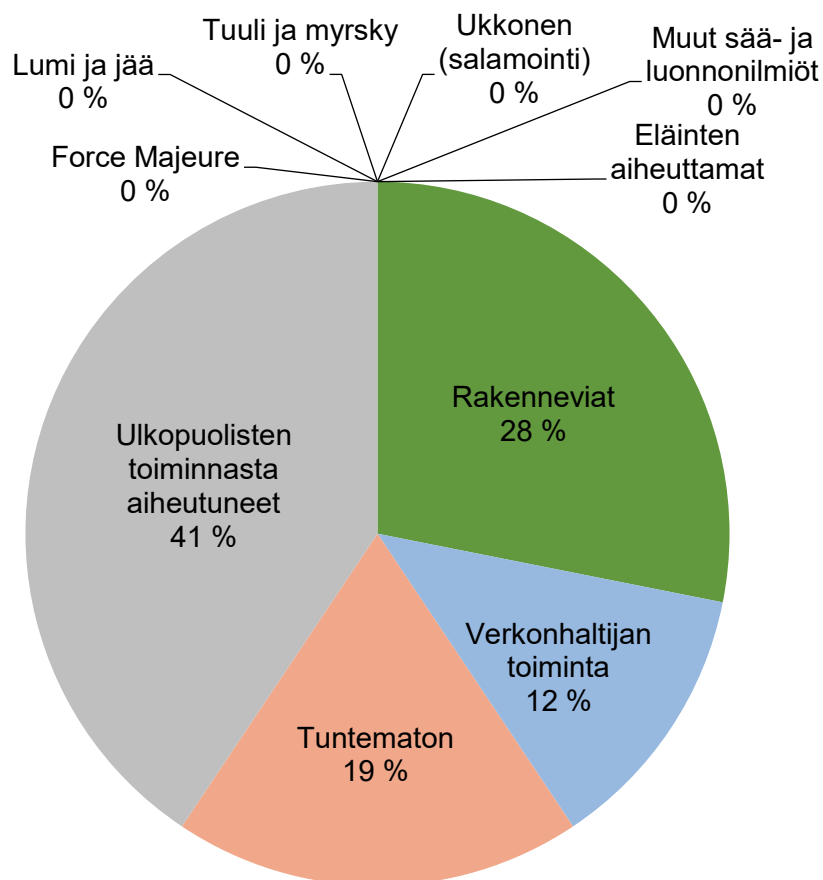
x = kunkin keskeytyksen yhteydessä esiintyvien erilaisten kestoajkojen määrä

mpk_{ij} = muuntopiirien lukumäärä kullakin osa-alueella, jossa keskeytysten kesto oli h_{ij}

$$T - CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n mph_i}{\sum_{i=1}^n mpk_i}, \quad (7)$$

mph_i = keskeytyksen i vaikutusalueella olleiden muuntopiirien yhteenlaskettu keskeytysaika.

Verkkoyhtiöiden toimitusvarmuutta Suomessa valvoo Energiavirasto, joka on tuonut uusia määräyksiä sähköverkon toimitusvarmuuteen muun muassa viime vuosina esiintyneiden voimakkaiden myrskyjen aiheuttamien suurhäiriöiden seurauksena. Sähkömarkkina-alueella on määritelty muun muassa seuraavaa: "Jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava, ja sitä on ylläpidettävä siten, että jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asemakaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia kestävästä sähköjakelukeskeytyksestä, eikä muilla alueilla yli 36 tuntia kestävästä keskeytyksestä. [29] Edellä mainitut keskeytysaika-vaatimukset eivät aiheuta ongelmia Helsingin sähköverkossa sen korkean kaapelointiasteen mahdollistaman säävarmuutensa ansiosta. Väitettä tukevat esimerkiksi vuoden 2018 häiriötilastot, jolloin suoraan sääilmiöiden aiheuttamia keskijänniteverkon jakelukeskeytyksiä ei ollut HSV:n verkossa ollenkaan vikojen aiheuttajien jakautuessa kuvan 9 mukaisesti. Helsingin alueella vähäiset sääilmiöistä aiheutuneet jakelukeskeytykset ovat syntyneet pääsääntöisesti ukkosajan aikaisen salamoinnin ja meriveden rankan nousun aiheuttaman rannikkoalueiden tulvimisen seurauksena.



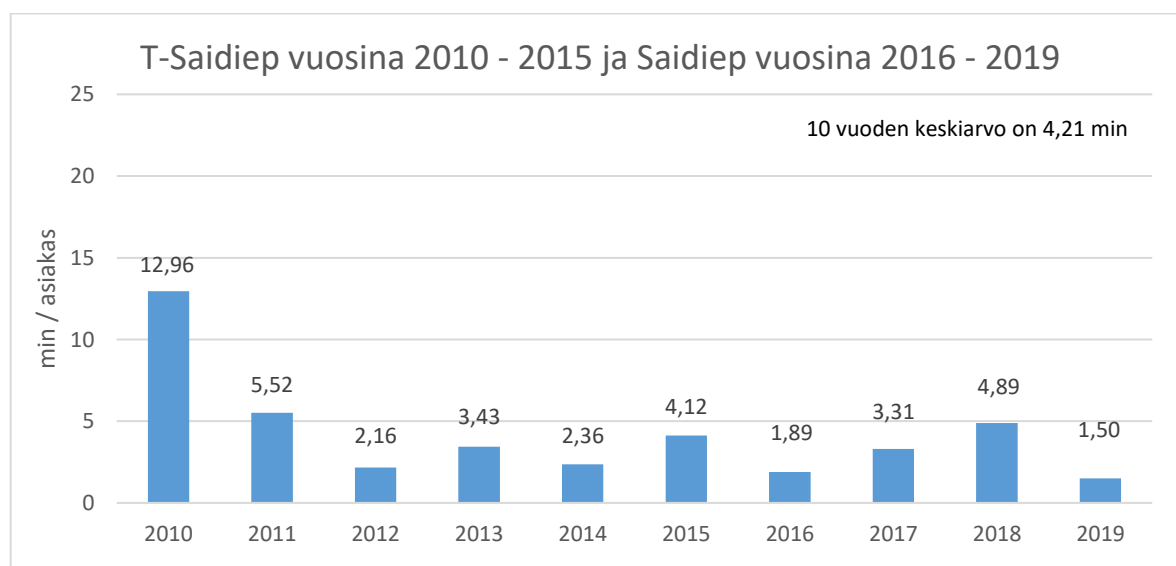
Kuva 9 HSN:n keskijänniteverkon vikojen aiheuttajat 2018 [30]

Helen Sähköverkolla on ollut historiallisesti korkeat sähkönjakelun luotettavuustavoitteet. Vuonna 2008 käynnistettiin projekti toimitusvarmuuden edelleen parantamiseksi kustannustehokkain menetelmin, mitkä sisälsivät vikojen analysoinnin ja työntekijöiden koulutuksen kehittämistä, uusia sähköasemia ja toisiouusintoja, keskijänniteilmajohtojen kaapelointia, verkostoautomaation lisäämistä sekä koko 20 kV verkon kompensoinnin. [31]

Helsingin erinomaisia keskeytyksien tunnuslukuja tukee myös keskijänniteverkkojen käyttö maasuluissa asiakaskeskeytyksiä oleellisesti vähentäen. Tämän mahdollistaa 20 kV:n kompensointi sekä 10 kV:n pienet maasulkuvirrat ja -jännitteet. Maasulkuvirran kompensointi myös pienentää maasulkujen oikosuluksi laajenemisprosenttia, sillä kompensoidun verkon maasulkuteho on vain 1 % maasta erotettuun verkkoon nähden. Lisäksi kompensointi vähentää maasulkutapausten aiheuttamia rasituksia keskijännitelaitteistolle, erityisesti jännitemuuntajille. [32] Haittapuolena maasulkuvirran kompensointi voi nostaa kaksoismaasulkujen määrää laukaisevasta maasulkusuojauksesta hälyttävään siirryttäessä, sillä terveiden vaiheiden jännitteet nousevat maasulkuvian aikana pääjännitteiden tasolle ja näin riskit toisen vian samanaikaiselle syntymiselle suurenee hälyttävän suojauksen mahdollistaman rasisutajan pitkittyessä. [33]

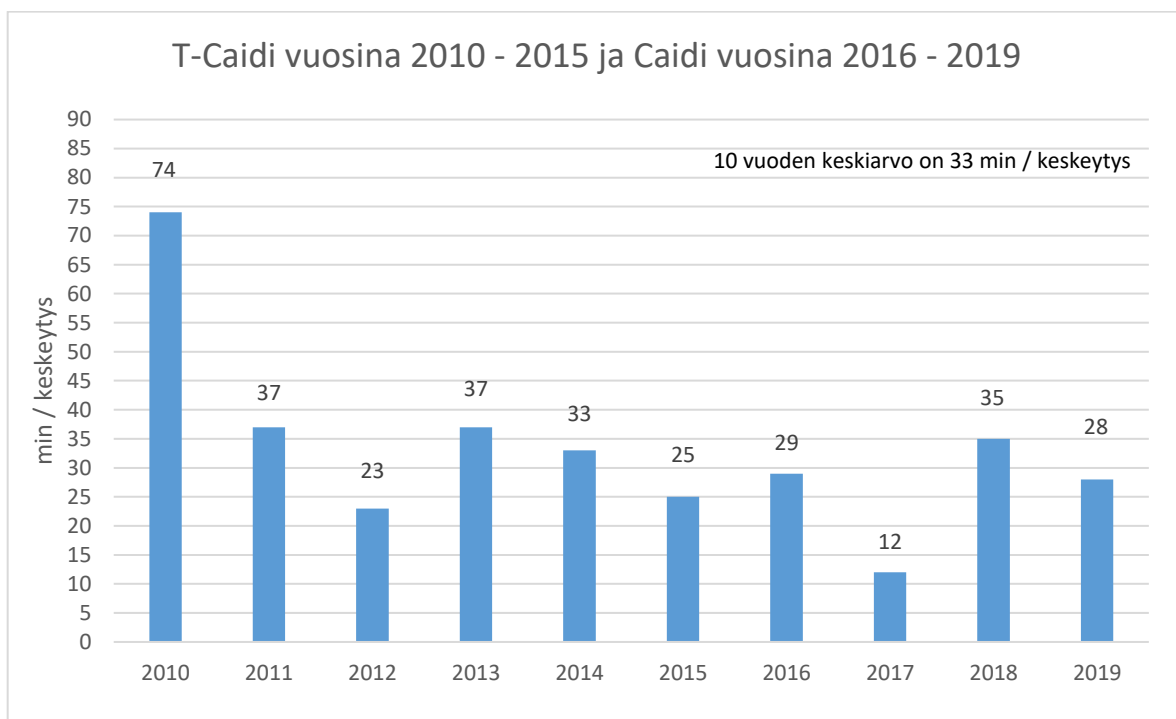
Kompensointi on lisännyt myös verkolla oikosulukuksi laajenevien päätemaasulkujen määrää, minkä seurauksena uusiin muuntamokojeistoihin on vaadittu kosketussuojatut pistokepäätteet vuoden 2016 jälkeen. Kompensoidussa keskijänniteverkossa oli vuoden 2019 alkuun mennessä ollut 33 luonnollista maasulkuja, joista 27 kappaletta ei aiheuttanut suoraa jakelukeskeytystä joitain lyhyitä vianselvityksestä aiheutuneita harkittuja kytkentäkatkoja lukuun ottamatta. Loput kuusi laajenivat oikosulukuksi tai kaksoismaasulukuksi. HSV:n tilastojen mukaan voidaan tehdä karkea oletus, että yksi keskijännitevirian aiheuttama keskeytys lisää vuosittaista SAIDI-lukemaa 0,1 minuutilla. Oletuksen mukaisesti kompensoinnin lisääminen 20 kV verkkoon on parantanut kumulatiivisesti SAIDI-arvoa 2,7 minuutilla kompensointiprojektin aikana vuosina 2012 - 2018. Projektin jälkeen koko 20 kV verkon ollessa maadoitettu kompensoinnilla on arvioitu päästävän vuosittaiseen 1 - 1,4 minuutin SAIDI-hyötyyn. [34]

Kaaviossa 1 kuvataan Helen Sähköverkon jakelualueen asiakkaiden kokemaa sähköjakelukeskeytysten keskimääräistä kestoaikaa, eli SAIDI-arvoa. HSV:n toimitusvarmuus on lukuihin vedoten Euroopan sähköjakeluverkkoyhtiöiden parhaimmista 10 vuoden keskiarvon ollessa 4,21 minuuttia ja 5 vuoden keskiarvon 3,14 minuuttia. Yleisestä tasosta erottuen vuoden 2010 suuri SAIDI-arvo pohjautuu ennätysellisen korkeisiin keskijänniteverkon vikakeskeytysten määrään, jotka aiheutuivat pääasiassa kaapelijatkosten ja päätteiden rakennevioista, kaivuuvaurioista sekä jakelumuuuntajavioista. Suuresta vikamäärästä huolimatta vuonna 2010 suurin yksittäisen keskijännitevirian aiheuttama SAIDI-kertymä oli 4,19 minuuttia, mihin verraten myöhemmin vuosina saavutettujen kokonaistulosten korkea taso korostuu. Usein SAIDI-kertymä syntyykin suurimmilta osin isojen yksittäisten pitkäkestoisten vikakeskeytysten summana. Tästä toisena esimerkkinä vuonna 2018 sattunut kaksoismaasulku, jonka vikapaikat sijaitsivat sähköasemalähtöjen renkaan molemmin puolin, jolloin keskeytysalueelle ei saatu korvaavaa syöttöä ennen toisen vikapaikan korjaamista. Kyseinen keskeytys venyi 12 tunnin mittaiseksi kerryttäen SAIDI-lukemaa 2 minuuttia ja vuosittaista KAH-arvoa 272 193€. Vuonna 2019 saavutettiin SAIDI:n osalta HSV:n ennätyslukemat 1,5 minuuttia, minkä jo monet yksittäiset viat voisivat kerryttää edellä mainittujen esimerkkien mukaisesti.



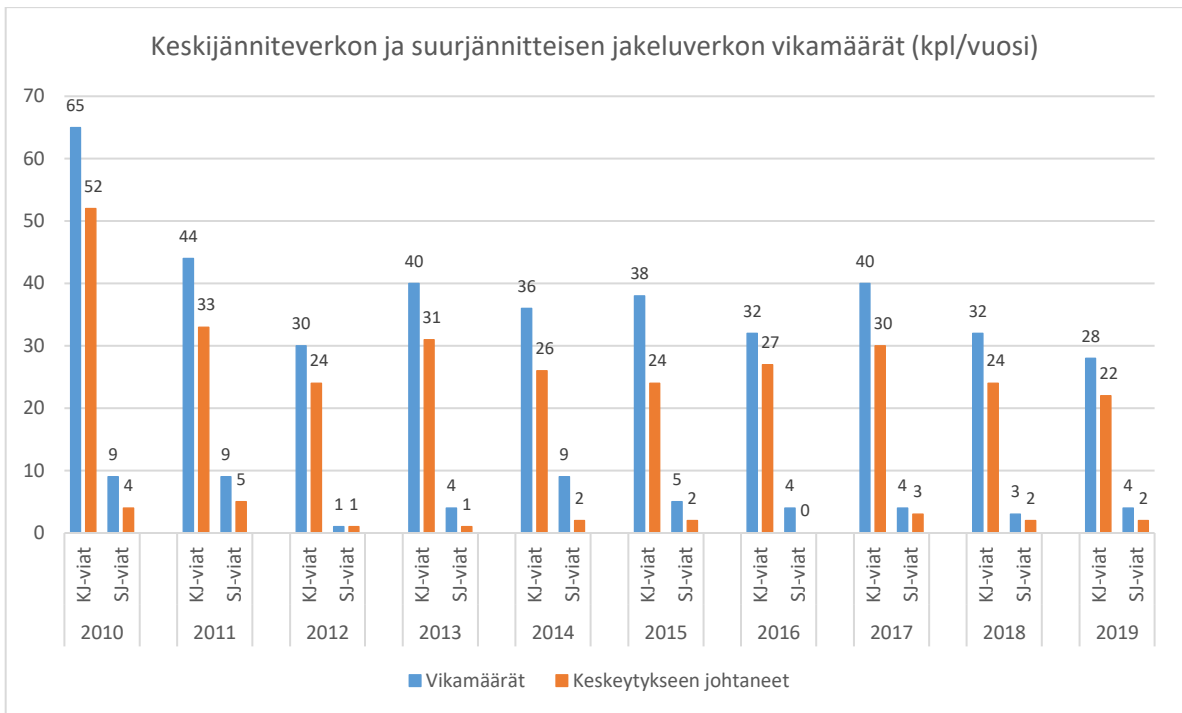
Kaavio 1 HSV:n vuosittainen SAIDI [30]

SAIDI jakaa vuoden keskeytykset suhteessa koko verkkoalueen asiakkaisiin. Tästä poiketen toinen kaaviosta 2 nähtävä toimitusvarmuusindeksi CAIDI kuvaa keskimääräistä keskeytysaikaa, minkä yli 3 minuutin keskeytyksen kokenut verkkoalueen asiakas kokee. Indeksillä kuvataan suoraan SAIDI:n suhdetta verkkoalueen asiakkaiden kokemaan keskimääräiseen keskeytysmäärään (SAIFI). Kaavioista 1 ja 2 voidaan tulkita muun muassa, että 2017 keskeytysten lukumäärä on ollut selvästi suurempi vuoteen 2019 verraten, jolloin keskeytyksen kokeneita asiakkaita on ollut 28 minuutin CAIDI-arvon ja 1,5 minuutin SAIDI:n perusteella poikkeuksellisen vähän.



Kaavio 2 HSV:n vuosittainen CAIDI [30]

Sähköverkon asiakkaiden kannalta vaikutuksiltaan merkittävimmät häiriöt tapahtuvat keskijänniteverkossa. Kaaviosta 3 nähdään HSV:n vuosittaisia vikamääriä keskijänniteverkon ja suurjännitteisen jakeluverkon osalta. Vikamäärästä on huomioitava, etteivät kaikki viat ole johtaneet jakelukeskeytyksiin. Kaaviossa esitetään myös vikamäärästä eriteltynä keskeytykseen johtaneet viat. Vuosien 2010 - 2019 aikana keskijänniteverkon vioista 76 % johtivat asiakaskeskeytykseen ja suurjännitteisen jakeluverkon vioista 48 %. Keskijänniteverkon vioista noin 60 % ovat maasulkujen aiheuttamia, joissa vikojen erottaminen voidaan usein tehdä ilman asiakkaille aiheuttavia jakelukeskeytyksiä. Osa keskijänniteverkon vioista on laukaissut rengasverkon varayhteyksinä käytettävien tyhjäkävien asemalähtöjen katkaisijoita, mitkä eivät myöskään johda jakelukeskeytyksiin. Pienjänniteverkon vikamäärät ovat verrattain merkittävät vuosittaisten vikakeskeytysten määrän ollessa luokkaa 90 kappaletta. Pienjänniteverkon vikakeskeytysten vaikutusalue on kuitenkin huomattavasti keskijänniteverkon ja suurjännitteisen jakeluverkon vikakeskeytyksiä pienempi, sillä yksittäiset keskeytykset koskettavat usein vain yhtä sähköverkon liittyjää kerrallaan. Vastaava luku sähköaseman laajuudessa vikakeskeytyksessä voi nousta 25 000 sähkökäyttöpaikkaan.



Kaavio 3 Keskijänniteverkon ja suurjännitteisen jakeluverkon vikamäärät HSV:n verkossa [30] [35]

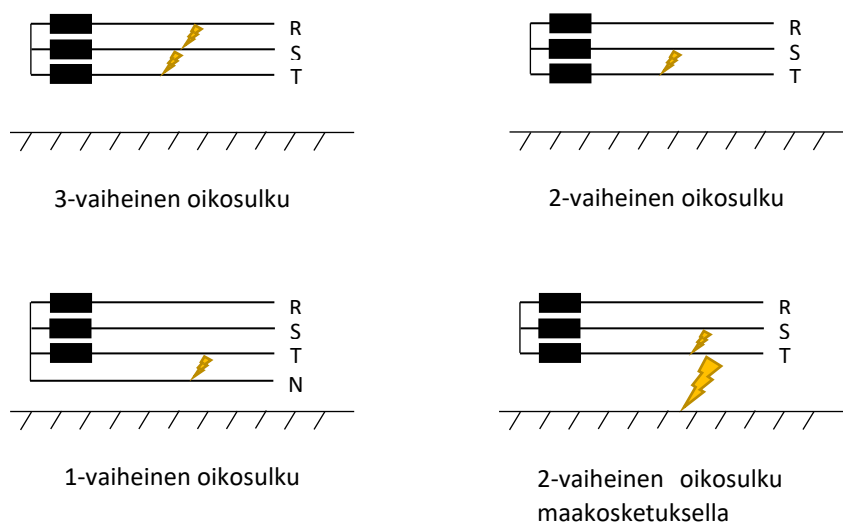
4.3 Suurjännitteisen jakeluverkon ja keskijänniteverkon häiriöt

Sähköteknisesti jakeluverkon häiriöt ovat useimmiten oiko- tai maasulkuja syntymekanismien vaihdella. Tässä kappaleessa eritellään vikoja hieman tarkemmin verkon eri komponenttien ja vikatyypin osalta. Häiriönselvityksperiaatteita ja käyttökeskuksen toimintaa erilaisissa tilanteissa avataan kappaleessa 4.4.

4.3.1 Oikosulku

Oikosulku on kahden tai kolmen vaiheen välinen vika, mikä aiheuttaa aina myös asiakkailla näkyvän jännitekuopan. Virtapiiri voi sulkeutua suoraan, valokaaren tai muun vikaimpedanssin kautta. Oikosulkuvirran suuruus on normaalia kuormitusvirtaa merkittävästi suurempi ja näin ollen se aiheuttaa myös johtimien ja laitteiden merkittävästi suurempaa termistä kuormitusta. [4] Oikosulku alkaa sysäysoikosulkuvirralla, joka vaimenee jatkuvan tilan oikosulkuvirraksi. Sysäysoikosulkuvirta koettelee eristysvastuksen lisäksi komponenttien mekaanista kestävyyttä sen jatkuvaa oikosulkuvirtaa selkeästi suuremman amplitudin takia. Johtimen oikosulkukestoisuus määräytyy kuitenkin jatkuvan tilan oikosulkuvirran perusteella, kuten oikosulkusuojausasettelut ja katkaisijoiden mallitkin. Lyhyiden oikosulkujen osalta määrävänä tekijänä on sysäysoikosulkuvirran jälkeisen muuttuvan tilan oikosulkuvirta. [36]

Jakeluverkon oikosulussa virran suuruus riippuu syöttävän verkon ja päämuuntajan oikosulkutehosta, vikapaikan jännitteestä ja verkon vikapaikalle näkyvän impedanssin sekä vikaimpedanssin suuruudesta. Mitä lähempänä syöttöpistettä oikosulku tapahtuu, sitä suuremmat oikosulkuvirrat verkossa havaitaan juurikin verkon pienentyvän impedanssin seurauksena. Tästä syystä esimerkiksi sähköaseman kiskostossa tapahtuvan oikosulun aiheuttamat oikosulkuvirrat ovat suuret yhdessä huomattavan jännitekuopan kanssa. [4]

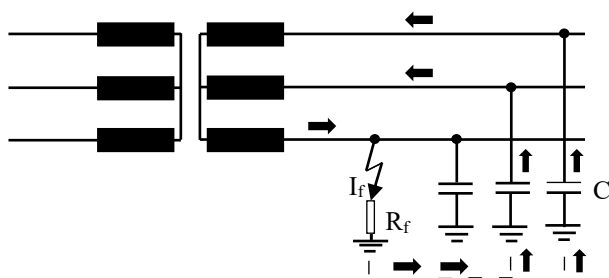


Kuva 10 Kuvaus erilaisista oikosulkutyypeistä [24]

4.3.2 Maasulku

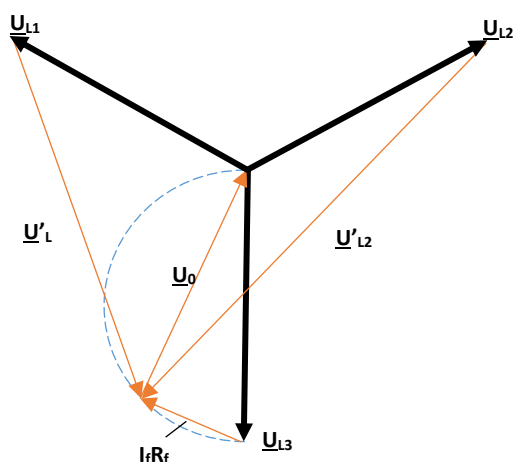
Maasulku on tyypillisin HSV:n verkossa esiintyvä vika. Se on vaihejohtimen ja maan välinen eristysvika, missä vikavirran suuruuteen vaikuttaa vikaimpedanssi, verkon maadoitustapa sekä päämuuntajan syöttämän galvaanisen verkon kapasitanssi. [37]

Maasta erotetulla verkolla ei ole yhteyttä maahan päämuuntajan tähtipisteen kautta, jolloin 1-vaiheinen vikavirta kulkee johtojen maakapasitanssien ja terveiden vaiheiden impedanssien kautta päämuuntajan käämityksiin ja sieltä edelleen viallisen vaiheen impedanssin kautta vikapaikkaan kuvan 11 osoittamalla tavalla. Maasta erotetun verkon vikavirrat määräytyvät vikaresistanssin, maakapasitanssien ja syöttävän päämuuntajan perässä galvaanisesti yhdessä olevan verkon laajuuden mukaan. Vikavirrat ovat pieniä (1 - 200 A) suoraan maadoitetun verkon maasulkuvirtoihin verraten, minkä seurauksena verkon käyttöä voidaan usein jatkaa maasulun aikanakin kosketusjännitteiden pysyessä alhaisina.



