

Olli Haapamäki

Varautuminen 110 kV kaasueristeisten kytkinlaitosten vikoihin

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Sähkötekniikka
Insinöörityö
6.5.2011

Alkulause

Tämä insinöörityö on tehty Helen Sähköverkko Oy:n alueverkkoyksikölle. Työtäni ohjasivat Helen Sähköverkko Oy:n kunnossapitopäällikkö Mika Hinkkanen, kunnonhallintapäällikkö Oskari Patjas ja kunnossapitoinsinööri Toivo Kuosmanen. Työn valvojana oli Metropolia Ammattikorkeakoulun lehtori Jarno Varteva. Haluan kiittää heitä hyvästä ohjauksesta, neuvoista, avuista ja mielenkiintoisista keskusteluista työn teon aikana.

Haluan kiittää myös alueverkkoyksikön työntekijöitä, joilta työn aikana ja aiemmin kesätöiden yhteydessä olen saanut paljon tietoa sähköverkon toiminnasta ja järjestelmistä.

Helsingissä 6.5.2011

Olli Haapamäki

Tekijä Otsikko	Olli Haapamäki Varautuminen 110 kV kaasueristeisten kytkinlaitosten vikoihin
Sivumäärä Aika	49 sivua + 3 liitettä 6.5.2011
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Kunnossapitopäällikkö, insinööri Mika Hinkkanen Lehtori, tekniikan lisensiaatti Jarno Varteva
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Helen Sähköverkko Oy:n alueverkkoyksikölle. Työssä selvitettiin, miten 110 kV kaasueristeisen kytkinlaitoksen vikoihin voitaisiin varautua ja millaiset viat voivat aiheuttaa täyden käyttökeskeytyksen. Työssä tutkittiin vanhoja viankorjausraportteja, haastateltiin asiantuntijoita ja asentajia sekä tehtiin kysely valmistajille heidän tietoonsa tulleista vikatilanteista. Kaasueristeisten kytkinlaitosten vikatilanteet ovat hyvin harvinaisia, joka osaltaan asetti haasteellisen lähtökohdan työn tekemiselle.</p> <p>Työn alussa käytiin läpi kaasueristeisiä kojeistoja eli niin sanottuja GIS-kojeistoja. Seuraavaksi on esitelty mahdollisia vikatilanteita, jotka voivat vaikuttaa kojeiston toimintaan. Osa vioista on sellaisia, jotka ovat tapahtuneet aiemmin, ja osa on sellaisia, jotka ovat tutkimusten ja keskustelujen tuloksena löytyneet. Viat eivät ole todennäköisiä, mutta kaikki ovat mahdollisia. Seuraavaksi on pohdittu vikatilanteiden vaikutuksia sähkönjakelun ja taloudellisten vaikutusten kannalta. Viimeisenä kohtana tehtiin yleispiirteinen katsaus siihen, miten vikatilanteisiin voidaan varautua ennalta, ja mitä tehdä, mikäli vika todellisuudessa tapahtuu.</p> <p>Työssä tehtyjen haastattelujen ja kyselyjen pohjalta vahvistui näkemys siitä, että vikatilanteet ovat harvinaisia. Vikoja voi kuitenkin syntyä sellaisten vaikuttajien takia, joita ei normaalilla varautumisella ja riskien minimoinnilla voida ehkäistä. Tällainen syy on esimerkiksi veden tulviminen sähköasemalle voimakkaan sateen tai poikkeuksellisen meren tulvimisen vuoksi. Mikäli näitä asioita ei etukäteen oteta huomioon ja tehdä konkreettista varautumissuunnitelmaa, vikojen vaikutukset voivat olla hyvinkin suuria.</p> <p>Työ toimii samalla pohjatyönä Helen Sähköverkko Oy:n 110 kV kaasueristeisten kojeistojen vikojen varautumissuunnitelmalle.</p>	
Avainsanat	GIS, kaasueristeinen kytkinlaitos, suurjännite, varautuminen

Author Title Number of Pages Date	Olli Haapamäki Preparing for Fault Situations in 110 kV Gas Insulated Switchgear 49 pages + 3 appendices 6 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Mika Hinkkanen, Maintenance manager, BEng Jarno Varteva, Senior Lecturer, Lic. Tech.
<p>This thesis was carried out for the local area network unit of Helen Sähköverkko Oy. The purpose of this study was to assess how an organization can prepare for the malfunctions in the 110 kV gas insulated switchgear and also to identify which malfunctions could cause a total shutdown in the system. The study was carried out by studying old repair reports and by interviewing electrical network experts and mechanics. In addition, the manufacturers were inquired about possible malfunction scenarios. Malfunctions are not a common occurrence, thus this study was challenging right from the beginning.</p> <p>This study first briefly introduces gas insulated switchgears. It then describes the possible malfunctions which could affect the switchgear. Some of the malfunction cases are examples from around the world, others were found in the course of carrying out this study and discussing with experts. This study shows that even though malfunctions are highly unlikely, they are still possible. This study discusses the impact of these malfunctions on electricity distribution as well as the financial implications stemming from them. The work provides some guidelines on how to prepare for malfunctions and what to do in critical situations.</p> <p>Based on the results, it became clear that fault situations are indeed very unusual. Nevertheless, malfunctions may be the result of something that cannot be prepared for and thus cannot be avoided even by minimizing the risks. They could be caused, for example, by extremely heavy rain or an exceptionally high sea level. If precautions are not taken to counter these threats, the results can be very serious.</p> <p>This study serves as the foundation for Helen Sähköverkko Oy's preparation plan for 110 kV GIS switchgear malfunction situations.</p>	
Keywords	GIS, gas insulated switchgear, high voltage, preparation

SISÄLLYS

Alkulause

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
2	110 kV:n GIS-kytkinlaitokset	2
2.1	Yleistä GIS-kytkinlaitoksista	3
2.2	Kojeistojen rakenteet	4
2.3	Kaasun käytön rajoitukset	7
3	GIS-kytkinlaitosten mahdollisia vikatilanteita	8
3.1	Kojeistovika	10
3.2	Tulipalosta aiheutuvat vahingot	13
3.3	Huoltovirheistä aiheutuvat viat	14
3.4	Ilkivallasta aiheutuvat häiriöt	15
3.5	Ilmaston aiheuttamat häiriöt	15
3.6	Sähköaseman rakenteellinen ongelma	16
3.7	Suojauksen häiriöt	17
3.8	Kaukokäytön häiriöt	17
3.9	Poikkeuksellinen yhteiskunnallinen tilanne	19

4	Vikojen vaikutukset ja varautuminen	20
4.1	Jakelukeskeytyksen vaikutukset	20
4.1.1	Hallinto	23
4.1.2	Helsingin liikenne	23
4.1.3	Helsingin pelastuslaitos ja sairaanhoito	24
4.1.4	Helsingin Energia	25
4.2	Kustannukset verkkoyhtiölle ja asiakkaille	25
4.3	Varautumistarpeiden selvitys	26
5	Varautuminen käytännössä	30
5.1	Vikoihin varautuminen	32
5.2	Varautumisessa huomioitavia seikkoja	34
5.2.1	Esisuunnittelu ja riskien minimointi	34
5.2.2	Yksittäisten osien vaurioiden vaikutukset	35
5.2.3	Vesivahinkojen ja tulipalojen ehkäisy	36
5.2.4	Elinkaari- ja huoltosopimukset laitteiston kunnonhallinnassa	39
5.3	Käytössä olevien komponenttien hyödyntäminen varaosina	40
5.4	GIS-kojeiston ohittaminen	40
5.5	Keskijänniteverkon reservit	44
5.6	Varautumisen ulkopuolelle jäävät riskit	46
6	Yhteenveto	46
	Lähteet	48
	Liitteet	
	Liite 1. Nykyaikainen yksikiskoinen 110 kV:n pääkaavio	
	Liite 2. Helsingin keskustan tulvakartta	
	Liite 3. Periaatekuva Pfistererin T-haaraliitoksen kytkemiseksi	

Lyhenteet ja määritelmät

GIS	<i>Gas Insulated Switchgear</i> ; kaasueristeinen kojeisto
HSV	Helen Sähköverkko Oy
KAH	keskeytyksestä aiheutuva haitta
MTBF	<i>Mean Time Before Fault</i> ; arvioitu vikaantumistiheys
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> ; luotettavuuskeskeinen kunnossapito
SF ₆	rikkiheksafluoridi; GIS-kojeistoissa käytetty eristyskaasu

1 Johdanto

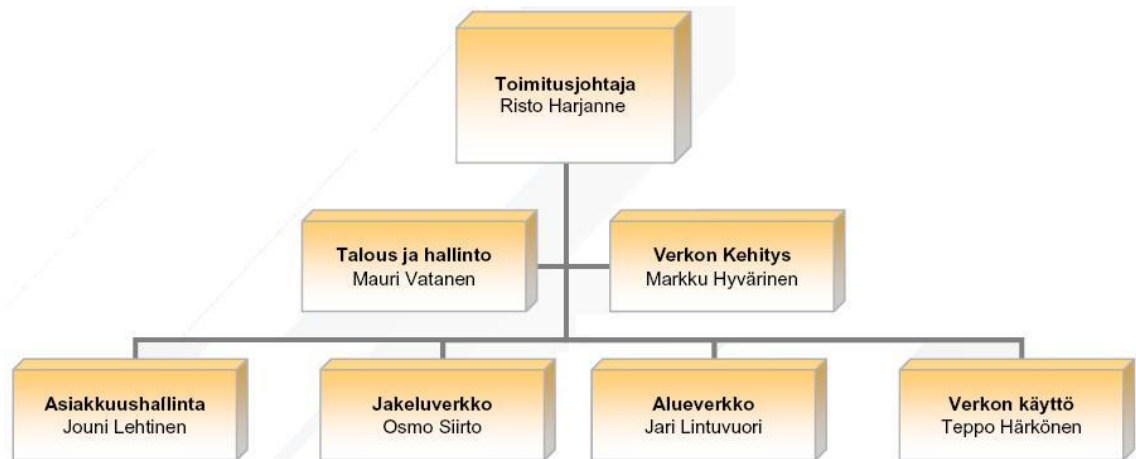
Tässä insinööriyössä tutkitaan ja selvitetään, miten 110 kV kaasueristeisen kytkinlaitoksen vikoihin voitaisiin varautua. Oletuksena on, että joko koko kytkinlaitos, sen yksi ryhmä tai jokin keskeinen komponentti vikaantuu, eikä sitä voida käyttää. Työssä käsitellään erityisesti solmupistesähköasemia, jotka ovat sähkönsiirron kannalta erityisen tärkeitä.

Helsingin alueella halutaan taata mahdollisimman häiriötön sähköjakelu. Tästä syystä tämä mahdollisesti vaurioituva kytkinlaitoksen osa tulee ohittaa jollain tekniikalla. Kyseessä ei ole heti häiriön ilmetyä tapahtuva toimenpide, vaan esimerkiksi monen kuu-kauden katkon välttäminen jollain tilapäisratkaisulla muutamien päivien kuluessa. Tilapäisratkaisulla kevennetään muille asemille kohdistuvaa kuormituksen nousua.

Helsingin alueella on muutama erityisen kriittinen sähköasema, joissa täytyy varautua tällaiseen pahimpaan mahdolliseen tilanteeseen. Tällaisen aseman käyttökeskeytyksessä sähköjakelu heikkenee merkittävästi, sillä voimaloita, suurjänniteverkkoa ja useita asemia yhdistävä solmupiste puuttuu. Sähkönsiirto asemien välillä joudutaan korvaamaan keskijänniteverkon kautta. Tällainen tilanne voi aiheuttaa ongelmia usealla asemalla vian pitkittyessä ja asemien käydessä suurella kuormalla. Tämän seurauksena sähköttä voi jäädä suuri määrä asiakkaita. Sähköjakelun turvaamiseksi näiden keskeisten solmupistesähköasemien tulee toimia erityisen luotettavasti.

Työ on tehty Helen Sähköverkko Oy:lle (HSV), joka on Helsingin kaupungin alueella sähkönsiirrosta ja -jakelusta vastaava yritys. Sen omistaa Helsingin kaupunki. Sähkömarkkinalain mukaan se eriytettiin Helsingin Energiasta omaksi yhtiökseen 1.10.2006. Nykyään HSV työllistää noin 100 henkilöä. Päätoimipaikka sijaitsee Sörnäisissä ja verkon käyttötoiminnot ovat Viikinmäessä. HSV:lla ei ole omia asentajia, joten asennustyöt tilataan aliurakointina muun muassa Helen Serviceltä. HSV:n asiakkaina on noin 340 000 kuluttajaa. Vuosittainen sähkönkulutus HSV:n alueella on noin 4 600 GWh.

Kuvassa 1 esitellään HSV:n organisaatio vuoden 2011 alusta.



Kuva 1. Helen Sähköverkko Oy:n organisaatio 1.1.2011 alkaen [1]

Tämä insinöörytö on tehty alueverkko-yksikölle. Alueverkko vastaa Helsingin alueella 110 kV:n suurjänniteverkosta sekä sähköasemista. Jakeluverkko vastaa sähköasemien 10 kV:n tai 20 kV:n keskijännitelähdöistä aina kuluttajan liittymispisteeseen asti. Vastuualueeseen kuuluu siis 10 kV ja 20 kV kaapelit ja avojohdot, muuntamot, jakokaapit sekä pienjännitejohdot ja kaapelit. Helsingin keskusta-alueella käytetään vielä 10 kV:n jännitettä. Esikaupunkialueella on käytössä 20 kV:n järjestelmä.

110 kV:n suurjänniteverkkoa, joka yhdistää sähköasemat ja sähkön tuotantolaitokset, on Helsingissä noin 200 km. Keskijänniteverkkoa 10 kV:n ja 20 kV:n jännitteellä on noin 1 500 km ja pienjänniteverkkoa noin 4 000 km. Keskijänniteverkko ja pienjänniteverkko on suurimmaksi osaksi kaapeloitu. Kaapelointi parantaa häiriönsietokykyä ilmastollisia vikoja vastaan, mutta se on altis esimerkiksi kaivuaurioille. Myös maanpainaumat voivat aiheuttaa vikoja.

2 110 kV:n GIS-kytkinlaitokset

Työssä käsitellään GIS-suurjännitekytkinlaitoksia (*Gas Insulated Switchgear*). Ensimmäiset kaasueristeiset kytkinlaitokset valmistettiin 1960-luvulla, ja siitä lähtien muutamat valmistajat ovat kehittäneet niiden ominaisuuksia. Koot ovat pienentyneet ja oikosulkukestoisuudet sekä nimellijännitteet kasvaneet. Valmistajat tekevät kojeistoja 10 kV:n jännitteiltä parhaimmillaan 1 100 kV:iin saakka [2, s. 12]. Kojetojen nimellisvirrat vaihtelevat aina 8 kA:iin asti ja oikosulkukestoisuudet 63 kA:iin asti.

Merkittäviä valmistajia ovat muun muassa ABB ja Siemens. Ensimmäiset GIS-laitokset on asennettu HSV:n sähköasemille 1970-luvun lopulla.

2.1 Yleistä GIS-kytkinlaitoksista

Perinteinen ja toimiva ratkaisu sähköaseman suurjännitekojeistoissa on ollut avokytkinlaitosten käyttäminen. Nämä ovat edullisia ja toimivia ratkaisuja, mikäli ei ole ollut pulaa vapaasta tilasta. Helsingin keskusta ei ole tällainen. Se on rakennettu tiheäksi, tonttien hinnat ovat hyvin korkeita, ja vapaa tila on vähissä. Tällöin on tullut tarvetta käyttää toisenlaisia ratkaisuja suurjännitteillä. Ongelman ratkaisuun on käytetty kaasueristeisiä kytkinlaitoksia. Kuvassa 2 esitetään Siemensin valmistama GIS-kytkinlaitos.



Kuva 2. Siemensin valmistama GIS-kojeisto [3]

Nämä kytkinlaitokset vievät huomattavasti vähemmän tilaa kuin perinteiset ilmaeristeiset avokytkinlaitokset. Tilansäästö voi olla pinta-alaan katsottuna noin 75 % ja tilavuuteen verrattuna 85 % [4, s. 313]. Lisäksi kytkinlaitosten ja sähköasemien rakentaminen maanalaisiin tiloihin on huomattavasti edullisempaa. Tällöin sähköasemat voidaan rakentaa hyvin lähelle suuria kulutuksia, jolloin muun muassa siirrosta aiheutuvat häviöt

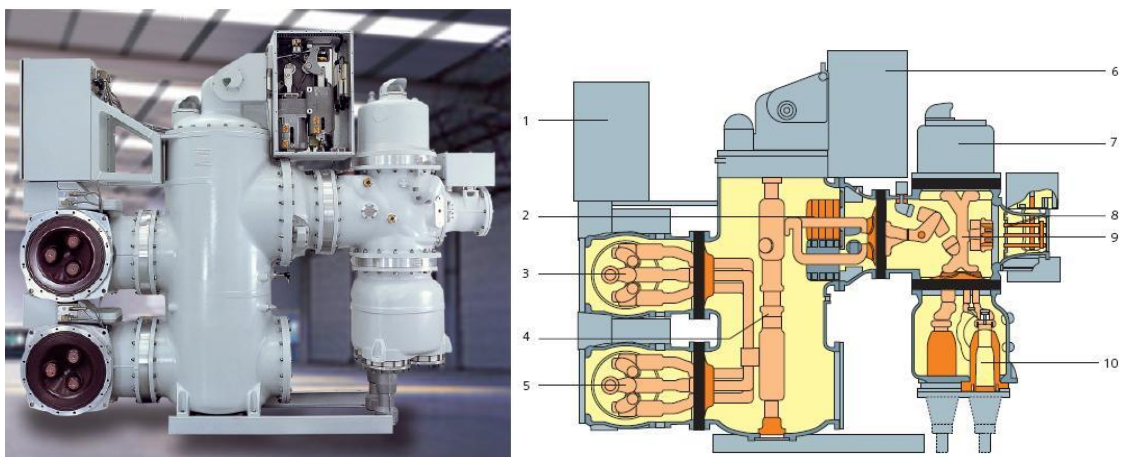
ja jännitteenalenemat saadaan pienemmiksi. Nykyisin HSV:lla on enää neljä ilmaeristeistä 110 kV:n kytkinlaitosta. Ne sijaitsevat Herttoniemessä, Viikinmäessä, Kannelmäessä ja Myllypurossa. Näistä neljästä Myllypuron purkaminen on ajankohtainen, ja se korvataan laajentamalla läheistä Mellunkylän 110 kV:n kaasueristeistä kytkinlaitosta.

GIS-laitoksen tilansäästö perustuu siihen, että kolmivaihejärjestelmän vaiheet ovat sijoitettuna suljettuun metalliseen kaasutilaan, joka on täytetty eristekaasulla. Kaasuna käytetään SF₆-kaasua eli rikkiheksafluoridia, joka paineistetaan suurjännitteillä noin 3 - 7 barin paineeseen. Kaasu on kemiallisesti valmistettu, eikä sitä esiinny luonnollisesti ilmakehässä. SF₆-kaasun sähkölujuus on huomattavasti korkeampi kuin ilmalla, minkä ansiosta vaiheiden välimatkat ja kojeiston rakenteiden etäisyydet sähköisiin osiin saadaan pienemmiksi, ja tällöin koko kojeisto saadaan pienempään tilaan. Kaasun sähkölujuus perustuu siihen, että SF₆-molekyylit ovat raskas, ja sillä on kyky sitoa vapaita elektroneja, jotka ovat läpilyönnin kannalta välttämättömiä [5, s. 208].

SF₆-kaasulla on hyvät jäähdytysominaisuudet. Tässä yhteydessä jäähdytys tarkoittaa kykyä jäähdyttää syttynyt valokaari siten, että se sammuu nopeasti eikä vioita katkaisupäätä.

2.2 Kojestojen rakenteet

Eri valmistajien kojeistot vaihtelevat rakenteeltaan, mutta kaikkien toimintaperiaate on suurin piirtein sama.



Kuva 3. Kolmivaiheisesti koteloitu Siemens 8DN8-tyypin kojeisto [6, s. 5]

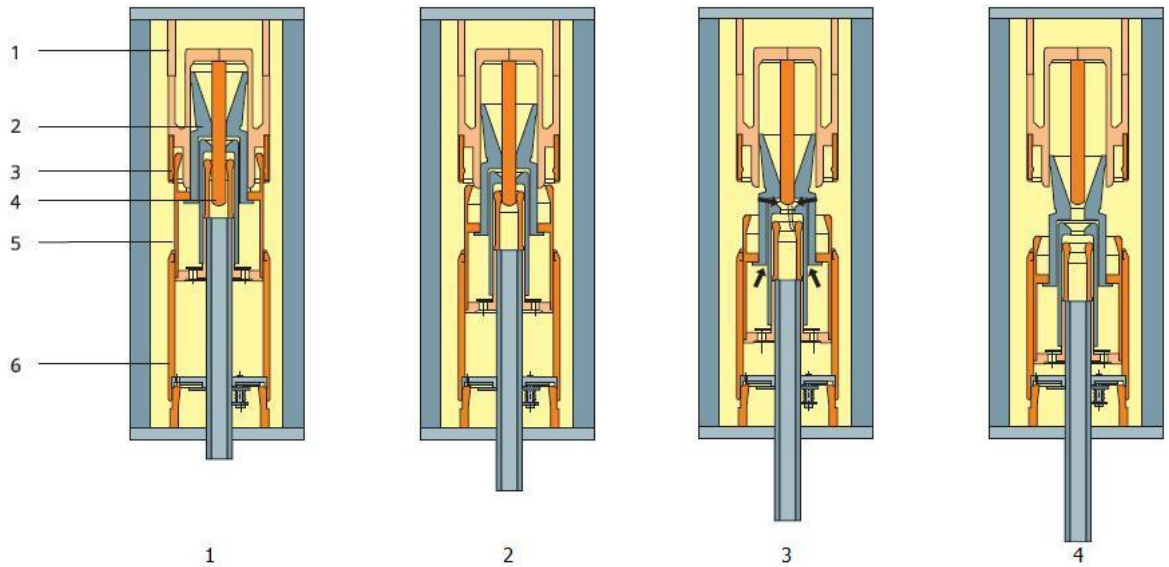
Kuvassa 3 on esitetty Siemensin alle 145 kV:n jännitteille tarkoitettun 8DN8-tyyppisen kaapelilähtöisen GIS-kojeiston yksi moduuli ja sen poikkileikkaus. Kojeiston pääosat ovat

1. paikallisohjauslaitteet
2. virtamuuntaja
3. kokoojakisko 1, erotin ja maadoituserotin
4. katkaisija
5. kokoojakisko 2, erotin ja maadoituserotin
6. katkaisijan moottorijousiviritteinen ohjauslaitteisto
7. jännitemuuntaja
8. pikamaadoituserotin
9. lähtökojeet, erotin ja maadoituserotin
10. kaapelipääte.

Tässä esitetyn moduulin korkeus on hieman alle 3 metriä. Kyseinen kojeisto on toteutettu kolmivaihekoteloituna. Se nähdään esimerkiksi siitä, että kokoojakiskoston kaikki kolme vaihetta ovat saman kaasutilan sisällä. Poikkileikkauksessa näkyvät mustat palkit ovat kaasutiiviiden osastojen väliset eristykset. Näiden ansioista eri tiloille voidaan asettaa eri paineet. Myös kaasuosastokohtaisen huollon tekeminen on mahdollista.

Jokaisella kaasutilalla on oma kaasun tiheysanturi. Kaasun määrän seuraaminen onnistuu ja kaasuvuodon paikallistaminen on helpompaa. Kaasun paine vaihtelee kojeiston osien mukaan. Katkaisijatilassa paine nostetaan noin 7 bariin ja kokoojakiskotilassa paine on noin 4 baria. Korkeampi paine parantaa katkaisijan valokaaren katkaisuominaisuuksia.

Maadoituserottimesta voidaan käyttää myös nimitystä työmaadoituserotin. Sen ja pikamaadoituserottimen erona on se, että työmaadoituserotin pystyy johtamaan täyden oikosulkuvirran, mutta pikamaadoituserotin pystyy myös sulkemaan täyden oikosulkuvirran. Jotta pikamaadoituserotin kykenee tähän, sen on jousiohjattu ja viritetty moottorilla, jolloin koskettimien liike saadaan riittävän nopeaksi.



Kuva 4. SF₆-katkaisijan toimintavaiheet [6, s. 7]

Katkaisijan pääosat ovat

1. virtaa johtava runko-osa
2. suppilo
3. pääkosketin
4. valokaarikosketin
5. liikkuva vastakosketin
6. kanta.

Ensimmäisessä vaiheessa katkaisija on kiinni. Kun katkaisija alkaa liikkua vaiheessa 2, se siirtää virran ensin pääkoskettimilta valokaarikoskettimelle. Vaiheessa 3 katkaisijan liike jatkuu ja myös valokaarikosketin avautuu, jolloin sen koskettimien väliin syttyy valokaari. Sama liike liikuttaa myös mäntää. Mäntä puristaa kokoon allaan olevaa kaasutilaa aikaansaaden voimakkaan kaasuvirtauksen. Virtaus kohdistuu vaiheen 3 nuolien mukaisesti valokaareen. Kaasuvirtaus jäähdyttää valokaarta ja se sammuu. Katkaisija on lopulta auki vaiheessa 4. [7, s. 179.]

Kojeistoja voidaan rakentaa yksi- tai kolmivaihekiskojärjestelmänä. Molemmissa on omat etunsa. Kolmivaiheisen koteloinnin etuja ovat pienempi tilantarve, taloudellisuus, pienempi kaasuntarve ja tiivistuspintojen vähäisyys, jolloin kaasuvuotojen mahdollisuus on pienempi. Koteloon ei indusoidu pyörrevirtoja, jotka aiheuttaisivat häiriöitä, häviöitä

ja lämpenemistä. Kotelointimateriaalina voidaan käyttää terästä. Haittapuolena on se, että mahdolliset viat kojeistoissa kehittyvät helposti kolmivaiheisiksi. Kolmivaihekotelointia käytetään alle 170 kV:n jännitteillä.

Yksivaiheisen koteloinnin etuja ovat esimerkiksi pienemmät vikavirrat ja pienemmät liitokset. Vikavirrat jäävät pienemmiksi, sillä viat eivät voi laajeta kolmivaiheisiksi. Kotelointimateriaalina tulee käyttää indusoituvien virtojen takia alumiinia. Alumiinin läpipalamiskestoisuus on pienempi kuin teräksellä, jolloin seinämät tulee tehdä paksummaksi. [7, s. 132 - 133.]

Kojeistot toimitetaan yleensä valmiina moduuleina. Valmistaja tekee tehtaalla valmiit kojeiston osat, jotka kootaan yhteen sähköasemalla. Näin kojeiston rakentaminen sähköasemalla on nopeaa ja mahdolliset tulevat laajennukset ovat suhteellisen helposti toteutettavissa.

Pidemmällä aikavälillä verkon suunnittelussa täytyy kuitenkin huomioida kojeistovalmistajan tuotelinjan kehitys ja se, saako käytössä olevaan kojeistoon enää vara- tai laajennusosia. Tämä tulee kysymykseen erityisesti silloin, kun suunnitellaan jonkin sähköaseman laajentamista. Mikäli asemalla käytössä olevalla kojeistolla olisi vielä reilusti käyttövuosia jäljellä, mutta saman tyyppin kojeistoa ei enää valmisteta, laajentaminen saattaa tulla hyvin kalliiksi. Lisäksi GIS-kojeistoja ei ole standardoitu, jolloin eri valmistajien ratkaisut saattavat olla hyvinkin erilaisia. Pääasiassa esimerkiksi kojeiston laajennukset tulee tehdä saman valmistajan tuotteilla yhteensopivuussyistä. [7, s. 133.]

2.3 Kaasun käytön rajoitukset

Ympäristökysymykset aiheuttavat kojeistojen huoltoon ja käyttöön rajoituksia. Hyvistä sähköisistä ominaisuuksista huolimatta SF₆-kaasulla on myös huonot puolensa. SF₆-kaasu on erittäin voimakas kasvihuonekaasu, jonka pienetkin päästömäärät vastaavat useita hiilidioksiditonneja [8, s. 99]. Huoltojen ja korjausten yhteydessä kaasun talteenotto täytyy järjestää huolella, ettei kaasua pääse karkaamaan ilmakehään.

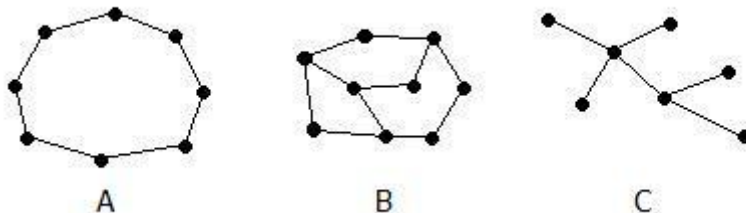
Kaasun käyttöä rajoittaa sen nesteytyminen sellaisissa lämpötiloissa, joita Suomessa esiintyy talvella. Tästä syystä kojeistot rakennetaan Suomessa sisätiloihin, ja lämpötila pidetään tasaisesti nesteytymisrajan yläpuolella, käytännössä normaaleissa sisätilojen

lämpötiloissa. Avojohtolinjojen varrella sijaitsevien sähköasemien SF₆-läpivienneissä kaasuun sekoitetaan tarvittaessa typpeä, jolloin sen pakkasenkestävyys paranee. Läpilyöntiominaisuudet pysyvät lähes samana. Haittapuolena on se, että valokaarenkatkaisuominaisuudet heikkenevät, mutta läpivientieristimissä se ei ole olennaista.

Valokaaren vaikutuksesta kaasu hajoaa synnyttäen useita kaasumaisia tai kiinteitä aineita, jotka ovat myrkyllisiä. Tämä täytyy huomioida huoltojen yhteydessä oikealla varustautumisella. SF₆-kaasu on ilmaa raskaampaa, joten se painuu alas ja syrjäyttää hapen aiheuttaen mahdollisia hengitysvaikeuksia. Kojeistotilojen riittävästä ilmanvaihdosta on siis huolehdittava.

3 GIS-kytkinlaitosten mahdollisia vikatilanteita

GIS-kytkinlaitokset ovat olleet hyvin varmatoimisia ja turvallisia käyttää. Suuret viat eivät ole kovin yleisiä. Tässä tapauksessa suuri vika on sellainen, joka rikkoo kokonaisen kojeiston tai sen yksittäisen, mutta tärkeän komponentin niin pahasti, että se joudutaan käytännössä uusimaan. Vaihtoehtoisesti sen korjaaminen kestää kauan.



Kuva 5. Erilaiset verkkotyypit

Kuvassa 5 on esitelty erilaiset verkostotyypit. A tarkoittaa rengasverkkoa, B silmukoitua ja C säteittäistä verkkoa. Helsingin 110 kV:n siirtoverkko on rakennettu silmukoidusti. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaiselle sähköasemalle tulee syöttö vähintään kahdesta eri suunnasta, ja joillain asemilla syöttöjä tulee useammista suunnista. Useamman syötön asemia kutsutaan solmupisteasemaksi. Yhden linjan, avojohdon tai maakaapelin, mennessä jännitteettömäksi asema ei jää ilman suurjänniteyhteyttä. Silmukoitu verkko siis sietää yhden häiriön enemmän säteittäiseen verrattuna.

HSV:lla on käytössä RCM-prosessi (*Reliability Centered Maintenance*) laitteiden elinkaarten suunnittelun avuksi. Toisin sanoen puhutaan luotettavuuskeskeisestä kunnossapidosta. Sen perusajatuksen mukaan kunnossapidolla ei pystytä tai ei välttämättä kannata ehkäistä kaikkia vikoja. Sen sijaan tunnistetaan vikojen seuraukset ja niitä edeltäneet tapahtumat ja tehdään valintoja tähän tietoon perustuen.

Jos on havaittu, että jokin komponentti kestää keskimäärin 20 vuotta, kannattaa esimerkiksi 15 vuoden kohdalla aloittaa kyseisen komponentin tarkempi seuranta ja pohdita, kannattaisiko se huoltaa tai korvata uudella. Samalla periaatteella voidaan määrittää komponenttien huoltovälejä. Kunnossapitotoimenpiteet voivat olla joko korjaavaa, aikaan perustuvaa tai kuntoon perustuvaa kunnossapitoa [9, s. 25].

RCM-prosessi on koottu taulukkoon, jossa käsitellään komponenttiryhmä kerrallaan läpi mahdollisia vikatilanteita. Näiden todennäköisyyksiä pohditaan joko olemassa olevan faktan, huollossa esiin tulleiden poikkeusten tai valmistajan ilmoittamien tietojen pohjalta, ja määritellään samoin perustein oletettavissa oleva vikatiheys kyseiselle vialle. Taulukoissa käydään läpi, voiko piilevän vian havaita tavanomaisen asemalla käynnin yhteydessä, vai tarvitaanko vian havaitsemiseen ja ennaltaehkäisyyn kenties jopa avaava huolto.

Johtopäätöksissä otetaan myös kantaa toimenpiteisiin, mitä tehdä ennen vian tapahtumista, mikäli syntyvä vika on havaittu etukäteen, tai mitä tehdä, mikäli vika on jo tapahtunut. Myös kyseisen vian korjaamiselle sekä huoltoja varten tehdyn ennakkohuolto-ohjeen koodi löytyy taulukosta, jolloin voidaan helposti katsoa, mitä huollossa täytyy tehdä, kuka huollon tekee, ja vaatiiko huolto keskeytyksen.

HSV:n sähköasemilla ei toistaiseksi ole tapahtunut isoja vikatilanteita. Kojeistot ja suojaukset ovat toimineet luotettavasti ja suunnitellusti vikatilanteissa. Ilmastolliset vaikutukset ovat rajautuneet lähinnä yksittäisiin vikoihin, jotka ovat aiheutuneet salamaniskusta avojohdolle. Suurin osa kojeistovioista on liittynyt jännitemuuntajan vikoihin. Primääripuolen osien kannalta jännitemuuntajan vikaantumisella ei ole suoranaista vaikutusta sähkönsiirtoon, mutta jännitetieto jää puuttumaan kyseisen kennon osalta. Tämä vaikuttaa osaltaan suojausten toimimiseen.

Kojeistovalmistajille tehtiin kysely heidän tietoonsa tulleista vikatilanteista. Kyselyssä toivottuun määräaikaan mennessä ei kuitenkaan saatu vastauksia.



Kuva 6. Mahdollisia vikaantumisen syitä

Tässä työssä pohditaan kuvassa 6 esitettyjä mahdollisia vikoja ja näiden syitä sekä vaikutuksia 110 kV GIS-kytkinlaitoksen toimivuuteen. Tutkittujen vikojen todennäköisyys on pieni, mutta se on kuitenkin olemassa. Mikäli tällainen tilanne ilmenee, se on todennäköisesti useiden syiden summa.

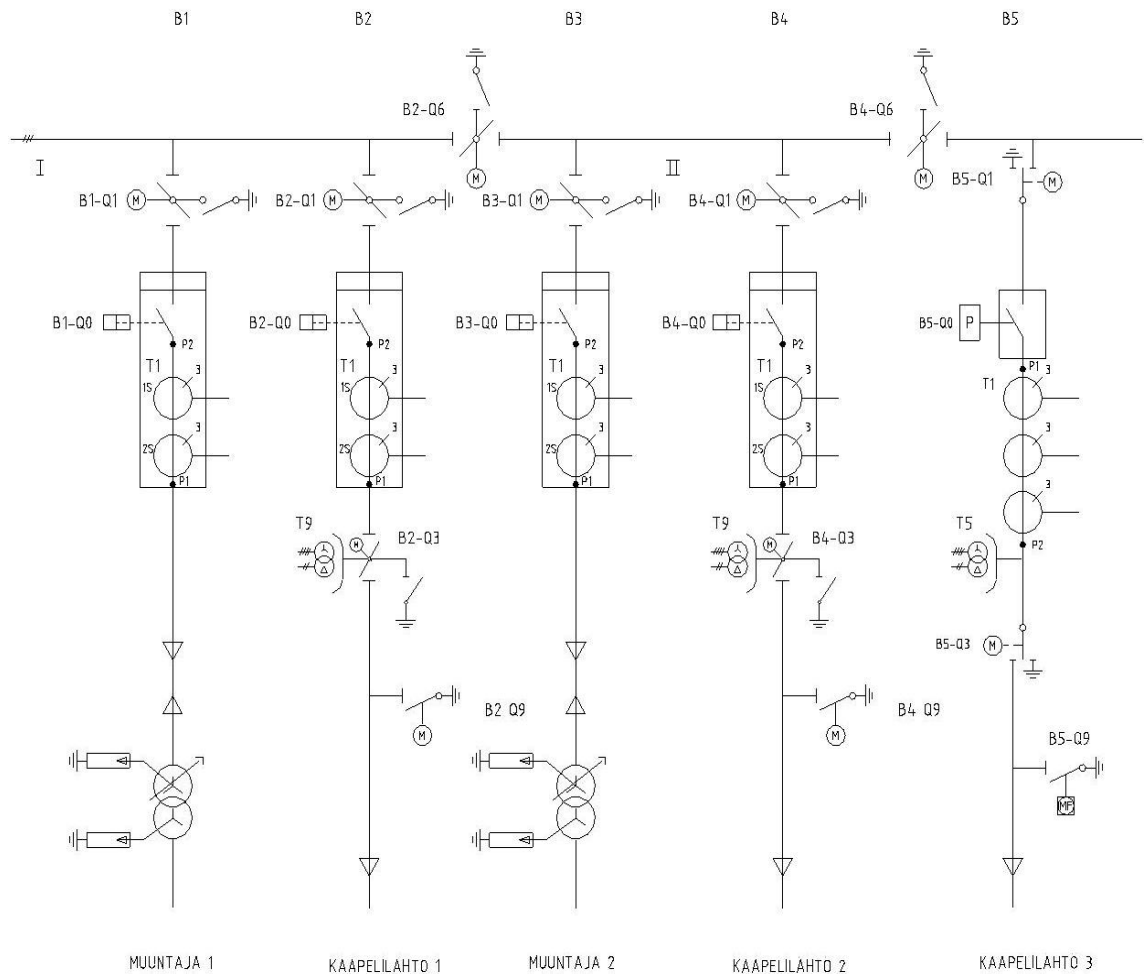
3.1 Kojeistovika

Käyttökeskeytykseen ei aina vaadita isoa tai mullistavaa vikaa. Yhden kriittisen komponentin hajoaminen voi riittää. Esimerkkinä kuvassa 7 on HSV:n ensimmäisen 110 kV kaasueristeisen kytkinlaitoksen pääkaavio. Kojeisto on rakennettu yksikiskoisena. Kojeiston kriittinen komponentti on pitkittäisryhmäerotin B2-Q6. Mikäli tämä jumiutuu joko kiinni- tai auki-asentoon, koko kojeisto joudutaan kytkemään sähköttömäksi korjauksen ajaksi.