Kuva 11 Maasta erotetun verkon 1-vaiheinen maasulku [3]

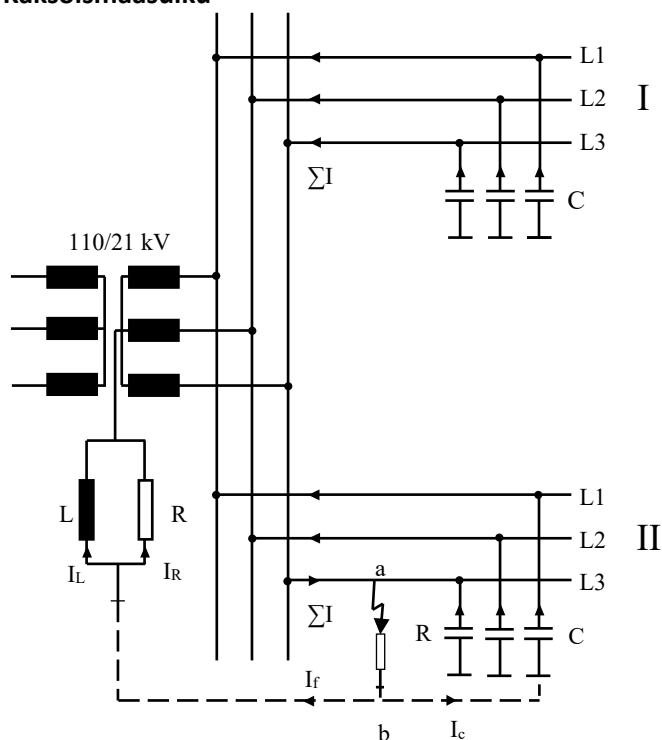
Maasta erotetun verkon viallisen vaiheen jännite putoavat maasulun aikana lähelle nollaa, jolloin nollajännite kasvaa lähes vaihejännitteen suuruiseksi ja näin terveiden vaiheiden jännitteet nousevat lähelle pääjännitettä kuvan 12 osoittamalla tavalla. Jännitteiden muutokset riippuvat vikaresistanssin R_f suuruudesta; vikaresistanssin ollessa nolla tähtipisteen nollajännite U_0 nousee vaihejännitteen suuruiseksi ja terveiden vaiheiden jännitteet kasvavat pääjännitteen suuruiseksi. Maasulku ei aiheuta pääjännitteiden jännitekuoppaa keskijännitteellä, eikä keskijännitepuolen jännite-epäsymmetria siirry pienjänniteverkon puolelle jakelumuuntajien ensiökäämien kolmiokytkennän vuoksi. Näin ollen keskijänniteverkon maasulut ei näy pienjänniteasiakkaiden jännitteenlaadussa, ellei vikavirtojen suuruus johda sähköasemakatkaisijoiden laukeamiseen suojalaitteiden toimiessa. [37]



Kuva 12 Maasulun aikaiset jännitteet maasta erotetussa verkossa [3]

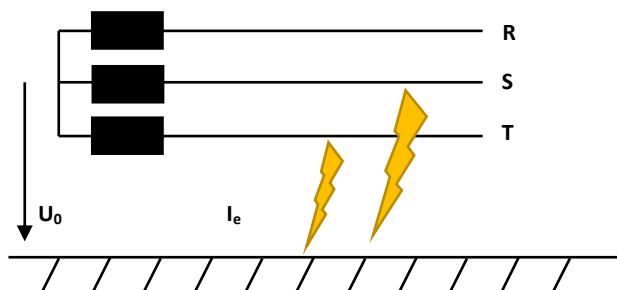
Helsingin jakeluverkossa maasulkusuojaus on hälyttävä tunnelikaapeleita sisältäviä lähtöjä ja poikkeustilanteita lukuun ottamatta. 20 kV:n kompensoidun verkon päämuuntajien tähtipisteet on maadoitettu suuren induktanssin kautta, jolloin kaapeleiden suuren maakapasitanssin kompensoitumisen seurauksena maasulkuvirraksi jää noin 2 A resistiivistä ja ylikompensoinnin myötä 5 A induktiivista maasulkuvirtaa. Maasulkuvika on nykyisissä muovieristeisissä maakaapeleissa lähes poikkeuksetta pysyvä. Avojohtoin tai öljykaapelein toteutetuissa verkoissa maasulut voivat olla myös ohimeneviä. [37] Kuvasta 13 nähdään kompensoidun verkon maasulkuvirtojen käyttäytyminen. Kompensointikelan tuottama I_L on vastakkaisuuntainen kapasitiivisen maasulkuvirran kanssa I_C , minkä seurauksena vikavirta I_f pysyy pienenä.

Kaksoismaasulku



Kuva 13 Maasulkuvirrat kompensoidussa verkossa [3]

Kaksoismaasulku on tilanne, jossa maasulkuviat tapahtuvat rinnakkain saman päämuuntajan syöttöalueen eri kohdissa. Usein yksittäinen maasulkuvika laajenee kaksoismaasuluksi, kun normaalin maasulkutilanteen yhteydessä terveiden vaiheiden jännitteet nousevat pääjännitteen suuruiseksi ja näin terveen vaiheen orastavassa heikossa kohdassa tapahtuu läpilyönti vaiheen ja maan välillä. Kaksoismaasulun aikaiset vikavirrat ovat huomattavasti yksivaiheista maasulkua suuremmat, joten vikasuojaus on aina laukaiseva. Usein vain toisen vikaantuneen lähdön katkaisijan laukaisu riittää, jolloin lähdöistä toinen jää edelleen jännitteiseksi odottamaan maasulkuvian erotusta. [37]



Kuva 14 Kaksoismaasulku [24]

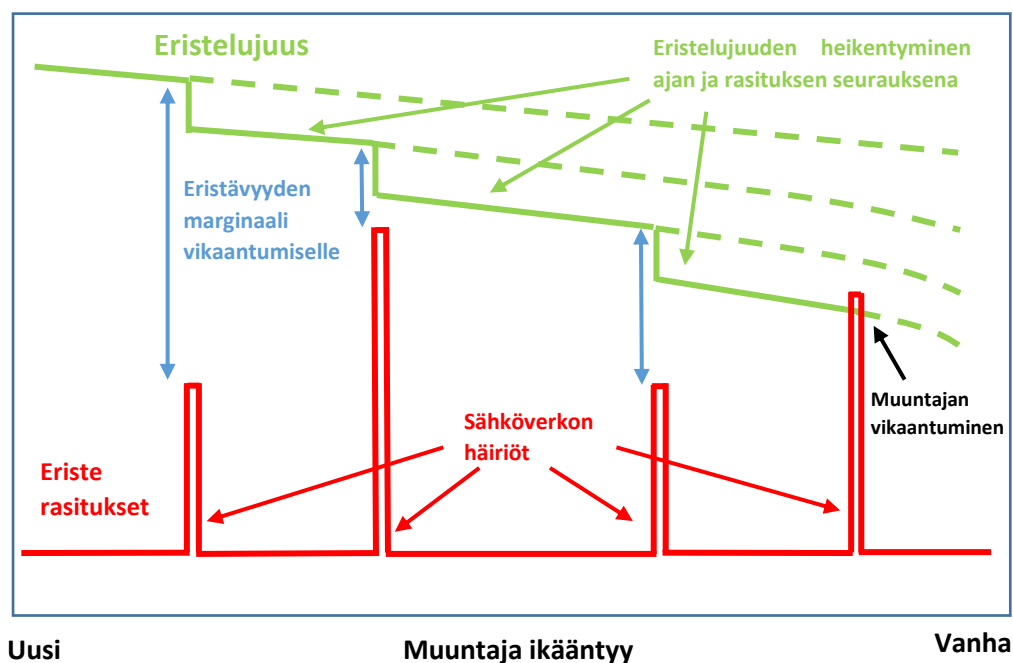
4.3.3 Kiskoviat

Kiskoviolla tarkoitetaan sähköaseman kiskojärjestelmän vikaantumista suur- tai keskijännitepuolella. Helen Sähköverkossa vuosina 2011 - 2017 kiskovikoja oli keskimäärin vain 0,4 kappaletta vuodessa ja tätäkin aikaisemmin 1993 - 2010 vain 0,3 kappaletta vuosittain, joten kiskostojen vikaantuminen on verrattain harvinaista. [6] Kiskojärjestelmän oiko- tai maasulun tapahtuessa vaikutukset näkyvät kuitenkin laajalla jakelualueella. Kiskovian aiheuttaa todennäköisemmin kiskojärjestelmään liittyvän komponentin vikaantuminen kuin itse kiskon vikaantuminen. Mahdollisia vikojen aiheuttajia ovat esimerkiksi jännitemuuntajan vikaantuminen, virhekytkennät, läpivientikeilavauriot, kaapelipääteviat tai kaasutilan vuodot. Kiskovika erotetaan pääsääntöisesti kiskosuojalla, mikä laukaisee kaikki kyseiseen kiskoon liitetyt katkaisijat.

4.3.4 Päämuuntajaviat

Päämuuntajaviat ovat hyvin harvinaisia ja usein muuntajakeskeytys aiheutuukin päämuuntajan yhteydessä olevien komponenttien vikaantumisesta tai käyttövirheestä. Päämuuntajan lauetessa vika on siis useimmiten muuntajahaaran kaapeleissa, kiskostossa tai releissä. Päämuuntajaa ei voida käyttää myöskään käämikytkimen vikaantuessa, mutta muuntajan erottaminen voidaan usein suorittaa ilman jakelukeskeytyksiä sähköaseman toisen päämuuntajan tai korvaavien varayhteyksien avulla. Mahdollisia päämuuntajavikoja ovat muun muassa muuntajan sisäiset läpilyönnit, mitkä voivat aiheutua muuntajaöljyn epäpuhtauksista, kokoonpanovirheistä, öljypaperin haurastumisesta tai muuntajan sisäisistä osittaispurkauksista. Muuntajan vanheneminen altistaa vikaantumisille ja yleisin syy ikääntyneen päämuuntajan vikaantumiselle onkin ajan saatossa paperieristyksen kunnan heikkenemisestä johtuvat läpilyönnit. Muuntajan käyttöikää alentaa esimerkiksi ylikuormituksen aiheuttama lämpötilan nousu, muuntajan syötön piirissä tapahtuvat oikosulut sekä äkilliset ylijännitteet. [38]

Muuntajaan eliniän aikana kohdistuvat termiset, mekaaniset, kemialliset, sähköiset, sähkömagneettiset ja transienttien aiheuttamat rasitukset heikentävät sen sähköistä eristyskykyä, mekaanista lujuutta sekä kuormitettavuutta. Kun jonkin edellä mainitun ominaisuuden sietoraja ylittyy, ei muuntaja kestä siihen kohdistuvia rasituksia vaan vikaantuu. Esimerkki muuntajan vikaantumismallista on esitetty kuvassa 15. [38]



Kuva 15 Päämuuntajan vikaantumismalli [38]

4.3.5 Releviat

Relevioilla tarkoitetaan suojareiden tai muiden toisilaitteiden vikatilanteita suurjännitteisen- tai keskijännitejakeluverkon alueella. Käytettäviä suojareita ovat muun muassa differentiaalireleet, distanssireleet, maasulun suuntareleet, kiskosuojat, valokaarisuojat ja ylivirtareleet. Osa relevioista aiheuttaa esimerkiksi viestiyhteyksien katoamisen valvotun sähköasemalähdön tilatietoihin ja virtamittauksiin, jolloin kyseinen syöttökenno on otettava käyttökeskuksen toimesta jännitteettömäksi ja tehtävä korvaavat kytkennät jakelukeskeytyksen välttämiseksi.

Releviat voivat aiheuttaa myös laajan jakelukeskeytyksen esimerkiksi kiskosuojan vikaantumisen yhteydessä, mikäli vika johtaa laukaisuutoimintoon. Digitaalisten suojareiden myötä yksittäisten releiden toiminnallisuudet ovat monipuolistuneet huomattavasti ja näin ollen suojareiden toiminta on monimutkaistunut lisäten releiden asettelussa vaadittavien asettelujen määrää. Usein releiden virhetoiminnot johtuvatkin ohjelmistovioista tai inhimillisistä asetteluvirheistä, joista esimerkkinä sähköaseman maasulun suuntareiden virheelliset suuntamäärittelyt. Myös erilaisten lukitusten määrittelyssä on ollut ajoittain haasteita ja yksi virhetoimintojen mahdollisista aiheuttajista onkin suojien epäjohton mukaiset laukaisumäärittelyt, esimerkiksi havahtuman indikointi voidaan määrittellä inhimillisen virheen puolesta laukaisevaksi. [39] [27]

4.3.6 Jakelumuuntajaviat

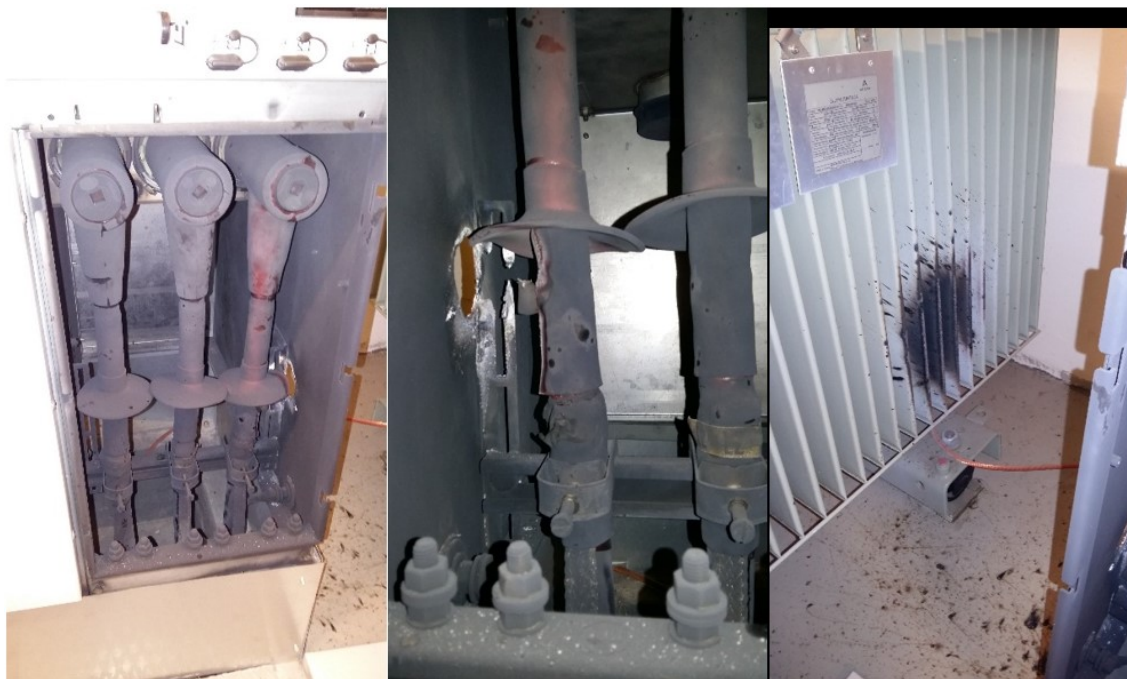
Jakelumuuntajat voivat vikaantua siinä missä päämuuntajatkin, mutta vikaantumiset ovat suhteellisen harvassa niiden jäädessä HSV:llä 0 - 3 kappaleeseen vuosittain. Viat ovat usein rakennevirheitä, käyttöiän loppupuolella ilmeneviä läpivientieristinten ongelmia tai öljyn epäpuhtauksien tai vuodon aiheuttamia muuntajan sisäisiä oikosulkuja. Jakelumuuntajan vikaantuessa jakelukeskeytys koskettaa kyseistä muuntopiiriä. Suojauksen toimiessa oikein jakelumuuntajan vikaantuminen näkyy käyttökeskuksessa vain ohimenevänä maasulkuhavahtumana, sillä vian laajentuessa oikosuluksi muuntajan keskijännitesulakesuojaus laukaisee vian verkosta alle viidessä millisekunnissa eikä aseman suojaus ehdi vielä vikaa laukaisemaan. Ohimenevän havahtuman seurauksena jakelumuuntajan vikaantuminen todetaankin usein vasta asiakasilmoitusten perusteella. [40]



Kuva 16 Jakelumuuntajan sisäisen oikosulun aiheuttama öljyvuoto [40]

4.3.7 Kaapelipääteviat

Kaapelipääteviat voidaan luokitella kiskovikojen alakategoriaan, mikäli kyseessä on sähköasemalla sijaitsevat kaapelipäätteet. Päätteiden vikaantuminen aiheuttaa häiriöitä myös sähköasemien syöttämän jakeluverkon puolella muun muassa jakelumuuntamoiden keski- ja pienjännitekojeistoissa. Keski- ja pienjännitekojeistojen pääteviat laukaisevat usein sähköasemalähdön katkaisijan ylivirrasta oikosulun seurauksena tai aiheuttavat maasulkuhälytyksen käytönvalvontaan. Pienjännitepuolen pääteviat havaitaan usein pienen alueen jakelukeskeytyksistä tulleiden asiakasvika ilmoitusten perusteella, jolloin kaapelipääte on todennäköisesti tuhoutunut maasulku- tai oikosulun aiheuttamien vikavirtojen seurauksena käyttökelvottomaksi. Sähkökatkon lisäksi pääteviat synnyttävät usein muuntamotiloihin palaneen käryä ja savua, mikä voi kiinnittää ulkopuolisten huomion ja johtaa esimerkiksi palolaitoksen aktivoitumiseen.



Kuva 17 Jakelumuuntamon keskijännitekojeiston kaapelipääteviat [40]

4.3.8 Asiakasverkkojen viat

Helen Sähköverkon suurjännitteiseen jakeluverkkoon tai keskijänniteverkkoon suoraan liittyvien asiakkaiden verkkojen viat näkyvät asiakkaiden omien suojalaitteiden toimiessa ohimenevinä suojaushavahtumina sähköverkon valvontalaitteissa. Mikäli asiakasverkon suojaukset eivät toimi kuitenkaan halutulla tavalla, voivat kyseiset viat laukaista myös sähköaseman suojalaitteita aiheuttaen jakelukeskeytyksen myös muille sähköasemalähdön asiakkaille. Asiakasverkkojen viat ovat käytännössä komponenttien vikaantumisesta tai virhekytkennöistä aiheutuvia oiko- ja maasulkuja.

4.3.9 Inhimilliset virheet

Häiriöt voivat alkaa myös inhimillisistä virhekytkennöistä, joko paikalliskytkijän tai käyttökeskuksen ohjaamana. Virhekytkennät voivat aiheuttaa muun muassa suurivirtaisen kolmivaiheisen oikosulun verkon käyttäjän ohjatessa maadoituserottimen virheellisesti kiinni jännitteiseen kaapeliin tai kiskostoon. Jännitteeseen kiskoon maadoittaminen näkyy suuren alueen syvänä jännitekuoppana etenkin suurjännitteisen jakeluverkon puolella tehdyissä virhekytkennöissä. Virheellisissä paikalliskytkennöissä sähköverkon vaikutusten lisäksi myös henkilövahinkojen riski on todellinen kojeistoihin vaikuttavien suurien oiko- tai maasulkuvirtojen seurauksena. [40]

Mahdolliset ristiriidat sähköasemien tai keskijännitekytkinlaitteistojen paikallisissa kojeistomerkinnoissa verrattuna järjestelmästä saataviin tietoihin aiheuttavat suuren riskin virhekytkennöille. Virhekytkentä voi aiheutua esimerkiksi jakelumuuntamon paikallisten kojeistomerkinnojen ollessa ristissä käytönvalvontajärjestelmän erotinosoitteiden kanssa. Tällöin käyttökeskuksesta tehtävän etäohjauksen seurauksena muuntamossa avautuu osoitetun kuormanerotin sijaan päinvastainen erotinsuunta aiheuttaen muuntopiirin jakelukeskeytyksen. Edellä mainitun esimerkin vuoksi suuntatietojen oikeellisuus on ensiarvoisen tärkeää, ja niiden tulee vastata todellista tilannetta niin paikallisesti kuin käyttökeskuksen järjestelmissäkin. [40]

4.3.10 Tietoturvariskit ja kyberuhat

Tietoturva- ja kyberuhkien mahdollisuus ja niihin varautuminen ovat nousseet esiin vuosi vuodelta enemmän muun muassa kansainvälistä huomiota saaneiden tietomurto- ja tiedusteluoperaatioiden seurauksena. Sähköverkkoyhtiöiden verkostoautomaatio- ja verkonhallintajärjestelmien rakenteessa, ominaisuuksissa ja käytetyissä tietoliikenne-ratkaisuissa näkyy vahvasti ICT-teollisuuden jatkuva kehitys internet- ja IP-teknologioiden sekä Ethernet-pohjaisten lähiverkkojen osalta. Edellä mainittujen teknologioiden kasvanut rooli automaatio- ja mittausratkaisujen osana, sekä järjestelmien välillä lisääntynyt integraatio ja tiedonsiirto ovat kasvattaneet tuntuvasti sähköverkkoympäristön tietoturvallisuusuhkia ja haavoittuvuuksia.

Ulkopuolisten toimijoiden tekemät kyberhyökkäykset uutisoidaan laajasti, minkä seurauksena usein unohdetaankin järjestelmien käyttäjien olevan todellisuudessa tietoturvariskeistä suurin. Järjestelmien parissa työskentelevät henkilöt voivat huolimattomuuttaan esimerkiksi tuhota tärkeitä tietoja tai pahimmassa tapauksessa hyödyntää järjestelmäosaamistaan tahallisesti sabotointiin. Järjestelmien laite- tai ohjelmistoviat ovat myös merkittävä tietoturvauhka etenkin juuri käyttöön otettujen tietojärjestelmien osalta. Ohjelmistovirheiden uhan todennäköisyyttä lisää järjestelmätoiminnallisuuden ja integraation jatkuva lisääntyminen. [20]

Käyttökeskusoperaattoreiden on tiedostettava omien toimiensa tietoturvanäkökulmat, sekä osattava toimia oikein muun muassa ulkopuolisten hyökkäysten suhteen. Ensimmäinen uutisoitu suoraan sähköverkkoyhtiöön kohdennettu sähkönjakelukeskeytyksiä aiheuttanut vihamielinen kyberhyökkäys tapahtui Ukrainassa vuonna 2015, jolloin ulkopuolinen hyökkääjä sai sähköverkkoyhtiön käytönvalvontajärjestelmän hetkellisesti hallintaansa. [41]

4.3.11 Tulipalot

Sähköverkkoon vaikuttavat tulipalot voivat olla sähköverkon vikojen tai muiden ulkopuolisten tekijöiden aiheuttamia. Useimmat tulipaloihin liittyvät tapahtumat tulevat käyttökeskuksen tietoon pelastuslaitoksen ilmoittamana. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi kiinteistöpalot, joiden tiloissa sijaitsee sähköverkon keskijännitemuuntamo, tai mahdolliset päätevikojen aiheuttamat muuntamokojeistopalot. Vakavimmat mahdolliset tulipalotilanteet ovat sähköasema- tai päämuuntajapalot. Toistaiseksi kumpikaan edellä mainituista ei ole toteutunut Helsingin alueen sähköverkossa, mutta toimintaperiaatteet tilanteiden varalle ovat luonnollisesti olemassa.