Myös väliasentoon juuttuessaan erotin aiheuttaa kojeiston pidemmän käyttökatkon, koska kojeistoa ei voida pitää jännitteisenä. Väliasennossa erottimen todellisesta asennosta ei voida olla varmoja. Koskettimet voivat olla avautuneet hyvin vähän, jolloin ero jännitteeseen osaan voi olla liian pieni. Kaasun takaama eristysväli ei välttämättä riitä, ja jännite voi lyödä läpi. Tämä voi vaarantaa käyttöturvallisuuden.

Tässä tapauksessa erottimen B4-Q6 toimiessa normaalisti voitaisiin kaapelilähtö 3 pitää jännitteisenä, mutta siitä ei olisi tämän aseman kohdalla mitään hyötyä. Sähköä ei

saataisi siirretyksi muuntajille tai eteenpäin toisille asemille, joten käytännössä asema on vailla 110 kV:n yhteyksiä korjaustoimenpiteiden ajan.



Kuva 7. HSV:n ensimmäisen 110 kV GIS-kytkinlaitoksen pääkaavio

Kuvan 7 kojeiston suunnittelusta on aikaa jo kymmeniä vuosia, ja suunnittelussa on kehitytty ja osattu ottaa huomioon aiemmin kuvatut mahdolliset vikatilanteet. Tästä on esimerkkinä liitteessä 1 oleva nykyaikainen pääkaavio. Se on myös toteutettu yksiköisena, kuten kuvan 7 pääkaavio. Kojeisto on varustettu kahdella ryhmäerottimella ja toinen avojohtolähdöistä, ja toinen muuntajista on aina samassa ryhmässä.

Tällöin toisen ryhmäerottimen häiriötilanteessa voidaan pitää jännitteisenä toinen päämuuntaja, ja keskijännitekojeistolle on syöttö. Erottimen korjaustoimenpiteillä ei ole suoraa vaikutusta sähköjakeluun, mikäli vika korjataan mahdollisimman nopeasti. Vian pitkittyessä ja kovilla kuormituksilla yhden muuntajan tehot voivat rajoittaa aseman käyttöä.

Vikoja ei välttämättä voida ehkäistä etukäteen. Se voi ilmetä kertaluontoisesti ja vakavasti. Vikaa ei välttämättä huomata ilman avaavaa huoltoa, jos se ei oireile etukäteen. Tällainen vika voi olla esimerkiksi katkaisijan rakenteellinen virhe, joka tulee esiin vasta, mikäli katkaisija joutuu tekemään lukuisia kuormitettuja kytkentöjä.



Kuva 8. Katkaisijakoskettimen valmistusvirhe [3]

Kuvassa 8 esitettiin erään kojeistotyypin katkaisijan kosketin. Pääkoskettimet eli yläreunassa näkyvät ns. *hampaat* on puristettu paikoilleen jousien ja alempana näkyvän vaalean renkaan avulla. Vaalea rengas pitää tätä pääkosketinpakettia paikoillaan. Määräikaishuollon yhteydessä avatusta katkaisijasta paljastui valmistusvirhe, jonka kojeistotoimittaja myönsi olevan monissa vastaavan tyyppin kojeistoissa. Rengas oli haljennut useasta kohdasta, mutta katkaisija toimi normaalisti. Rengas olisi voinut hajota lopullisesti katkaisutilanteessa aiheuttaen mahdollisesti kojeistolle suuren vaurion. Tämän valmistusvirheen korjaamiseksi koko kuvassa näkyvä kosketinpaketti vaihdettiin. Uudessa versiossa muovinen rengas on korvattu metallisella renkaalla ja saatu näin ollen kestäväksi. [10, s. 4.]

Kojeiston ikääntyminen voi aiheuttaa vikoja. Valmistajalla ei ole välttämättä riittävän kattavaa käsitystä kojeiston käytöstä pitkällä ajanjaksolla, mikäli käytössä olevaa kojeistoa ei ole yleisesti käytössä kovin suurta lukumäärää, tai se on suhteellisen uusi malli. Koska määräaikaishuoltovälit perustuvat valmistajan suosituksiin, vikoja voi syntyä ilman että käyttäjä tai valmistaja tietää niistä.

3.2 Tulipalosta aiheutuvat vahingot

GIS-kojeiston primääripuolella ei sinänsä ole palavia komponentteja. Rakenteet ja kojeiston sisäosat ovat eri metalleja, joten ne eivät pala. SF₆-kaasu on myös palamatonta. Öljyä löytyy jonkin verran kojeiston mekaanisten osien yhteydestä, mutta sitä on hyvin vähän. Tulipalon syttyminen primääriosista on hyvin epätodennäköistä. Riskit aiheutuvat pääasiassa ulkoisista tekijöistä, kuten esimerkiksi kojeistotilan tulipalosta.

HSV:n sähköasemilla ei ole tapahtunut tulipaloja. Ulkomailta löytyy esimerkki tulipalon vaikutuksesta sähkönjakeluun. Tukholmassa Akalla-yhteiskäyttötunnelissa syttyi tulipalo 11.3.2001. Palo sai alkunsa 11 kV kaapelijatkon pettäessä. Se aiheutti maasulun ja sytytti tulipalon, joka levisi kaikkiin tunnelin kaapeleihin. Palo katkaisi sähkönjakelun noin 19 000 käyttäjältä. Palon leviämistä edisti se, että kaapelit olivat päällekkäin kaapelihyllyllä tunnelin sivulla. Ne eivät olleet palo-osastoituja millään tavalla, jolloin palava kaapeli sytytti myös vierekkäisiä. Lisäksi tunnelin palohälytinlaitteisto oli pettänyt edellisenä päivänä, jolloin tieto palosta tuli vasta, kun sähkökatko alkoi, ja katkon aiheuttajaa alettiin selvittää.

Kun palo saatiin sammumaan, rikkoutuneet kaapelit korjattiin mahdollisimman nopeasti. Tämä johti siihen, että samassa kohdassa syttyi uusi tulipalo 29.5.2002. Nopeasti huonoissa olosuhteissa tehdyt uudet kaapelijatkot pettivät samassa kohdassa ja tunnelissa syttyi uusi tulipalo. Molemmat palot aiheuttivat suuren katkoksen alueen sähkönjakeluun. [11.]

Kaapelipalo voi vaikuttaa myös sähköasemalla sähkönjakeluun. Mikäli kojeistotilan alla sijaitsevan kaapelikellarin sytty tulipalo, se voi vaikuttaa yläpuolella sijaitsevaan kojeistoon. Palo voi levitä kaapelikellarista muihin tiloihin, jolloin aseman toiminnot ovat laajemmin uhattuna.

3.3 Huoltovirheistä aiheutuvat viat

Kojeiston avaavia huoltoja tehdään määräajoin. GIS-kytkinlaitokselle tehdään avaava huolto 20 - 25 vuoden välein. Avaavissa huolloissa työn suorittavat työhön erityisen koulutuksen saaneet asentajat tai laitetoimittajan omat asentajat. Tämän lisäksi jokaiselle kojeistoille tehdään vuosittain suppeampi tarkastus, jossa tarkistetaan muun muassa kojeisto ja kojeistotila yleisesti, kaasun tiheysvahtien ja painemittareiden lukemat sekä tarkistetaan kojeiston kunto ulkopuolisesti.

Kojeiston avaamisen ja huollon yhteydessä saattaa jäädä kojeiston sisälle esimerkiksi työkaluja tai roskia. Tämä pyritään estämään erittäin huolellisella tarkastuksella ennen kojeiston sulkemista ja jännitteiden kytkemistä. Inhimillisen virheen mahdollisuus on kuitenkin aina olemassa. Mikäli kojeiston sisälle kaasutilaan jää sinne kuulumaton komponentti tai esine, kojeiston eristyskyky alenee. Seurauksena voi olla oikosulku, joka voi aiheuttaa suuria vahinkoja. [7, s. 135.]

Mikäli huollon yhteydessä tehdään useasti sama toimenpide eri komponenteille, ja kaikissa toistuu sama perusvirhe, tästä voi aiheutua iso haitta käyttöönottovaiheessa. Tällainen voi olla esimerkiksi epäpuhtaan kaasun käyttö. Sen jännitekestoisuus ei välttämättä ole riittävä. Yhtälailta komponenteissa voi olla valmistus- tai suunnitteluvirhe, jolloin voidaan puhua toistuvasta viasta. Tällöin yleensä joudutaan vaihtamaan tai korjaamaan kaikki käytössä olevat saman tyyppin komponentit, mikäli voidaan olettaa puutteen esiintyvän jokaisessa komponentissa.

Avaavan huollon yhteydessä kojeiston SF₆-kaasu imetään talteen. Huollon päätyttyä kojeisto suljetaan, ilma imetään pois ja kojeisto täytetään uudelleen kaasulla. Mikäli kaasutilojen tiivisteet on kiristetty hieman huolimattomasti tai tiivisteiden väliin on jäänyt jotain roskaa, kaasuvuoto on mahdollinen.

Tämän varalle kojeistossa on olemassa anturit, jotka tarkkailevat kaasun tiheyttä tai painetta kojeiston sisällä. Huonoimmassa mahdollisessa tapauksessa nämä anturit eivät reagoi, minkä takia kaasun määrän laskua ei huomata, ja vaiheiden välinen oikosulku tai maasulku rungon ja vaiheen välillä on mahdollinen.

Huoltojen aikana tapahtuvat virheet pyritään estämään tekemällä työt ja tarkastukset huolellisesti ennen jännitteiden uudelleen kytkemistä. Epähuomiossa on kuitenkin voinut tapahtua asioita, joita ei jännitteiden kytkemisen kannalta saisi tapahtua. Jos esimerkiksi järjestelmä on maadoitettu työmaadoituksilla tai maadoituserottimella, ja niitä ei poisteta työn päätyttyä, jännitteiden kytkeytyessä tapahtuu kolmivaiheinen maasulku.

3.4 Ilkivallasta aiheutuvat häiriöt

Sähköasemat on nykyisin hyvin suojattu esimerkiksi murtovarkaita vastaan. Asemille pääsyyn vaaditaan henkilökortti ja avaimet. Joidenkin asemien ympäristö on suojattu verkkoaidoilla. Lisäksi käyttökeskuksesta nähdään, jos jonkin sähköaseman ovi avataan. Erityisesti työajan ulkopuolisia käyntejä seurataan. Myös asemien rikosilmoitinjärjestelmät ehkäisevät luvattomia käyntejä asemilla.

Kaikesta varautumisesta huolimatta asemalle voi kuitenkin päästä henkilö, joka ei sinne kuulu. Huollon aikana huoltomies voi kuljettaa tavaraa esimerkiksi auton ja sähköaseman välillä, ja tällöin ilkivallantekijä voi huomaamatta päästä sisään sähköasemalle. Asemille murtautuminen on myös mahdollista. On myös mahdollista, että murtautuja saa aikaan tuhoa kojeistoille esimerkiksi rikkomalla jollain työkalulla kojeiston rakenteita tai apulaitteita.

3.5 Ilmaston aiheuttamat häiriöt

Ilmastolliset syyt voivat aiheuttaa suuria häiriöitä kojeiston toimintaan. Mahdolliset rankkasateet voivat aiheuttaa veden pääsyn kojeistotiloihin erityisesti maanalaisilla sähköasemilla. Vesi voi myös päästä katon rakenteiden läpi tai katon viemäröinnin vaurioituessa.

Erityisen suurta tuhoa vesi voi tehdä kosteudelle herkkiin laitteisiin. Vesi saattaa myös aiheuttaa erityisesti maanalaisilla asemilla louhitun asematilan rakenteiden heikkene- mistä. Kojeistotilan tai pahimmillaan koko sähköaseman katto voi romahtaa.

Kesällä 2010 Helsingissä oli muutama raju ukkoskuuro. Erään kuuron yhteydessä vettä satoi 1,5 tunnin aikana 10 mm - 20 mm. 20 mm vastaa noin kolmasosaa koko heinä- kuun keskimääräisestä sademäärästä [12]. Rungas vesi voi tunkeutua aseman sisälle, ja siten aiheuttaa sähköisille osille vahinkoa.

Talvet 2009 - 2010 ja 2010 - 2011 ovat olleet Helsingin seudulla hyvin poikkeuksellisia verrattuna muutama aiempiin talviin. Lunta on satanut hyvin paljon. Rakennusten katot ovat kovilla erityisesti silloin, kun tuuli pyryttää lunta paikoilleen paksuiksi ker- roksiksi. Mikäli katon rakenteissa on syystä tai toisesta tapahtunut heikkenemistä tai rakennusvaiheessa on tehty jotain väärin, katon sortuminen on mahdollista.

3.6 Sähköaseman rakenteellinen ongelma

Sähköasemarakennus voi sijaita meren pinnan alapuolella, mikäli se on esimerkiksi tilankäytöllisistä syistä louhittu maan alle. Tällöin erityisesti meren lähellä sijaitsevalla alueella veden tulviminen aseman sisälle on mahdollista. Vesi ei suoranaisesti vaikuttaisi 110 kV GIS-kojeiston primäärikomponentteihin, mutta kaikki muu kojeiston ja sähkö- aseman toimintaan liittyvät sähköiset laitteet todennäköisesti tuhoutuisivat.

Maan alle louhitun aseman katosta voi puolestaan irrota lohkareita, mikäli kallioperä on odotettua heikompa. Vastaavasti maanalaisen aseman kallioperän läpi voi kulkeutua asemalle vettä. Myös rakennusvirheen vuoksi katto voi sortua kojeiston päälle rikkoen sen osia.

Joillain sähköasemilla on kojeiston asennuksen helpottamiseksi asennettu kattoon me- tallipalkkeja, joiden varassa on ketjunostin. Tällöin kojeiston osien paikoilleen asetta- minen asennusvaiheessa on helppoa, sillä nostin on kiinteästi olemassa ja sen avulla voidaan tehdä pieniä ja tarkkoja liikutteluita kojeiston moduuleille. Tämä takia nostin sijaitsee suoraan 110 kV kojeiston yläpuolella.

Kun kojeisto on asennettu ja nostinta käytetään, asentajan tulee olla tarkkana, ettei ohjeistusta maksimipainosta rikota. Vaarana on, että kisko nostimineen romahtaa suoraan kojeiston päälle. Huonossa tapauksessa kisko voi pudota suoraan esimerkiksi katkaisijan ohjaimen päälle rikkoen sen. Mikäli katkaisija tai sen ohjain on rikki, kyseistä kennoa ei voi käyttää.

3.7 Suojauksen häiriöt

Verkon ja kojeiston komponenteille käytetään erilaisia suojalaitteita. Perimmäinen tarkoitus on erottaa vioittunut kohta tai komponentti verkosta, ennen kuin vika pääsee kasvamaan suuremmaksi. Näissä suojareleissä voi olla jotain vikaa. Niissä voi olla suunnittelussa huomaamatta jäänyt seikka tai valmistuksessa tapahtunut virhe.

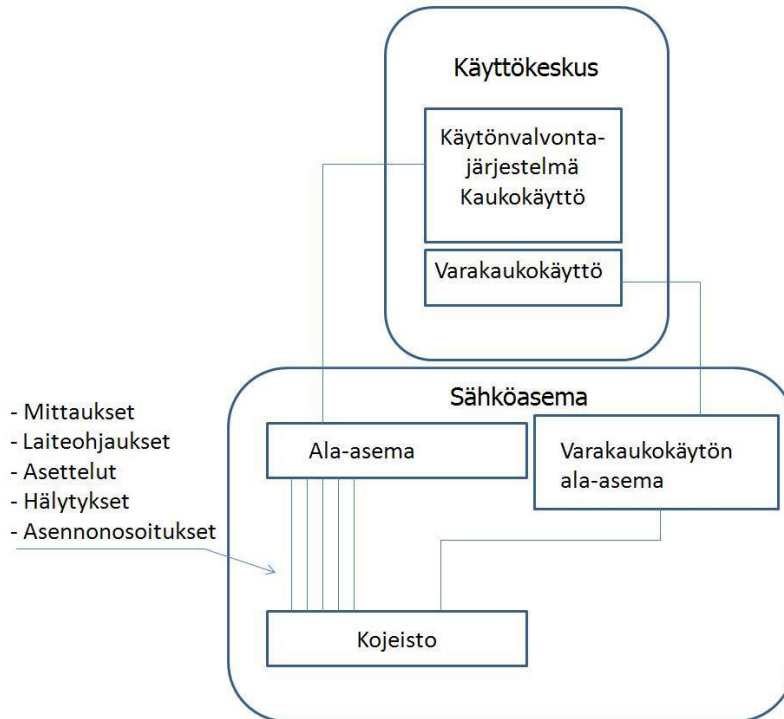
Elektroniikka on herkkä hajoamaan kosteudesta. Vettä tai muuta nestettä voi päästä releiden kanssa kosketuksiin esimerkiksi rikkoutuneesta vesiputkesta rakennuksen rakenteissa tai muun vesivahingon seurauksena. Releet on pyritty suojaamaan riittävällä IP-luokituksella. Luokituksessa ei huomioida suuren vesimäärän vaikutusta, jollainen voi mainitusta vesiputken hajoamisesta aiheutua.

Suojalaittekaapeissa on runsaasti johtimia ja liitoksia. On mahdollista, että jokin näistä liitoksista on asennusvaiheessa huonosti kiristetty. Tällainen liitos voi johtaa siihen, että signaalit eivät kulje niin kuin on tarkoitettu, ja tieto vikatilanteesta ei tavoita suojalaitetta. Lisäksi huonosti kiristetyt liitokset aiheuttavat lämpenemistä liitoskohdassa ja pahimmassa tapauksessa voivat johtaa tulipaloon kojeistokaapin sisällä tuhoten kyseisen suojauksen.

3.8 Kaukokäytön häiriöt

Verkon käyttötoimenpiteet tehdään nykyisin etänä. Tällöin ohjaukset on keskitetty yhteen käyttökeskukseen ja sähköasemat ovat miehittämättömiä. Valvomosta nähdään koko verkon tila, jolloin vikojen paikannus ja kytkentöjen tekeminen sieltä on mahdollista. Ohjaukset lähetetään asemille yleensä sitä varten rakennetun oman tietoliikenneverkon kautta.

Kaukokäytön pettäminen ei suoranaisesti vaikuta verkon tai yksittäisen sähköaseman toimintaan. Ainoastaan etäohjaus ei onnistu, ja verkon tilasta ei ole tarkkaa tietoa. Sähköaseman laitteita voidaan kuitenkin paikallisesti käyttää, ja ne pystyvät toimimaan itsenäisesti suojausten kanssa, sillä suojalaitteet eivät ole riippuvaisia tiedonsiirrosta aseman ja käyttökeskuksen välillä. Katkaisijoita ja erottimia voidaan ohjata laitteiden paikallishjauslaitteita käyttäen. Kaukokäytön periaate esitetään kuvassa 9.



Kuva 9. Yksinkertaistettu kuvaus kaukokäyttöyhteyksistä

Uhat kaukokäytölle aiheutuvat ulkoisista seikoista. Asemien käyttöä varten rakennetut verkot ovat yhteydessä Internetiin, sillä esimerkiksi automaatiojärjestelmien toimittajat vaativat pääsyn esimerkiksi toimittamiensa laitteiden huoltoon varten. Verkko on kuitenkin suojattu useilla palomureilla, ja se on fyysisesti irti silloin, kun automaatiotoimittaja ei sitä tarvitse. Näin menetellään ympäri maailman erilaisissa prosesseissa, ei pelkää sähkönsiirrossa. Asiansa osaava hakkeri voi päästä murtautumaan verkkoon hyödyntämällä automaatiotoimittajaa varten palomuriin tehtyjä aukkoja silloin, kun yhteys on käytössä.

Stuxnet-haittaohjelma on hyvä esimerkki virtuaalisista uhista. Se levisi pääasiassa Iranissa automaatiojärjestelmiä varten rakennetuissa verkoissa vuosina 2009 - 2010. Helenin verkkoon Stuxnet ei päässyt, mutta se säikäytti automaatioihmisiä ympäri maailmaa sen löytyessä kesällä 2010. Stuxnet pystyi vaikuttamaan prosessinohjauksjärjestelmissä käytettävien ohjelmoitavien logiikkaohjainten toimintaan. Tämä teki siitä poikkeuksellisen. Alun perin Stuxnet pääsi tiedonsiirtoverkkoon muistitikun avulla, ja sen jälkeen se levisi hyvin nopeasti hyödyntäen käyttöjärjestelmien tietoturva-aukkoja.

Stuxnet oli räätälöity Siemens Simatic PCS7 -ohjelmistoperheelle. Päästyään järjestelmän tietokantaan se tutki tietoja ja vertaili tietokantaan tallennettuja suunnitteludokumentteja Stuxnetin tiedossa oleviin. Tällä tavoin se pyrki päättämään, mihin kyseessä ollut työasema vaikutti prosessissa. Lisäksi se pyrki lataamaan tietokoneeseen lisää suoritettavia ohjelmatiedostoja.

Haittaohjelman löytäminen oli hankalaa, sillä se osasi piilottaa itsensä. Näin se olisi pystynyt tekemään tuhoja ilman, että haittaohjelmien torjuntaan tarkoitetut ohjelmistot olisivat havainneet sitä. Ohjelman oli tarkoitus aktivoitua myöhemmin, mutta se ehdittiin huomata ja ryhtyä toimenpiteisiin, ennen kuin suurempaa vahinkoa pääsi tapahtumaan.

Haittaohjelman tai hakkerin päästessä järjestelmään on mahdollista, että kojeistolle voi aiheutua tuhoa. Haittaohjelma voi vaikuttaa digitaalisten suojarleiden toimintaan, jolloin verkon suojaukset eivät välttämättä toimisi vikatilanteessa suunnitellusti. Se voi myös häiritä muuta prosessin toimintaa. Stuxnet osasi piilottaa itsensä, jolloin vastaavan haittaohjelman saastuttaessa prosessin ei välttämättä olla varmoja mistä laitteiston väärä toimintaa johtuu. [13; 14.]

3.9 Poikkeuksellinen yhteiskunnallinen tilanne

Poikkeuksellinen yhteiskunnallinen tilanne voi olla esimerkiksi sota, lakko tai poikkeukselliset luonnonolosuhteet. Sodalla olisi suora vaikutus myös sähköverkkoon, sillä avolinjojen tuhoutuminen olisi hyvin todennäköistä. Lisäksi muut sähkönsiirtojärjestelmän osat ja tuotantolaitokset ovat todennäköisiä kohteita.

Sodan ei tarvitse olla lähellä, vaan riittää kojeiston valmistajamaan sota tai muu vastaava poikkeustilanne. Poikkeustilanne voi vaikuttaa valmistajan tuotantoprosessiin tai pysäyttää sen kokonaan. Tällöin tarvittun varaosan saaminen paikalle voi kestää huomattavasti normaalitilannetta pidempään.

Sähköverkkoon voivat vaikuttaa myös muut poikkeustilanteet. Esimerkiksi vika yhdistettynä kuljetusalan lakkoon voi vaikuttaa merkittävästi kojeiston korjaukseen. Osa täytyy tilata, mikäli se vaurioituu, ja sitä ei löydy varastosta eikä vastaavaa osaa voida irrottaa käytössä olevista kojeistoista. Varaosan saanti ulkomailta voi kestää hyvinkin pitkään. Vastaavasti keväällä 2010 tapahtunut Islannin tulivuorenpurkaus pysäytti Euroopan lentoliikenteen hetkellisesti lähes täysin. Tällöin korjaustoimenpiteitä varten mahdollisesti tarvittava valmistajan asiantuntija ei pääsisi tulemaan nopeasti Suomeen.

4 Vikojen vaikutukset ja varautuminen

4.1 Jakelukeskeytyksen vaikutukset

Sähköasemalla tapahtuva häiriö voi aiheuttaa jakelukeskeytyksiä suurelle joukolle asiakkaita. Salmisaaren aseman syöttöalueella on nykyisin noin 17 000 asiakasta. 110 kV kojeiston vioituessa asiakkaat saataisiin syötettyä keskijänniteverkon siirtoreservejä hyödyntäen ja jakorajoja muuttamalla. Pysyväksi ratkaisuksi tästä ei ole, sillä viimeistään naapuriaseman vikaantuminen aiheuttaisi laajan sähkökatkon.

10 kV:n ja 20 kV:n keskijänniteverkko on lisäksi alttiimpi häiriöille, sillä keskijännitekaapeleita ei suojata yhtä mittavasti kuin suurjännitekaapeleita. 110 kV:n suurjännitekaapelit ovat betonista valettujen elementtien sisällä katujen alla tai yhteiskäyttötunneleissa. Avojohdot kulkevat korkealla ilmassa leveillä ja raivatuilla johtokäytävillä. Keskijännitekaapelit kulkevat pääasiassa maan alla vain suojaputken sisällä ja ovat siten alttiimpia erilaisille häiriöille kuten kaivinkoneen kaivulle tai maan painautumiselle.

Sähkökatkosten vaikutuksia voidaan arvioida kolmesta näkökulmasta. Keskeytyksestä aiheutuva haitta (KAH) vaihtelee ensinnäkin asiakkaan tyyppin mukaan. Sähkön käyttäjinä on kotitalouksia, teollisuutta, hallintoa ja palveluita. Toiseksi eri asiakkaille eripituiset katkokset vaikuttavat eri tavalla. Pidemmät katkokset ovat yleisesti haitallisempia

kuin lyhyet, mutta myös lyhyillä on vaikutuksia. Kotitalousasiakkaan tekemisiin ei minuutin katkoksesta ole juurikaan merkitystä.

Teollisuuslaitoksen ollessa minuutin ilman sähköjä, heidän prosessinsa voidaan joutua ajamaan katkon jälkeen kokonaan uudestaan ylös. Minuutin sähkökatko voi aiheuttaa esimerkiksi 15 minuutin tuotannonkeskeytyksen, ja sitä myöten hyvinkin suuret kustannukset. Lisäksi keskeytyneen prosessin vuoksi yritys voi kärsiä tappioita menetettyjen raaka-aineiden mennessä käyttökelvottomiksi. Kolmantena tapana arvioida keskeytyksestä aiheutuvaa haittaa on keskeytyksen ajankohta. Mikäli aiemmin mainittu teollisuuslaitos on normaalisti pysähdyksissä yöllä, yö-aikaan tapahtuva katkos ei vaikuta sen toimintaan välttämättä millään tavalla.

KAH-arvo kuvaa sitä taloudellista haittaa, joka sähkökäyttäjälle aiheutuu sähkönjakelun keskeytyksestä. KAH-arvo ilmaisee keskeytyksestä aiheutuvan euromääräisen haitan joko irtikytkettyjen tehon suhteen (€/kW) tai toimittamatta jääneen energian suhteen (€/kWh). [15, s. 100.]

Taulukossa 1 esitetään suurinpiirteisiä kustannuksia eri asiakasryhmille. Kustannusarvot perustuvat asiakkaille vuonna 2005 lähetettyihin kyselyihin, joka tehtiin Tampereen teknillisen yliopiston ja Teknillisen korkeakoulun yhteistyönä. Kyselyjen tuloksia käytettiin laskennan perustana ja laskelmia tehtiin useita erilaisia. Tuloksissa esiintyvät suuret hajonnat johtuvat siitä, että esimerkiksi kotitalouksien kohdalla ei ole esitettyssä taulukossa huomioita erikseen sähkölämmittäjiä.

Taulukko 1. KAH-arvot eri kuluttajaryhmittäin [15, s. 100]

Asiakasryhmä	Kustannukset €/kW		Kustannukset €/kWh	
	1 h	12 h	1 h	12 h
Kotitaloudet	3 - 10	25 - 60	3 - 7	2 - 5
Loma-asunnot	2 - 20	48 - 81	2 - 17	4 - 7
Maataloudet	3 - 16	50 - 120	3 - 13	5 - 11
Palvelu	4 - 60	25 - 270	4 - 47	2 - 25
Julkinen	5 - 35	60 - 450	5 - 30	5 - 41
Teollisuus	7 - 22	50 - 190	7 - 20	4 - 15

Vaihtelua lopputuloksissa aiheuttaa myös se, että tuloksissa ei ole eritelty, mihin vuorokauden aikaan katkos tapahtuu. Kuten mainittua, yöaikana tapahtuva keskeytys on pääasiassa vähemmän haitallinen kuin päiväaikaan. Sähköyhtiö ei maksa korvauksia esitetyn taulukon perusteella, mutta sen avulla voidaan nähdä suurinpiirteisiä kustannuksia eri käyttäjätyypeille sähkökatkon aiheuttaman haitan seurauksena. [15, s. 3.]

Keskeytyksestä aiheutuvia haittoja voidaan luokitella suoriin ja epäsuoriin vaikutuksiin. Suoriin kuuluvat esimerkiksi taloudelliset haitat, mahdollisesti keskeytyksen aiheuttamat materiaalien pilaantumiset, maksetut palkat ja rikkoutuneet laitteet. Epäsuorat haitat ovat sellaisia, jotka saavat alkunsa sähkökatkosta. Tällainen voi olla esimerkiksi kuljetusliikkeen menettämä aika, kun se joutuu odottelemaan teollisuuslaitoksen tavaraa, joka heidän kuuluu toimittaa ja jonka valmistus on lykkääntynyt sähkökatkon vuoksi. Mikäli saman kuljettajan on määrä hakea toiseltakin teollisuuslaitokselta tavaraa, hänen käyntinsä siellä myöhästyy, jolla voi taas olla haittoja toisen asiakkaan toimintaan. [16, s. 57.]

Osa erilaisista vikaantumismahdollisuuksista (ks. 3) aiheuttaisi laajan katkoksen. Tällaisia ovat esimerkiksi sähköaseman tulipalo tai asemalle nouseva vesi. Tällöin todennäköisesti kaikki aseman lähdöt olisivat poissa käytöstä, ja keskijännitekojeisto ei saisi syöttöä aseman päämuuntajilta. Mikäli vika koskee vain yhtä lähtöä tai komponenttia, voidaan useassa tapauksessa pitää kytkettynä ainakin toinen sähköaseman päämuuntajista. Yksittäisen katkaisijan hajoaminen vaikuttaisi vain sen lähdön toimintaan, missä katkaisija sijaitsee. Vaikka kyseessä olisi päämuuntajalähtö, olisi keskijännitekojeisto syötettävissä toisella päämuuntajalla.

Kriittiset kuluttajat ovat varautuneet sähkökatkoksiin omilla varavoimajärjestelmillä. Esimerkiksi isoilla sairaaloilla on tärkeimpien kulutuskohteiden syöttö varmistettu varavoimalla, jolloin kriittisen leikkauksen ollessa käynnissä potilas ei joudu välittömään hengenvaaraan. Varavoimat ovat kuitenkin aina vain tilapäisratkaisu, ja pääasiassa ne ovat tarkoitettu prosessien ja järjestelmien hallittuun alasajoon. Lisäksi ne eivät välttämättä pysty syöttämään koko kuluttajan normaalitilanteessa tarvitsemaa tehoa, joten vain tärkeimmät kulutusryhmät voidaan syöttää varavoimalla.

4.1.1 Hallinto

Helsingin sähköverkko on kuluttajia vertailtaessa poikkeuksellinen verrattuna muun maan verkkoihin. Helsingissä sijaitsee iso osa Suomen valtionhallinnosta ja Helsingin alueella on suurien yritysten pääkonttoreita. Valtion virastoista Helsingissä sijaitsee esimerkiksi eduskunta ja ministeriöt. Nämä ovat hallinnollisesti erittäin tärkeitä asiakkaita, vaikka sähkönkulutus sinänsä ei ole erityisen suurta. Sähkösaanti on hyvin tärkeä osa näiden toimintaa.

Suomen tärkeimmät tiedotusvälineet sijaitsevat Helsingissä. Uutisten lähettämisen lisäksi Ylen vastuulla on viranomaisten hätätiedotteiden lähettäminen. Hätätiedotteiden välitysjärjestelmää käytetään, kun ihmishenget ovat välittömässä tai ilmeisessä vaarassa tai huomattavat omaisuus- tai ympäristövahingot ovat uhkaavat. Hätätiedote on välitettävä väestölle viivytyksettä. Sähköjen katkeaminen voi vaikuttaa tämän tiedotteen lähettämiseen. [17, s. 89.]

4.1.2 Helsingin liikenne

Helsingissä on laaja julkisen liikenteen verkosto. Liikenteessä sähkön käyttäjinä ovat metro, raitiovaunut ja junaliikenne. Näistä metro muodostaa tärkeän osan Helsingin poikittais- ja liityntäliikenteestä. Metron syöttöasemia on pitkin metrolinjaa, joten yhden syötön katkeaminen ei lamaannuttaisi vielä koko verkkoa, mutta paikallisia vaikutuksia kulkuun saattaisi esiintyä.

Raitiovaunut saavat syötön ajolankoihin myös HSV:n sähköasemilta. Keskijännitekojeistosta on lähtö muuntajalle ja tasasuuntaajalle. Raitiovaunuliikenne käyttää 600 voltin tasajännitettä. Mikäli keskijännitekojeisto ei saisi syöttöä aseman päämuuntajilta 110 kV kojeiston vian vuoksi, myös raitiovaunusyöttö aseman kohdalta olisi väliaikaisesti poissa käytöstä. Raitiovaunuliikenteen ongelmat korostuisivat erityisesti alueilla, joilla ei muuta julkista liikennettä ole. Lisäksi kapeille kaduille pysähtyneet raitiovaunut voivat tukkia liikenteen kyseisellä kadulla.

Junaliikenteelle on Helsingissä muutamia syöttöasemia esimerkiksi Ilmalassa ja Oulunkylässä. Näille tuodaan 110 kV:n yhteys ja syöttöasemalla on oma 110/25 kV:n muuntaja. Tätä asemaa syöttävän HSV:n sähköaseman ollessa jännitteetön junien verkon

syöttö tapahtuisi seuraavalta syöttöasemalta, joka voisi vaikuttaa heikentävästi verkon jännitteeseen ja sitä kautta junien kulkuun.

Ruuhka-aikana sähköjen katkeaminen vaikuttaisi liikenteen sujumiseen huomattavasti. Mikäli liikennevalot ovat poissa käytöstä, voi runsaasti liikennöityihin risteysiin tulla pitkiäkin jonoja. Poliisin liikenteenohjaus auttaa tilapäisesti tilanteeseen, mutta se on aina hieman hitaampaa ja epävarmempaa kuin automaattinen liikenteenohjaus. [17, s. 37.]

4.1.3 Helsingin pelastuslaitos ja sairaanhoito

Katkosalueella pelastuslaitoksen ja sairaanhoidon toiminta olisi turvattuna hetken aikaa varavoimalla, mutta kuten aina, varavoima on vain tilapäinen ratkaisu. Sairaaloiden katkoton sähkönsaanti on erittäin tärkeää sairaanhoidon toimenpiteiden ja potilaiden terveyden kannalta. Sairaaloiden kriittiset hoitotoimenpiteet voivat pitkittyä tai viivästyä ja pahimmillaan ihmishenkiä on vaarassa.

Pelastuslaitoksen toiminta ei suoraan häiriinny katkon vuoksi, mutta muita vaikutuksia voi esiintyä. Pelastuslaitoksen tietokonejärjestelmille riittää omaa varavoimaa muutamaksi päiväksi. Sähkökatko voi vaikuttaa hätäpuheluiden soittoon, mikäli puhelinta lähinnä oleva tukiasema on sähköittä eikä siten toimi. Apua tarvitseva henkilö ei välttämättä saa puheluaan läpi riittävän nopeasti.

Sähkökatko voi vaikuttaa myös pelastuslaitoksen liikkumiseen. Esimerkiksi paloautojen akkuja pidetään latauksessa autojen seistessä paloasemalla, sillä autoissa on runsaasti elektroniikkaa, kuten hätävilkut ja radiopuhelimet. Auton akkujen varaustaso voi laskea, mikäli auto on liian kauan ilman sähköverkkoa.

Lisäksi autojen jarrujen paineita ylläpidetään kompressoreilla, jolloin auto on ajovalmis heti, kun se käynnistetään. Kompressori voi olla sähkökatkon vuoksi poissa käytöstä, ja jarrupaineet liian alhaiset. Tällöin auton liikkeellelähtö hidastuu. Pelastuslaitoksen pääsy hälytyspaikalle voi viivästyä ruuhkautuneiden teiden vuoksi, mikäli liikennevalot eivät toimi. [17, s. 62, 74 - 75.]

4.1.4 Helsingin Energia

Helsingin Energia on suuri asiakas HSV:lle. Heidän tuottamaa sähköä siirretään verkkoon HSV:n sähköasemien kautta. Keskeytyksen aiheuttamia taloudellisia tappioita on vaikea arvioida tarkasti, koska se vaihtelee sen hetken sähkön tarpeesta, tuotannon määrästä ja sähkön hinnasta. Katkon pitkittyessä sillä on kuitenkin negatiivisia vaikutuksia myös yrityksen maineeseen.

4.2 Kustannukset verkkoyhtiölle ja asiakkaille

Sähkönjakelukatkoksen aiheuttamia kustannuksia ei voida laskea tarkasti monien muuttujien vuoksi, mutta arvioita voidaan esittää. Sähkömarkkinalaki määrää korvausten maksuperusteista:

Sähkönkäyttäjällä on oikeus verkkopalvelun yhtäjaksoisen keskeytymisen perusteella vakiokorvaukseen, jos jakeluverkonhaltija tai vähittäismyyjä, joka myy sähköä sähkönkäyttäjille kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän sisäisen sähköverkon kautta, ei osoita, että verkkopalvelun keskeytyminen johtuu hänen vaikutusmahdollisuuksiensa ulkopuolella olevasta esteestä, jota hänen ei kohtuudella voida edellyttää ottavan huomioon toiminnassaan ja jonka seurauksia hän ei kaikkea huolellisuutta noudattaen olisi voinut välttää tai voittaa [18, 27 f §].