4.3.12 Sähköpulatilanne

Sähköpulatilanteesta puhuttaessa voidaan käyttää myös termiä tehopulatilanne tai yleisesti suurhäiriö. Sähköpulalla tarkoitetaan sitä, että tuotanto ja tuonti eivät riitä kattamaan Suomen sähkönkulutusta ja tällöin kulutusta joudutaan hetkellisesti rajoittamaan. Suomen sähköverkon tasapainosta ja näin ollen sähköpulatilanteiden hallinnasta vastaa Fingridin kantaverkkokeskus. Jakeluverkkoyhtiöt vastaavat sähköpulassa puolestaan kantaverkkokeskuksen antamien ohjeiden mukaisesta kuormien hallitusta irtikytkennästä.

Sähköpulatilanteen tiedotus on kolmiportainen, joista ensimmäinen on ”sähköpula mahdollinen”. Ensimmäinen porttas tarkoittaa sitä, että Fingrid ei lähitunteina kykene ennusteiden mukaan ylläpitämään mitoittavaa vikaa vastaavaa määrää nopeaa häiriöreserviä. Syynä voi olla esimerkiksi kotimaisen sähköntuotannon ja tuonnin riittämättömyys sähkönkulutuksen ja viennin kattamiseksi, minkä seurauksena Fingrid joutuu tällöin käyttämään tuotannon ja kulutuksen epätasapainon hallitsemiseen nopean häiriöreservin kapasiteettia. Nimettyjen jakeluverkkoyhtiöiden käyttökeskusten tulee valmistautua mahdollisiin jatkotoimenpiteisiin tilanteen kiristyessä kertaamalla tehopulatilanteen toimintamallit. [42]

Toinen porttas ”Sähköpulan riski suuri” aktivoidaan, kun ensimmäisen portaan kuvaama tilanne tapahtuu ennusteiden sijaan reaaliaikaisesti. Ensimmäisen portaan mukaisesti myöskään toinen portaista ei aiheuta välittömiä toimenpiteitä käyttökeskuksen näkökulmasta, mutta silloin valmistaudutaan mahdollisten irtikytkentöjen toteuttamiseen.

Kriittisin porttas on ”Sähköpula”, jolloin sähköntuotanto ja tuonti eivät riitä kattamaan sähkönkulutusta ja vientiä nopea häiriöreservi mukaan lukien, minkä seurauksena sähkönkulutusta joudutaan rajoittamaan. Kantaverkkokeskuksen pyynnöstä suoritetaan irtikytkentöjä pyydetyn tehomäärän osalta vuorotteluperiaatteiden mukaisesti siten, että yksittäisellä asiakkaalla yhtäjaksoisten sähkökatkojen pituus ei ylitä kahta tuntia, eikä irtikytkentöjä kohdisteta yhteiskunnan kannalta kriittisiin toimintoihin. [42] [43]

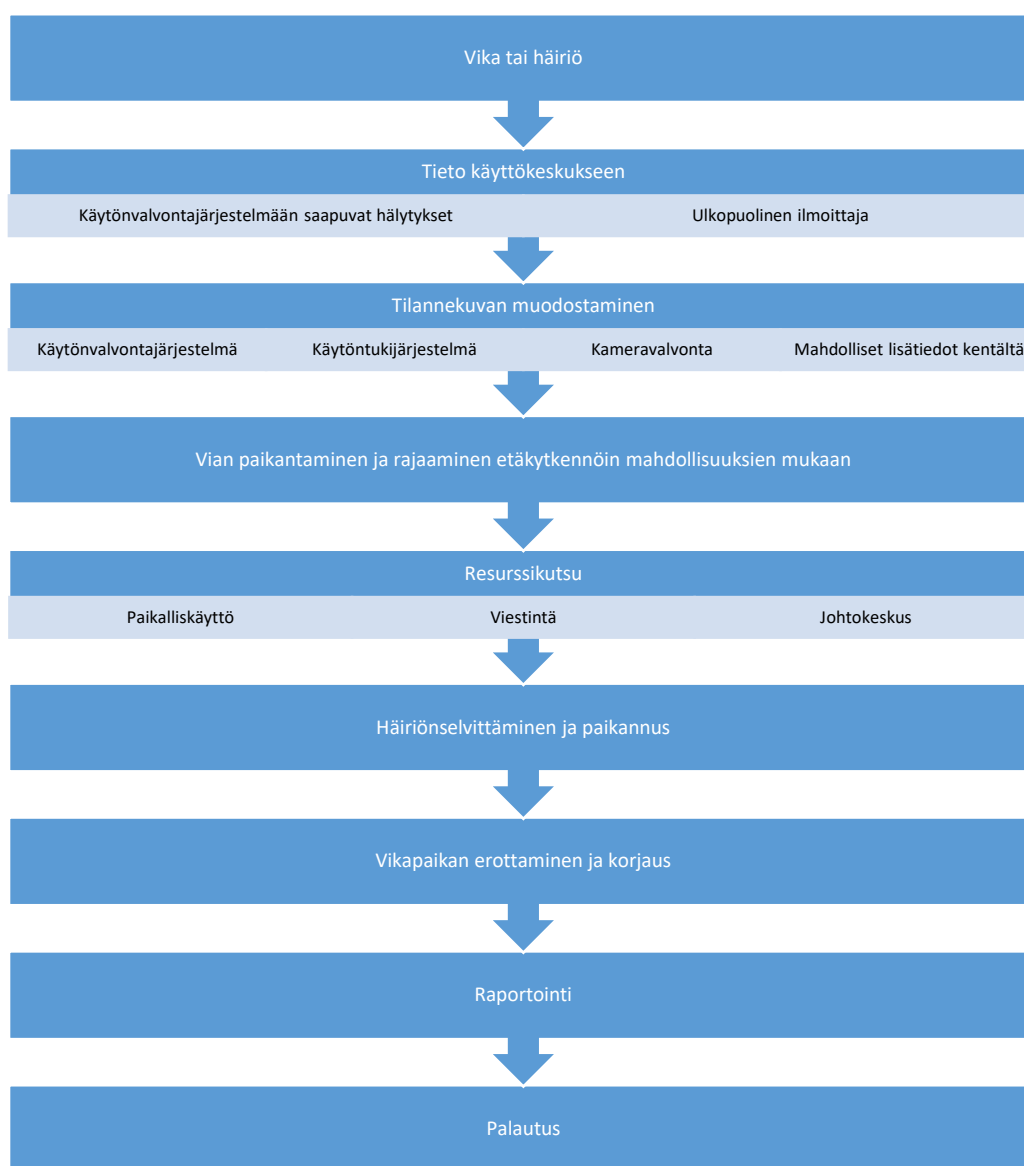
4.3.13 Vakavat häiriöt

Vakaviin häiriöihin voidaan lukea tilanteita, missä verkon käyttövarmuus alenee tai uhkaa alentua merkittävästi. Käytännössä vakaviin häiriöihin voidaan katsoa esimerkiksi seuraavat:

- Useita keskijänniteverkon keskeytyksiä ympäri Helsinkiä
- Laaja sähkönjakelukeskeytyks, jonka palautus kestää yli 12 tuntia ja aiheuttaa näin merkittävää haittaa
- Sähköasematazon keskeytyks, jossa jakelunpalautus viivästyy useita tunteja tai sähkönjakelua ei voida palauttaa kytkennöin
- Sähköaseman tai useiden sähköasemien keskeytyks
- Sähköpulan vaatima säännöstely
- Saarekekäyttötilanne, jossa verkkoalue on jäänyt omaan saarekkeeseensa ja yhteydet kantaverkkoon eivät ole käytettävissä
- Pitkittynyt käytönvalvontajärjestelmän merkittävä vika tai useiden järjestelmien samanaikainen käyttöä kriittisesti haittaava häiriötilanne
- Koko verkkoalueen jännitteettömyys [17]

4.4 Häiriönselvitysperiaatteet ja käyttökeskuksen toimintamallit

Sähköverkon häiriötilanteissa käyttökeskuksen tarkat toimintamallit riippuvat muun muassa vian aiheuttajasta, toimintaympäristöstä, jännitetasosta, verkon kytkentätilanteesta sekä verkostoautomaatioasteesta. Vaikka sähköverkon vikatapausten selvittämisessä on monia muuttujia, niin pääpiirteittäin häiriönselvitysprosessi etenee usein kuitenkin havainnosta palautukseen saman kaavan mukaisesti. Yleinen häiriönselvityksen kulku on esitetty seuraavassa kuvassa 18. Kuva pätee suurimpaan osaan oman sähköverkkoalueen häiriötilanteista, mutta esimerkiksi Suomen sähköverkkoyhtiöiden romahtaessa häiriönselvittäminen on huomattavasti laajempi kokonaisuus eri toimijoiden välillä. Näin ollen tilanteen selvittäminenkin poikkeaa jakeluverkon käyttökeskuksen osalta alla esitetyn kuvan mukaisesta toimintamallista.



Kuva 18 Häiriönselvitysprosessin periaatekaavio

4.4.1 110 kV siirtojohtojen ja kiskostojen viat

Suurjännitteisen jakeluverkon vikoja on Helsingin alueen verkossa vain 0 – 5 kappaletta vuosittain. Silmukoidun verkkorakenteen ansiosta siirtojohtoviat eivät aiheuta normaalisti asiakaskeskeytyksiä, mutta esimerkiksi oikosuluista aiheutuvat suurehkot jännitekuopat näkyvät koko verkon alueella.

Suurjännitteisen jakeluverkon vian tunnistaa käytönvalvontajärjestelmään tulevien hälytysten perusteella. Häiriön alkaessa relehavahtumia saadaan lähes poikkeuksetta useilta sähköasemilta johtuen verkon rengaskäytöstä sekä suurista vikavirroista. Mikäli relehavahtumien lisäksi ei saada katkaisijoiden laukaisutietoja, on kyseessä todennäköisesti naapuriverkkoyhtiöiden alueella tapahtunut 110 kV:n häiriö. Käytönvalvontajärjestelmään saatavien indikointien lisäksi siirtojohtojen ja kiskostojen vioissa on aina käytävä paikallisesti varmistamassa tilanne. Vian paikannuksessa auttaa usein oiko- tai maasulkuvikojen yhteydessä sähköasemilta saatava vikapaikan etäisyystieto. [37]

Taulukko 2 110 kV suojaus [39]

Avojohdot	<ul style="list-style-type: none"> • 1. pääsuojana differentiaalirele, suuntavertosuoja tai vertosuoja • 2. pääsuojana distanssirele apuyhteystydennyksellä • Maasulun suuntareleet suuriresistanssisia maasulkuja varten • Varasuojauksina naapuriasemien distanssireleiden vyöhykkeet 2. ja 3. 0,4 ja 0,8 s viiveillä
Kaapelit	<ul style="list-style-type: none"> • 1. pääsuojana differentiaalirele • 2. pääsuojana distanssirele apuyhteystydennyksellä • Osalla kaapeliverkkoa maasulun suuntavertoreleistys
Kiskosto	<ul style="list-style-type: none"> • Kiskosuojat • Varasuojana naapuriasemien distanssireleiden 2. vyöhykkeet, sekä hälyttävät nollajännitereleet (voimalaitoslähdöllä laukaisevat)

Käytönvalvontajärjestelmässä ylläpidetään ajantasaista tietoa suurjännitteisen jakeluverkon läheisyydessä toimivista työmaista. Avojohton lauetessa työmaatietojen pohjalta varmistetaan, ettei kyseisen johdon läheisyydessä työskennellä. Avojohton laukeaminen on usein ukkosen aikainen ohimenevä salaman aiheuttama vika. Mikäli lauennut johto ei ole työmaiden läheisyydessä voidaan akuutin tarpeen vaatiessa kokeilla johdon jännitteiseksi kytkentää käyttökeskuksen toimesta. HSV:n verkossa ei käytetä automaattisia pika- tai aikajälleenkytkentöjä, sillä 110 kV:n verkon vahvan silmukoidun rakenteen ansiosta tarvetta nopeisiin kytkentöihin ei juuri tule. Avojohton partiointi suoritetaan aina huolimatta siitä, onko johtoväli otettu käyttöön välittömästi vai toteutetaanko käyttöönotto vasta partioinnin jälkeen.

Kaapelivälin vikaantuessa kyseessä on lähes varmasti pysyvä vaurio, jolloin kokeilukytkentöjä ei suoriteta. Kaapeliväli maadoitetaan ja vika paikannetaan korjaustoimenpiteitä varten. Vian paikannus- ja korjaustoimenpiteet suoritetaan tilanteen kiireellisyyden mukaisesti. Jos kaapelivika ei aiheuta jakelukeskeytyksiä tai 110 kV:n verkon ylikuormitustilanteita, voidaan jatkoselvitykset jättää usein päivystysaikojen ulkopuolelle.

Useampien sähköasemalähtöjen lauetessa kyseessä on 110 kV kiskovika tai laajempi häiriö. Kiskovioissa käytönvalvontajärjestelmään tulee laukaisuhälytykset kiskosuojalta ja useiden eri vasta-asemien suojareileiltä. Laukaisuhälytysten lisäksi relehavahtumia saadaan useilta eri sähköasemilta ja kaikilta laukaistavilta katkaisijoilta tulee myös avautuneiden katkaisijoiden tapahtumatiedot. Kiskosuoja erottaa toimiessaan vikaantuneen kiskonosan tai koko kiskon avaamalla kaikki kiskoon liittyvät katkaisijat, sekä näiden vasta-asemien katkaisijat. Näin aiheutuva jakelukeskeytys koskettaa kaikkia kyseisen kiskon syötön piirissä olevia asiakkaita. Tällöin vikapaikka rajataan mahdollisin erotuskytkennöin paikallisten havaintojen mukaisesti ja vian korjaus aloitetaan välittömästi. Yksikiskoisen kojeiston osalta vikaantunut kiskonosa ei ole korvattavissa ja vikaantuneeseen kiskoon liitetyn päämuuntajan kuormat on siirrettävä aseman toiselle päämuuntajalle tai vasta-asemien syöttämäksi keskijänniteverkon puolelta. Kaksikiskoisen kojeiston kiskovioissa vikaantunut kiskonosa voidaan korvata toisella kiskoerottimilla tehtävin kytkennöin. Kiskosuoja vastaavalla tavalla toimii myös katkaisijavikasuoja, joka laukaisee vikaantuneeseen katkaisijaan liittyvän kiskon jännitteettömäksi.

4.4.2 Sähköasemaviat

Sähköasemien mahdollisia vikapaikkoja ovat 110 kV kojeistot, päämuuntajat, muuntajakaapelit sekä keskijännitekojeistojen kiskostot ja päätteet. Sähköasemavikoja on ollut Helsingissä vuosittain keskimäärin 3 kappaletta, joten viat ovat verrattain harvinaisia. Sähköasemavikojen kohdalla vian selvittäminen ja jännitteiden palauttaminen on usein tehokasta muun muassa selkeiden vikaindikoitien ja sähköasemakojeistojen kaukokäytettävyyden ansiosta. Osa sähköasemavioista aiheutuneista jakelukeskeytyksistä on onnistuttu palauttamaan jo ensimmäisen minuutin aikana käyttökeskusoperaattorin suorittamalla nopeilla toimenpiteillä. [40] Selkeidenkin sähköasemavikojen kohdalla suoritetaan aina tarkastus ja vian tarkempi analysointi paikallisesti, vaikka kameravalvonnan avulla voitaisiinkin arvioida ulkoisia vian aiheuttamia vahinkoja suoraan käyttökeskuksesta.

Päämuuntajan laukeamisen voi aiheuttaa vika muuntajakaapeleissa, muuntajassa tai keskijännitekojeistossa. Päämuuntajalähtö laukeaa jännitteettömäksi tarvittaessa myös varasuojastoimintona keskijännitelähdön vikojen yhteydessä tai mahdollisten relevikojen seurauksena.

Taulukko 3 Päämuuntajan ja keskijännitekiskoston suojaus [39]

Päämuuntaja	<ul style="list-style-type: none"> • Pääsuojana differentiaalirele ja varasuojana ylivirtarele kahdella portaalla. Myös vasta-asemien distanssireleet ulottuvat 110 kV haaraan.
Kj-kiskosto	<ul style="list-style-type: none"> • Pääsuojana oikosuluille keskijännitesyöttökennon momenttiporras, valokaarisuojat ja varasuojana ylivirtareleiden hidastetut portaat syöttöketjuissa. • Maasuluissa toimii ainoastaan kiskomaasulkuhälytys

Käytönvalvontajärjestelmän hälytyslistojen tulkinnalla voidaan tehdä usein välittömästi vian alustava paikannus käyttökeskuksen toimesta. Muuntajadifferentiaalireleen tai 110 kV muuntajan ylivirtasuojan toimiessa vika on todennäköisesti muuntajan liityntäkaapelissa tai liittymäkohdissa muuntajan kannen navoissa. Muuntajan primäärisuojien toimiessa vika on yleisimmin päämuuntajan sisäinen tai jäähdytyslaitteiston vika. Edellä mainituissa tilanteissa suojaus laukaisee muuntajan ylä- ja alajännitepuolen katkaisijat. Eriteltäviä hälytyksiä ovat myös muun muassa keskijännitekojeistojen valokaarisuojat, kiskosuojan toimiminen sekä hälyttävä kiskomaasulku. Mikäli suojaustoimintojen yhteydessä asemalta saadaan myös palohälytys, on paikalle hälytettävä aina myös palokunta yhdessä sähköasema-asiantuntijan kanssa.

Edellä mainitut hälytykset yhdessä kameravalvonnan kanssa auttavat tilannekuvan välittömässä hahmottamisessa. Kameravalvonnan avulla voidaan havaita esimerkiksi päämuuntajatilaa tai keskijännitekojeistojen läheisyydessä oleva savu ja näin ohjata sähköasemapäivystäjiä vian alkulähteille. Kameratallenteista voidaan mahdollisesti myös vahvistaa vian aiheuttaja, jos esimerkiksi eläin olisi aiheuttanut kiskojen välisen oikosulun.

Päämuuntajan lauettessa uudelleen käyttöönottoa ei voida kokeilla, jos vikaa ei saada varmuudella rajattua muuntajan tai muuntajahaaran kaapeleiden ulkopuolelle. Epämääräisen muuntajakatkaisijan avautumisen yhteydessä on syytä punnita mahdollisuus muuntajan korvaamiselle lisäselvitysten ajaksi ennen käyttöönottoa. Lähes kaikki Helsingin sähköasemat on varustettu kahdella päämuuntajalla, joten muuntajan vikaantuessa tai muuntajahaaran vikaa epäiltäessä voidaan aseman kuormat usein siirtää yhä käytössä olevan muuntajan perään. Päämuuntajaa voidaan käyttää tarvittaessa lyhytaikaisesti 150 % ylikuormassa, mikä antaa lisäaikaa kuormien siirtämiselle vasta-asemien syötön piiriin.

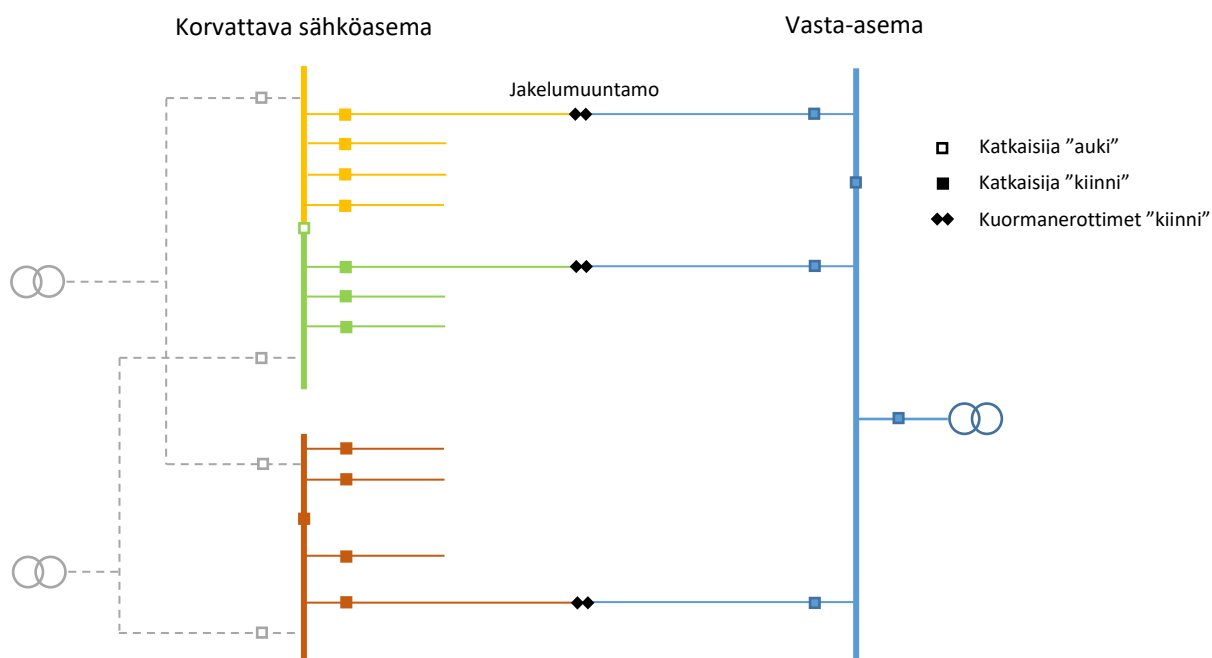
Vian ollessa keskijännitekojeiston kiskostossa tulee hälytys syöttökennon ylivirtasuojan momenttiportaan $I >>$ tai valokaarisuojauksen toiminnasta. Kiskon maasulkuilanteissa hälyttävä maasulku tieto saadaan kiskon maasulkusuojalta, jolloin vikaantunut kiskon osa on erotettava verkosta käyttökeskuksen toimesta. Vikaantunutta kiskon osaa ei voida ottaa käyttöön ennen vian aiheuttajan selvittämistä ja tarkan vikapaikan hakemista. Helsingin sähköasemat on varustettu kahdella keskijännitekiskolla, joten vikaantuneen kiskon kuormat voidaan siirtää ehjälle kiskolle vaunukatkaisijoita paikallisesti siirtäen (duplex) tai suoraan kaukokäyttökytkennöin (kaksoiskiskoinen kojeisto) riippuen aseman kojeistorakenteesta. Tämän jälkeen myös vikaantunutta kiskoa syöttänyt päämuuntaja voidaan ottaa tarvittaessa käyttöön jakamalla ehjä kisko ryhmäkäytölle.

Kiskosuojan laukaisun voi aiheuttaa kiskovika, keskijännitelähdön ylivirtasuojan toimimattomuus oikosulkuvian yhteydessä, sekä keskijännitelähdön kaapelipäätemaasulku. Kaapelipäätemaasulku tulkitaan kiskoviaksi, ellei asemalla ole uudempien kennoyksiköiden sisältämää keskijännitelähtökohtaista kaapelipäätemaasulkusuojausta. Kiskosuoja laukaisee toimiessaan syöttävän päämuuntajan katkaisijat sekä kaikkien tämän kiskon keskijännitelähtöjen katkaisijat. Jos vikaa ei paikallisteta itse kiskostoon, niin vikaantunut lähtö on paikannettava kokeilukytkennöin. Kokeilukytkennöissä edetään laittamalla kiskoon jännitteet päämuuntajalähdön katkaisijat sulkemalla ja kokeilemalla keskijännitelähtöjä yksi kerrallaan jännitteiseksi. Kiskosuojan uudelleen laukaistessa vikaantunut lähtö on löytenyt. [37]

Sähköaseman korvaaminen

Sähköaseman korvaamisella tarkoitetaan tilannetta, missä aseman kuormat siirretään poikkeuksellisesti vasta-asemien syötön piiriin keskijänniteverkon kautta. Korvaustilanteeseen voidaan päätyä muun muassa päämuuntajan huoltokeskeytyksen aikana tapahtuvan toisen käytössä olevan päämuuntajan vioittuessa, jolloin sähköaseman kumpikaan päämuuntajista ei ole käytettävissä. Näitä tilanteita varten HSV:ssä tehdään poikkeuksetta sähköasemakohtaiset korvaussuunnitelmat jokaista puolta sähköasemaa koskettavaa keskeytystä tai pitkäkestoista päämuuntajakeskeytystä kohden. Korvaussuunnitelmissa käsitellään kuormien siirtämiseen vaadittavat toimenpiteet yksityiskohtaisesti kytkentävaiheittain. Suunnitelmat sisältävät vaiheittaisen ehdotetun kytkentäjärjestyksen lisäksi yksinkertaistetun kytkentäkaavion, mistä nähdään verkkoalue ja kytkentätoimenpiteisiin liittyvät kohteet. Kaavioon on myös merkattu suunnitteluhetkessä lasketut korvaustilanteen aikaiset vasta-asemien päämuuntajien ja sähköasemalähtöjen kuormitusvirrat.

Käyttökeskusoperaattori hoitaa sähköaseman korvaamisen liittyvät etäohjaukset sekä johtaa mahdolliset paikalliskytkentöjä vaativat kytkentätoimenpiteet korvaussuunnitelmaa apuna käyttäen. Osa sähköasemalähtöjen kuormista siirretään suoraan vasta-asemien syöttämiksi, mutta myös korvattavan aseman kiskoja voidaan usein hyödyntää. Tällä tarkoitetaan tilannetta, missä vasta-aseman kautta syötetään korvattavan sähköaseman kiskostoa, johon osa korvattavista kuormista on liitetty. Kiskoja käyttämällä voidaan vähentää jakelumuuntamoilla tehtävien kytkentöjen määrää, jolloin korvauskytkentöjen suorittaminen nopeutuu ja yksinkertaistuu huomattavasti. Korvauskytkentöjä tehdessä sähköasemalähtöjen ja päämuuntajien kuormitusvirtoja on tarkkailtava mahdollisten ylikuormitustilanteiden varalta, joihin helposti päädytään muun muassa kaapeleiden kuormitettavuuden osalta kiskostojen kautta kuormia syötettäessä. Alla esimerkkikytkentäkaavio sähköaseman korvaustilanteesta.



Kuva 19 Esimerkki kaavio sähköaseman korvauskytkennän tilasta

Kompensointikuristimen tai reaktorin viat

20 kV maasulkuvirran kompensointikuristin voidaan irtikytkeä muuntajan tähtipisteen erottimella kuristimen vikaantuessa. Tällöin verkon maadoitustapa vaihtuu kompensoidusta maasta erotetuksi ja johtolähtöjen suojausalueiden maasulkutoiminto muuttuu automaattisesti hälyttävästä laukaisevaksi. Maasulkusuojauksen toimintaperiaatteen muutos alentaa sähkönjakelun toimitusvarmuutta mahdollisten maasulkuvikojen varalta, mutta verkon käyttöä voidaan yhä jatkaa normaalisti. Tähtipistemaadoituksen erotinta ei saa kuitenkaan avata verkon maasulkutilanteen aikana, sillä vikavirtojen erottaminen ylittäisi mahdollisesti erottimen virtakestoisuuden. [44]

110 kV loistehon kompensointireaktorin vikatilanteissa reaktori voidaan irtikytkeä verkosta avaamalla reaktorin katkaisija, elleivät lähdön suojausalueet ole jo laukaisua toteuttaneet. Helsingin sähköverkon sähkönjakelu ei häiriinny reaktorin poistuessa verkosta, mutta irtikytkennän seurauksena reaktorin kuluttaman induktiivisen loistehon kompensointivaikutus häviää ja näin kapasitiivisen loistehon määrä verkossa kasvaa. Loistehon tuotannon ylittäessä Fingridin määrittämän rajan joudutaan loistehomaksuja maksamaan kantaverkkoon syötetyn loistehon mukaisesti, ellei tilanne lukeudu seuraavaan: ” Voimalaitosten tai verkon poikkeuksellisissa ja lyhytaikaisissa erikoistilanteissa, erikseen sovittaessa, loissähköä voidaan tilapäisesti toimittaa tai vastaanottaa enemmän kuin sopimuksessa on mainittu ilman loissähköikkunan ylityksistä perittäviä maksuja, jos siihen on painavia perusteita ja verkon tai voimalaitoksen käyttötilanne sen sallii, eikä erikoistilanteesta aiheudu kantaverkossa oleellista haittaa tai merkittäviä kustannuksia.” [45]

4.4.3 Keskijänniteverkon viat

Taulukko 4 Keskijännitelähdön suojaus [39]

<p>Kj- lähtö</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pääsuojana lähdön ylivirtarele ja maasulkurele • Varasuojana syöttökennon ylivirtarele ja kiskon nollajännitereleet
-----------------------------	--

Oikosulku

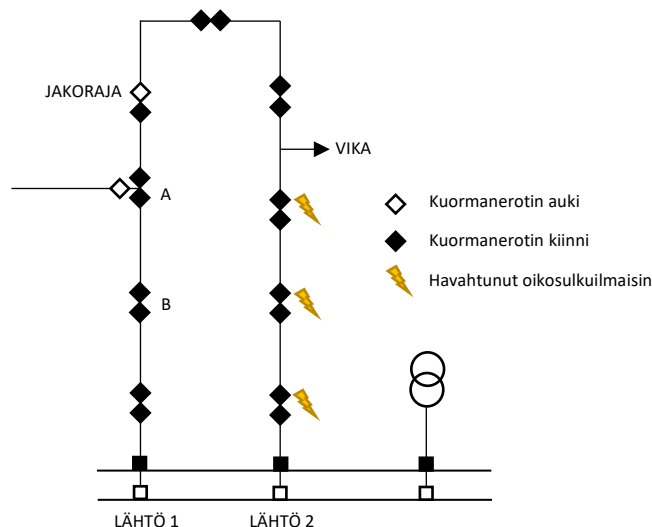
Oikosulku aiheuttaa aina jakelukeskeytyksen vikaa syöttävän keskijännitelähdön katkaisijan laukeamisen seurauksena. Korkean kaapelointiasteen vuoksi Helsingin alueella ei käytetä pikajälleenkytkentöjä tai maasulun paikannuksessa käytettäviä kokeilukytkentöjä, sillä oikosulku kaapeliverkossa on lähes aina pysyvä ja ylimääräiset vikaa vasten kytkennät aiheuttaisivat turhien jännitekuoppien lisäksi mahdollisia lisätuhoja sekä turvallisuusriskejä vikapaikassa. Keskijänniteverkon oikosulku tapahtuu usein keskijännitekaapelissa, kaapelijatkossa tai päätteissä.

Oikosulkuutilanteessa käytönvalvontajärjestelmään tulee ylivirtahavahtumat päämuuntajakennon releiltä, mahdollisesti ryhmäkatkaisijan releeltä sekä vikaa syöttävän keskijännitelähdön releeltä. Lisäksi keskijännitelähdön katkaisijan laukaisutieto sekä mahdollisten muuntamoautomaatiokohteiden oikosulkuindikaattoreiden havahtumat saadaan järjestelmään erillisinä hälytyksinä. Oikosulkuvikapaikan tarkka etäisyystieto saadaan sähköaseman toisiojärjestelmästä riippuen joko päämuuntajakennon releeltä tai keskijännitelähtökohtaisesti. Etäisyystietoa voidaan hyödyntää yhä käytöntukijärjestelmässä, jossa todennäköinen vikapaikka saadaan karttapohjalle näkyviin ja paikallinen vianselvitys voidaan ohjata suoraan oikealle suunnalle.

Kaukokäytön avulla saatavien tietojen lisäksi oikosulkuvian paikannusta helpottavat käyttökeskukseen saatavat mahdolliset ilmoitukset vikapaikoilta sekä jokaisesta jakelumuuntamon keskijännitekojeistosta löytyvät paikallisuettavat oikosulkuindikaattorit. Vian analysointi tapahtuu käyttökeskusoperaattorin toimesta. Indikointien perusteella ja muuntamoautomaatiokohteiden kauko-ohjattavuuden avulla alustavat vikapaikan rajaukset voidaan suorittaa usein välittömästi.

Vikapaikan löydyttyä vikaantunut kaapeliväli erotetaan verkosta kauko- tai paikalliskytkennöin ja verkon terveisiin osiin palautetaan jännite. Vikaväli maadoitetaan oikosulkukestoisesti molemmista suunnista jatkotutkimuksia ja vikapaikan korjausta varten.

Kuvassa 20 on esitetty oikosulkuilmaisimien toimintaa oikosulkutilanteessa. Kuvasta nähdään, että indikoinnit ovat toimineet vain vikaa syöttävän sähköasemalähdön puolella oikosulkuvirran mennessä kojeistojen läpi. [37]



Kuva 20 Keskijänniteverkon oikosulkuindikoinnit [24]

Maasulku

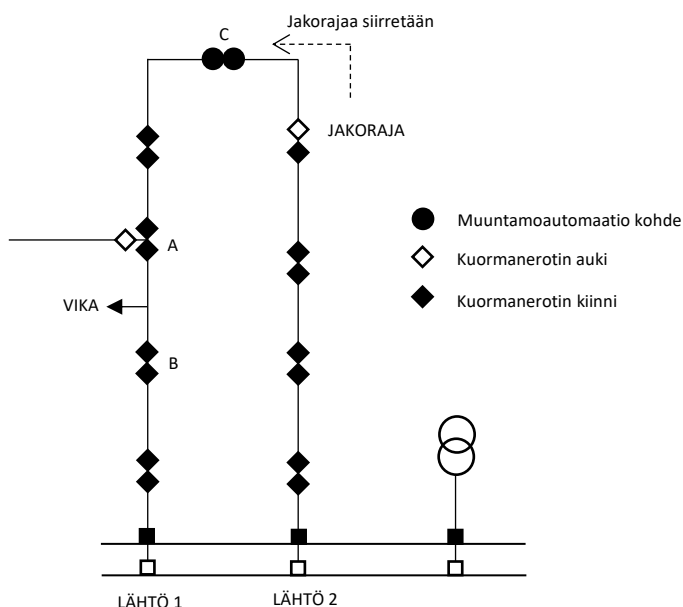
Maasulkutilanteen häiriönselvityspeeriaatteet muuttuvat verkon rakenteen ja maadoitustavan mukaisesti. Helsingin keskijänniteverkkoa voidaan pääosin käyttää maasulussa, eli maasulusta ei itsessään aiheudu välitöntä jakelukeskeytystä. Maasulussa käytettävän verkon kohdalla on kuitenkin huomioitava maasulkuvirtojen ja maadoitusjännitteiden pysyminen standardin SFS 6001 vaadituissa rajoissa. [46] Mikäli tarkkaa maasulkupaikkaa ei löydetä kahden tunnin kuluessa ja voidaan näin todeta vaarattomaksi, on maasulku erotettava verkosta käyttökeskuksen toimesta.

Maasulkupaikka voidaan hakea ilman jakelukeskeytyksiä rengasverkkoa hyödyntäen, mikäli suojaus ei ole laukaiseva ja vikaantuneen johtolähdön vastinpari sijaitsee saman päämuuntajan syötön piirissä. Vikavälin paikantaminen tehdään jakorajaa siirtäen. Laukaisevalla maasulkusuojauksella varustettujen lähtöjen osalta menetellään kokeilukytkennöin, jotka näkyvät lyhytaikaisina keskeytyksinä asiakkaiden sähkönsyötössä. Myös maasulussa käytettävän verkon alueelle tulee lyhytaikaisia keskeytyksiä, mikäli rengasverkon rakennetta ei voida hyödyntää vikapaikan haussa ja maasulun vikapaikka ei sijaitse johtolähdön viimeisessä haarassa.

Maasulun alkaessa käytönvalvontajärjestelmään saadaan maasulkuhavahtumat vikaa syöttävältä kiskolta, mahdollisesti ryhmäkatkaisijalta, vikaa syöttävän sähköaseman keskijännitelähdöltä sekä mahdollisilta muuntamoautomaatiokohteilta, joiden läpi maasulkuvirta kulkee. Mikäli suojaus on ollut laukaiseva, niin asemalta saadaan myös maasulkusuojan laukaisuhälytys sekä tieto vikaantuneen lähdön katkaisijan avautumisesta. Ohimenevä kaapeliverkon maasulku on usein seurausta asiakkaan sisäisessä verkossa tapahtuneesta maasulusta, minkä asiakkaan oma suojaus on erottanut jakeluverkosta onnistuneesti. Ohimeneviä maasulkuhavahtumia voivat aiheuttaa myös muun muassa vialliset öljykaapelit ja kaapelijatkot sekä pieneläimet jakelumuuntamoiden jännitteisten osien läheisyydessä. [37]

Maasulkuvian haku maasta erotetussa 20 kV verkossa

20 kV:n verkko voi olla maasta erotetussa tilassa silloin, kun kompensointi ei ole jostain syystä käytössä. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi silloin, kun normaalisti kahden päämuuntajan syöttämän aseman kuormat on siirretty vain toisen päämuuntajan syöttämiksi eikä yksittäisen muuntajan kompensointikelan mitoitusarvot riitä kattamaan laajentunutta verkkoa tai muuntajan tähtipisteen kuormitettavuus ylittyisi. Kun maasulkuvirran kompensointi ei ole käytössä 20 kV:n verkossa, muuttuu maasulkusuojaus automaattisesti laukaisevaksi suurien maasulkuvirtojen vuoksi. Kuvassa 21 havainnollistetaan maasulun paikannusta vastaavassa tilanteessa olettaen, ettei mahdollinen vian aiheuttaja ilmoita vikapaikan sijaintia käyttökeskukseen. [37]



Kuva 21 Maasulkuvian haku 20 kV:n maasta erotetussa verkossa

Esimerkki vikavälin paikantamisesta 20 kV maasta erotetun verkon maasulussa (kuva 21):

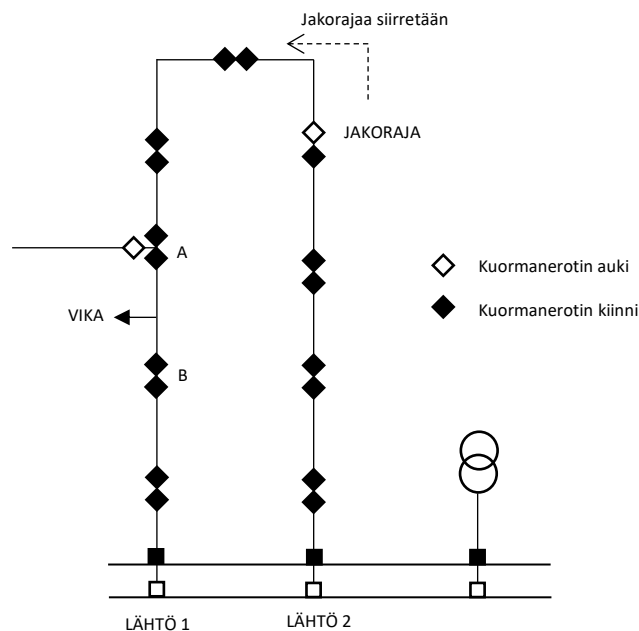
Lähtö 1 avautuu maasulusta ja sähköasemapäädyn havahtumien lisäksi muuntamoautomaatiokohde C ei indikoi läpikulkevasta maasulkuvirrasta.

1. Jonon viimeinen erotinväli tiedetään ehjäksi muuntamoautomaation indikoinnin perusteella.
2. Katsotaan paikalliskytkijöiden mennessä kohteeseen mahdollisesti potentiaalisia vikapaikkoja lähdön kulkureitiltä kuten vanhoja pitkiä kaapelijatkoilla paikattuja kaapelivetoja. Mikäli tällaisia ei löydy, niin edetään niin sanottua puolittamismenetelmää hyödyntäen.
3. Aloitetaan vikavälin haarukointi puolittamalla lähtö 1 avaamalla muuntamon A erotin suuntaan B.
4. Kytetään lähdön 1 katkaisija kiinni. Tässä tapauksessa katkaisija avautuu maasulkusuojausten toiminnan seurauksena, jolloin vian tiedetään jäävän lähdön 1 puolelle. Näitä asiakkaille näkyviä kokeilukytkennöistä aiheutuvia lyhyitä katkoja kutsutaan "vilkuiksi".
5. Suljetaan edellä avattu erotin ja jatketaan lähdön 1 puolittamista avaamalla muuntamon B erotin suuntaan A.
6. Suljetaan katkaisija, joka pysyy nyt kiinni. Vikaväli on nyt paikallistettu välille A - B.
7. Vikavälin selvittyä se voidaan erottaa ja maadoittaa tarkempia vikapaikan selvityksiä varten. Sähköt voidaan palauttaa verkon terveisiin osiin sulkemalla normaalin jakorajapaikan erotin.

Maasulkuvian haku 20 kV:n kompensoidussa ja 10 kV:n verkossa [37]

Maasulussa käytettävä keskijänniteverkko mahdollistaa tietyin ehdoin maasulkuvikapaikan eristämisen ilman jakelukeskeytyksiä. Kuvassa 22 on esimerkki vikapaikan hausta ilman jakelukeskeytyksiä. Vian selvitys tällä periaatteella vaatii vikaantuneen lähdon vastinpariksi saman päämuuntajan syötön piirissä olevan sähköasemalähdon, sillä kahden päämuuntajan verkkoalueiden yhdistyessä kompensoinnit eivät toimisi oikein ja 10 kV:n kompensoimattoman verkon vikavirrat kasvaisivat suuremmiksi. Lisäksi jakelumuuntamoiden ja kytkemöiden kytkinkojeistojen kuormanerotimella erotettava maasulkuvirta ei saa ylittää 60 A mitoitusarvoa. 60 A:n virtaraja tulee joidenkin vanhempien kojeistomallien virran erotuskestoisuudesta, mikä uudemmilla kojeistoilla on jo huomattavasti suurempi. Maasulkuvirrat eivät kasva merkittävän suuriksi kompensoidussa verkossa, mutta 10 kV:n verkon kohdalla maasulkuvirtojen suuruus tulee huomioida kytkentöjen yhteydessä. Selkeyden vuoksi toistaiseksi on pysytty vanhempien kuormanerottimien 60 A:n mitoitusarvossa, mutta tuomalla tarkemmat kojeistokohtaiset arvot käytöntukijärjestelmään voitaisiin tarvittavia kytkentöjä toteuttaa tapauskohtaisemmin.

Käytönvalvontajärjestelmään tulevat hälytykset ovat katkaisijan laukaisutietoa lukuun ottamatta samat kuin maasta erotetun 20 kV:n verkon kohdalla. Lisäksi kompensoidussa verkossa ja 10 kV:n verkossa on katkeilevan maasulun havaitseva suojaus. Tällöin katkeilevassa maasulussa käytetään kompensointikelan rinnalla olevaa vastusta kasvattamaan maasulkuvirtaa tavoitteena maasulkuvian muuttuminen pysyväksi. Tämä voidaan tehdä automaatiolla tai manuaalisesti käyttökeskusoperaattorin toteuttamana.



Kuva 22 Maasulkuvian haku 10 kV:n verkossa ja 20 kV:n kompensoidussa verkossa

Esimerkki vikavälin paikantamisesta hälyttävässä maasulussa (kuva 22):

Lähtö 1 hälyttää maasulusta, eivätkä alueen muuntamot ole etävalvottavissa.

1. Lähtö 1 ja 2 voidaan laittaa renkaaseen, sillä molemmat ovat saman päämuuntajan piirissä. Kun jakoraja suljetaan, niin myös lähtö 2 maasulkusuojaus havahtuu.
2. Mikäli jakorajan siirto ei onnistu viipymättä, eli kytkijän täytyy siirtyä muuntamolta tai kytkemöltä toiselle, niin otetaan toinen asemalähdön katkaisijoista auki siirtymän ajaksi. Mikäli lähdöt jäisivät renkaaseen ja vika laajenisi oikosuluksi, kaikki vikaindikaattorit havahtuisivat vikavirran kulkiessa muuntamoiden läpi ja näin vikapaikan paikannus vaikeutuisi.
3. Kun kytkijä ovat valmiina uudella jakorajapaikalla, kytketään lähdöt renkaaseen sulkemalla edellä avattu katkaisija ja avataan muuntamon A kuormanerotin suuntaan B. Maasulkuhavahtuma poistuu lähdöltä 2 ja jää päälle lähdölle 1, joten vian tiedetään jäävän lähdön 1 puolelle.
4. Kytketään lähdöt jälleen renkaaseen sulkemalla jakoraja ja jatketaan haarukointia siirtymällä seuraavaan muuntamoon B. Avataan taas siirtymän ajaksi toisen lähdön katkaisija.
5. Kytkijän ollessa valmiina uudella jakorajapaikalla laitetaan lähdöt jälleen renkaaseen sulkemalla edellä avattu katkaisija ja avataan kuormanerotin muuntamosta B suuntaan A. Lähdön 1 maasulkuhälytys poistuu ja lähdön 2 havahtuma jää päälle. Vikaväli on siis löydetty ja se voidaan erottaa verkosta ja maadoittaa tarkempaa paikannusta ja viankorjausta varten. Kuormanerottimella erotettava maasulkuvirta ei saa ylittää 60 A:n rajaa, ellei varmasti tiedetä kojeiston mitoitusarvojen olevan suuremmat.

Edellä kuvattu vikapaikan haku olisi huomattavasti paikalliskytkennöin suorittamista tehokkaampaa, mikäli johtolähdöillä olisi muuntamoautomaatiokohteita. Tällöin vian paikantaminen helpottuisi, kun saataisiin mahdolliset maasulkuindikoinnit muuntamoilta ja voitaisiin suorittaa jakorajan siirtäminen etäohjauksin.

Maasulkuvirran suuruus määräytyy verkon kapasitanssin mukaan, joten tämä voidaan laskea käytöntukijärjestelmän arvoista tai mahdollisesti lukea muuntamoautomaatiokohteiden maasulkuvirtamittauksista. Kun kaksi saman päämuuntajan syöttämää sähköasemalähtöä on kytketty renkaaseen, ei maasulkuvirran raja-arvot ylity Helsingin alueen verkossa virran jakaantuessa kahden lähdön kesken. Ainoastaan 10 kV:n verkossa tehtävä viimeinen maasulun erotuskytkentä kuormanerotuksen kautta on kriittinen koko maasulkuvirran kulkiessa sen kautta. Mikäli maasulkuvirran arvo ylittää kuormanerotuksen mitoitusarvon, on kytkentä suoritettava jännitteettömänä. Tällöin syöttävän sähköasemalähdön katkaisija avataan kuormanerotuksen erottamisen ajaksi, ja tämä näkyy alueella lyhytaikaisena jakelukeskeytyksenä.

Kj-kaapelivikojen korjausajat

Käyttökeskus voi toiminnallaan vaikuttaa vian paikantamiseen, erottamiseen ja mahdollisten korvauskytkentöjen toteuttamiseen, mutta itse vian korjaus on käyttökeskuksesta riippumatonta toimintaa. Joissain tilanteissa kuormien korvauskytkentöjä ei voida verkon puolesta suorittaa, vaan sähköt saadaan palautettua vasta vian korjauksen jälkeen. Korjausaikaan vaikuttaa muun muassa vikapaikan sijainti, urakoitsijan reagointiaika sekä ulkolämpötila. Etenkin kantakaupungin alueella on hyvin hankalia korjauspaikkoja, esimerkiksi kaapeleiden sijaitessa raitiovaunukiskojen ja kaukolämpöputkistojen alla. Näillä alueilla jo vikapaikan tarkan sijainnin määrittäminen on huomattavan haasteellista ympäröivän liikenteen aiheuttaman melun takia, sillä vikaantuneen kaapelin tarkka vikakohta haetaan syöksyttämällä kaapeliin jännitettä syöksyaaltogeneraattorilla ja kuuntelemalla läpilyöntipaikan sijaintia maamikrofonin avulla. Tämän takia kantakaupungin vikapaikat haetaan usein liikenteen hiljentyessä yöaikana.

Ulkolämpötilalla on suuri merkitys vian vaatimaan korjausaikaan. Lämpiminä aikoina maankaivuu on verrattain vaivatonta talven routaiseen maahan nähden. Maan ollessa roudassa se on sulatettava ennen kaivuutöiden aloittamista ja pelkkä maan sulattaminen voi viedä päiviä. Sulatuksen jälkeen mahdollinen asfaltti ja maa-aines on kuorittava pois vikaantuneen kaapelin päältä, ja kaivuukohdan osuessa oikeaan voidaan vaurioituneen kaapelin korjaus käynnistää asentajan toimesta.