Vakiokorvausten määrä määräytyy sähkönkäyttäjän vuotuisista verkkopalvelumaksuisista. Ne ovat

- 10 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 12 h mutta vähemmän kuin 24 h
- 25 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 24 h mutta vähemmän kuin 72 h
- 50 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 72 h mutta vähemmän 120 h
- 100 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 120 h.

Vakiokorvausten enimmäismäärä verkkopalvelun keskeytymisen johdosta on 700 euroa sähkönkäyttäjää kohti. Mikäli sähkönjakelun keskeytys johtuu esimerkiksi kantaverkon viasta, verkkoyhtiö ei ole velvollinen maksamaan vakiokorvausta asiakkailleen. Korvauksia ei myöskään tarvitse maksaa, mikäli keskeytyksen syy on verkkoyhtiön vaikutusmahdollisuuksien ulkopuolella. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi energian säännötelyä koskeva viranomaismääräys.

Korvauksien määrään vaikuttavan keskeytysajan alkukohta voi siirtyä, mikäli esimerkiksi sääolot ovat sellaiset, että työskentely, ja vian korjaaminen voi aiheuttaa korjaajille vaaratilanteen. Esimerkiksi rajun myrskyn aikana korjaajien ei voida olettaa työskentelevän turvallisesti metsässä mahdollisesti kaatuvien puiden vuoksi. Tällöin keskeytysaika alkaa, kun myrsky on ohi, ja korjaustöitä voidaan turvallisesti suorittaa. Korjauskustannukset sähköyhtiölle nostavat myös osaltaan katkon kokonaishintaa. Vaikka asiakas ei kokisi taloudellista haittaa sähkönjakelun keskeytymistä, tapahtunut vaurio on korjattava.

4.3 Varautumistarpeiden selvitys

Vikatilanteita voidaan määritellä muun muassa sen mukaan, miten suuresti vika vaikuttaa kojeiston toimintaan. Vika voi vaikuttaa koko kojeiston alueella tai vain yhden kennon alueella. Suureen vikaan varauduttaessa ja suunnitelmia laadittaessa, täytyy huomioida ja selvittää varaosien tilanne omissa ja valmistajan varastoissa sekä selvittää toimitusajat kriittisille ja nopeasti tarvittaville komponenteille. Komponenttien ostamista varastoon tulee harkita, mikäli niiden toimitusajat ovat pitkät.

Tutkimukset vian syyn selvittämiseksi tulee aloittaa, mikäli tapahtuneen vian syystä ei olla varmoja. Kyseessä voi olla mahdollinen tyyppivika, jolloin saman kojeiston tai vastaavan mallin toisella sähköasemalla käytössä oleva kojeisto voi olla seuraava vikaantuva laitteisto. Tästä syystä yhteistyö valmistajan kanssa on tärkeää. Heiltä on syytä tiedustella, onko vastaavaa vikaa tullut vastaan aiemmin muualla käytössä olevissa kojeistoissa. Mikäli valmistaja myöntää kyseisen vian olevan tyyppillinen rikkoutuneelle kojeistolle, valmistajalta voi löytyä valmis ratkaisu vastaavien vikojen torjumiseen.

Varaosatarpeiden selvityksessä huomioidaan RCM-taulukossa ennakoitu keskimääräinen komponentin vikaantumisaika eli MTBF (*Mean Time Before Fault*). MTBF-luvut ovat pääasiassa peräisin arvioista. Luku voi olla päätelty suoraan tilastoista, mikäli kyseinen vika on tapahtunut useasti. Arvot esitellään taulukossa 2 (ks. seur. s.). Jokaiselle vikaantumistavalle on pyritty tekemään tarkastelu. Vikaantumistapoja RCM-taulukoissa on useita, ja jokainen komponenttiryhmä on käsitelty erikseen.

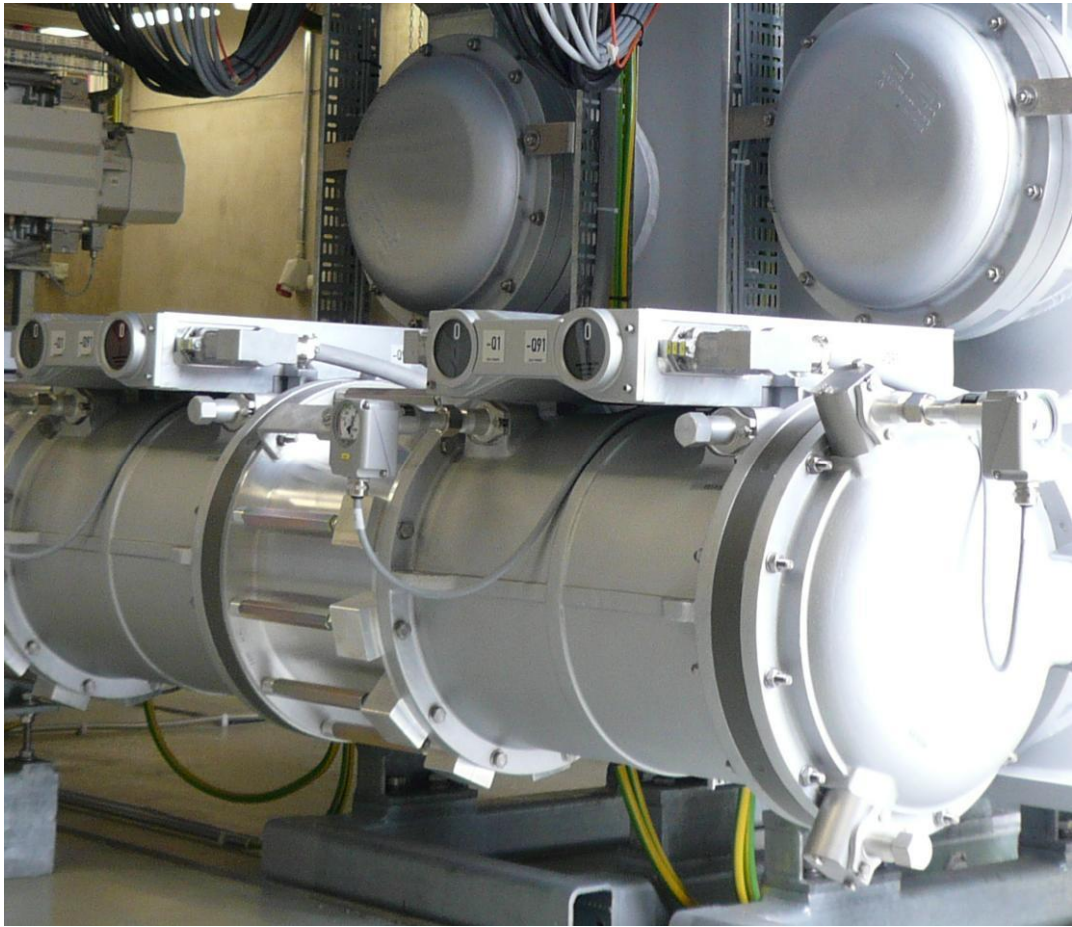
Taulukko 2. MTBF-arvot [19, s. 2]

Krt / v.	Vikaantumisen todennäköisyys HSV:n laitekannassa:
0,5	Vikaantuminen tapahtuu todennäköisesti useammin kuin kerran vuodessa.
1	Vikaantuminen " " keskimäärin kerran vuodessa.
2	Vikaantuminen " " keskimäärin joka toinen vuosi.
5	Vikaantuminen on tapahtunut viimeisen 5 vuoden aikana tai on erittäin todennäköistä, että se tapahtuu seuraavan 5 vuoden aikana.
10	Vikaantuminen on tapahtunut viimeisen 10 vuoden aikana tai on erittäin todennäköistä, että se tapahtuu seuraavan 10 vuoden aikana.
20	Vikaantuminen on harvinaista, mutta voi tapahtua todennäköisesti seuraavan 20 vuoden aikana.
50	Vikaantuminen on harvinaista, mutta voi tapahtua esimerkiksi kerran primäärilaitteen elinkaaren aikana.
100	Vikaantuminen on harvinaista, lähinnä kyse yksittäistapauksista.
1000	Vikaantuminen on erittäin harvinaista. Yleensä ennakoivat panostukset eivät ole kannattavia.

Pohdittaessa varaosien hankintaa ennakkoon täytyy huomioida muun muassa käytössä olevien komponenttien määrä, kriittisyys ja tärkeys verkossa, vikatiheys, kyseisen varaosan toimitusaika ja asentamiseen tarvittava tietotaito sekä työvälineet. Mikäli oletettavissa olevan vian vaikutus on vain pienellä alueella, ja se voidaan tilapäisesti korjata muuttamalla kytkentöjä sähköasemalla, varaosan hankinta ei ole välttämätöntä. Vastaavasti, jos vika on erittäin epätodennäköinen, ja kyseessä on hyvin kallis komponentti, varaosaa ei välttämättä kannata pitää varastossa.

Sähköaseman kaikkien komponenttien varastointiin ei ole kannattavaa varautua kustannusten, tilantarpeen ja vikojen todennäköisyyden perusteella. Toisaalta jos yksittäinen osa on erittäin kriittinen prosessin kannalta, ja sen vikaantumisen todennäköisyys on suuri, se on silloin syytä ostaa varastoon. Päätettäessä välttämättömistä varaosainvestoinneista on selvitettävä edellä mainittuja seikkoja sekä huomioida nykyiset omat varastot ja valmistajien toimitusmahdollisuudet.

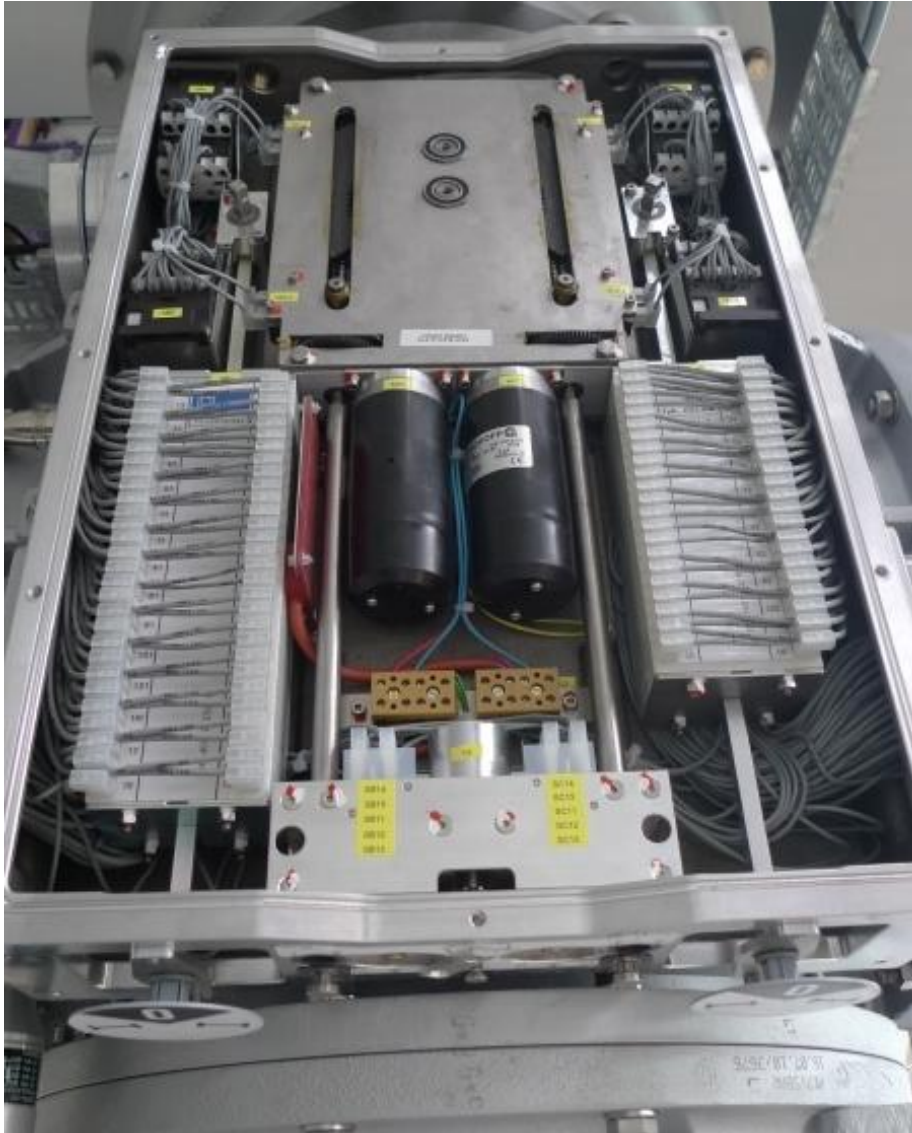
Sähkönjakelua haittaava vika ei välttämättä ole suuri työ korjata. Mikäli osia tarkastellessa huomataan, että yksittäinen rikkoutunut komponentti on nopea ja helppo vaihtaa sen vikaantuessa, kannattaa harkita osan ostamista varastoon. Esimerkiksi uudempien ABB:n GIS-kojeistojen erottimien ohjaimet ovat tällaisia. Nämä ohjaimet ovat sijoitettuina kyseisen erottimen viereen kaasutilan ulkopuolelle kuvan 10 mukaisesti.



Kuva 10. Erottimen ohjain asennettuna kojeistoon [3]

Ohjain on kiinnitettyä muutamalla pultilla kojeiston runkoon. Ohjaimen kyljestä lähtee monijohdinkaapeli, jonka sisällä kulkevat asentotiedot käyttökeskukseen sekä erottimen ohjauskäskyt. Monijohdinkaapelin päässä on liitin, joka on nopea kiinnittää ja irrottaa vastakappaleesta.

Kuvan 10 erottimen ohjain on esitetty avattuna kuvassa 11 (ks. seur. s.). Kuten komponenttien lukumäärästä ja kompaktista sijoittelusta voi todeta, yksittäisen komponentin vaihtaminen saattaa olla melko työlästä. Kyseinen ohjain kannattaa pitää varaosana, ja ohjaimen vaurioituessa on helpompaa vaihtaa koko ohjainyksikkö. Sen avulla kojeisto saadaan nopeasti takaisin toimintaan, ja vioittunut ohjainyksikkö voidaan korjata rauhassa myöhemmin tai lähettää valmistajan tehtaalte huoltoon. [20; 21.]



Kuva 11. Erottimen ohjain sisältä [3]

Ohjain ei välttämättä ole kuvan 10 (ks. ed. s.) mukaisesti avoimella paikalla. Mikäli kyseessä on kaksikiskoinen kojeisto, toinen kisko kulkee heti ohjaimen yläpuolella. Tilaa on hyvin vähän, ja rikkinäisen komponentin etsiminen on todella työlästä. Tämäkin seikka puoltaa ohjaimen vaihtamista, ja huollon suorittamista irrotetulle ohjaimelle. Vastaavasti saman kojeistotyyppin katkaisijan ohjain on katkaisijatilin päällä. Asiaan perehtyneet asentajat pystyvät vaihtamaan ohjaimen muutamassa tunnissa, mikäli toinen vastaava ohjain on nopeasti saatavilla esimerkiksi omasta varastosta.

Varaosan vaihdon ja asennuksen vaatimukset tulee huomioida. Varaosaa ei kannata pitää varastossa, mikäli valmistajan takuun säilyttämiseen tai muutoin hankalaa työtä varten vaaditaan valmistajan neuvonantaja asennusten ajaksi. Erityisesti osaa ei kannata hankkia varastoon, mikäli asiantuntijan saamisen paikan päälle kestää esimerkiksi kuukauden, mutta osan saa kahdessa viikossa. Neuvonantajan saapuminen yhdessä osan kanssa on järkevin vaihtoehto, mikäli osa hajoaa ja se joudutaan korvaamaan uudella.

Varaosahankinnoissa kannattaa myös huomioida aiemmin hankittujen kojeistojen hyödyntäminen. Mikäli jotain vanhaa kojeistoa varten on ostettu varaosia, ja ne käyvät suoraan tai lähes suoraan myös uuteen kojeistoon, kyseistä varaosaa ei kannata ostaa toistamiseen varastoon.

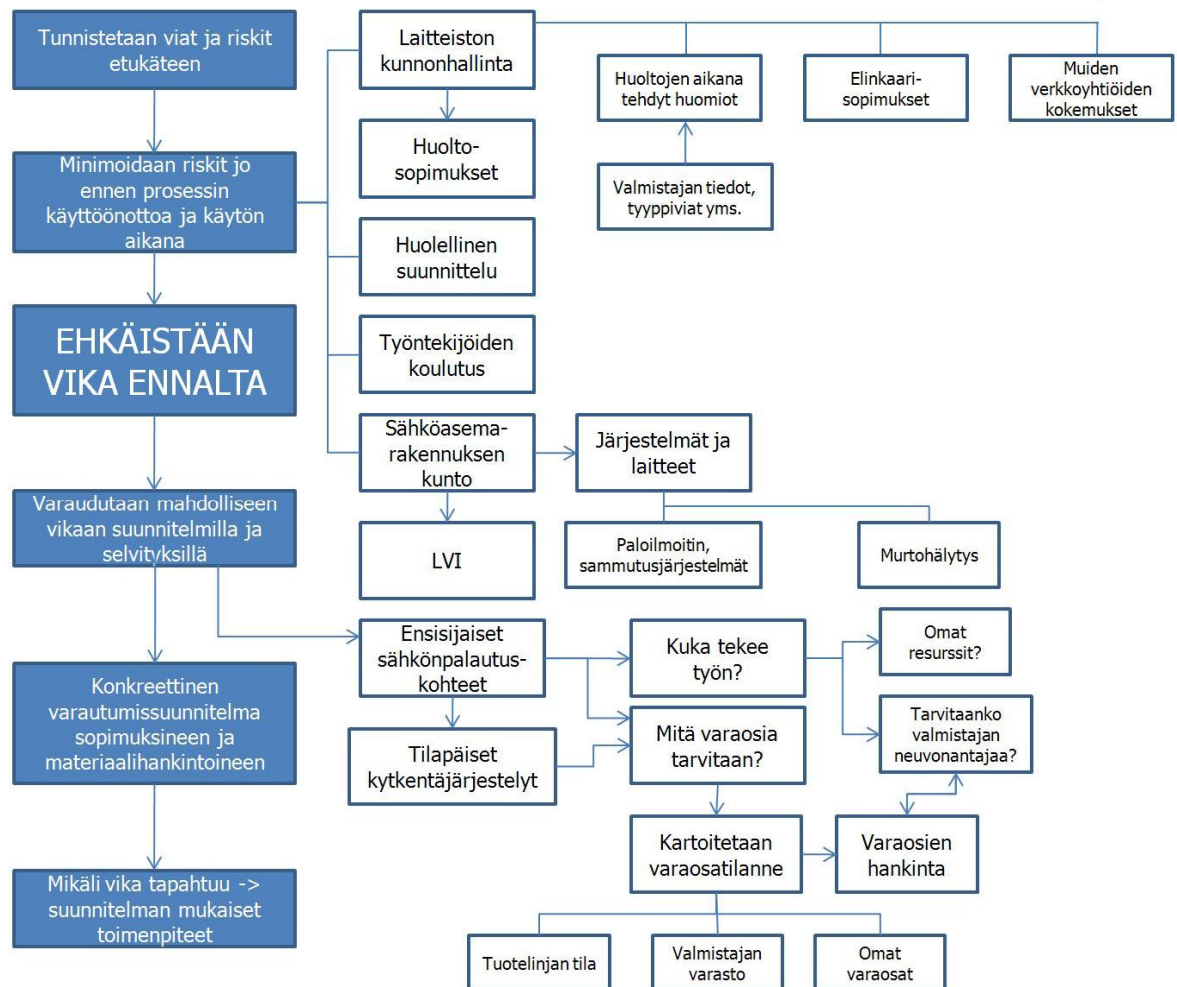
Valmistajien suositukset varaosahankinnoissa kojeiston tilauksen yhteydessä saattavat olla hyvin ympäripyöreitä. Tällöin on syytä miettiä, mitä todella tarvitaan, sillä kojeiston tilauksen yhteydessä varaosat ovat todennäköisesti halvempia kuin erikseen myöhemmin tilatessa. Toinen vaihtoehto on neuvotella elinkaarisopimus, jonka turvin vika- ja huoltotilanteissa on ajantasaista tietoa saatavilla.

5 Varautuminen käytännössä

Varautumissuunnitelmassa tutkitaan ja otetaan kantaa siihen, miten voitaisiin ennalta estää jonkin vian syntyminen. Tämän lisäksi tarkastellaan, mitä tehdään, mikäli vika kaikesta ennalta varautumisesta huolimatta tapahtuu. Lisäksi otetaan selvää, mitkä viat ovat sellaisia, joihin voidaan ja on syytä varautua.

Varautuminen lähtee vikojen ja riskien tunnistamisesta ja niiden minimoinnista. Ennalkolta pyritään estämään vian syntyminen. Usein on helpompaa, halvempaa ja jakelun kannalta luotettavampaa estää vian synty kuin varautua korjaamaan se. Kaikesta varautumisesta huolimatta voi jäädä jokin asia, jota ei ole osattu ottaa huomioon, ja se aiheuttaa suurvian. Mitä nopeammin aiheutuva vika saadaan korjattua, sen parempi. Tällöin tehdylle suunnitelmalle on käyttöä.

Kuvassa 12 esitetään niitä asioita, joita on syytä tarkastella eri varautumisen vaiheissa:



Kuva 12. Varautumisen vaiheita

Sähköverkon suunnittelussa otetaan huomioon vikaantumisen mahdollisuus. Verkon peruskytkentätilanteessa on käytössä jokin tietty määrä virtapiirejä. Kun yksi virtapiiri jää pois käytöstä, puhutaan N-1 tilanteesta. Verkon tulee kestää tällainen tilanne. Esimerkiksi yhden suurjännitekaapelin vika aiheuttaa tällaisen tilanteen. Lukumääräisesti suurempien vikatilanteiden haittoja voidaan vähentää, mikäli niistä saadaan tieto etukäteen. Esimerkiksi huoltojen aiheuttamat katkokset voidaan etukäteen suunnitella. Suunnittelun avulla tehdään kytkentöjä verkolla, ja pyritään takaamaan häiriötön sähkönjakelu huoltotoimien aikana.

5.1 Vikoihin varautuminen

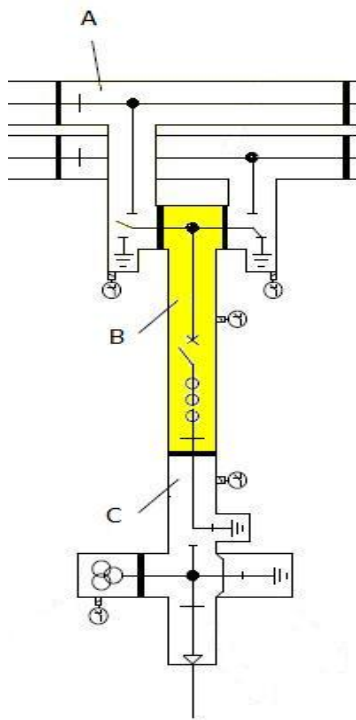
Ulkoisten syiden aiheuttamiin vikoihin varaudutaan ennakkovalmisteluilla ja riskien minimoinnilla. Esimerkiksi mainitut syyt kuten tulipalo ja tulviva vesi (ks. 3) ovat syitä, joiden riskit on pyritty minimoimaan. Tulipalot voivat pahimmillaan johtaa kokonaisen aseman käyttökeskeytykseen. Vaikka metallista valmistetun kojeiston primääriosat eivät itsessään kärsisi tuhoja, 110 kV kojeiston ulkopuoliset osat kuten ohjaimet, apusähkölaitteet, suojalaitteet ja viestikaapeloinnit ovat vaarassa vahingoittua. Samoja vaurioita kytkinlaitokselle aiheuttaisi asemalle tulviva vesi.

Kojeistovikoihin on myös syytä varautua. Jonkin verran on tullut tietoon esimerkiksi valmistusvirheitä tai muita rakenteellisia ongelmia. Avaavia huoltoja suoritetaan pääasiassa valmistajan antamien ohjeistusten mukaan, jolloin avausväli on reilusti yli kymmenen vuotta. Jos esimerkiksi jokin katkaisija on kovassa käytössä kyseisellä ajanjaksolla, ja katkaisijan rakenteessa on jokin vika, se voi vaurioitua katkaisutilanteessa.

Mikäli kojeistoon tulee vika, jolloin kaasua pääsee paljon ulos, ongelmaksi voi muodostua riittävän kaasumäärän saanti asemalle. Tällainen vika voi olla esimerkiksi kaasun ulospääsy monesta tilasta samanaikaisesti. Edellä kuvatun tilanteen voi aiheuttaa huollon aikana tehty virhe. Se voi olla esimerkiksi tyhjennyksessä käytetyn pumpun letkun vaurioituminen ja siitä seuraava kaasuvuoto. [21.]

Kun letku liitetään kojeiston tyhjennysventtiiliin, venttiilissä oleva varmistusmekanismi päästää kaasun letkuun. Mikäli letkussa on reikä, tai se ei kestä painetta, kaasua pääsee purkautumaan vapaasti pois kojeistosta. Tällainen tilanne tulee estää kaasunkäsittelylaitteiston tarkistuksilla ja huollolla sekä laitteiston huolellisella käytöllä. Vaurioiden ehkäiseminen voidaan varmistaa ottamalla viereiset kaasutilat jännitteettömäksi huollon ajaksi, mikäli se on kytkennällisesti mahdollista.

Kuvassa 13 kuvataan ABB:n EXK-0 kojeistotyyppin kaasutilajaottelu. Kyseessä on kaksikiskoinen kojeisto, jossa kaasutilat on osastoitu normaaliin tapaan eripaineisiin osiin. Eri kaasutilat on nähtävissä paksuista mustista poikkiviivoista. Tila A on kokoojakisko, B on katkaisija ja C lähdön kolmiasento-erotuskytkin. Ohjeistuksen mukaan suurin sallittu eropaine paineistetun tilan ja naapuritilan paineen välillä saa olla 420 kPa - 600 kPa hieman tilasta ja kojeiston tyyppistä vaihdellen.



Kuva 13. Kaasutilajako eri paineille

Esimerkiksi kokoojakiskotilan äkillinen tyhjentyminen normaaliin ilmakehän noin 1 barin paineeseen voi aiheuttaa sen ja katkaisijatilaa välisen kaasutiivien eristeen murtumisen ns. *domino-efektimäisesti*, sillä 1 bar vastaa 100 kPa, ja katkaisijatilassa voi olla jopa 700 kPa paine. Suurin sallittu eropaine voi ylittyä. Huolloissa liian suuren paine-eron syntyminen on ehkäisty. Kun tiettyä kaasutilaa tyhjennetään kaasusta, lasketaan myös viereisten tilojen painetta. Tällöin paine-erot eivät nouse liian suuriksi, ja kojeistolle ei aiheudu vaurioita. [22: 1.5.2.]

Mainittuihin kaukokäytön uhkiin (ks. 3.8) on varauduttu. Verkot on suojattu palomuurilla ja erotettu fyysisesti Internetistä, kun yhteyttä ei käytetä. Verkkoon pääsevät vain ne tahot, joille on myönnetty oikeudet. Stuxnet-haittaohjelma levisi muistitikkujen avulla. Tällöin täytyy pitää huoli, että kaukokäyttöverkkoon kytketyissä koneissa ei käytetä omia muistitikkuja. Myös muista siirrettävistä medioista tulee huolehtia, jotta ne eivät levitä mahdollisia haittaohjelmia ja vaaranna kojeiston toimintaa.

Relesuojauksen häiriöt täytyy korjata mahdollisimman nopeasti. Täysin ilman suojausta mikään 110 kV verkon osa ei jää yhden laitteen pettäessä, sillä suojausten luotettavuuden lisäämiseksi jokainen verkon kohta kuuluu ainakin kahden eri releen suojausalueeseen. Kahdennus on tehty joko kahdella erillisellä pääsuojauksella tai siten, että varasuojana on toisen releen hidastettu porrassuojaus. Releasettelut tehdään siten, että releet laukaisevat kaikissa kytkentätilanteissa.

Vanhojen releiden korvaukseen niiden vanhentuessa käytetään nykytekniikan mukaisia mikroprosessoriohjattuja digitaalisia releitä. Näiden suojaustoiminnot ovat paljon monipuolisempia aiempiin verrattuna, ja niissä voi olla runsaasti erilaisia asettelumahdollisuuksia. Tämän ansioista monet erilaiset suojausratkaisut samanlaisella releellä ovat mahdollisia.

Digitaalisten releiden etuna mekaanisiin releisiin on liikkuvien osien vähäisyys. Tällöin mekaanisia ongelmia releisiin ei tule. Haittoina on se, että ne voivat kärsiä ohjelmistovirheistä. Lisäksi digitaalipiirien nopea kehitys saattaa osaltaan lyhentää releen elinkaarta eikä releen vaihtaminen toiseen ole välttämättä yhtä helppoa kuin vanhemmilla releillä. Tämä on syytä huomioida etukäteissuunnittelussa ja varmistua, että tilalle vaihdettavaan releeseen on saatavilla tai tehtynä varmasti oikeanlainen ohjelmisto. [7, s. 343 - 345.]

Sähköasemarakennusten kuntoa valvotaan, ja puutteista tehdään merkinnät. Rakennusvaiheessa urakoitsijalta vaaditaan standardien noudattamista, ja huolellista työn tekoa. Tällä ehkäistään sellaisten vaurioiden syntyminen, jotka voivat johtaa aseman käyttökeskeytykseen.

5.2 Varautumisessa huomioitavia seikkoja

5.2.1 Esisuunnittelu ja riskien minimointi

Vikoihin varautuminen lähtee aina etukäteissuunnittelusta. Perusajatuksena ja suunnittelun lähtökohdaksi pidetään sitä, että vikoja ei pääse syntymään. Tämä ehkäistään perusteellisella suunnittelulla ja tunnistettujen riskien minimoinnilla. Sähköasemien suunnitteluvaiheessa pyritään ottamaan oppia aiempien asemien kohdalla tehdyistä virheistä tai puutteista. Esisuunnittelussa valmistajilta kysytään kokemuksia kojeiston toiminnasta, mikäli vastaavantyyppinen järjestelmä on käytössä jossain päin maailmaa.

Varautumiseen liittyy osaltaan jokaista sähköasemaprojektia varten tehtävä riskikartoitus. Kartoituksen tavoitteena on tunnistaa mahdolliset turvallisuus-, ympäristö- ja käytövarmuusriskit sekä valmistella toimenpidesuunnitelma riskien hallinnan parantamiseksi. Toisin sanoen tarkastelussa käydään läpi mahdollisia häiriötilanteita ja tarkastellaan niiden todennäköisyyksiä. Lisäksi selvitetään, kuka on vastuussa kyseisen riskin minimoinnista ja huomioon ottamisesta. [23.]

5.2.2 Yksittäisten osien vaurioiden vaikutukset

Kojeiston suunnitteluvaiheessa täytyy huomioida mahdolliset yksittäiset komponenttien vikaantumiset ja niiden huollot. Aiemmin kuvassa 7 (s. 11) esitetty pääkaavio on esimerkki siitä, miten yksittäisen komponentin vikaantuminen voi ainakin huollon ajaksi saada koko sähköaseman 110 kV kytkinlaitoksen pois käytöstä. Vastaavien yksittäisten komponenttien hajoamiseen tulee varautua suunnittelemalla kojeisto ryhmien ja kiskojen osalta siten, että yksittäisen komponentin hajoaminen ei haittaa esimerkiksi toisen ryhmän käyttöä, vaan tilapäiskytkennöillä vioittunut osa saadaan ohitettua.

Mikäli kojeistossa on jokin vähemmän tärkeä lähtö, joka voidaan tarvittaessa jättää pois käytöstä, sen kaasuja voidaan hyödyntää tyhjentyneessä kennossa. Tällöin kyse on kuitenkin vähintään päivän katkosta, sillä kaasutilan tyhjentäminen ja uudelleen täyttäminen on hidasta työtä. Esimerkiksi katkaisijatilassa on kaasua hieman kojeistosta riippuen noin 200 kg. Kahdella kompressorilla tehtynä työ kestää noin yhden päivän. [21.]

Toisesta kennosta voidaan hyödyntää myös muita osia, mikäli se on teknisesti mahdollista ja se lyhentää vian korjaamista. Osien vaihto edellyttää samaa kojeistotyyppiä ja usein myös samaa vuosimallia. Kaasuvikatilanteita varten on varauduttu tekemällä huoltosopimus. Siinä määritellään huollosta ja korjauksista vastaavan yritykseen kanssa, että yritykseltä löytyy riittävä määrä kaasua vikatilanteiden varalle.

5.2.3 Vesivahinkojen ja tulipalojen ehkäisy

Veden nousuun asemien kellareissa on syytä varautua. Asemille, joille esimerkiksi korkean meriveden vuoksi veden tulviminen on mahdollista, tulee kellareihin asentaa kosteudesta hälyttävät laitteet. Aseman lähellä tehtävien mahdollisten räjäytystöiden johtajaa tulee ohjeistaa mahdollisesta tärinän aiheuttamista ongelmista runkovesilinjoille, mikäli sellainen aseman läheisyydessä kulkee.

Runkovesilinjan pettämisestä löytyy hyvä esimerkki syksyltä 2009. Tällöin Helsingin päärautatieaseman alapuolella sijaitseva metroasema joutui veden varaan. Vahingon aiheutti rautatieaseman edustalla kulkeva vanha vesiputki, joka hajosi vuosien tärinän seurauksena. [24.]

Yksi mahdollisuus veden kulkeutumiselle on poikkeuksellisen korkean meriveden aikana. Tällöin sähköasemien kellarit tulee ottaa eritystarkkailuun, jotta veden mahdollinen kulkeutuminen aseman tiloihin saadaan tietoon mahdollisimman pian ja vastatoimet alkuun.

Itämeren neljä erityispiirrettä vaikuttavat meriveden huippukorkeuksiin. Ne ovat

- ns. *kylpyamme-efekti*
- kokonaisvesimäärä
- tuulen aiheuttama kallistuma
- alhaisen ilmanpaineen aiheuttama merenpinnan nousu.

Näiden lisäksi ilmastonmuutoksen on arvioitu lisäävän meriveden keskimääräistä korkeutta lähivuosina, joka pahentaa tulvien mahdollisesti aiheuttamia vahinkoja. [25, s. 2.]

Helsingin kantakaupungin tulvakartassa (liite 2) on kuvattu alueet, jotka jäävät veden alle vedenkorkeuden ylittäessä tietyn korkeuden. Kartasta huomataan, että suoranaisesti veden alle ei jää yksikään sähköasema. Vesi voi kuitenkin nousta sellaiseen korkeuteen, että se pääsee maanalaisille sähköasemille tunneliverkoston kautta. Poikkeuksellisen merivedenkorkeuden aikana tunnelit ja sähköasemat tulee ottaa erityistarkkailuun, jotta mahdollinen veden kulkeutuminen huomataan riittävän ajoissa, ja toimet veden varalle voidaan aloittaa.

Kaapelikellariin päästessään vesi ei aiheuta suoranaisia vaikutuksia sähköjaketulle. Vesi voi kuitenkin kuljettaa mukanaan esimerkiksi kiviä. Jos matkalla on kaapeli, kivi voi rikkoa kaapelin eristeet tai aiheuttaa piilevän vian. Tällöin kaapeli vaurioituu heikentyneen eristeen aiheuttaman läpilyönnin takia ja saattaa sytyttää kaapelipalon. Ihmisten ollessa lähistöllä myös henkilöturvallisuus on vaarassa.

Tulipaloriskin minimoimiseksi tiloissa ei säilytetä prosessin kannalta turhia materiaaleja kuten öljyjä. Palokuormat minimoidaan myös muilta osin. Tulen käyttöä sisätiloissa valvotaan erityisesti sähköasemarakennusten remonttien yhteydessä. Asemille asennetaan paloilmaisimet, joiden hälytystieto menee käyttökeskukseen. Ilmaisimet tarkastetaan määräajoin, ja näiden mahdollisiin vikoihin reagoidaan mahdollisimman nopeasti, jotta tulipaloista tuleva tieto ei jää saamatta.

Kaapelipalo voi sytyttää asemalle tulipalon. Kaapeli voi aiheuttaa maasulun, joka sytyttää kaapelin tuleen, mikäli kaapelin eristys tai mahdollinen jatkos pettää. Kaapelipalon mahdollisuuden lisäksi suojalaitekaapeissa voi syttyä tulipaloja. Tällöin todennäköinen syttymissy on kaapissa tehty huono liitos, joka voi aiheuttaa kipinöintiä ja liitoskohdan lämpenemistä. Järjestelmien valmistajilta vaaditaan hyvää työn laatua, jotta huonojen liitosten määrä saataisiin minimoitua. Valmistajilta tulee myös vaatia tehdastarkastuksista pöytäkirjat, joista voidaan todeta tehdyt tarkastukset.

Tukholmassa tapahtunut energiatunnelin kaapelipalo on HSV:n sähköasemilla ja tunneleissa on pyritty estämään osioimalla kaapeleita erilleen. Sähköasemilla kojeistojen alapuolella olevissa kaapelikellareissa 110 kV:n kaapelit on pyritty koteloimaan kuvan 14 mukaisesti, jolloin yhden vikaantumisen ei vaikuta muihin kaapeleihin yhtä suuresti kuin koteloimattomana. Lisäksi kaapelikellari on palo-osastoitu, jolloin siellä mahdollisesti syttyvän tulipalon leviäminen yläpuolelle kojeistoon hidastuu merkittävästi. Sähköaseman paloilmaisimet antavat hälytyksen, ja palokunta hälytetään paikalle.

Kaapelikellarit on suojattu hiilidioksidi-, seoskaasu- tai sprinklerijärjestelmällä. Hiilidioksidi- tai seoskaasujärjestelmä reagoi palon syttyessä, tyhjentää kaasut tilaan ja tilan happipitoisuus laskee. Tämän ansiosta palo sammuu. Hiilidioksidia käytetään pääasiasa vain kaapelikellareissa ja päämuuntajatiloiissa. Muutamalla asemalla on käytössä vesisumu- tai sprinklerijärjestelmä ja Kluuvin uudella sähköasemalla käytetään erityistä seossammutuskaasua.