SF6-viat

Kaupunkien ja taajamien tiheän asutuksen vuoksi 10 - 400 kV ilmaeristeisistä kojeistoista on siirrytty enenevässä määrin rikkiheksafluoridi (SF6) eristeisiin GIS-kojeistoihin (Gas insulated substations) ja RMU-kojeistoihin (ring main unit). SF6-kaasun jännitelujuus on noin 2,5 kertaa ilmaa parempaa, mikä mahdollistaa kojeistojen pienemmän koon. SF6 on itsessään myrkytön, väritön, hajuton ja palamaton kaasu eikä se ole suoraan terveydelle haitallista. Kojestovian yhteydessä kaasu voi sisältää kuitenkin valokaarien ja osittaispurkausten aiheuttamia myrkyllisiä hajoamistuotteita. [47]

Hajoamistuotteet voidaan tunnistaa epämääräisestä pistävästä hajusta, minkä havaittaessa on poistuttava tilasta välittömästi ja pyydyttävä tarvittavat tuuletustoimenpiteet palo- tai pelastusviranomaisilta. Tuuletuksen jälkeen tilaan voidaan mennä hengityssuojainta, suojahaalaria ja suojakäsineitä käyttäen puhdistamaan kojeistot ja muuntamotila pölymäisistä hajoamistuotteista sähköturvallisuusnäkökohdatkin huomioiden. Siivousjätteet sekä suojavaarusteet toimitetaan suljetussa pussissa ongelmajätelaitokseen, ja iholle mahdollisesti pääsyt pöly pyyhitään pois kankaalla ja iho pestään normaalisti. [37] Myrkyllisten hajoamistuotteiden lisäksi SF6-kaasu on ilmaa raskaampaa, joten suurina määrinä esiintyessään se voi aiheuttaa tukehtumisvaaran syrjäyttämällä hapen esimerkiksi sähköaseman kaapelikellarissa. [47]

Edellä mainitut asiat on syytä muistaa käyttökeskuksessa mahdollisten SF6-kojeistojen vikatilanteiden varalta. SF6-kaasuvuodot vaikuttavat myös verkolla tehtäviin kytkentöihin, sillä kaasuvuotojen yhteydessä kojeiston eristyskyky heikkenee. GIS- ja RMU-kojeistot sisältävät usein kaasunpaineen valvonnan joko paikallisesti kaasunpainemittarin muodossa tai etäyhteyksin varustettuna. Kaasunpaineen laskiessa liian alhaiseksi heikentyneen jännitelujuuden seurauksena kyseisillä kojeistoilla ei voida suorittaa jännitekytkentöjä, vaan vaadittavat kytkennät on tehtävä jännitekatkon kautta.

Jakelumuuntamot

Muuntamoissa potentiaalisia vikakohteita ovat keskijännitekojeistot ja kaapelit, jakelumuuntajat sekä pienjännitekojeistot. Keskijännitekojeiston häiriöt ovat useimmiten kaapelipäätevikoja, mitkä aiheuttavat sähköasemalähdön suojiin havahtumisen ja näin viat havaitaan välittömästi käyttökeskuksessa. Päätevikojen selvitysprosessi kulkee maa- tai oikosulkutilanteiden selvityksiä vastaavasti. Keskijännitekojeistojen SF6-kaasuvuodot ja mahdolliset kytkentöjen yhteydessä tapahtuvat kuormanerotinviat eivät juurikaan aiheuta välittömiä jakelukeskeytyksiä, vaan kyseisten vikojen korjaukset voidaan suorittaa suunnitellusti verkon kytkentätilan salliessa.

Jakelumuuntajan vikaantuminen aiheuttaa usein muuntamon keskijännitepuolen varokekuormanerotinlaukeamisen, mikä erottaa kaikki kolme vaihetta yhdenkin vaiheen sulakkeen toiminnan seurauksena. Sulakesuojaus toimii selektiivisesti sähköaseman reileitä nopeammin, joten käyttökeskukseen ei välttämättä saada havahtumia jakelumuuntajan vikaantumisen jälkeen asiakkaiden vikapuheluista saatavaa tietoa. Poikkeuksena ovat kuitenkin muuntamoautomaatiokohteet, joista vastaavissa tilanteissa saataisiin jännite- ja virtasymmetriaa vahtiva laatupoikkeamasmittausmahälytys mittaussarvojen pudotessa nolliin. [40]

Muuntamoautomaatiokohteiden valvonnasta nähdään myös mahdolliset pienjännitekojeistojen tai kaapelilähtöjen häiriöt, mutta valvomattomista muuntamoista pienjännitepuolen viatkin tulevat käyttökeskuksen tietoon vasta ulkopuolisten vikapuheluiden kautta.

Jakelumuuntajan vikaantuessa sähkökatko koskettaa sen muuntopiirin asiakkaita, mutta pienjänniteverkon rengasmaisen rakenteen ansiosta useimpien muuntopiirien kuormat voidaan siirtää muiden jakelumuuntamoiden syötön piiriin tekemällä tarvittavat paikalliskytkennät pienjänniteverkon jakokaappien jakorajapaikoilla. Muuntamon korvattavuus tarkastellaan aina tapauskohtaisesti käyttökeskuksen toimesta suorittamalla pienjänniteverkon kuormituslaskenta käytöntukijärjestelmän työkaluja apuna käyttäen.

Kuormituslaskenta tehdään suunnittelemalla ja simuloimalla korvauskytkentätilanne verkkokarttaan, jolloin laskentatulokset näyttävät korvaustilanteen aikaisen muuntopiirin kuormitusasteen sekä mahdolliset jännitteenalenemat. Laskenta havainnollistaa myös tarkat kaapelikohtaiset kuormitusasteet, jolloin mahdollisesti kytkennän toteuttamista rajoittavat heikot kohdat voidaan osoittaa verkosta ja suunnitella korvauskytkentä uudelleen. Mikäli muuntamon kuormia ei voida syöttää pienjänniteverkon kautta, jää vaihtoehdoiksi varamuuntajan asentaminen tai varavoimakoneen hyödyntäminen sähköjen palauttamiseksi. HSV:llä on varastossaan muutamia jakelumuntajia vastaavien tilanteiden varalta.

4.4.4 Vakavat häiriöt

Vakavissa häiriöissä ja suurhäiriöissä on usein kyseessä erittäin harvoin tapahtuva tilanne. Käsite on melko laaja, joten yhtä aukotonta yksityiskohtaista toimintalogiikka ei ole mahdollista saavuttaa. Käyttökeskuksen toiminnan jatkuvuuden takaamiseksi Helen Sähköverkolle on laadittu ohjeistus ja käytännöt tiettyjen ennakoitavien vakavien häiriöiden varalle. Tällaisia ovat esimerkiksi tarve käyttökeskustilasta poistumiseen, vakavat järjestelmien käytettävyyshäiriöt tai tehopulatilanteet. Vakavien häiriöiden laajat ja usein pitkäaikaiset vaikutukset pyritään minimoimaan muun muassa johtokeskuksen avulla, mikä perustetaan tehostettua johtamista, tilannekuvan ylläpitoa ja viestintää vaativissa tilanteissa. Johtokeskuksen tarkoitus on koota nopeasti tilanteen seurannassa, johtamisessa ja viestinnässä tarvittavat henkilöt samaan tilaan kokonaisuuden hallinnan ja yhtenäisen ajantasaisen tilannekuvan muodostamiseksi. [17]

Vakavien häiriöiden operatiivista toimintaa hoitaa johtokeskuksesta riippumatta vuorossa oleva käyttökeskusoperaattori, mutta vakavien häiriöiden kohdalla operaattorin täysi keskittyminen menee usein kytkentöihin eikä muulle viestinnälle jäisi aikaa. Todennäköistä on, että suurien häiriöiden kohdalla toimitaan yhteistyössä useiden sidosryhmien kesken ja näin selkeä yhteinen ajantasainen tilannekuva on ensiarvoisen tärkeää. Sähkömarkkinalaki 588/2013 myös velvoittaa verkonhaltijaa tilannekuvan ylläpidossa ja yhteystoiminnassa seuraavasti:

Verkonhaltijan on toimittava häiriötilanteissa häiriöiden poistamiseksi ja niiden vaikutusten rajoittamiseksi yhteistyössä muiden sähköverkonhaltijoiden ja toiminta-alueensa pelastusviranomaisten, poliisin, kuntien viranomaisten ja tieviranomaisten sekä muiden yhdyskuntateknisten verkkojen haltijoiden kanssa. Verkonhaltijan on osallistuttava häiriötilanteissa toiminta-alueeseensa liittyvän tilannekuvan muodostamiseen ja toimitettava tilannekuvan muodostamisesta vastaavalle viranomaiselle sitä varten tarvittavat tiedot. [29]

Johtokeskuksessa ylläpidetäänkin laajempaa tilannekuvaa, päätetään ja toimeenpannaan tilanteen vaatimia toimenpiteitä sekä hoidetaan niin sisäistä että ulkoista viestintää. [48]

Esimerkkinä vakavan häiriön vaikutuksista käyttökeskuksen toimintaan voidaan mainita sähköpulatilanne, jolloin Fingrid antaa tehonrajoituskäskyn HSV:n käyttökeskukselle. Vaaditut tehonrajoitukset toteutetaan tällöin määräysten mukaisesti irtikytkettävien kuormien vuorotteluperiaatteita noudattaen.

4.4.5 Kyberhyökkäykset ja tietoturva

Yksi tehokkaimmista keinoista kyberhyökkäysten ja tietoturvaavaaivoittuvuuksien estämiseksi on ennaltaehkäisy. Suurimmassa osassa jo maailmalla tapahtuneista sähköverkkoihin kohdistuneista kyberhyökkäyksistä on hyödynnetty järjestelmien käyttäjien tietoisesti tai tiedostamatta aiheuttamia aukkoja esimerkiksi kalastelusähköpostien ja saastutettujen USB-tikkujen avulla. [20] Käyttökeskusympäristössä onkin ensiarvoisen tärkeää noudattaa yhtiön voimassa olevia tietoturvaoperaatteita niin käyttäjien kuin järjestelmien ylläpitäjienkin toimesta. Onnistuneen sähköverkkoon kohdistuneen kyberhyökkäyksen toteutuessa käyttökeskusoperaattori voi olla ensimmäinen asian havaitsija, joten oikeanlainen välitön reagointi ja toiminta kyseisiin tilanteisiin on hallittava. Järjestelmien hyökkäyksiä varten on luotu ohjeistus ja toimintaperiaatteet käyttökeskusoperaattoreita varten hyökkäysten aiheuttaman haitan minimoimiseksi.

4.4.6 Palo- ja pelastustoiminta

Mahdollisiin tulipaloihin ja muihin onnettomuustilanteisiin Helen Sähköverkon tiloissa on varauduttu muun muassa sähköverkon yleisellä pelastussuunnitelmalla, kohdekohtaisilla palo- ja pelastussuunnitelmilla sekä harjoituksilla. Mahdollisten vaaratilanteiden ennaltaehkäisy on aina toiminnan lähtökohtana ja näin jokaisella sähköverkolla työskentelevällä tai oleskelevalla on velvollisuus puuttua havaitsemiinsa vaaratekijöihin sekä huolehtia omasta turvallisuudestaan samoin kuin niiden turvallisuudesta, joihin hänen työnsä voi vaikuttaa. Havaitut viat ja puutteet ilmoitetaan käyttökeskukseen ja mikäli puutteista voi aiheutua hengen, terveyden tai omaisuuden vaaraa, on havaitsijan ryhdyttävä välittömiin toimenpiteisiin kyseisen vaaratilanteen poistamiseksi. [49]

Onnettomuustilanteissa paikallaolijoiden on toimittava seuraavasti:

1. Pelasta
2. Varoita
3. Hälytä
 - a. Yleinen hätänumero
 - b. Käyttökeskus
4. Sammuta
5. Rajoita
6. Opasta

Onnettomuuden sattuessa toiminnasta vastaa käyttökeskus, joten heti ilmoituksen saatuaan käyttökeskusoperaattori tulee mukaan onnettomuustilanteen hallintaan. Pelastustoiminnan kulku vaihtelee kohteiden erityispiirteiden, tilanteiden ja olosuhteiden mukaisesti, joten yksityiskohtaista kaiken kattavaa toimintasuunnitelmaa ei voida etukäteen laatia. Käyttökeskukselle on kuitenkin olemassa yleispätevät toimintaohjeet vastaavien tilanteiden varalle. Näiden toimintaohjeiden lisäksi on huomioitava kohdekohtaiset toimintaohjeet esimerkiksi mahdollisten valokaaren aiheuttamien palokaasujen varalta.

Sähkötilojen sammuttamiseen on käytettävä CO₂-sammuttimia. Veden käyttö sähkötiloissa on turvallisuussyistä kielletty ilman HSV:n antamaa erillistä lupaa. Mikäli pelastusviranomaiset ovat oikeissa määrätä sähköaseman sähköt katkaistavaksi, on heille syytä selvittää toimenpiteestä aiheutuvat vaarat ja vaikutuslaajuudet. Sähköaseman jännitteettömäksi kytkeminen ja maadoittaminen on suhteellisen työläs ja aikaa vievä toimenpide, sillä sähköaseman katkaisijoiden ja erottimien avaamisen sekä maadoittamisen lisäksi keskijänniteverkon jakelumuuntamoiden tai kytkemöiden kuormanerotimet on avattava ja maadoitettava. Kuormanerotimien avaaminen aiheuttaa jo kymmeniä verkon päivystäjien paikallisesti suoritettavia kytkentöjä yhden sähköaseman kohdalla. Vaadittavien paikalliskytkentöjen määrä vaihtelee asemakohtaisesti riippuen aseman syöttävän verkon muuntamojeistojen automaatioasteesta. [50]

Yleisesti verkon sähkötilojen palotilanteissa olisi hyvä saada pelastuslaitokselle muistutus siitä, että tiloissa on suurjännitteisiä kojeistoja. Ennen sammutustöiden aloittamista onkin usein järkevää rajata palon leviämistä ja odottaa, että kohde on tehty turvalliseksi verkon haltijan toimesta jatkotoimenpiteitä varten.

4.4.7 Muut toimintaperiaatteet

Edellä lueteltujen häiriötilanteiden ja akuuttien palo- ja pelastustilanteiden lisäksi käyttökeskuksen toiminta sisältää lukuisia muitakin erikseen muistettavia ja hallittavia verkon käyttöön liittyviä erityispiirteitä. Yksi hyvin tärkeä lähes kaikkia tilanteita yhdistävä tekijä on käyttökeskukseen saatavien hälytysten oikea tulkinta ja kriittisyysluokittelu. Käytönvalvontajärjestelmään saapuvien hälytysten perusteella voidaan usein tulkita suoraan tiettyjä asioita, joista jo aiemmissa toimintaperiaatekappaleissa mainittiin.

Käyttökeskukselle on olemassa yksityiskohtaiset ohjeet esimerkiksi siirto- ja jakeluverkon eri kohteiden suoja-alueiden kriittisyydestä sisältäen toimintaohjeita korjaustoimenpiteiden käynnistämisestä sekä mahdollisista muista käytännöllisistä toimenpiteistä suoja-alueen vikatapauksissa. Usein suoja-alueiden korjauksen kiireellisyysluokat voidaan kiertää silmukkarakenteisen verkon ansiosta esimerkiksi ottamalla vikaantuneen releen suojaama sähköasemalähtö pois käytöstä vian korjaukseen odottamaan, jolloin kiireellisimmätkin korjaukset voidaan siirtää työaikana tehtäväksi. Korjaustoimenpiteistä käytetään kolmea ohjeellista kiireellisyysluokkaa:

- Välittömästi eli normaalin työntekijän ulkopuolellakin

Korjaukset aloitetaan välittömästi, ellei vikaantuneen suoja-alueen kattamaa aluetta saada irtikytkettyä

- Välittömästi normaalin työntekijän työaikana

Korjauksia ei tehdä päivystysaikana vaan viimeistään seuraavana työpäivänä, ellei vikaantuneen suoja-alueen kattamaa aluetta saada irtikytkettyä

- Normaalin työntekijän työaikana

Korjaukset tehdään muun aikataulun puitteissa normaalin työntekijän työaikana

Kiireellisyysluokat määräytyvät suoja-alueiden kriittisyyden ja varasuojauksen kattavuuden perusteella. Esimerkiksi 110 kV avojohtoverkon differentiaalisuojauksen vikaantuessa kiireellisyysluokka on ”normaalina työntekijän työaikana”, sillä varasuojana toimiva distanssisuoja riittää hyvin kattamaan kyseisen avojohtovälin. 110 kV kaapeliverkon osalta varasuojana toimivan distanssisuojauksen laatu ei ole avojohtoverkon tasoa, joten kiireellisyysluokka on määritelty tasolle ”Välittömästi normaalin työntekijän työaikana”. Kiireellisimpään luokkaan lukeutuu esimerkiksi sähköasemalähdön suoja-alueen kattavan kennoyksikön vika, sillä kennon ylivirtasuojaus jää päämuuntajan keskijännitesyöttökennon varaan ja maasulkusuojaus kiskomaasulkureleiden varaan. Tämän lisäksi kennon kaukokäyttöyhteys menetetään. Suoja-alueiden vikatapausten ohjeistuksen lisäksi käyttökeskuksessa on tarkat ohjeet sähköasemilta saatavien lukuisten hälytysten tulkintaan sekä niiden kiireellisyyteen ja vaadittaviin jatkotoimenpiteisiin. [39]

Sähköverkon digitaaliset suojalaitteet ja järjestelmät eivät toimi täysin virheettömästi, vaan ajoittain käytönvalvontajärjestelmään tulee todellisten verkon häiriöiden aiheuttamien hälytysten lisäksi virheellisiä hälytyksiä ja reletoimintoja. Usein virheelliset hälytykset tai releiden virhetoiminnot huomataan käytönvalvontajärjestelmään tulevista epäohdonmukaisista hälytyksistä. Tällaisia ovat esimerkiksi ilman suojareleiden laukaisukäskyä tulevat katkaisijoiden aukeamistiedot, jolloin vian aiheuttaja voidaan suoraan rajata kyseistä katkaisijaa koskevaksi.

Esimerkkinä muista harvoin vastaan tulevista tärkeistä käyttökeskuksen hallittavista toimenpiteistä ovat muun muassa päämuuntajien tähtipistemaadoitusten oikeat käyttöperiaatteet. 110 kV verkon maakaapelit muodostavat huomattavan suuren keskitetyn maakapasitanssin ja syöttävät näin maasulkuvian aikana vikapaikkaan kapasitiivista maasulkuvirtaa. Maasulun suuntareleet ja distanssireleet vaativat kuitenkin toimiakseen induktiivista maasulkuvirtaa kaikkien kaapeli- ja johto-osuuksien osalta. Tämän takia kapasitiivista maasulkuvirtaa kompensoidaan tuottamalla induktiivista maasulkuvirtaa 110 kV verkkoon lisätyillä maadoituskuristimilla tai päämuuntajien suorilla tähtipistemaadoituksilla.

Helen Sähköverkon suurjännitteisessä jakeluverkossa on muutamia päämuuntajien yläjännitepuolelle liitettyjä maadoituskuristimia sekä suoria tähtipistemaadoituksia, joiden avulla induktiivisen maasulkuvirran määrää optimoidaan suojien tarvitsemalle tasolle. Jatkossa tässä tekstissä puhutaan vain tähtipistemaadoituksista, vaikka erottimen ja maan välissä olisikin kuristin. Suojauksen oikean toiminnan kannalta 110 kV kaapelia ei voida kytkeä verkkoon ilman, että ainakin kaapelin toisessa päässä on samalle kiskolle kytketty tähtipistemaadoitus. Tähtipistemaadoitusten kytkennöissä on noudatettava tiettyjä periaatteita. Kytkettäessä tähtipistemaadoituksella varustettu päämuuntaja jännitteiseksi tulee tähtipistemaadoituksen olla erotettuna. Kun tähtipistemaadoitus siirretään sähköaseman päämuuntajien kesken toisen päämuuntajan tähtipistemaadoituksen varaan, noudatetaan sähköasemasta riippuen tiettyjä ohjeessa osoitettuja kytkentäjärjestyksiä. Esimerkiksi tähtipistemaadoitusta siirrettäessä sähköaseman toisen päämuuntajan perään pyritään maadoitus pitämään jatkuvasti päällä laittamalla muuntajat rinnan ja sulkemalla toisen tähtipistemaadoituksen erotin ennen alkuperäisen avaamista. Tietyissä harvinaisissa poikkeuskytkentätilanteissa induktiiviset maasulkuvirrat voivat kasvaa liian suuriksi HSV:n ulkopuolisten verkkojen syöttämän maasulkuvirran vuoksi, ellei kytkettyjen tähtipistemaadoitusten määrää alenneta HSV:n verkossa. Tähtipistemaadoitusten käyttöperiaatteet ovat verrattain yksinkertaiset, mutta niin tämän kuin monien muidenkin harvoin toistettavien käyttötoimenpiteiden kohdalla haastetta verkon käyttäjille tuo oikeiden periaatteiden välitön muistaminen tilanteen eteen tullessa. [51]

5 Käyttökeskuskoulutus

Seuraavassa luvussa tarkastellaan verkkoyhtiöiden erilaisia harjoitus- ja koulutusmetodeja, käyttökeskuskoulutusten nykytilaa ja mahdollisia kehitystarpeita Helen Sähköverkon osalta, sekä esitellään diplomityön tuloksena toteutettuja uusia harjoitusmuotoja

5.1 Koulutus ja harjoitustoiminta

Käyttökeskusten harjoitustoimintaan ja perehdyttämiseen liittyen diplomityötä varten haastateltiin yhtiöiden Turku Energia Sähköverkot käyttöpäällikköä, Tampereen Sähköverkko käyttöinsinööriä, Vantaan Energia Sähköverkot käyttöpäällikköä sekä Elenia käyttöpäällikköä ja käyttöinsinööriä. Haastateltujen verkkoyhtiöiden hallinnoimien sähköverkkojen tyypit ja näin ollen toimintatavatkin eroavat luonnollisesti toisistaan. Käytännössä käyttökeskuksen toimintatarkoitus ja toiminnan ydin ovat kuitenkin yhtenäiset ja käyttökeskusoperaattorit joutuvat haasteellisiin tilanteisiin vaatien nopeaa ja oikein toteutettua ongelmanratkaisua käyttökeskuksesta riippumatta.

Uuden käyttökeskusoperaattorin perehdytysmenetelmät vaihtelevat käyttökeskusoperaattoreiden rinnalla perehdyttämisestä portaittain suunniteltuihin koulutusohjelmiin, joiden yhdistelmä on kuitenkin yleisimmin käytettävä perehdytyspolku. Osa yhtiöistä on jalostanut perehdytysohjelman laajasti kattamaan kaikki tarvittavat osa-alueet. Tällöin perehdytettävä henkilö saa seurattua tarvittavan osaamisen, jolloin riittävä pätevyyskin on helppo osoittaa. Perehdytys sisältää usein teoriaosuuksia esseekysymyksineen sekä tiivistä rinnalla oppimista aihealueittain. Perehdytettävä täyttää koulutuksen aikaista perehdytysohjelman tarkastuslistaa, kunnes sen kaikki vaiheet on selvitetty. Tämän jälkeen perehdytys saattaa vielä sisältää jonkin asteisen kokeen, millä osaamista testataan ennen itsenäisen työskentelyn sallimista. Perehdytyksestä vastaavan henkilön nimeäminen koettiin toimivaksi ratkaisuksi jatkuvuuden varmentamiseksi.

Perehdytysohjelma ei kaikkien yhtiöiden osalta ole yhtä kattava, jolloin perehdyttäminen on usein vuorossa olevien käyttökeskusoperaattoreiden rinnalla oppimista ilman tarkkaa yksityiskohtaista suunnitelmaa. Tapa on tehokas päivittäisen työskentelyn perehdyttämiseen, mutta mahdollisten aukkojen todentaminen osaamisessa on haasteellista ilman perehdytysuunnitelman tarkastuslistaa. Lisäksi koulutettavat asiat jäävät osin vuorojen aikaisten tapahtumien varaan.

Verkkoyhtiöiden toimintaympäristön eroavaisuudet näkyvät harjoitustoiminnan osa-alueiden painotuksessa. Laajan verkon omaavien verkkoyhtiöiden häiriötiheys on muun muassa maaseutuverkkojen alhaisen kaapelointiasteen vuoksi korkea, jolloin käyttökeskusoperaattoreilla ei ole tarvetta harjoitella erikseen näitä yksittäisiä vikatilanteita käytännön toiston toteutuessa. Tällöin harjoitusten painopiste on enemmänkin suurhäiriötilanteiden kokonaisuuden hallinnassa. Kaupunkiverkoilla haasteita käyttökeskuksen harjoitustoimintaan tuo suurhäiriötilanteiden lisäksi vikojen vähäinen määrä, minkä seurauksena yksittäisiä vikatilanteitakin olisi hyvä kerrata myös harjoitusten muodossa tuntuman ylläpitämiseksi. Harvaan järjestettävien suurempien häiriöharjoituskokonaisuuksien lisäksi yhtiöissä oli käytössä käyttökeskuksille kohdennettuja harjoituksia mm. tietyin syklein järjestettävien koulutuspäivien sekä kysymyslistojen muodossa.