Kuva 14. 110 kV:n kaapelikellari [3]

Tulipalo voi syttyä myös kiinteistösähkölaitteistosta. Vanhan valaisin voi rikkoutuessaan sytyttää tulipalon. Valaisimen päälle on voinut kertyä pölyä, joka valaisimen lämmetessä syttyy palamaan. Tällöin pölyjen puhdistuksesta täytyy huolehtia, jotta tällainen tilanne ei pääse syntymään. Lisäksi sähköasemien sosiaalituloissa sijaitsevat laitteet tulee pitää kunnossa. Sosiaalitulassa saattaa olla sähköliesi tai kahvinkeitin. Näiden päällä ei tule säilyttää mitään tavaraa. Liesi voi olla käyttämättä pitkiäkin aikoja, mutta se voi vahingossa kytkeytyä päälle. Lieden lämpö voi sytyttää sen päälle laitettut tavarat tulleen ja aiheuttaa tulipalon sähköasemalla.

Tulipalo voi syttyä myös siivouksen jäljiltä. Jotkin öljypohjaiset pesuaineet reagoivat huokoisten aineiden kanssa kehittäen lämpöä. Huonoimmassa tapauksessa ne voivat syttyä palamaan. Sähköaseman siivouksesta vastaavan tahon kanssa tulee tehdä selväksi, että tällaisia materiaaleja ei saa käyttää, ja mikäli niitä on pakko käyttää, niitä ei saa jättää valvomatta sähköasematiloihin.

Palojen aiheuttamia tuhoja solmupisteasemilla on pyritty rajaamaan osioimalla kojeiston ryhmät omiin palotiloihin. Kolmiryhmäinen kojeisto on kolmessa palotilassa ja kaksiryhmäinen kojeisto on kahdessa palotilassa. Kojestolle on tehty läpiviennit osaston seinien läpi, ja kojeisto voidaan tarvittaessa erottaa kahteen tai kolmeen osaan erottimilla. Tällöin yhden kojeiston ryhmän ollessa poissa käytöstä, muiden käyttöä voidaan jatkaa normaalisti. Kyseistä menettelyä käytetään huoltojen ja tarkastusten yhteydessä.

Kaapelikellarit on rakennettu eri palotiloiksi samalla periaatteella. Lisäksi tärkeät yhteydet on pyritty varmistamaan siten, että samasta palotilasta ei lähde kuin yksi yhteys samaan suuntaan. Esimerkiksi sähköaseman päämuuntajat ovat eri ryhmissä, jolloin yhden ryhmän ollessa poissa käytöstä saadaan silti toinen muuntaja pidettyä kytkettynä verkkoon. Kaapeliyhteydet sijoitellaan siten, että asemien välillä mahdollisesti kulkevat kaksi yhteyttä lähtevät eri ryhmistä. Aina tähän sijoitteluun ei päästä erinäisistä syistä, mutta tätä pidetään uusien sähköasemien suunnittelun lähtökohtana.

5.2.4 Elinkaari- ja huoltosopimukset laitteiston kunnonhallinnassa

Valmistajien kanssa on mahdollista tehdä elinkaarisopimus. Sopimuksesta riippuen valmistaja voidaan esimerkiksi sitouttaa olemaan mukana laitteiston huolloissa. Heille voidaan lähettää tiedot käytössä olevista laitteista, jolloin he voivat osaltaan ehdottaa tiettyjä huoltotoimenpiteitä ja huoltoaikoja. Tällöin laitteiston elinkaaren pituuteen ja luotettavuuteen voidaan vaikuttaa, sillä esimerkiksi huoltojen yhteydessä osataan ottaa paremmin huomioon eri asioita. Sopimuksella saavutetaan myös parempi riskienhallinta erityisesti elinkaaren loppupuolella.

Huolloilla on suuri merkitys laitteiston elinkaareen. Hyvin hoidetut ja oikein käytetyt laitteet kestävät pitempään ja ovat käytössä luettavampia. HSV:n huoltosopimukset ovat olleet toimivia ja kunnossapitotehtävät ovat pääasiassa sujuneet hyvin. Ennalta määritettyjä huoltovälejä tulee noudattaa ja laitteiston kuntoa tulee valvoa käytön aikana. Tällöin kojeiston toimintaan voidaan luottaa.

5.3 Käytössä olevien komponenttien hyödyntäminen varaosina

Kojeistoa voidaan hyödyntää varaosina tarvittaessa, mikäli komponentit ovat yhteensopivia. Monesti kojeiston tyyppin uusiutuessa vanhat ja uudet osat eivät sovi keskenään yhteen. Esimerkiksi Siemensin 1990-luvun alussa valmistettu kojeisto on nopeasti ulkopuolelta katsottuna vastaava 90-luvun lopulla valmistettuun, mutta käytännössä niitä ei voi yhdistää ilman kalliita sovituskappaleita.

Mikäli kuitenkin on olemassa kojeisto, jota voidaan hyödyntää, voidaan jokin vähemmän tärkeä lähtö ottaa pois käytöstä ja käyttää joko lähtöä tai sen kennon osia varaosina. Kaikkien lähtöjen kohdalla tämä ei välttämättä onnistu tai ole muutoin kannattavaa. Esimerkiksi muuntajakennon voi helposti korvata toisella muuntajakennolla, mutta kaapelilähdön korvaaminen muuntajakennolla voi olla hyvin työläs ja hidaskäyttötoimenpide. Lisäksi kenno on mitoitettu virrankestolta erilaiseksi. [21.]

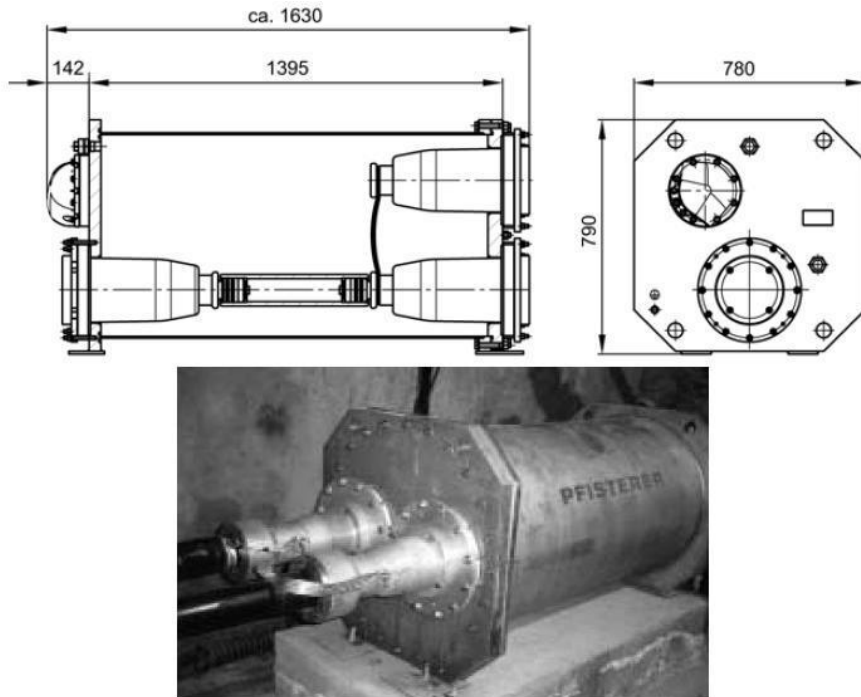
Vian korjaamista voidaan nopeuttaa, mikäli toisella verkkoyhtiöllä on tarvittava varaosa. Varaosa saadaan paljon nopeammin rikkoutuneen tilalle, mikäli vaihtoehtona on odottaa uutta osaa saapuvaksi valmistajalta. Kun varaosa saapuu valmistajalta, se voidaan antaa toiselle verkkoyhtiölle. Verkkoyhtiöiden välinen yhteistyö kannattaa myös näiltä osin. Lisäksi esimerkiksi huoltojen kokemuksia voidaan jakaa, jolloin vältytään samojen virheiden tekemiseltä, ja voidaan ennakkoon vaatia valmistajalta aktiivisuutta huollon suunnittelussa, mikäli tiedossa on esimerkiksi jokin tyyppivika.

Kaasun käsittelyyn käytetyt laitteet ovat erilaisia ja niitä on eri tehoisia. Kiireellisessä tilanteessa toiselta urakoitsijalta voi pyytää töitä varten parempaa laitteistoa, mikäli heiltä sellaista löytyy. Kuten aiemmin mainittiin (ks. 5.2.2), voidaan esimerkiksi varalla olevan kennon kaasuja hyödyntää myös tilapäisesti, mikäli riittävää kaasumäärää ei muutoin ole saatavilla.

5.4 GIS-kojeiston ohittaminen

Kojeiston ohittamista varten vian korjaamisen ajaksi tulee tehdä suunnitelmat, mikäli kojeisto kaikesta varautumisesta huolimatta vaurioituu. Suunnitelmaa laadittaessa tulee määrittellä tärkeät 110 kV:n yhteydet asemakohtaisesti, ja päättää, mitkä ovat ensisijaisesti korvattavia yhteyksiä. Ohittamista varten täytyy tarkastella teknologia, jolla ohitus

tehdään. Yhtenä vaihtoehtona on yhdistää avolinjat maakaapeliin tai maakaapeli toiseen maakaapeliin erityisellä T-haaraliitoksella. Näitä valmistaa ainakin yksi valmistaja, Pfisterer. Kuvassa 15 esitetään liitoskappale HV-CONNEX T-joint, Size 5-S.



Kuva 15. Pfistererin valmistama T-haaraliitos [26, s. 65]

Kyseinen liitoskappale on valmistettu 1-vaiheisena, jolloin kolmivaiheiseen liitântään täytyy hankkia kolme vastaavaa. Yhdistämisen lisäksi tuotteella voi haaroittaa esimerkiksi yhden kaapelin kahdeksi. Tuote on SF₆-eristetty, jolloin sitä voidaan käyttää korkeilla jännitteillä. Suurin sallittu käyttöjännite on 145 kV, mutta tuote kestää 275 kV jännitepiikin. Nimellisvirta määräytyy kaapelien mukaan, mutta esimerkiksi 5-S pistokepäätte kestää 2500 A. Tuote on koteloitu luokkaan IP66.

Kyseistä haaraliitosta ei HSV:lla ole käytössä, mutta esitteen perusteella tuote voisi olla potentiaalinen vaihtoehto, kun vaurioitunut kojeisto tulisi ohittaa. Kyseinen tuote vaatii Pfistererin omat Connex-mallin *plug-in* kaapelipäätteet, joita ei ole käytössä kaikissa kojeistoissa. Kaapelipäätteiden vaihtamista esimerkiksi huollon yhteydessä täytyy harkita, mikäli tämä tuote soveltuu aiottuun käyttöön ja siihen päädytään. Tämän tuotteen avulla kojeiston ohittaminen vikatilanteessa olisi hyvinkin nopea toimenpide.

Koska tehoa pitäisi saada siirrettyä aseman ohitse, täytyisi joko GIS-kytkinlaitokseen eri suunnista tulevat kaapelit yhdistää toisiinsa, tai avojohto pitäisi yhdistää maakaapeliin. Mikäli avojohdosta tehtäisiin yhdistys, yhdistettäisiin avojohto pääteportaalin avulla kaapelipäätteellä varustettuun kaapeliin. Tämän kaapelin toinen pää vietäisiin kaapelikellariin ja yhdistettäisiin tähän T-haaraliitokseen. Sen jälkeen kojeistosta irrotettaisiin haluttu kaapeli ja se yhdistettäisiin tähän liitokseen.

Tällä tavoin saataisiin avojohto yhdistettyä maakaapeliin, ja tehoa saataisiin siirrettyä vaurioituneen aseman ohitse. Tämän periaatekuva on esitetty liitteessä 3. Avojohton yhdistyskaapeli olisi syytä tehdä etukäteen valmiiksi, ja mitoittaa siten, että se ylettyy pääteportaalilta kaapelikellariin.

Suojausten toimiminen täytyy huomioida, sillä releelle tehdyt asetelut eivät ole enää voimassa kytkentöjen muutosten jälkeen. Verkko olisi suojattu, mutta laukaisajat muuttuisivat. Ilman tiedonsiirtoyhteyksiä differentiaalireleitä ei voisi käyttää, mutta distanssisuojat toimisivat. Niiden toiminta-aika olisi pidempi, ja suojausten toimiessa verkossa saattaisi olla jännitteettömänä suuri osa. Häätötilanteessa releasettelumuutosten tekeminen voi kuitenkin vaatia pitkän ajan, jolloin tilapäistä riskin ottoa voidaan harkita.

Differentiaalirele kommunikoi vasta-aseman releen kanssa ja vertailee virtojen eroa. Mikäli ero on nolla, lähtevässä ja tulevassa päässä kulkee virtaa saman verran ja yhteys on kunnossa. Mikäli ero on jotain muuta, kuin nolla, jossain kohtaa yhteyttä on vika ja releet laukaisevat yhteyden auki. Mikäli siis tiedonsiirto ei toimi, nämä releet eivät myöskään toimi. [7, s. 351 - 352; 14.]

Toinen vaihtoehtoinen GIS-kojeiston ohitukseen olisi liikuteltava mobiilikojeisto. Näitä valmistavat ainakin Siemens ja Alstom Grid. Kojeisto on toteutettu SF₆-eristeisenä ja siinä on yksi johtolähtö. Kojeisto voidaan sijoittaa esimerkiksi suoraan avolinjan alle ja lähtö voidaan toteuttaa kaapeleilla tai yhdistää suoraan muuntajaan. Tällöin vikatilanteissa esimerkiksi sähköaseman liittäminen aseman vieressä kulkevaan avojohtoon on suhteellisen nopea toimenpide. Siemensin ratkaisussa kojeisto on sijoitettu konttiin, joita käytetään muun muassa rahdin kuljettamiseen kuvien 16 ja 17 mukaisesti (ks. s. 43 - 44). [27.]



Kuva 16. Mobiilikojeisto sijoitettuna konttiin

Siemensillä on tällaisen kontin vuokrauspalvelu. He mainostavat tätä soveltuvaksi erityisesti kohteisiin, missä tarvitaan väliaikaisesti paljon tehoa. Järjestelmää on laajennettu siten, että samalle rekan lavalle saisi muuntajan ja keskijännitekojeiston. Jos esimerkiksi jonkin avolinjan varrella on iso rakennustyömaa, tällaisen ratkaisun tuominen paikalle voi olla järkevää. Lisäksi yhtiön mukaan tuote on erityisen soveltuva tilapäisratkaisuksi huoltojen ja kojeiston uudistusten ajaksi tai myrskyjen, tulvien tai maanjäristysten aiheuttamien katkosten korjaamisen ajalle.

Tämän ratkaisun heikko puoli on se, että kaapeliverkkoon yhdistettäessä kaapeleita tulisi jatkaa. Tämä johtuu siitä, että kontin suuren koon vuoksi sitä ei voisi viedä aseman sisälle, ja kaapelit pitäisi jatkaa kaapelikellarista aseman ulkopuolelle. Toinen huono puoli tässä ratkaisussa on kojeiston koko ja hinta verrattuna käyttötarpeeseen. Mikäli kojeisto olisi hankittu ensimmäisen GIS-kojeiston yhteydessä 1970-luvun lopulla, se olisi saattanut olla käyttämättömänä yli 30 vuotta.

Tilankäyttö- ja hintaongelmaan voisi ratkaisuna olla se, että mobiilikojeiston hankkisi jokin kolmas taho. Tähän yritykseen voisivat halukkaat verkkoyhtiöt sijoittaa rahaa, jolla hankittaisiin ja ylläpidettäisiin kojeisto. Mikäli jollekin tähän yhtiöön osakkaina olevalle sähkönjakeluyhtiölle tulisi sähköasemallaan vika, he voisivat tuoda kojeiston paikalle ja käyttää sitä tilapäisenä ratkaisuna.

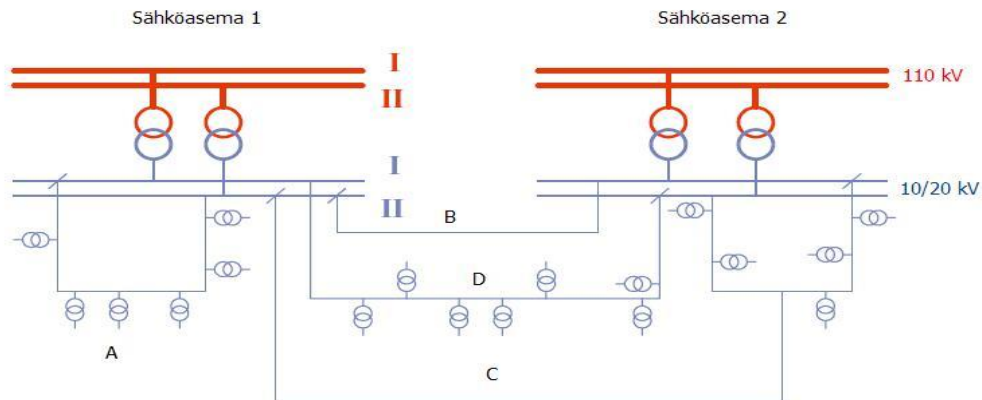


Kuva 17. Siemensin mobiilikojeisto kuljetuslavetilla [27]

5.5 Keskijänniteverkon reservit

Tilapäiskytkentöihin 110 kV ratkaisujen lisäksi kuuluvat keskijänniteverkon kytkennät. Yhden aseman käyttökeskeytyksessä voidaan sähkönsiirtoa hoitaa käyttämällä keskijänniteverkon resursseja. Tällöin vian ilmetessä ja korjausta odotellessa voidaan tilapäiskytkennöillä korvata osa sähkönjakelusta ja jakelukeskeytysaikaa saadaan pienemmäksi. Reserviyhteyksillä pyritään estämään laajoja jakelukeskeytyksiä, ja tämä järjestely toimii hyvin niin kauan, kunnes vasta-asemalla tulee vika tai keskijänniteverkko vahingoittuu.

Reservit ovat käytännössä suoria keskijänniteyhteyksiä aseman keskijännitekojeistosta vasta-aseman keskijännitekojeistoon. Toinen reserviyhteyden muoto on keskijänniteyhteys, jossa asemien välillä on muuntamoita ja näitä voidaan syöttää molemmilta asemilta. Normaalitylanteessa tämä yhteys asemien välillä on auki noin puolesta välistä yhteyttä, ja muuntamot syötetään ennalta sovitulla tavalla molemmilta sähköasemalta. Kuvassa 18 esitetään eri keskijänniteverkon syöttötapoja:



Kuva 18. Periaatekuva keskijänniteverkon reserveistä [28, s. 34]

Yhteystyytit B, C ja D kuvaavat sähköasemien välisiä reserviyhteyksiä. Kyseinen yhteys on normaalitylanteessa yleensä noin puolesta välistä auki, jolloin puhutaan jakorajasta. Esimerkiksi aseman 1 vikatilanteessa sen normaalilla syöttöalueella olevia muuntamoita voidaan syöttää siirtämällä tätä jakorajaa lähemmäksi asemaa 1. Tämä pätee tietysti vain yhteyksiin, jotka ovat asemien välillä. Vikaantuneen aseman umpilenkit, jota yhteys A edustaa, syötetään 110 kV verkon vikatilanteessa aseman 1 keskijännitekiskostojen kautta, jota puolestaan syötetään keskijännitereserviyhteyksillä muilta sähköasemilta.

Umpilenkissä keskijännitekaapelin molemmat päät ovat samalla sähköasemalla. Ainoastaan yhteys B on suoraan sähköasemien välinen ja tarkoitettu nimenomaan vain reservien syöttämiseen asemien välillä. Yhteydet C ja D ovat myös reservejä, mutta asemien välillä niillä on myös muuntamoita ja yhteyksiä käytetäänkin pääasiassa normaaliin tapaan tehon syöttämiseen sähköasemilta muuntamoille. Kuitenkin esimerkiksi aseman 1 kytkeytyessä jännitteettömäksi, voidaan myös yhteyksien C ja D kautta syöttää tehoa asemalta 2 asemalla 1 sen verran, mitä yhteyksissä on tehonsiirtokapasiteettia jäljellä. Asemien välisten keskijänniteyhteyksien määrä vaihtelee asemasta riippuen.

5.6 Varautumisen ulkopuolelle jäävät riskit

Sotatilanteeseen varautumista tulee tarkastella. Sen kannattavuus on kyseenalaista, sillä sodan vaikutukset sähköverkolle ovat aika selvät. Sotatilanteessa yhteiskunnan toimintaan vaikuttavien kohteiden tuhoaminen ensimmäisten joukossa on todennäköistä. Kaikkien komponenttien tuplaaminenkaan ei välttämättä riitä. Se ei ole taloudellisesti eikä tilankäytöllisesti mahdollista. Sotaan varautuminen tapahtuu samalla, kun muutakin verkkoa varmennetaan, mutta erikseen siihen ei ole syytä ryhtyä.

6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli varautumistarpeiden selvittäminen 110 kV kaasueroasteisten kytkinlaitosten vikatilanteille. Ennen työn aloitusta oli selvää, että vikatilanteet ovat hyvin harvinaisia. Vikoihin on kuitenkin syytä varautua, sillä sähköjakelu halutaan pitää mahdollisimman varmana.

Tiedossa ollut käsitys vähäisistä vikamääristä ja GIS-kojeistojen luotettavuudesta vahvistui työn edetessä. Haastattelujen ja kyselyjen pohjalta kävi selväksi, että kojeistoviikoja on ollut, mutta niiden lukumäärä on hyvin vähäinen. Suuresti sähköjakeluun vaikuttavien vikojen tai onnettomuuksien määrä on ollut vielä vähäisempi. Toisaalta tästä saa kiittää valmistajia laadukkaiden tuotteiden tekemisestä, mutta ennen kaikkea verkko-yhtiöiden työ vikojen ehkäisyssä laadukkaan sähköjakelun varmistamiseksi on ollut elintärkeää. Vikojen seurausten laajuus on saatu minimoitua, koska suunnitteluvaiheessa on otettu huomioon vikaantumismahdollisuuksia ja poikkeavia tilanteita sähköasemilla ja verkolla.

Varautuminen voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäinen on mahdollisten vikatilanteiden tutkiminen ja suunnitelmien teko näiden varalle. Suunnitelmien pohjalta voidaan tehdä päätöksiä konkreettisista toimista, jotka ovat varautumisen toinen osa. Valmistajien ja urakoitsijoiden kanssa voidaan neuvotella sopimukset vikatilanteiden varalle. Lisäksi kartoitetaan varaosat, ja tehdään päätöksiä tarvittavien varaosien tilaamisesta varastoon.

Esisuunnittelun kanssa tehdään yhteistyötä, ja pyritään ehkäisemään viat jo ennen niiden syntyä. Esimerkiksi kojeiston pääkaaviota suunnitellessa huomioidaan mahdolliset vikaantumiset. Tällöin kaksiryhmäisen kytkinlaitoksen yhteen ryhmään ei suunnitella kahta erittäin tärkeää yhteyttä. Yhden ryhmän vikatilanteessa toinen tärkeistä yhteyksistä voidaan pitää jännitteisenä.

Toistaiseksi kaikki kojeistoviat ovat johtuneet kojeiston sisäisistä syistä. Nämä eivät kuitenkaan ole aiheuttaneet laajoja keskeytyksiä. Ei siis voi varmasti sanoa, onko mahdollinen suurvian aiheuttaja sisäinen vai ulkoinen syy. Sisäinen syy voi olla jonkin komponentin valmistusvirhe tai tyyppivika. Vika voi kasvaa suureksi, mikäli viallisia komponentteja on useita, ja ne vaurioituvat samanaikaisesti.

Ulkoisena syynä voi olla veden tulviminen asemalle, asemarakennuksen tulipalo, suunnitteluvirhe tai käyttövirhe jossain prosessin kohdassa. Näiden riskit minimoidaan. Myös yhä enemmän tietoliikenteen varaan rakentuvan yhteiskunnan aikakaudella virtuaalisten uhkien torjuntaan on syytä panostaa. Nämä uhat ovat todellisia kuten Stuxnet-tapaus osoittaa.

Tarkemmat teknologiaselvitykset mahdollisesti tarvittavaan GIS-kojeiston ohitukseen tulee tehdä. Tarkoitukseen on toistaiseksi löytynyt kaksi toisistaan suuresti poikkeavaa vaihtoehtoa. Ensimmäinen on kaapelien pistokepäätteiden ja liitoskappaleen avulla tehtävä nopea liitos ja sitä myöten kytkinlaitoksen ohittaminen. Toinen vaihtoehto on liikuteltava mobiilikojeisto. Molempien kohdalta tulee tehdä selvitys niiden soveltuvuudesta aiottuun käyttötarkoitukseen. Lisäksi muita vaihtoehtoisia teknologioita kartoitetaan. Yksi tällainen voisi olla kojeistovalmistajilta vastaavien liitoskappaleiden kysely. Koska kyse ei ole teknisesti kovin monimutkaisesta komponentista, on mahdollista, että kojeistovalmistajat voivat tarjota vastaavaa ratkaisua.

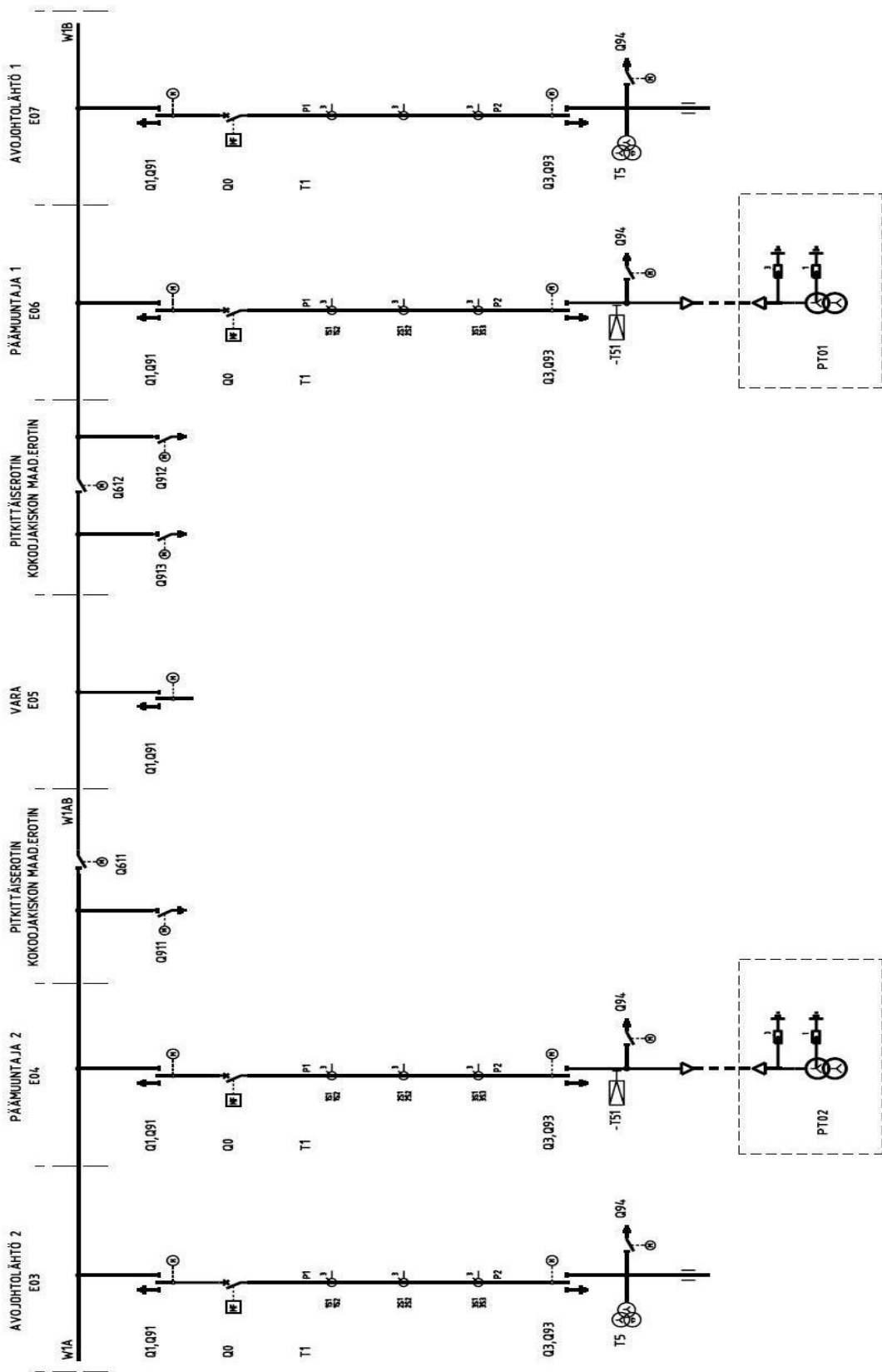
Mikäli tiettyyn ratkaisuun päädytään, seuraavana on vuorossa tarkan suunnitelman tekeminen vikatilanteiden varalle. Tällöin vian tapahtuessa sähkönjakelu voidaan järjestää tilapäisesti, ja sähköaseman korjaustoimenpiteille saadaan lisäaikaa.

Lähteet

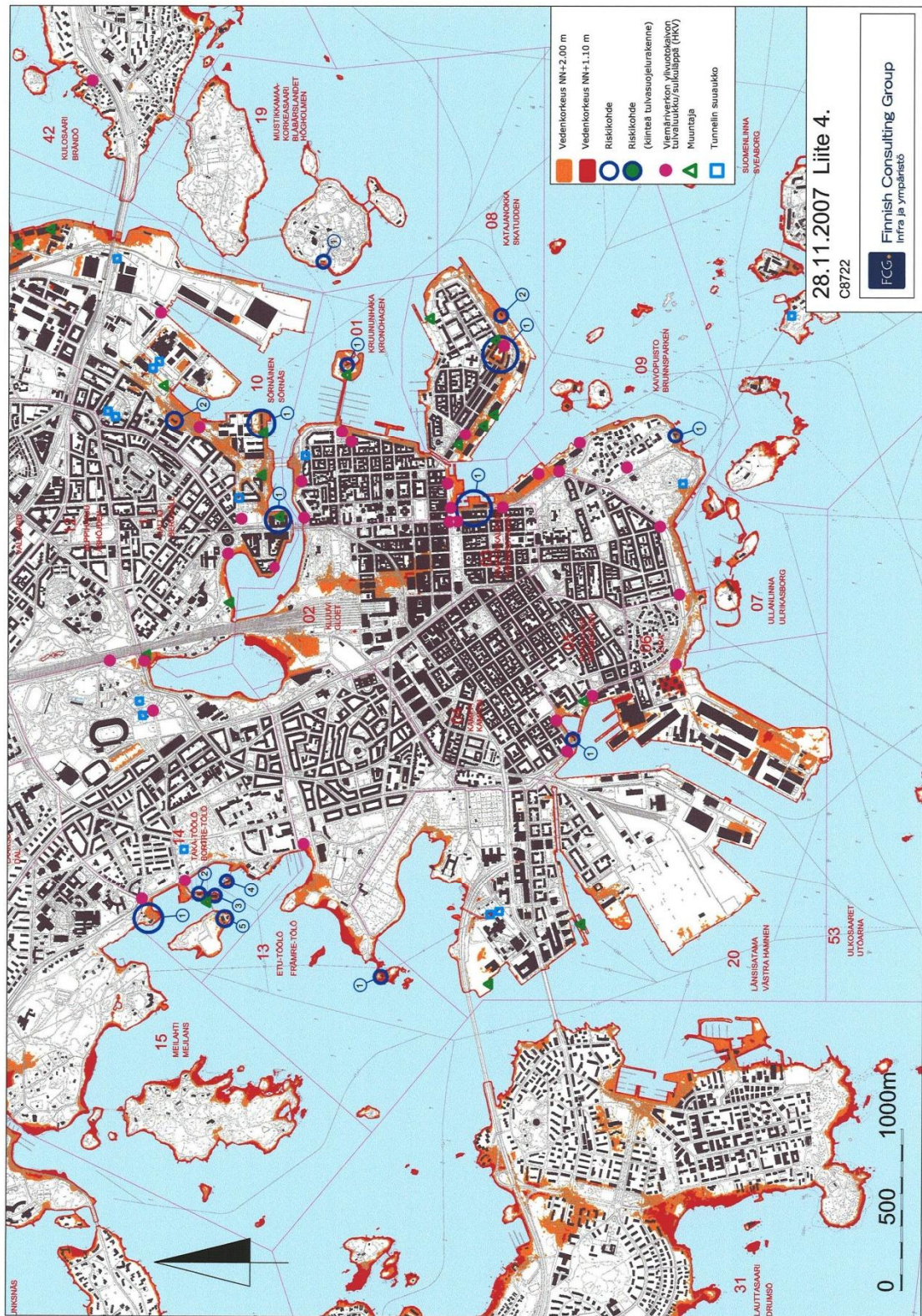
- 1 Helen Sähköverkko Oy:n perusorganisaatio 1.1.2011. 2011. Sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy, Helsinki.
- 2 Gas Insulated Switchgear, Modular and flexible, 52-1100 kV. 2009. Verkkodokumentti. ABB Group.
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/f02743c2d3f53af8c125759b002a0ea9/\\$file/abb_gis_2009_en.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/f02743c2d3f53af8c125759b002a0ea9/$file/abb_gis_2009_en.pdf)>. Päivitetty 17.4.2009. Luettu 11.02.2011.
- 3 Helen Sähköverkko Oy:n valokuva-arkisto.
- 4 Elovaara, Jarmo & Laiho, Yrjö. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. Vantaa: Otatieto.
- 5 Aura, Lauri & Tonteri, Antti J. 1993. Sähkölaitostekniikka. Porvoo: WSOY.
- 6 Gas-Insulated Switchgear up to 145 kV, 40 kA, 3150 A, Type 8DN8. 2008. Verkkodokumentti. Siemens AG.
<<http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-transmission/high-voltage-substations/gas-insulated-switchgear/8dn8-switchgear-upto-145kv/downloads/GIS-8DN8-Ds-e.pdf>>. Luettu 20.01.2011.
- 7 Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. 2010. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto.
- 8 Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
- 9 Patjas, Oskari. 2003. RCM-menetelmän soveltaminen sähköverkon kunnossapito-ohjelmaan. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu. Helsinki.
- 10 Patjas, Oskari. 2003. Kruununhaan 110 kV kytkinlaitteiston perushuolto ja modifiointi – projektin loppuraportti. Sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy, Helsinki.
- 11 Böstman, Ralf. 2002. Akalla-tunnelipalot 2001-2002. Sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy, Helsinki.
- 12 Raju ukkoskuuri laittoi kadut tulvimaan Helsingissä. 2010. Verkkodokumentti. STT. <<http://www.kaleva.fi/uutiset/raju-ukkoskuuro-laittoi-kadut-tulvimaan-helsingissa/862195>>. 8.7.2010. Luettu 10.2.2011.
- 13 Ristiniemi, Jukka. Esisuunnitteluasiantuntija, Helen Sähköverkko Oy, Helsinki. Keskustelut 24.02.2011 ja 5.4.2011.
- 14 Tietoturvakatsaus 3/2010. 2010. Verkkodokumentti. Viestintävirasto.
<http://www.cert.fi/katsaukset/2010/tietoturvakatsaus_3_2010.html>. Päivitetty 15.10.2010. Luettu 24.02.2011.

- 15 Silvast, Antti; Heine, Pirjo; Lehtonen, Matti; Kivikko, Kimmo; Mäkinen, Antti & Järventausta, Pertti. 2005. Sähköjakelun keskeytyksestä aiheutuva haitta. Teknillinen korkeakoulu & Tampereen teknillinen yliopisto.
- 16 Hakala, Sanna. 2010. Kaukokäytettävien kohteiden valinta Helsingin keskijänniteverkossa. Diplomityö. Aalto-Yliopiston teknillinen korkeakoulu. Espoo.
- 17 Puolustusministeriö. 2008. Pitkä sähkökatko ja yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaaminen. Porvoo: Painoyhtymä Oy.
- 18 Sähkömarkkinalaki. 386/1995.
- 19 Patjas, Oskari. 2010. MTBF-arviointi RCM-prosesseissa, päivitys 2010. Sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy, Helsinki.
- 20 Kuosmanen, Toivo. Kunnossapitoinsinööri, Helen Sähköverkko Oy, Helsinki. Keskustelu 24.02.2011.
- 21 Rikberg, Harry. Vanhempi sähköasentaja, HelenService, Helsinki. Haastattelu 07.03.2011.
- 22 Käyttöohjekirja: SF₆-eristetty kytkentälaitte, tyyppi EXK-0. ABB AG – High Voltage Products.
- 23 Pukinmäen 110 kV kytkinlaitoksen riskikartoitus. 2007. Sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy, Helsinki.
- 24 Rautatien metroasema käyttöön helmikuussa. 2009. Verkkodokumentti. Helsingin seudun liikenne. <http://www.hsl.fi/fi/mikaonhsl/uutiset/2009/Sivut/Page_20091227055626.aspx>. Julkaistu 27.12.2009. Luettu 24.3.2011.
- 25 Tulvakohteiden määrittely. 2007. Helsingin kaupungin rakennusvirasto. <http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/tulvakohteet/tulvakohteet_esiselvitys.pdf>. Päivitetty 28.11.2007. Luettu 5.5.2011.
- 26 Cable systems – Cable fittings for high voltage networks. 2010. Verkkodokumentti. Pfisterer Kontaktsysteme GmbH. <http://pfisterer.com/download_download/d_10863.pdf>. Luettu 24.3.2011.
- 27 Mobile substations up to 245 kV. Verkkodokumentti. Siemens AG. <<http://www.energy.siemens.com/co/en/power-transmission/high-voltage-substations/gas-insulated-switchgear/mobile-substations-up-to-245-kv.htm>>. Luettu 29.3.2011.
- 28 Koivunen, Kati. 2003. Sähköverkon tekninen varautuminen. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu. Helsinki.
- 29 Tulvakohteiden määrittely, liite 4. 2007. Verkkodokumentti. Helsingin kaupungin rakennusvirasto. <<http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/tulvakohteet/Liite4.pdf>>. Päivitetty 28.11.2007. Luettu 24.3.2011.

Liite 1. Nykyaikainen yksikiskoinen 110 kV pääkaavio



Liite 2. Helsingin keskustan tulvakartta [29]



Liite 3. Periaatekuva Pfistererin T-haaraliitoksen kytkemiseksi