Koulutuspäiville oli järjestetty tarpeen mukaan eri osa-alueiden kertausta esimerkiksi suojausasiantuntijan tietopaketein ja erilaisten päivän aikana kierrettävien rastityyppisten harjoitteiden muodossa. Käyttökeskusoperaattoreille ja muille verkon käytössä mukana oleville oli kohdennettu myös kysymyslista, mikä lähetettiin osallisille muutaman kerran vuodessa vaihtuvien kysymyksin. Kysymykset koostuivat erilaisista oikein/väärin -väittämistä, järjestelmien oikeaoppisesta hyödyntämisestä sekä esseekysymyksistä. Tehtävillä pyritään kehittämään ja ylläpitämään verkkoa operoivien henkilöiden osaamista ja yhdenmukaistaa toimintatapoja. Usein harjoituksilla voidaan testata myös erilaisten olemassa olevien ohjeiden toimivuutta, mikä on pätevä keino muun muassa vanhentuneiden ohjeiden päivitystarpeen todentamisessa ja ohjeiden kehittämisessä. [52] [53] [54] [55]

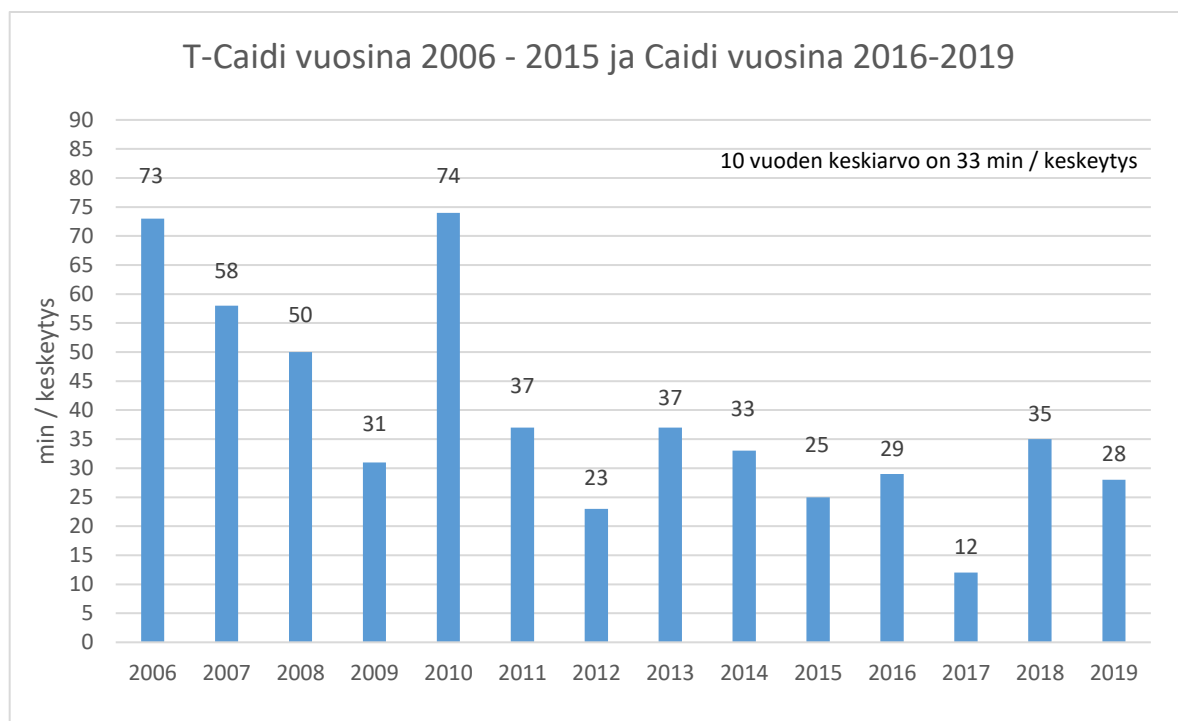
5.1.1 Nykytila

Helen Sähköverkolla on ollut historiallisesti korkeat sähkönjakelun luotettavuustavoitteet. Vuosina 2007 – 2008 keskimääräinen energiapainotettu SAIDI oli hieman yli 12 minuuttia, minkä parantamiseksi käynnistettiin suunnitelma energiapainotetun SAIDI-tason puolittamiseksi vuoteen 2015 mennessä. Vuosien 2011 – 2015 keskimääräinen SAIDI-arvo oli 3,5 minuuttia, ja 2016 vuoden lopulla alitettiin jo 3 minuutin raja. SAIDI:n osalta tulokset ovat pysyneet vuoden 2015 jälkeen vuosittain alle 5 minuutin tasossa 2015 - 2019 keskiarvon ollessa 3,14 minuuttia. Vuonna 2019 saavutettiin HSV:n ennätyslukemat SAIDI:n pysyttyä 1,5 minuutin tasossa. Suunnitelma toimitusvarmuuden parantamiseksi sisälsi kuuden kustannustehokkaan osa-alueen kehityspolun, joista yhtenä oli vikojen analysoinnin ja työntekijöiden koulutuksen kehittäminen. Muita osa-alueita olivat uusien sähköasemien rakentaminen, keskijänniteilmajohtojen kaapelointi, sähköasemien toisiouusintojen toteutus, verkostoautomaation lisääminen sekä 20 kV verkon kompensointi.

Häiriöraportit ovat olleet merkittävässä roolissa henkilöstön tietoisuuden lisäämisessä ja prosessien kehittämisessä häiriöiden osalta. Häiriöraportteja seuraamalla voidaan huomata muun muassa mahdollisia toimintatapojen kehittämistarpeita sekä valvoa niiden toteutumista. Vuoteen 2008 asti vikoja analysoitiin häiriöraporttien muodossa vain suurjännitteisen jakeluverkon ja sähköasemavikojen osalta. Kehityssuunnitelman seurauksena myös suurimmat keskijänniteverkon häiriöt otettiin raportoinnin ja häiriöanalysoinnin piiriin. Käytäntö laajennettiin koskemaan kaikkia keskijänniteverkon vikoja ja suurimpia pienjänniteverkon vikoja vuodesta 2012 lähtien. Vioista tehtävä häiriöraportti sisältää vikatiedot (sijainti, syy, aiheuttaja, laatu), tapahtumat käyttökeskuksen ja vianselvittäjien näkökulmasta, asiakasvaikutukset, suojausanalyysin, vaaditut korjaustoimenpiteet sekä häiriön pohjalta nousseiden kehitysideoiden listauksen. Viimeisimpiin raportteihin on lisätty myös yksilöity kohta turvallisuushavainnoille. [31] [40]

Muutaman laajan sähkönjakeluhäiriön pohjalta todettiin tarvetta operatiiviseen toimintaan osallistuvien henkilöiden lisäkoulutukseen hankalien vikatilanteiden varalta. Tämän havainnon johdosta aloitettiin muun muassa erilaisia sähköasemahäiriötilanteita sisältävien häiriösimulointiharjoitusten järjestäminen. Vuosina 2008 – 2016 häiriöharjoituksiin osallistettiin vaihtelevilla kokoonpanoilla käyttökeskus, sähköasema- ja verkkovarallaolijat sekä pelastuslaitos. Uusimmissa häiriöharjoituksissa mukana on ollut myös viestintätiimi, johtokeskus sekä eri alueiden asiantuntijoita. [31] [40] [56]

SAIDI:n ohella kehityshankkeisiin ryhdyttiin korkean CAIDI-lukeman korjaamiseksi. Häiriöiden tarkemman analysoinnin sekä häiriösimulointiharjoitusten on todettu parantavan huomattavasti operatiiviseen toimintaan osallistuvien henkilöiden valmiutta erilaisiin häiriöselvitystilanteisiin, minkä puolesta puhuukin kaaviossa 4 esitetty CAIDI-arvon pieneneminen 50 minuutin tasosta noin 30 minuuttiin. [31]



Kaavio 4 HSV:n vuosittainen CAIDI [30]

5.1.2 Kehitystarpeet

Vuoden 2008 jälkeen järjestetyt harjoitukset ovat olleet pääsääntöisesti yksittäisiä suhteellisen laajalla kokoonpanolla toteutettavia harjoituskokonaisuuksia, mitkä ovat omiaan kehittämään organisaation toimintakykyä ja kommunikointia häiriötilanteissa. Näitä harjoituksia on suunniteltu ja toteutettu pääsääntöisesti verkon käyttöyksikön ja mahdollisten muiden harjoituksiin osallistuvien organisaatioiden kesken (Fingrid, urakoitsijat, pelastuslaitos, media). Laajojen harjoitusten suunnittelu ja toteuttaminen on kuitenkin melko työlästä ja aikaa vievää, joten harjoitusten vuosittainen määrä jää usein vähäiseksi. Laajojen harjoitusten rinnalle olisikin hyvä saada myös kohdennetumpia kokonaisuuksia hieman kevyemmällä toteutustavalla, jolloin harjoitusten volyymia sekä erilaisten skenaarioiden määrää saataisiin lisättyä.

Nykyiset harjoitukset on pyritty jakamaan operaattoreiden kesken tasaisesti, mutta pitkän toteutusjakson seurauksena niillä ei juurikaan saavuteta toistuvuudesta saatavia hyötyjä. Järjestettyihin häiriöharjoituksiin ei ole myöskään tähän mennessä osallistettu käyttökeskuksen varahenkilöstöä, joiden käyttökeskustyöskentelyyn vaadittavan tuntuman luominen ja ylläpitäminen on muutenkin haasteellista päivätöiden ohella. Helposti saatavilla olevista kohdennetuista harjoitteista olisi selkeää hyötyä aktiivisesti vuorossa olevien operaattoreiden osaamisen ylläpitämisessä ja kehittämisessä, varahenkilöstön kouluttamisessa sekä uusien käyttökeskusoperaattoreiden perehdytyksessä.

Tässä diplomityössä keskitytään käyttökeskusympäristön harjoituksiin ja koulutuksiin käyttökeskusoperaattorin näkökulmasta. Harjoituksilla pyritään kehittämään erilaisten tilanteiden hahmottamiskykyä ja toimintavalmiutta muun muassa helposti lähestyttävillä harjoitteilla saavutettavan toiston kautta.

Harjoitustarpeiden kartoituksessa kävin läpi häiriöraportit alkaen vuodesta 2005. Raportit jo itsessään ovat erittäin hyvä tietolähde koulutus- ja kertausmateriaaliksi, joita kannattaa jatkossakin hyödyntää koulutuksen suunnittelun apuna. Nykyiset raportit eivät kuitenkaan kata häiriöstä aiheutuneita käytönvalvontajärjestelmän tapahtumalistoja, minkä seurauksena häiriön alkaessa tehtävä tapahtumalistan analysoinnin harjoittelu jää käytännössä vain käyttökeskusoperaattorin omalle kohdalle osuvien häiriöiden varaan. Tämän puutteen takia toteutin hälytyslistojen analysointiharjoitteita, jolloin erilaisten tapahtumalistojen toistuvan tulkinnan kautta häiriöselvitystilanteiden alkukartoitus mahdollisesti tehostuisi. Etsin häiriöraporteista tilanteita, missä käyttökeskusoperaattorin toimintaa muuttamalla vian selvitysaikaa olisi voitu lyhentää tai operatiivisessa toiminnassa olisi tullut selkeitä virheitä. Toistuvia harjoituksilla korjattavia epäkohtia ei raporttien pohjalta tullut juuri vastaan, mutta joitain toimintatapojen yhtenäistämismahdollisuuksia ja järjestelmäosaamisen kehittämistä tukevia havaintoja raporttien pohjalta löytyi. Todellisia vikatilanteita pohjana käyttäen sain myös ideoita useaan harjoituskenaarioon, jotka käsittelevät muun muassa harvoin vastaan tulevia vaikeita tilanteita.

Käyttökeskusoperaattorin työssä hoidettavan laajan toimintakentän hallinnan sujuvaa osaamista ei saavuteta ainoastaan koulutusten ja harjoitusten avulla, mutta ne tukevat hyvin päivittäisen käyttökeskustoiminnan kautta tulevaa osaamista. Työtehtävät sisältävät paljon samanaikaisesti tai pienen aikaikkunan sisällä toteutettavia tehtäviä varsinkin häiriötilanteessa. Tilanteen hallinnan kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että käsittelijä tuntee oikeat toimintatavat ja kykenee suorittamaan ne harkitusti, loogisesti sekä tehokkaasti.

Vuodesta 2008 toteutettujen häiriösimulointiharjoitusten avulla voidaan simuloida todellisia häiriötilanteita, mikä kehittää käyttökeskusoperaattorin paineensietokykyä ja antaa näyttöä henkilöiden kyvystä toimia paineen alla. Kohdennettumilla harjoitteilla taas saadaan tuettua yksittäisiä käyttökeskustoiminnan osa-alueita, joiden vahva hallinta helpottaa paineenalaista työskentelyä, jossa jo pienilläkin virheillä voi olla suuria negatiivisia vaikutuksia.

5.2 Käyttökeskuskoulutukset

Diplomityön tuloksena suunnitelluilla käyttökeskusharjoituksilla mahdollistetaan käyttökeskusoperaattoreiden joustava kertausharjoittelu vuorotoiminnan puitteissa. Harjoituksilla voidaan myös hyvin tukea uusien käyttökeskusoperaattoreiden perehdytystä sekä käyttökeskuksen varahenkilöstön osaamista. Diplomityössä tuotetut harjoitukset on suunniteltu laajempien harjoituskokonaisuuksien ja ryhmäharjoitteiden rinnalle. Harjoitteiden sisältö on suunniteltu yksilöidysti Helen Sähköverkon käyttökeskustoimintaa varten, joten suuri osa sisällöstä perustuu HSV:n luottamuksellisiin verkon käytön ohjeisiin ja toimintatapoihin. Kaikkea harjoitteiden yksityiskohtaista sisältöä ei esitetä salassa pidettävien tietojen takia. Seuraavassa kappaleessa kuvataan yleisesti käytettyjä harjoitusrakenteita sekä osa-alueita.

5.2.1 Koulutusympäristön järjestelmät

Yrityksessämme käytetään Microsoft 365 -sovelluskokonaisuutta, jonka työkaluilla harjoitusten toteuttaminen onnistui sujuvasti. Microsoft Forms on internetiselaimen kautta käytettävä työkalu, jonka avulla voidaan luoda kyselyitä, kokeita ja äänestyksiä monipuolisten tehtävärakenteiden avulla. Sovelluksen kautta voidaan luoda helposti haluttuja lomakerakenteita ja lähettää ne edelleen vastaajille. Vastausten data nähdään visuaalisesti koottuna Forms-lomakkeen kautta ja se voidaan jakaa jatkojalostukseen suoraan esimerkiksi Excel-tiedostopohjalle. Suurin osa harjoituksista toteutettiin Microsoft Forms -sovelluksen pohjalle. Microsoft Forms valikoitui alustaksi helpon käyttöliittymän ja vaivattoman lomakkeiden luonnin sekä toimivan kyselyiden hallintamahdollisuuden vuoksi.

Forms-pohjaisten käyttökeskusharjoitusten lisäksi diplomityön yhteydessä tehtiin Excel-pohjainen tapahtumalistojen tulkintaharjoitus, mikä on vapaasti koulutettavien käytettävissä tapahtumalistojen tulkinnan harjoitteluun. Forms-pohjaisten harjoitusten suorittamisen yhteydessä pyritään soveltamaan lähes kaikkia käyttökeskuksessa käytettäviä järjestelmiä, joista osa on mainittu kappaleessa 3.3.

5.2.2 Harjoitukset

Diplomityön aikana tehty ensimmäinen käyttökeskushenkilöstölle jaettu Forms-pohjainen harjoitus rakentui viidestä osiosta, jotka olivat:

- Yleistä käyttökeskustoimintaa
- Sähköasemahälytykset ja suojaus
- Järjestelmät
- Pelastustoiminta
- Palaute

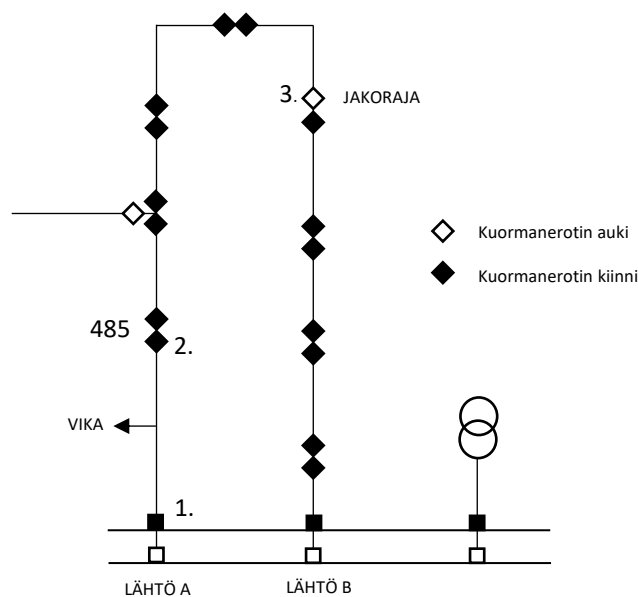
Jokainen osio sisälsi 4 - 8 vaatimustasoltaan vaihtelevaa kysymystä tai tehtävää. Harjoitus tehtiin Forms-lomakepohjalle, missä vastauksia ei pisteytetä tenttiluontoisesti, vaan tuloksia tarkastellessa yksityiskohtaisten tehtäväpalautteiden lisäksi vastaaja näkee vastaustensa oikeellisuuden prosentteina. Harjoitus jaettiin Forms-linkkinä käyttökeskustoiminnassa mukana olevalle henkilöstölle. Harjoituksen yhteydessä ei kerätty vastaajien henkilötietoja, sillä yksilöinnille ei ollut tarvetta tässä yhteydessä. Lähetetyt vastaukset näkyvät näin harjoituksen ylläpitäjälle anonyymeinä mahdollistaen kuitenkin vastausten tarkastelun. Mahdollisia vastauskertoja ei rajoitettu harjoituksen osalta, joten keskustelun osallistujat pääsevät halutessaan toistamaan harjoituksen helposti linkin kautta.

Forms-lomake taipuu muutamiin erilaisiin kysymysrakenteisiin. Kysymyksiin voidaan käyttää perinteistä monivalintarakennetta, missä yksittäisiin valintoihin voidaan sisällyttää palautteessa näkyvä yksilöity selite. Selitteen avulla vastaajalle korjataan ja opastetaan esimerkiksi, miksi kyseinen valinta ei mennyt oikein ja ohjataan lisätiedon pariin kysymyksen aihetta koskevan ohjeen linkin kautta. Toinen vaihtoehto kysymysasettelulle on täytettävä tekstikenttä, mihin voidaan etukäteen määritellä, mitkä kirjoitetut vastaukset hyväksytään. Tässä tehtävämuodossa on kuitenkin varmistettava, että vastaaja tietää tarkasti vastauksessa vaaditun muotoiluasettelun. Tekstikentällä voidaan myös tehtävien lisäksi kerätä esimerkiksi vapaamuotoisia kommentteja. Forms-lomakkeeseen voidaan sisällyttää myös tehtäviä, missä annetut vaihtoehdot on laitettava oikeaan järjestykseen. Lisäksi lomakkeeseen voidaan sisällyttää erilaisia luokittelu-, arviointi- sekä arvostelukysymyksiä.

Kysymyksillä pyrittiin pääosin korostamaan käyttökeskuksen toiminnasta sellaisia tärkeitä asioita, joita ei kuitenkaan kohdata päivittäisessä työssä. Tehtävissä käsitellyt aihealueet sisälsivät käyttökeskuksessa tehtäviä toimenpiteitä niin normaali kuin häiriötilanteissakin. Asioiden kertaamisen lisäksi kysymyksillä haettiin toimintatapojen yhdenmukaistamista sekä mahdollisten virheellisten toimintatapojen korjaamista. Toistuvat harjoitukset ovat myös tarvittaessa hyvä työkalu uusien toimintamallien sisäistämiseen, mikä on ajoittain osoittautunut haastavaksi etenkin käyttökeskuksen vuorotyöntekijöiden katkonaisten työaikojen johdosta. Suuri osa esitetyistä kysymyksistä pohjautui HSV:n verkon käytön pysyväisohjeisiin, mitkä käsittelevät laajasti sähköverkon käyttöön liittyviä aihealueita muun muassa jatkuvuudenhallinnan, suojauksen, häiriönselvityksen, paikalliskäytön sekä turvallisuusnäkökulmien osalta. Kysymyksiä pohjattiin myös esimerkiksi sähköasemaohjeisiin ja häiriöraporttien tarkastelun yhteydessä havaittuihin käyttökeskusoperaattoreiden toimintaperiaatteiden eroavaisuuksiin. Esimerkkikysymyksiä Forms-lomake pohjaiseen harjoitukseen löytyy liitteestä 1.

Jaetun käyttökeskusharjoituksen ensimmäiseen osioon kerättiin kysymyksiä yleisesti käyttökeskuksen toimintaan liittyen. Kysymyksissä käsiteltiin muun muassa häiriönselvitysprosessin etenemistä, hälyttävän maasulun oikeaoppista erottamista 10 kV verkossa, käyttökeskuksen kytkennänjohtajan vastuualueita, 110 kV sähköaseman apukiskon ja kiskokatkaisijan hyödyntämistä vikaantuneen katkaisijan ohittamisessa, päämuuntajien tähtipistemaadoitusten oikeaoppista kytkentätilan hallintaa sekä uusien muuntamoautomaatiokohteiden testausprosessin etenemistä. Alla nähdään esimerkkirakenne hälyttävän maasulkutilanteen erotustehtävästä:

10 kV sähköasemalähtö A hälyttää maasulkua. Vikapaikka on varmistunut kaivajan ilmoituksen perusteella välille (Sähköasemalähtö A - muuntamo 485). Missä järjestyksessä muutat kuormanerotimien tai katkaisijoiden tilaa vikapaikan erottamiseksi, kun syöttävän muuntajan verkkoalueen maasulkuvirrat ovat yli 60 A?



a. 1, 2, 3

Jos vastaat a, niin tehtäväpalautteessa näkyy teksti:

Vikavälin erottaminen on mahdollista suorittaa katkottomana kyseisessä tilanteessa. Oikea vastaus olisi ollut (3, 2, 1), jossa lähdöt kytketään ensin renkaaseen ja vika rajataan lähdön A ensimmäiseen väliin. Tällöin kuormanerotin 2. erotuskyky riittää, sillä vain osa maasulkuvirrasta kulkee sen läpi. Viimeinen maasulkuvirran erotus tehdään lähdön A katkaisijalla, jonka vikavirran erotuskyky on riittävä suurienkin maasulkuvirtojen erottamiseen toisin kuin kuormanerotimilla. Lisätietoa häiriönselvityseräistä löytyy ohjeesta XXX.

b. 3, 1, 2

Jos vastaat b, niin tehtäväpalautteessa näkyy teksti:

Oikea vastaus olisi ollut (3, 2, 1), jolloin kokonaismaasulkuvirran erotus jäisi katkaisijalla toteutettavaksi. Tässä tapauksessa viimeinen erotus tapahtui kuormanerotimella (2.), minkä erotuskyky ei riitä tilanteen kokonaismaasulkuvirran erottamiseen maasulkuvirran ollessa yli 60 A. Lisätietoa häiriönselvityseriaateista löytyy ohjeessa XXX.

c. 3, 2, 1

Jos vastaat c, niin tehtäväpalautteessa näkyy teksti:

Oikea vastaus! Kun Lähdöt A ja B ovat renkaassa niin kuormanerotimen 2. erotuskyky ei ylity, sillä suurin osa maasulkuvirrasta kulkee vikapaikkaan suoraan lähdön A kautta. Viimeinen erotus tehdäänkin vaarattomasti katkaisijan avulla, mikä kestää suurienkin vikavirtojen erottamisen. Lisätietoa häiriönselvityseriaateista löytyy ohjeessa XXX.

Toisessa osiossa käsiteltiin sähköasemalta käyttökeskukseen tulevien suojalaitteiden vikahälytysten kiireellisyysluokittelua. Osion tarkoitus oli kerrata vastaajien osaamista releiden toiminnasta, sekä muistuttaa pää- ja varasuojien yhteyksistä eri jännitetasoilla. Kysymyksissä käsiteltiin muun muassa 110 kV differentiaalisuojauksen vikatilanteita kaapeli- ja avojohtoverkossa sekä sähköaseman valokaarisuojan ja kennoyksikön vikaantumista.

Kolmannella osiolla kehitettiin käyttökeskusoperaattoreiden järjestelmäosaamista erilaisten järjestelmähäiriötilanteiden osalta. Kysymyksissä käsiteltiin muun muassa käyttökeskusoperaattorin toimintaa sähköasemayhteyksien katkeamisen sekä käytönvalvontajärjestelmän palvelinongelmien varalta. Tehtävissä kerrattiin myös toimintaa mahdollisten kyberhyökkäysten osalta sekä erilaisten järjestelmäindikointien tulkintaa.

Lomakkeen neljännessä osiossa käsiteltiin erilaisia pelastustoimintaan liittyviä tilanteita käyttökeskuksen näkökulmasta. Tehtävät käsitelivät muun muassa käyttökeskusoperaattorilta vaadittavia toimenpiteitä sähköaseman tulipalon sekä sähkötapaturmatilanteiden yhteydessä.

Viimeinen osio oli ensimmäisen harjoituslomakkeen palautteita varten. Palautteissa kysyin vastaajilta vapaamuotoisen kommentin lisäksi mielipidettä harjoituksesta 1-5 tähteä, miten usein vastaava harjoitus olisi mielekästä suorittaa sekä yhden tai useamman tehtäväidean esittämistä tulevia harjoituksia varten. Vastaajien keskiarvoharjoituksen mielekkyydestä oli 4.25, joten kyseinen harjoittelumuoto koettiin varsin toimivaksi vastanneiden kesken. Tätä havaintoa tuki myös vapaamuotoisten kommenttien yhteydessä saatu palaute. Vastaavien tehtävälomakkeiden vuosittaiseksi määräksi toivottiin 1 - 6 kertaa, kuitenkin keskiarvon jäädessä neljään kertaan vuodessa. Tulevia harjoituksia varten kyselyjä tehtäväideoita saatiin muutamia. Ideat sisälsivät muun muassa järjestelmien käyttöharjoitteita häiriötilanteiden osalta, toimintatapoja muuntamotilojen kulkuongelmien osalta, eri jännitetasojen häiriönselvitysharjoitteita sekä kojeistovaurioiden vaikutuksia kytkentöjen suorittamiseen.

Lomakkeen täytön ja lähettämisen jälkeen vastaajat pääsivät tarkastelemaan omia tuloksiaan. Monivalintakysymyksiin laitettiin tehtävän luonnin yhteydessä vastauskohtaiset selitteet. Selitteet kertoivat, miksi kyseinen harjoituksen tekijän valinta oli oikein tai väärin sekä ohjasivat kysymyksen lähteinä käytetyn materiaalin luo. Perustelun kautta vastaaja saa lisätietoa kysymyksen aiheesta ja näin mahdolliset väärinymmärrykset voidaan korjata. Vastaavasti virhe voi olla myös verkon käytön ohjeistuksessa, jolloin harjoitusten kautta ohjeiden epäkohtien tunnistaminen helpottuu ja niiden päivittäminen tehostuu.

Kaikkiin harjoituksessa esitettyihin kysymyksiin ei ollut yhtä oikeaa vastausta, mutta kysymysten avulla saadaan jokaiselta henkilökohtainen näkemys asiaan ja näin keskustelu avattua mahdollisesti ristiriitaisten aiheiden osalta. Vastausten kautta voidaan kehittää yhtenäisiä toimintatapoja ja keskustella parhaiden ratkaisujen löytämiseksi esimerkiksi ryhmäpalavereiden yhteydessä.

Tapahtumalistojen tulkintaharjoitus

Yksi kriittisimmistä häiriönselvitykseen liittyvistä tekijöistä on käytönvalvontajärjestelmään kerättyjen hälytysten onnistunut tulkinta tilannekuvan muodostamisen yhteydessä. Tapahtumalistojen virheellinen tulkinta voi johtaa esimerkiksi häiriöiden aiheuttamaan pitkittymiseen tai häiriöiden vaikutusalueiden laajenemiseen virhekytkentöjen muodossa. Aikaisemmin häiriöiden yhteydessä tulleita tapahtumalistoja ei ole kerätty käyttökeskusoperaattoreiden koulutuksia varten, joten tapahtumalistojen tulkinta perustui käytännössä omakohtaisten häiriönselvitystilanteiden varaan. Näiden lisäksi käyttökeskusoperaattoreille järjestettiin vuosittain suojauskoulutus, missä kerrattiin verkon suojausten toimintaperiaatteita ja erilaisten hälytysten tulkintaa.

HSV on kerännyt täydelliset listat käytönvalvontajärjestelmän tapahtumista vuodesta 2016 alkaen. Diplomityön yhteydessä listoista kerättiin häiriöiden aikaiset tapahtumat vuosilta 2016-2018, ja nämä koottiin Excel-pohjaiseen työkaluun tapahtumalistojen tulkintaharjoittelua varten. Häiriökohtaiset tapahtumalistat on nimetty työkalun sisällä omiin taulukoihinsa häiriöistä tehtyjen HSV:n sisäisten häiriöraporttien mukaisesti, joten tarkasteltavat tapahtumalistat on helppo yhdistää niihin kohdistuneisiin häiriötilanteisiin. Harjoituksen suorittaja voi näin halutessaan perehtyä häiriöraportin avulla kyseisen tapahtumalistan aiheuttaneen häiriön tarkempiin yksityiskohtiin. Tapahtumalistaharjoituksen ideana on oppia tunnistamaan erilaisia häiriötyyppejä tapahtumalistojen perusteella entistä tehokkaammin työkalun mahdollistaman tulkintaharjoittelun toiston kautta. Tapahtumalistojen tarkastelu näkymä on esitetty kuvassa 23.

110 kV verkon vika		kaksoismaasulku	Vika kaapelipääteessä
Oikosulku KJ-lähdöllä (PT01)		Vika päämuuntajahaarassa	Asiakasverkon vika/sulakesuojauksella lauennut/eläin jakelumuuntamossa/vastaava
Oikosulku KJ-lähdöllä (PT02)		Vika kiskostossa	
Maasulkulaukaisu KJ-lähdöllä		Oikosulku laajentunut maasulku	
Maasulku KJ-lähdöllä (ei laukaiseva)		Virhelaukaisu/Relevika	
7:55:02	Muuntamo	MMOXXXX AC käyttö sähkö puuttuu	Tullut
7:55:02	Sähköasema 110 kV	E10.L1 käämikytkimen ilmankuivain vika	Tullut
7:55:01	Muuntamo	MMOXXXX Muuntaja 1 laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:01	Muuntamo	MMOXXXX Muuntaja 1 laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:01	Muuntamo	MMOXXXX Muuntaja 1 laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:01	Muuntamo	MMOXXXX Muuntaja 1 laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:01	Muuntamo	MMOXXXX AC käyttö sähkö puuttuu	Tullut
7:55:01	Muuntamo	MMOXXXX AC käyttö sähkö puuttuu	Tullut
7:55:01	Muuntamo	MMOXXXX AC käyttö sähkö puuttuu	Tullut
7:55:00	Muuntamo	MMOXXXX Muuntaja 1 laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:00	Muuntamo	MMOXXXX Muuntaja 1 laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:00	Muuntamo	MMOXXXX Muuntaja 1 laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:00	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:00	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:00	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:00	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:00	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:55:00	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:54:59	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:54:59	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:54:59	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:54:59	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:54:58	Muuntamo	MMOXXXX AC käyttö sähkö puuttuu	Tullut
7:54:54	Muuntamo	MMOXXXX Laatupoikkeama summähälytys	Tullut
7:54:53	Muuntamo	MMOXXXX AC käyttö sähkö puuttuu	Tullut
7:54:52	Sähköasema 20 kV	D40 2b U L31	Alaraja 2 0.00 18.60 kV
7:54:52	Sähköasema 20 kV	D29 M2 U	Alaraja 2 0.00 18.60 kV
7:54:52	Sähköasema 20 kV	D13 1b U L31	Alaraja 2 0.00 18.60 kV
7:54:51	Sähköasema 110 kV	Öljyanalysaattori laitteen vika	Tullut
7:54:50	Sähköasema 110 kV	Tasasuuntaajan verkkovika	Tullut
7:54:50	Sähköasema 110 kV	Omakäyttöjännite puuttuu	Tullut
7:54:49	Sähköasema 110 kV	E21 M2 Katkaisija Q0	Auki

Kuva 23 Esimerkki tapahtumalistojen tulkintaharjoituksesta

Tapahtumalistojen yhteyteen on kerätty erilaisia vikatyyppejä, joista valitsemalla nähdään, onko tulkinta oikea. Esimerkiksi kuvassa 23 esitettävästä tilanteesta voidaan päätellä, että kyseessä on ollut inhimillisen virheen tai relevian aiheuttama virhelaukaisu, sillä päämuuntajakennon katkaisija on avautunut ilman suojareleiltä tulevaa laukaisukäskyä. Näin todellisten sähkötekniikan vikojen mahdollisuus voidaan rajata pois ja tiedetään esimerkiksi kiskojen olevan normaalisti käytettävissä vianselvityskytkentöjä varten. Kyseisen häiriön aiheuttaman laajan keskeytyksen selvittämiseen kului vain 1,09 minuuttia onnistuneen hälytysten tulkitsemisen ansiosta. Keskeytys päättyi, kun jännitteettömäksi lauennut päämuuntajan M2 kuormat siirrettiin toisen muuntajan M1 syöttämäksi sulkemalla sähköaseman kiskot yhdistävä kiskokatkaisija.

Forms-pohjaisia harjoituksia vastaavasti tapahtumalistaharjoite jaettiin käyttökeskustoiminnassa mukana olevalle henkilöstölle, jolloin jokainen pääsee itsenäisesti harjoittelemaan tapahtumien tulkitsemista. Excel-tiedostoon ei kerätty jokaisen häiriön tapahtumalistojen tarpeettoman toiston välttämiseksi esimerkiksi selkeiden oiko- tai maasulkulaukaisujen osalta, vaan tiedostoon on kerätty mahdollisimman paljon toisistaan eroavia tapahtumalistoja. Ensimmäisessä jaetussa harjoitteessa tulkittavaksi tuli kootusti 44 todellisiin häiriötilanteisiin perustuvaa tapahtumalistaa.

5.2.3 Koulutusten ylläpito ja kehittäminen

Diplomityön tuloksena tehtyjä harjoitteita jatketaan ja kehitetään tulevaisuudessakin, sillä toteutetut harjoitusmuodot on koettu saadun palautteen perusteella muiden koulutusmuotojen rinnalla toimiviksi. Harjoitusten ja harjoituskierron ylläpitämiseen on syytä nimetä vastuuhenkilö tai henkilöt Verkon käyttö -yksiköstä jatkuvuuden ja harjoitusten ajantasaisuuden takaamiseksi. Diplomityön aikana on luotu useita kysymyksiä Forms-pohjaisia käyttökeskusharjoituksia varten, ja näiden pohjalta käyttökeskushenkilöstölle rakennetaan ja julkaistaan uusia harjoituskokonaisuuksia. Kaikkia kysymyksiä ei julkaista yhdellä kertaa harjoitusten jatkuvuuden varmistamiseksi. Harjoituslomakkeita kootaan jatkossa vaihtuvien kysymyksin kahdesta neljään kertaan vuodessa. Kysymysten sisältöä ja uusia tehtäväaiheita kehitetään käyttökeskusympäristön tarpeisiin esimerkiksi toimintamallien muuttuessa. Eri osa-alueiden kohdennettuja kysymyksiä laajennetaan käyttöasiantuntijoiden ja ohjeiden lisäksi esimerkiksi suojaus-, sähköasema-, kunnossapito- ja järjestelmäasiantuntijoiden avulla. Harjoitusten suuntaa ja käsiteltäviä aiheita saadaan myös harjoituslomakkeen yhteydessä kerättyjen palautteiden perusteella, joista jo ensimmäiset saatiin julkaistun käyttökeskusharjoituksen vastauksista. Tietyin välein toistettavia harjoitteita on syytä automatisoida tarpeen mukaan, jolloin suorituskierto pysyy tasaisena eikä inhimillisille aikataulusuorituksille ja onohduksille jää tilaa.

Forms-pohjainen lomakerakenne toimii hyvin myös uusien käyttökeskusoperaattoreiden kouluttamisen ja osaamisen auditoinnin yhtenä osana. Esimerkiksi auditoinnin yhteydessä lomakkeilla voidaan kerätä vastaajan henkilötiedot tehtäväkohtaisen pisteytyksen lisäksi, jolloin tarkastaja näkee auditoitavan mahdolliset ongelma-kohtat ja pystyy kohdistamaan vaadittavat jatkokoulutukset oikein painotuksin. Lomakkeisiin luodaan vaihtoehtoisia etenemispolkuja ja ”haaroja”, jolloin vastaajan valinnat vaikuttavat kokeen tai harjoituksen kulkuun. Näin saavutetaan tilanne, jossa esimerkiksi heti väärän vastauksen jälkeen annetaan vastaajalle tarvittavat lisätiedot jo harjoituksen täyttämisen yhteydessä ja vahvistetaan täten oppimista. Auditoitaessa vastaukset luonnollisesti tarkastetaan, ja näin lomakkeeseen lisätään myös laajempia esseekysymyksiä muun muassa häiriönselvityksestä tietyissä tilanteissa. Näin saadaan monivalintakysymysten lisäksi hieman laajemmin tietoa auditoitavan osaamisesta.

Tapahtumalistaharjoituksen ylläpitoa tulee jatkaa keräämällä käytönvalvontajärjestelmästä vuosittaisten häiriöiden keskeisimmät tapahtumat Excel-työkaluun. Harjoitusta kehitetään lisäämällä tiedostoon esimerkiksi ajastintoiminto sekä vastausten tilastointi, jotta harjoituksen suorittajan on helppo seurata kehitystään ja toistaa vaikeiksi osoittautuneiden tapahtumalistojen tulkintaharjoittelua jatkossakin. Excel on harjoitusalueena hieman kankea, joten harjoitusta kehitettäessä on kannattavaa panostaa myös tehokkaamman alustan kartoitukseen uusien ominaisuuksien käyttöönoton mahdollistamiseksi.

Diplomityön aikana tehtyjen harjoitteiden lisäksi muiden verkkoyhtiöiden kanssa käytyjen keskustelujen yhteydessä mainittu rastiluontoinen verkon käytön koulutuspäivä nähtiin potentiaalisesti konseptiksi tehokkaasti toteutettuna. Koulutuspäivänä ratkotaan erilaisten osa-alueiden luotuja harjoituksia ryhmissä, jolloin yksintyöskentelyn lisäksi on mahdollisuus keskustella vapaammin ja vaihtaa ajatuksia mahdollisista ratkaisuvaihtoehdoista tai ongelmakohdista.

Koulutuspäivän harjoitukset voivat täten olla huomattavasti Forms-lomakkeen kysymyksiä laajempia kallistuen enemmän jo aikaisemmin HSV:ssä toteutettuihin laajempiin häiriönselvitysharjoituksiin. Häiriönselvitysharjoituksetkin ovat olleet käyttökeskusoperaattorin osalta yksityöskentelyä, joten koulutuspäivien mahdollistama ryhmäaspekti on vahvasti suositeltavaa.

6 Tulevaisuus

Sähköverkon operatiivisen käytön tueksi löytyy jo tänäkin päivänä useita eritasoisia automatisoituja järjestelmäratkaisuja, joiden avulla käyttökeskusoperaattorin täysi keskittymiskapasiteetti voidaan valjastaa tilanteiden selvittämisen kannalta olennaisiin asioihin. Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi automatisoitu häiriötiedottaminen ja loistehon hallinta sekä erilaiset käytöntukijärjestelmän automatisoidut vianpaikannus- ja rajausjärjestelmät (FLIR). Häiriötiedottamisella tarkoitetaan sähköverkon häiriön alkaessa HSV:n verkkosivuilta löytyvän reaaliaikaisen sähkökatkokartan lisäksi asiakkaille, verkkosivuille ja yrityksen sisäiseen viestintään lähteviä tiedotteita. Tiedotteiden julkaisun automatisointi vapauttaa käyttökeskusoperaattorin aikaa esimerkiksi häiriötilanteen alkukartoitukseen ja tarvittavien resurssien kutsumiseen.

Käytöntukijärjestelmän automaattinen vianpaikannus ja rajausjärjestelmä FLIR (Fault detection, Location, Isolation and supply Restoration) toimii optimaalisesti siten, että vian alkaessa käytöntukijärjestelmä määrittää vikapaikan verkolta saatavien vikaindikoitien sekä vikapaikanlaskennan avulla ja luo tarvittavat ohjaussekvenssit vikapaikan erottamiseksi sekä sähköjen palauttamiseksi verkon terveisiin osiin. Käytöntukijärjestelmä lähettää vaadittavat ohjauskäskyt käytönvalvontajärjestelmään, mikä puolestaan toteuttaa ohjaukset. FLIR:in toimiessa käyttökeskusoperaattori voi keskittyä jatkotoimenpiteiden toteuttamiseen ja viankorjauksen alkuun saattamiseen. Käytännössä nähdyt FLIR-toiminnot eivät toistaiseksi sovellu HSV:n käyttöön muun muassa kompleksisen verkkorakenteen ja käyttöperiaatteiden vuoksi, mutta suunta on selkeästi yhä automatisoidumpaan verkon käyttöön järjestelmien edelleen kehittyessä.

Kun suuri osa verkon käytön toiminnoista on automatisoitu, käyttökeskusoperaattorin rooli muuttuu todennäköisesti enemmän järjestelmien tiedon oikeellisuuden varmentamiseen ja soveltavien ratkaisumallien sekä toimintaperiaatteiden kehittämiseen. Tässä kontekstissa käyttökeskusoperaattoreiden kouluttaminen ja harjoitusten kehittäminen korostuu yhä entisestään, sillä esimerkiksi järjestelmien kaatuessa käyttökeskusoperaattorin on hallittava päivittäisestä työskentelystä poiketen normaalisti järjestelmien automaattisesti toteuttamat verkon käytön peruseriaatteet.

Diplomityössä toteutetut lomake- ja Excel-pohjaiset harjoitukset on tulevaisuudessa järjestelmien harjoitusympäristöjen kehittymisen myötä mahdollista korvata osittain järjestelmiin integroiduilla harjoitusskenaarioilla. Tämä malli soveltuu erityisen hyvin häiriönselvitysharjoitteluun mahdollistaen realistisen ja kattavan harjoittelun olemassa olevaa järjestelmäympäristöä käyttäen. Järjestelmien harjoitusympäristöjä on jo saatavilla esimerkiksi käytönvalvontajärjestelmiin, mutta niiden ylläpitäminen ja harjoitusten järjestäminen on toistaiseksi erittäin työlästä ja resurkseja

vaativaa. Haasteita harjoitusympäristön luomiseen tuo myös nykyinen käyttökeskusympäristön muodostuminen useista erillisistä järjestelmistä. Nykyisessä mallissa harjoitusten ja harjoitteluympäristön luominen vaatii harjoitteluympäristön toteuttamisen ja ylläpitämisen jokaisen järjestelmän osalta, sekä näiden järjestelmien väliset integraatiot.

Tulevaisuudessa usean järjestelmän mahdollisen yhdistymisen seurauksena harjoitusympäristön luominen helpottuu ja näin mahdollistaa harjoitusten monipuolisemman toteutustavan. Nykyisin järjestettävät häiriönselvitysharjoitukset vaativat työlää valmistelun, sekä harjoituksen aikaisen aktiivisen valvonnan ja ohjauksen harjoitusten järjestäjiltä. Tulevaisuuden käyttökeskusoperaattoreiden harjoittelu toteutettaisiin järjestelmään valmiiksi luotujen harjoitusskenaarioiden avulla, jolloin operaattori voi harjoitellessaan valita haluamansa skenaarion ja suorittaa harjoitustilanteen vaatimat toimenpiteet todellista tilannetta vastaavalla tavalla. Näin toteutettu harjoittelu pienentää harjoittelun kynnyksiä ja mahdollistaa käyttökeskusoperaattoreille erilaisten haastavien tilanteiden optimaalisten toimintamallien sujuvaan toteuttamiseen vaadittavien toimenpiteiden toistokerrat. Tällaisten pelityylisten harjoitusten seuraaminen ja mahdollinen pisteyttäminen mahdollistaa harjoitusten avulla saavutettavan osaamisen seurannan sekä mahdollisten puutteellisten toimintamallien ja puutteellisten ohjeistusten tunnistamisen.

Poliittiset päätökset, teknologian kehittyminen ja energiamarkkinat ovat ajaneet sähköjakeluverkkoliiketoiminnan murrokseen muun energia-alan tavoin. Lähivuosina tapahtuvat kehityssuunnat vaikuttavat todennäköisesti myös verkon käytöllisten muutosten myötä käyttökeskustoimintaan. Uusiutuvien energiantuotantomuotojen yleistyminen ajaa energiantuotantoa yhä sääriippuvaisempaan suuntaan ja suurien generaattoreiden korvautuminen uusiutuvilla tuotantomuodoilla vähentää sähkövoimajärjestelmän tahdistavaa momenttia. Tämä johtaa osaltaan mahdollisten tehopulatilanteiden todennäköisyyden kasvuun. Tästä syystä tehopulatilanteiden toimintamallien kehittämistä ja ylläpitävää harjoittelua onkin syytä jatkaa. Jatkuvassa nosteessa olevan hajautetun sähkön pientuotannon vaikutus verkon käytöllisiin periaatteisiin on huomioitava.

Yleistyneen pientuotannon myötä aikaisemmin sähkön kuluttajina toimineet asiakkaat voidaan nähdä myös sähköntuottajina. Tämä muutos näkyy muun muassa mahdollisina alun perin säteittäiseksi suunnitellun sähköverkon suojausten selektiivisyysongelmina sekä verkon käytössä huomioitavien takasyöttötilanteiden lisääntymisenä. Takasyötöllä tarkoitetaan tilannetta, missä sähköverkon rakentamistöitä varten jännitteettömäksi erotettua verkkoaluetta virheellisesti syöttämään onkin jäänyt jakeluverkkoon liittynyt hajautettu pientuotantolaitos. Vastaavissa tilanteissa on aina varmistuttava siitä, että myös mahdolliset pientuotantolaitokset on erotettu turvallisesti verkosta ennen mahdollisia jatkotoimenpiteitä. Tämä johtaa siihen, että käyttökeskuksella on oltava aina ajantasainen mielellään järjestelmissä automaattisesti hälyttävä tieto mahdollisista pientuottajista.

Jakeluverkon asiakkaita koskettavalla kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkön kuluttajien ja tuottajien hetkellistä reagointia verkon tehotasapainon hallinnan tarpeisiin. Todennäköisesti käyttökeskus ei tule olemaan kysyntäjoukseen valjastettujen asiakkaiden sähkönkäyttöä ohjaava taho, mutta tulevaisuuden automatisoidut kysyntäjoukstoratkaisut varmasti monimutkaistavat jakeluverkon käyttöperiaatteita käyttökeskuksen näkökulmasta.

Pientuotannon lisääntyessä ja kysyntäjoustopalveluiden kehittyessä on mahdollista, että tulevaisuudessa hyödynnetään muun muassa aluekohtaisia harkittuja pientuotannon ylläpitämiä saarekkeita. Tällaisilla saarekekäyttömahdollisuuksilla voidaan esimerkiksi nopeuttaa sähköjen palauttamista laajojen jakeluhäiriöiden osalta sekä kompensoida tehopulatilanteen irtikytkentäkäsken vaatiman irtikytkettävän tehon määrää ilman sähkönjakelukeskeytyksiä erottamalla niin sanotusti omavaraisia verkon osia yleisenjakeluverkon ulkopuolelle.

Helsingin alueen kansainvälistyminen on hyvin havaittavissa käyttökeskuksen osalta muun muassa vikapuheluiden käsittelyyn tarvittavan kielitaidon muodossa. Nykyisin käyttökeskusoperaattoreilta vaaditaan sujuvaa suomen kielen osaamista, mutta käytännössä osa puheluista käsitellään englanniksi. Tulevaisuudessa eri kielten etenkin englannin tarve tulee todennäköisesti kasvamaan asiakaspalvelutilanteiden ja mahdollisesti verkon käytön muunkin toiminnankin yhteydessä, minkä seurauksena päivitetyt kielitaitovaatimukset ja tilannekohtainen kouluttaminen voivat tulla tarpeeseen.

7 Yhteenveto

Tämän diplomityön päätavoitteena oli kehittää Helen Sähköverkon käyttökeskusoperaattoreiden koulutus- ja harjoitustoimintaa häiriönselvitysosaamisen tueksi. Sähköverkon operatiivinen käyttö sisältää monia kriittisiä harvoin toistuvia yksityiskohtia, jotka on hallittava käyttökeskusoperaattoreiden osalta hyvin. Usein erilaiset toimintamallit vaativat tarvittavat yksilökohtaiset toistomäärät asioiden sujuvan hallitsemisen saavuttamiseksi. Vuosittain toistettavilla yksittäisillä häiriöharjoituksilla ja koulutustilaisuuksilla ei ole saavutettu edellä mainittuja toistomääriä, mitä yhtenä osa-alueena lähdettiin työn kautta kehittämään.

Pohjustuksena tehtäviin koulutuksen kehittämistoimiin kartoitettiin muissa jakeluverkkoyhtiöissä toteutettuja koulutusmenetelmiä. Kartoitusten ja HSV:n sisäisten kokemusten pohjalta luotiin aikaisemmin järjestettyjen harjoitusten ja koulutustilaisuuksien rinnalle operatiivista käyttökeskustoimintaa tukevia tiheämmällä aikavälillä toistettavia harjoituksia käyttökeskusoperaattoreiden tarpeisiin. Uusilla harjoitusmuodoilla voidaan myös hyvin tukea uusien käyttökeskusoperaattoreiden ja käyttökeskuksen varahenkilöstön perehdyttämistä. Luotujen harjoitusmallien avulla voidaan kerrata vanhoja ja kouluttaa uusia käyttökeskustoimintaa koskettavia toimintamalleja sekä tehostaa käyttökeskusoperaattoreiden tilannekartoitustaitoja käytönvalvontajärjestelmään tulevien hälytyslistojen tulkinnan osalta.

Yhtenä uutena koulutusmuotona toteutettiin Microsoft Forms -pohjainen kyselylomake, mitä toistetaan jatkossa muutamia kertoja vuosittain vaihtuvien kysymyksin ja tehtävin. Kysymyksillä pyrittiin korostamaan käyttökeskustoiminnassa tärkeitä harvoin toistettavia asioita. Tehtävien aihealueet sisälsivät erilaisia käyttökeskuksen normaali- ja häiriötilanteiden toimintatapoja. Lomakkeella haettiin kertauksen ja kouluttamisen lisäksi verkon käytön toimintatapojen yhtenäistämistä sekä mahdollisten virheellisten toimintamallien korjaamista. Suurin osa harjoituksen kysymyksistä käsitteli HSV:n verkon käytön pysyväisohjeiden aihealueita, joissa avataan laajasti sähköverkon käyttöön liittyviä aiheita muun muassa jatkuvuudenhallinnan, suojauksen, häiriönselvitysperiaatteiden, paikalliskäytön sekä turvallisuusnäkökulmien osalta. Kysymyksissä käsiteltiin myös esimerkiksi sähköasemaohjeiden yksityiskohtia sekä diplomityön yhteydessä tehdyn häiriöraporttien tarkastelun yhteydessä havaittuja käyttökeskusoperaattoreiden toimintaperiaatteiden eroavaisuuksia.

Ensimmäinen henkilöstölle lähetetty Forms-pohjainen harjoituslomake jaettiin neljään käyttökeskustoiminnalle tyypilliseen osaamisalueeseen; yleinen käyttökeskustoiminta, sähköasemahälytykset ja suojaus, järjestelmäosaaminen sekä pelastustoimintaan liittyvät tilanteet. Lomakkeen palauteosiossa kerättyjen tietojen mukaan toteutettu harjoitus nähtiin tarpeelliseksi ja hyväksi käyttökeskukselle kohdennetuksi uudeksi harjoittelumuodoksi.

Toisena kehitettävänä asiana koulutuksessa havaittiin käytönvalvontajärjestelmään tulevien tapahtumalistojen tulkintaharjoittelu. Käyttökeskusoperaattori muodostaa tapahtumalistosta tilannekuvan kriittisen häiriön selvitysprosessin pohjaksi. Hälytysten virheellinen tulkinta voi johtaa esimerkiksi häiriöiden aiheuttamaan pitkittymiseen tai häiriöiden vaikutusalueiden turhaan laajentumiseen virhekytkentöjen muodossa. Aikaisemmin häiriöiden yhteydessä tulleiden tapahtumalistojen tulkitsemisen harjoittelu on perustunut käytännössä operaattoreiden kohdalle

osuneiden yksittäisten häiriöiden analysointiin sekä lähes vuosittain järjestettäviin suojuskoulutuksiin. Diplomityön tuloksena toteutettiin Excel-pohjainen työkalu tapahtumalistojen tulkintaharjoitteluun, mihin koottiin 2016 vuodesta alkaen kerättyjen käytönvalvontajärjestelmän todellisten tapahtumalistojen pohjalta suodatetut vuosittaisten häiriöiden aikaiset tapahtumalistaukset.

Häiriökohtaiset tapahtumalistat on nimetty työkalun sisällä omiin taulukoihinsa häiriöistä tehtyjen HSV:n sisäisten häiriöraporttien mukaisesti, joten tarkasteltavat tapahtumalistat on helppo yhdistää niihin kohdistuneisiin häiriötilanteisiin. Harjoittelija voi näin halutessaan perehtyä häiriöraportin avulla kyseisten tapahtumalistojen aiheuttaneiden häiriöiden tarkempaan yksityiskohtiin. Tapahtumalistaharjoituksen ideana on oppia tunnistamaan erilaisia häiriötyyppejä tapahtumalistojen perusteella entistä tehokkaammin työkalun mahdollistaman tulkintaharjoittelun toiston kautta.

Diplomityön aikana toteutettuja harjoituksia ylläpidetään jatkossa tapahtumalistojen tulkintaharjoitusta päivittämällä ja Forms-lomakepohjaisia koulutuksia kehittämällä. Forms-pohjaisten käyttökeskuskoulutusten sisältöä muokataan tapauskohtaisesti ajankohtaisten asioiden ja toiveiden mukaan, sekä laajennetaan eri osa-alueiden kysymyksiä käyttöasiantuntijoiden ja ohjeiden lisäksi muun muassa suojaus-, sähköasema-, kunnossapito- ja järjestelmäasiantuntijoiden avulla. Koulutusten ylläpitoon on syytä nimetä vastuuhenkilö koulutustoiminnan jatkuvuuden takaamiseksi.

Käyttökeskusoperaattoreiden koulutus- ja harjoitustoimintaa on tulevaisuudessakin ylläpidettävä ja kehitettävä esimerkiksi järjestelmäautomaation kehittyessä. On mahdollista, että tulevaisuudessa käyttökeskusoperaattorin rooli muuttuu häiriöiden fyysisestä selvittämisestä enemmän järjestelmien tiedon oikeellisuuden varmentamiseen ja soveltavien ratkaisumallien sekä toimintaperiaatteiden kehittämiseen. Tällöin käyttökeskusoperaattoreiden kouluttamisen merkitys korostuu esimerkiksi järjestelmähäiriöiden yhteydessä, jolloin sähköverkon häiriöiden selvittäminen on hoidettava operaattorin toimesta manuaalisesti peruseriaatteista lähtien. Ilman pätevää harjoitustoimintaa kyseiset perustoiminnot voivat unohtua, sillä järjestelmät hoitavat ne toimiessaan itsenäisesti.

Tulevaisuuden koulutusympäristöt olisivat hyvä olla sisällytettyinä käytettäviin järjestelmiin etenkin häiriötilanteiden harjoittelun osalta, jolloin todellisia vastaavien tilanteiden harjoitteluun yksinkertaistuisi. Järjestelmien koulutusympäristöön voitaisiin luoda valmiita harjoitustilanteita käyttökeskusoperaattoreiden suoritettavaksi. Harjoitusten kulusta voitaisiin kerätä tilastoja, jotka mahdollistaisivat harjoittelun myötä tulevan kehityksen seurannan ja mahdollisten harjoitusalueiden painottamisen suunnittelun.

Lähdeluettelo

- [1] Turvallisuuskomitea, "Sähkörüippuvuus modernissa yhteiskunnassa," Turvallisuuskomitea, Helsinki, 2015.
- [2] Helen Sähköverkko Oy, *Helen Sähköverkko Oy:n yritysesitys*, Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2019.
- [3] Jarmo Elovaara, *Sähkölaitostekniikan perusteet*, Espoo: Otatieta Oy, 1999.
- [4] Jarmo Partanen & Erkki Lakervi, *Sähkönjakelutekniikka*, Helsinki: Otatieta, 2012.
- [5] Leena Korpinen, "Sähkövoimatekniikkaopus: Sähkön siirto- ja jakeluverkot," [Verkkajulkaisu]. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf. [Haettu 4 12 2019].
- [6] Niki Hämäläinen, *Sähköasemien ja suurjännitteisen jakeluverkon vikojen hallinta*, Insinööriyö, Helsinki: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 2019.
- [7] Suvi Takala, *Loistehon kaupallinen hallinta jakeluverkkoyhtiössä*, Diplomityö, Espoo: Aalto-yliopisto, 2018.
- [8] Fingrid Oyj, "Loissähkön käyttö ja loistehoreservin ylläpito," [Verkkajulkaisu]. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/loissahkon-kaytto-ja-loistehoreservin-yllapito/>. [Haettu 10 1 2020].
- [9] Helen Sähköverkko Oy, "Loistehon hallinnan yleissuunnitelma," Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2016.
- [10] Mika Loukkalahti, *Häiriönselvityspäätökset HSV (Esitys)*, Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2017.
- [11] Juhani Lepistö, *Kaupunkikeskijänniteverkon optimointi*, Diplomityö: Aalto Yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, 2017.
- [12] Eemeli Hyvönen, *Keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohjeen laatiminen*, Insinööriyö, Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu, 2019.
- [13] Jari Ruotsalainen, "Kalasataman 10 kV rengasverkko, Loppuraportti," Helen Sähköverkko Oy, sisäinen dokumentti, ei julkaistu, Helsinki, 2018.
- [14] Helen Sähköverkko Oy, "Kalasataman rengasverkon suojauksen toimintakuvaus," Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, Helsinki, 2018.

- [15] Helen Sähköverkko Oy, *Toiminta käyttökeskuksessa*, Helsinki: Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2014.
- [16] Suomen standardisoimisliitto SFS ry, "Sähköturvallisuus standardi SFS 6002," Helsinki, 2015.
- [17] Helen Sähköverkko Oy, *S-002 Jatkuvuudenhallinta käyttötoiminnassa*, Helsinki: Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2017.
- [18] Antti Koto, *Tietojärjestelmien väliset rajapinnat sähkönjakeluverkon käyttötoiminnassa*, Diplomityö, Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2009.
- [19] Trimble inc., "Trimble-dms," [Verkkajulkaisu]. <https://utilities.trimble.fi/trimble-dms.html>. [Haettu 23 11 2019].
- [20] Reneco Oy, "Verkostoautomaatiojärjestelmien tietoturva," Verkkodokumentti, Selvitys Energiateollisuus ry:lle, 2013.
- [21] Järvi-Suomen Energia, "Sähköverkon turvallinen käyttö," Mikkeli, 2018.
- [22] Suomen Erillisverkot Oy, "krivat," 2019. [Verkkajulkaisu]. <https://www.erillisverkot.fi/palvelut/tilannekuva/krivat>. [Haettu 29 11 2019].
- [23] Suomen Erillisverkot Oy, "KRIVAT," Erillisverkot, 2017.
- [24] Energiateollisuus, "Pitkän sähkökatkon vaikutuksia," [Verkkajulkaisu]. https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkokatkot/pitkan_sahkokatkon_vaikutuksia. [Haettu 19 1 2020].
- [25] Energiavirasto, "Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2018," [Verkkajulkaisu]. <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>. [Haettu 8 02 2020].
- [26] Energiavirasto, "Valvontamenetelmät neljännellä ja viidennellä valvontajaksolla," 8 11 2018. [Verkkajulkaisu]. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Valvontamenetelm%C3%A4t-s%C3%A4hk%C3%B6jakelu-2016-2023.pdf/72eac45f-4fe0-6b0a-d5f7-e89ee97b89fc/Valvontamenetelm%C3%A4t-s%C3%A4hk%C3%B6jakelu-2016-2023.pdf.pdf>. [Haettu 19 1 2020].
- [27] Helen Sähköverkko Oy, "Häiriöanalyysit," Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, Helsinki, 2011 - 2018.
- [28] Energiateollisuus Ry, *Keskeytystilasto-ohje 2014*, 2014.
- [29] *Sähkömarkkinalaki 588/2013 51§*, Työ- ja elinkeinoministeriö, 2013.

- [30] Helen Sähköverkko Oy, *Keskeytystilastot 2010 - 2019*, Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- [31] Mika Loukkalahti, Osmo Siirto, Markku Hyvärinen ja Pirjo Heine, "Helen Electricity Network Ltd's Process Towards High Level of Supply Reliability," tekijä: *CIREC*, Glasgow, 2017.
- [32] Mika Loukkalahti, "Kj-maasulkuvirran kompensointijärjestelmän yleissuunnitelma," Helen Sähköverkko Oy, sisäinen dokumentti, ei julkaistu, Helsinki, 2011.
- [33] Osmo Siirto, *Distribution Automation and Self-Healing Urban Medium Voltage Networks*, Väitöskirja, Helsinki: Aalto University, 2016.
- [34] Pauli Somero, "Maasulkuvirran kompensointi, Loppuraportti," Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, Helsinki, 2019.
- [35] Helen Sähköverkko Oy, *Häiriöyhteenvedot*, Helsinki: Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2010-2019.
- [36] Jarmo Eskelinen, *Sähkönjakeluverkon käyttövarmuuden kehittäminen*, Diplomityö, Imatra: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2008.
- [37] Helen Sähköverkko Oy, *S-003 Sähköverkon paikalliskäyttö ja häiriönselvitys*, Helsinki: Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2017.
- [38] H. R. L. J. R. S. Ding Hongzhi, "Why Transformers Fail," tekijä: *Double Powertest Ltd*, Guildford, UK, 2009.
- [39] Helen Sähköverkko Oy, *S-006 Relesuojaukseen liittyvät käytön ohjeet*, Helsinki: Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2019.
- [40] Helen Sähköverkko, "Häiriöraportit," Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, Helsinki, 2005 - 2019.
- [41] E-ISAC, "Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian Power Grid," Electricity Information Sharing and Analysis Center, Washington, DC, 2016.
- [42] Fingrid Oyj, "Toiminta sähköpulassa," Fingrid, [Verkkajulkaisu]. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/toiminta-tehopulassa/>. [Haettu 12 11 2019].
- [43] Fingrid Oyj, "Suomen sähköjärjestelmän sähköpulatilanteiden hallinta - ohje sidosryhmille," [Verkkajulkaisu]. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/sahkojarjestelman-sahkopulatilanteet-ohje.pdf>. [Haettu 12 11 2019].
- [44] Helen Sähköverkko Oy, "Päivystäjän tietopaketti," Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2018.

- [45] Fingrid Oyj, "Loissähkön toimitus ja loistehoreservin ylläpito," 2017. [Verkkajulkaisu]. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kayttovarma-sahkonsiirto/loissahkon-toimituksen-ja-loistehoreservin-yllapito.pdf>. [Haettu 12 2020].
- [46] Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, "SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset," Helsinki, 2018.
- [47] Liisa Haarla, Jarmo Elovaara, *Sähköverkot 2*, Helsinki: Otatieto, 2011.
- [48] Helen Sähköverkko Oy, *Johtokeskuksen perustaminen ja toiminta*, Helsinki: Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2019.
- [49] Helen Sähköverkko Oy, *T-006 Sähköverkon pelastussuunnitelma*, Helsinki: Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2017.
- [50] Helen Sähköverkko Oy, *Palo-opastekansiot*, Helsinki: Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, 2020.
- [51] Helen Sähköverkko Oy, *S-007 Tähtipistemaadoitusten käyttö 110 kV verkossa*, Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- [52] Ilona Erhiö, *Käyttöpäällikkö, Vantaan Energia Sähköverkot Oy*. [Haastattelu]. 23 Syyskuu 2019.
- [53] Heikki Paananen, Teemu Suvela, *Käyttöpäällikkö & Käyttöinsinööri, Elenia Oy*. [Haastattelu]. 4 Lokakuu 2019.
- [54] Juho Uurasjärvi, *Käyttöpäällikkö, Turku Energia Sähköverkot Oy*. [Haastattelu]. 4 Syyskuu 2019.
- [55] Kalle Siivonen, *Käyttöinsinööri, Tampereen Sähköverkko Oy*. [Haastattelu]. 6 Syyskuu 2019.
- [56] Helen Sähköverkko Oy, "Häiriöharjoitusraportit," Sisäinen dokumentti, ei julkaistu, Helsinki, 2015 - 2017.
- [57] Energiavirasto, "Sähköverkkoliiketoiminnan kehitys, sähköverkon toimitusvarmuus ja valvonnan vaikuttavuus 2018," 12 3 2019. [Verkkajulkaisu]. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/Verkkotoiminnan-vaikuttavuusraportti-2018.pdf/4c48b5ce-57ad-35c3-4f07-193e23c6b0ac/Verkkotoiminnan-vaikuttavuusraportti-2018.pdf>. [Haettu 18 1 2020].

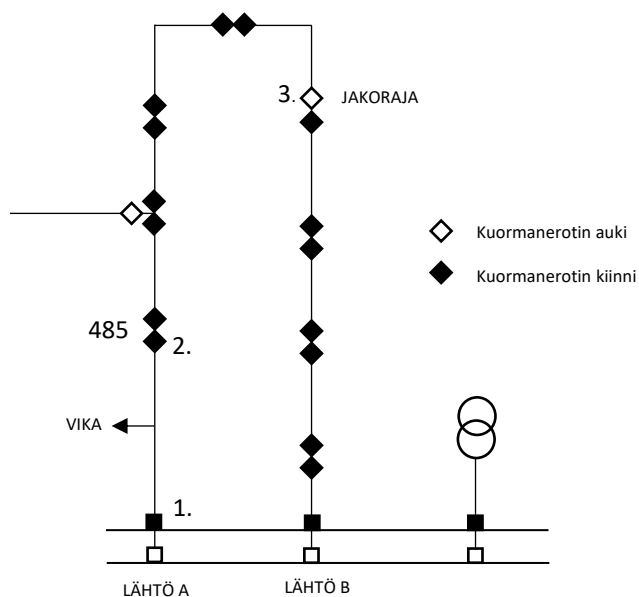
LIITE 1

Forms-lomakepohjaisen käyttökeskuskoulutuksen esimerkkikysymyksiä:

Yleistä käyttökeskustoimintaa

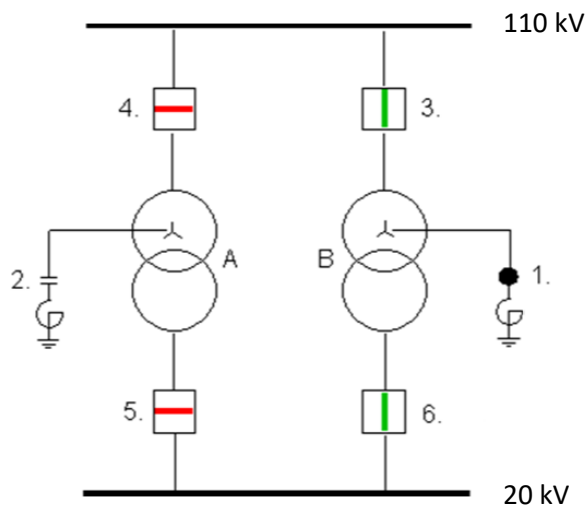
- Listaa seuraavat vaihtoehdot toteutusjärjestykseen häiriönselvitysprosessin mukaisesti.
 - Tilannekuvan muodostaminen
 - Välittömät toimenpiteet häiriötilanteen palauttamiseksi/rajaamiseksi
 - Resurssien kutsuminen
 - Häiriötiedottaminen
 - Häiriönselvittäminen (paikalliskytkijöiden kanssa)
 - Häiriöraportointi

- Sähköasemalähtö A hälyttää maasulkuja. Vikapaikka on varmistunut kaivajan ilmoituksen perusteella välille (Sähköasemalähtö A - muuntamo 485). Missä järjestyksessä muutat kuormanerotimien tai katkaisijoiden tilaa vikapaikan erottamiseksi?



(Oikea vastaus: 3, 2, 1. Kun asemalähdöt A ja B ovat renkaassa, niin kuormanerotin 2. erotuskyky ei ylitä, sillä suurin osa maasulkuvirrasta kulkee vikapaikkaan suoraan asemalähdön A kautta. Viimeinen erotus tehdään vaarattomasti katkaisijan avulla, mikä kestää suurienkin vikavirtojen erottamisen.)

3. Kuvassa on hahmoteltu sähköaseman päämuuntajat kiskoineen. Tilanne: Muuntaja B:lle halutaan huoltokeskeytys, minkä ajaksi muuntaja A on otettava käyttöön. Mikä on oikea kytkentäjärjestys?



(Oikea vastaus: 4, 2, 5, 6, 3, 1)

Sähköasemahälytykset ja suojaus

4. Mikä on korjaustöiden kiireellisyysluokka, kun päämuuntajan differentiaalisuoja vioittuu?

Sähköasemakunnossapidon korjaustoimenpiteille on annettu ohjeelliset kolme kiireellisyysluokkaa

(Vaihtoehtona korjaustoimenpiteille on vikaantuneen releen omaavan lähdön ottaminen pois käytöstä.)

- Välittömästi eli normaalin työajan ulkopuolellakin
- Välittömästi normaalina työaikana
- Normaalina työaikana

(Normaalina työaikana: Differentiaalireleen vioituessa lähdölle jää ylivirtasuojaus ja kj-puolella on valokaarisuojaus ja usealla asemalla 20 kV suunnattu maasulkusuojauskin. Lisäksi muuntajalla on omat primäärisuojat, kuten kaasurele ja lämpötilasuojat. Korjaustoimenpiteet käynnistetään normaalina työaikana.)

5. Mikä on kiireellisyysluokka, kun keskijännitelähdön kennoyksikkö vioittuu?

Sähköasemakunnossapidon korjaustoimenpiteille on annettu ohjeelliset kolme kiireellisyysluokkaa

(Vaihtoehtona korjaustoimenpiteille on vikaantuneen releen omaavan lähdön ottaminen pois käytöstä.)

- Välittömästi eli normaalin työajan ulkopuolellakin
- Välittömästi normaalina työaikana
- Normaalina työaikana

(Välittömästi eli normaalin työajan ulkopuolellakin: Kennoyksikön vikaantuessa ylivirtasuojaus on enää päämuuntajan keskijännitesyöttökennon varassa ja maasulkusuojaus kiskomaasulkureleiden varassa. Lisäksi kennon kaukokäyttöyhteys on menetetty. Tällöin lähtö otetaan verkkokytkeäntöjen avulla pois käytöstä tai korjaustoimenpiteet käynnistetään välittömästi.)

Järjestelmät

Tässä lueteltuna esimerkkikysymyksiä järjestelmiin liittyen. Forms-lomakkeen kysymyksissä on eritelty vaihtoehtoja ja käytetty havainnollistavia kuvia, mitkä on jätetty tästä pois salassapidettävyytensä vuoksi.

6. Miten toimit, kun yhteydet sähköasemalle katkeaa?
7. Miten varajärjestelmiin siirtyminen toteutetaan?
8. Mitä teet, jos menetät työpisteen hallinnan ja epäilet ulkopuolisen tunkeutumista?
9. Mitä erilaiset järjestelmä indikoinnit tarkoittavat?

Pelastustoiminta

10. Palveluntuottajan kaksi asentajaa ovat huoltamassa keskijännitekojeistoa sähköasemalla, kun heille sattuu työtapaturma ja toinen asentajista saa pahoja palovammoja valokaaresta. Työpari soittaa käyttökeskukseen. Tilanne ei aiheuta sähkönjakelukeskeytystä. Miten toimit?
11. Olet soittanut 112:een ja ilmoittanut mahdollisesta tulipalosta sähköasemalla. Pelastuslaitoksen yksiköt ovat matkalla kohteeseen ja palomestari ottaa yhteyttä käyttökeskukseen kysyäkseen lisätietoja ja kauanko päivystäjällä kestää tulla paikalle. Miten toimit?